

Trabalhos aceitos para publicação nos Anais do evento

12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

Alimentos



Bioprocessos

Bioinsumos
Agrícolas



ISSN:

2236 - 0409
v. 12 (2024)



Efluentes e
Resíduos
Sólidos

Segurança
Alimentar e
Nutricional



Economia
Circular

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Simpósio de Alimentos (12. : 2024: Passo Fundo, RS)
Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos
[recurso eletrônico] / coordenador Jeferson Steffanello Piccini ;
Comissão científica e organização Luciane Maria Colla ... [et al.]. –
Passo Fundo : Ed. Universidade de Passo Fundo, 2024.

Modo de acesso: <https://www.upf.br/simposiosial/>
ISSN: 2236-0409.

1. Engenharia de alimentos - Congressos e convenções.
2. Tecnologia de alimentos - Congressos e convenções. 3. Alimentos
- Indústria - Produção. 4. Sustentabilidade. I. Universidade de Passo
Fundo. II. Piccini, Jeferson Steffanello, coord. III. Colla, Luciana
Maria, coord. IV. Título. V. Anais do XII Simpósio de Alimentos.

CDU: 664

Bibliotecária responsável Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569



Área: Alimentos

AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E COMPOSTOS FENÓLICOS DAS FOLHAS, FLORETE E CAULE DE BRÓCOLIS

Juliana Ferreira Menezes^{1*}, Marieli Rosseto², César Vinicius Tonicionli Riguetto², Karolynne Sousa Gomes³, Neila Silvia Pereira dos Santos Richards², Aline Dettmer¹

¹ Laboratório de Processos, Curso de Engenharia Química, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

² Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA), Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS

³ Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande RS

*E-mail: 179765@upf.br

RESUMO – Este estudo aborda a análise das diferentes partes do brócolis (folhas, floretes e caules) para avaliar o potencial de uso das folhas em aplicações industriais. As folhas, que representam cerca de 80% da planta e são frequentemente descartadas, foram colhidas, separadas, secas a 40°C por 96 horas, maceradas e peneiradas para obter um pó homogêneo. O material obtido foi caracterizado quanto às suas propriedades físico-químicas (umidade, cinzas, proteínas, fibras) e concentração de compostos fenólicos totais. Os resultados mostraram que as folhas de brócolis têm um teor de umidade de 4,25%, em comparação com 6,45% nos floretes e 5,86% nos caules, valores em conformidade com as diretrizes da Resolução da Diretoria Colegiada número 263 de 2005. As folhas contêm 12,64% de cinzas, enquanto os floretes têm 8,56% e os caules 17,89%. As proteínas foram mais altas nas folhas (27,4%), seguidas pelos floretes (26,61%) e caules (6,39%). As fibras variaram, com 7,54% nas folhas, 8,90% nos floretes e 12,54% nos caules. Quanto aos compostos fenólicos totais, as folhas apresentaram 191,01mg EAG/L-1, os floretes 134,5 mg EAG/L-1 e os caules 67,30 mg EAG/L-1. Estes resultados enfatizam a diversidade das características físico-químicas e atividades antioxidantes das diferentes partes do brócolis. As folhas se destacam como uma fonte rica em proteínas, fibras e antioxidantes, sugerindo seu uso na indústria alimentícia como medida sustentável para reduzir o desperdício de alimentos e melhorar a qualidade nutricional dos produtos.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Bioativos; Antioxidante.

1 INTRODUÇÃO

O brócolis é amplamente reconhecido por sua riqueza em uma variedade de compostos bioativos, incluindo glucosinolatos, flavonoides, carotenoides, ácidos hidroxicinâmicos, vitaminas A, C, E, K e minerais (Villaño *et al.*, 2019). Embora os floretes sejam a parte mais consumida do brócolis, representando cerca de 15% da biomassa total, mais de 80% da planta, principalmente as folhas, são frequentemente descartadas (Arnáiz *et al.*, 2012). Entretanto, as folhas de brócolis contêm compostos bioativos semelhantes aos encontrados nos floretes, oferecendo um alto teor de proteínas, vitamina C, minerais, oligoelementos e compostos bioativos, como glucosinolatos, ácidos fenólicos e flavonoides (Lafarga *et al.*, 2019; Villaño *et al.*, 2023).

A pesquisa conduzida sobre a utilização dos coprodutos do brócolis, incluindo suas folhas, na indústria alimentícia, evidencia um considerável potencial em prol da promoção da alimentação saudável e da sustentabilidade. Estes subprodutos podem ser integrados em uma ampla gama de formas alimentícias, tais como produtos processados - a exemplo de sopas, purês ou molhos -, ingredientes em produtos de panificação, como pães, bolos ou biscoitos, e também em barras de cereais, suplementos alimentares em pó, entre outras opções. Esta incorporação enriquece os alimentos com compostos bioativos, contribuindo com a aceitabilidade por parte dos consumidores (Villaño *et al.*, 2023).

Este aproveitamento não só valoriza partes da planta frequentemente descartadas, mas também contribui para a redução do desperdício de alimentos e para o desenvolvimento de produtos alimentícios inovadores e nutricionalmente enriquecidos (Lafarga *et al.*, 2019). Tal abordagem alinha-se com as metas de sustentabilidade e saúde pública, incentivando uma indústria alimentar mais responsável e consciente dos recursos naturais disponíveis, promovendo assim uma cadeia produtiva mais eficiente e ambientalmente amigável (Liu *et al.*, 2018).

Com base neste contexto, este estudo tem como objetivo realizar a caracterização físico-química e de compostos fenólicos das folhas de brócolis em comparação com os floretes e os caules. O propósito é maximizar a utilização eficiente



de todas as partes do brócolis, visando o desenvolvimento de produtos alimentícios e/ou fornecendo informações relevantes para a indústria alimentícia, com ênfase na promoção do uso sustentável deste vegetal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os brócolis foram obtidos diretamente de agricultores situados no município de Getúlio Vargas, Rio Grande do Sul. As partes constituintes da planta, incluindo folhas, floretes e caule, serão submetidas a um processo de secagem em estufa com circulação de ar (Sinergia, modelo SSDic, Brasil). Este procedimento ocorrerá a uma temperatura controlada de 40°C, estendendo-se por um período de 96 horas. Após a conclusão da secagem, o material será submetido a maceração e posterior peneiramento, com o objetivo de produzir um pó homogêneo.

As diferentes partes dos brócolis foram submetidas a uma avaliação abrangente, incluindo análises de umidade, cinzas, proteínas, fibras, densidade e estrutura molecular por espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e compostos fenólicos totais.

A quantificação de proteínas utilizou o método Kjeldahl, adotando o fator de conversão de 6,25, conforme estipulado pela Norma AOAC 960.52 (1995). Para a determinação da umidade, empregou-se uma estufa com circulação de ar (Sinergia, SSDic, Brasil) a 105°C, mantendo-se as amostras até a obtenção de um peso constante, em conformidade com a AOAC 925.10 (1995).

A determinação de minerais foi realizada por meio de um procedimento de incineração completa das amostras, utilizando inicialmente um bico de Bunsen e, subsequentemente, uma mufla (SolidSteel, SSFM, Brasil) a 550°C, segundo a AOAC 924.05 (1995). Além disso, a determinação de fibra bruta incorporou uma metodologia que envolveu digestão ácida seguida de digestão básica, secagem em estufa a 105°C e, por fim, incineração em mufla a 550°C, conforme AOAC 945.38 (1995).

A análise dos compostos fenólicos foi realizada conforme a metodologia sugerida por Correia et al. (2004), utilizando espectrofotometria e a reação de oxirredução com o reagente de Folin-Ciocalteu. A leitura da absorbância foi realizada em um espectrofotômetro (Tecnal UV 5100, Brasil) a um comprimento de onda de 725 nm, utilizando etanol a 95% como branco. A concentração de ácido gálico por miligrama da amostra foi calculada utilizando uma curva de calibração construída a partir de equação da curva padrão com ácido gálico.

Os testes para avaliar as propriedades estruturais foram conduzidos utilizando um espectrômetro de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) (Cary 630, Argilent Technologies, EUA). O equipamento foi operado no modo de reflexão total atenuada, utilizando um cristal de diamante. Foram realizadas 48 varreduras com uma resolução de 4 cm⁻¹ abrangendo a faixa de número de onda de 4000 a 500 cm⁻¹.

A análise de significância estatística foi realizada por meio de teste de Tukey, utilizando um intervalo de confiança de 95%. Essas análises foram realizadas no software Statistica 7.0 da StatSoft Inc., EUA.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos parâmetros físico-químicos e funcionais dos brócolis, especificamente de suas partes constituintes - folha, floretes e caule, revela diferenças significativas que têm implicações diretas na sua composição nutricional, qualidade e propriedades físicas. Essas diferenças são fundamentais para compreender a variabilidade dentro de um mesmo vegetal e sua relevância para o consumo humano, bem como para a aplicação industrial. A Tabela 1 apresenta os resultados para a caracterização físico-química do brócolis.

Tabela 1 – Caracterização de folha, caule e floretes dos brócolis

Propriedade	Folha	Floretes	Caule
Umidade (%)	4,25 ^c	6,45 ^a	5,86 ^b
Cinzas (%)	12,64 ^b	8,56 ^c	17,89 ^a
Proteína (%)	27,40 ^a	26,601 ^a	6,39 ^b
Fibras (%)	7,540 ^b	8,90 ^b	12,54 ^a
Densidade (g/cm ³)	0,37 ^c	0,50 ^a	0,30 ^b
Compostos fenólicos (mg EAG/L-1)	191,01 ^a	134,50 ^b	67,30 ^c

* Letras diferentes na mesma linha significa que há diferença significativa entre as amostras (folha, floretes e caule) em um nível de significância de 95%.



A umidade é um indicador da quantidade de água presente nos alimentos, sendo crucial para a textura, o sabor, a durabilidade e a estabilidade dos mesmos (Cecchi, 2003). A variação da umidade entre as partes do brócolis pode ser atribuída a diferenças estruturais e fisiológicas (Gonçalves, 2016). As folhas apresentam um teor de umidade menor em comparação com floretes e caules, o que pode ser justificado pela necessidade de reduzir a perda de água através da transpiração, um processo vital para a manutenção da turgidez e para a fotossíntese (Campos *et al.*, 2021). Isso torna as folhas mais adequadas para processos que exigem baixos níveis de umidade, como a desidratação e a produção de pó (Cecchi, 2003).

O teor de cinzas reflete a quantidade de minerais inorgânicos presentes e é utilizado para avaliar a pureza e autenticidade dos alimentos. Folhas e caules exibem valores mais altos de cinzas, indicando uma rica composição mineral. Essa diferença pode ser explicada pela distribuição de nutrientes na planta, onde partes que desempenham funções estruturais ou de armazenamento, como o caule, tendem a acumular mais minerais (Coutinho *et al.*, 2021). Além disso, a elevada concentração de minerais nas folhas pode ser resultado da fotossíntese e da translocação de nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento da planta (Młynarczyk *et al.*, 2020).

Quanto às proteínas, essas são fundamentais para o conteúdo celular, influenciando propriedades físico-químicas e organolépticas dos alimentos (Refdi *et al.*, 2023; Nasir *et al.*, 2020). A predominância de proteínas nas folhas em relação aos floretes e ao caule pode ser justificada pela atividade metabólica intensa associada à fotossíntese e ao crescimento, processos que requerem uma ampla gama de enzimas e componentes estruturais proteicos (Coutinho *et al.*, 2021). Isso reflete a importância das folhas como fonte de nutrientes, especialmente em dietas que buscam alto teor proteico.

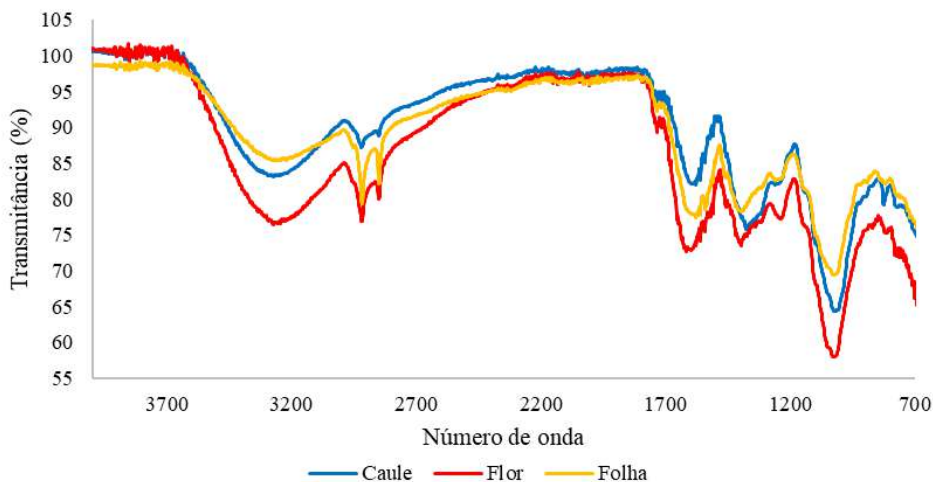
As fibras desempenham uma função relevante no sistema digestivo, promovendo o peristaltismo (Cecchi, 2003). A maior quantidade de fibras no caule, conforme demonstrado na tabela, pode ser atribuída à necessidade de suporte estrutural e condução de nutrientes dentro da planta (López-malvar *et al.*, 2022). Essas características conferem ao caule uma textura mais rígida, o que se traduz em um conteúdo fibroso mais elevado.

A densidade, definida como a relação entre a massa e o volume, desempenha uma função importante na caracterização das propriedades físicas dos alimentos. Esta propriedade não apenas reflete a composição interna do alimento, mas também está intrinsecamente relacionada à sua capacidade de reter água. A variação na densidade pode ser um indicativo de mudanças na estrutura interna e na composição do alimento, incluindo o conteúdo de água, fibras, gorduras e outros componentes. Quando um alimento retém mais água, sua densidade geralmente diminui, visto que o volume aumenta sem um aumento proporcional no peso (Salazar *et al.*, 2021). Esta propriedade variou significativamente entre as partes do brócolis. Esta variação pode ser explicada pela diferença na composição celular e na estrutura das partes da planta, impactando sua capacidade de retenção de água e, conseqüentemente, sua densidade (Campos *et al.*, 2021). Por exemplo, a menor densidade no caule pode ser devida à sua estrutura mais porosa, que é adaptada para o transporte de nutrientes e água (Freire *et al.*, 2011).

Por fim, os compostos fenólicos, conhecidos por suas propriedades antioxidantes, apresentaram concentrações variadas entre as partes do brócolis, sendo mais elevadas nas folhas e floretes. Essa distribuição pode ser justificada pela função dos compostos fenólicos na defesa da planta contra patógenos e na proteção contra danos causados por radicais livres. As folhas e floretes, estando mais expostas ao ambiente e à luz solar, necessitam de uma maior proteção antioxidante, o que se reflete em suas concentrações elevadas de compostos fenólicos (Liu *et al.*, 2018).

Para complementar a análise nutricional e funcional do brócolis, a Figura 1 apresenta um gráfico obtido por meio da Espectroscopia de Transformada de Fourier por Infravermelho (FTIR), técnica que permite a identificação das ligações químicas específicas e a estrutura molecular das diferentes partes do brócolis (Pasquini, 2003). Este gráfico destaca as assinaturas espectrais únicas associadas a cada componente analisado, incluindo proteínas, fibras, compostos fenólicos e outros constituintes relevantes.

Figura 1 - Análise comparativa por FTIR em folhas, floretes e caule de brócolis



Os espectros de todas as amostras exibem picos correspondentes em certos números de onda, o que denota a presença de componentes químicos similares através das diferentes partes da planta. O pico em 3300 cm^{-1} é comumente associado a ligações O-H ou N-H, que são características de moléculas como álcoois, fenóis, água e aminas, indicando que tais grupos funcionais estão presentes em todas as partes testadas (Santos, 2006). No número de onda de 1640 cm^{-1} , observa-se um pico que pode ser atribuído a ligações duplas C=O, presentes em carbonilas, frequentes em estruturas como cetonas, aldeídos e ácidos carboxílicos, sugerindo a universalidade destes grupos em todas as amostras (Xu *et al.*, 2015; Poduska, 2014). A presença de picos em 1549 cm^{-1} , 1105 cm^{-1} , 1090 cm^{-1} , 1070 cm^{-1} e 1015 cm^{-1} reforça a ideia de uma composição compartilhada, pois são típicos de ligações N-O e C-O, encontrados em nitratos, nitro compostos, álcoois, éteres e ésteres, respectivamente (Nasrulloh *et al.*, 2013; Shi *et al.*, 2019).

No entanto, a análise revela também diferenças entre as amostras. Variações na intensidade dos picos, especialmente em torno de 3300 cm^{-1} , sugerem diferenças na hidratação ou na concentração de grupos funcionais específicos. Além disso, as peculiaridades na forma e na largura dos picos, particularmente em 1640 cm^{-1} , podem indicar a presença de variedades distintas de ligações C=O ou interações moleculares únicas a cada amostra (Xu *et al.*, 2015; Poduska, 2014). A ocorrência de picos distintos em certas amostras aponta para a presença de compostos específicos em cada parte da planta, enquanto desvios sutis na posição dos picos são indicativos de variações no ambiente químico, que podem afetar a força das ligações e a eletronegatividade dos átomos envolvidos. Diferenças na área sob os picos sugerem variações na concentração de compostos entre o caule, a folha e a florete (Pasquini, 2003). A figura mostra que apesar da presença de componentes químicos comuns, há uma clara distinção na composição química das diferentes partes da planta, refletindo sua diversidade biológica e funcional.

4 CONCLUSÃO

Neste estudo, foi conduzida uma análise abrangente das diferentes partes do brócolis, destacando sua diversidade em termos de propriedades físico-químicas e funcionais. Uma das descobertas mais significativas foi a constatação da abundância das folhas de brócolis em nutrientes essenciais, incluindo proteínas, fibras e compostos fenólicos, em comparação com os caules e os floretes, geralmente consumidos. Além disso, a investigação estrutural por meio da FTIR revelou padrões distintos de composição química entre as diferentes partes da planta, ressaltando sua diversidade biológica e funcional.

Esses resultados têm impactos positivos para a indústria alimentícia e para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis. Reconhecer o potencial das folhas de brócolis como uma fonte de nutrientes apresentar uma alternativa para o desenvolvimento de produtos alimentícios mais nutritivos e saudáveis.

Em conclusão, os resultados deste estudo sugerem que as folhas de brócolis representam um recurso valioso que merece maior atenção e aproveitamento na indústria alimentícia. Ao considerar a riqueza nutricional das folhas e sua diversidade biológica, podemos explorar novas oportunidades para criar produtos alimentícios mais saudáveis e sustentáveis, contribuindo assim para o bem-estar humano e para a proteção do meio ambiente.

5 AGRADECIMENTOS



Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) Proc. 21/2551-0002144-6, à Universidade Federal de Santa Maria e Universidade de Passo Fundo pelo apoio oferecido.

6 REFERÊNCIAS

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis of AOAC international 16.ed. Arlington: AOAC, 1995. (Methods n.960.52; n.920.39; n.925.10; n.945.3; 924.05).
- ARNÁIZ, E *et al.* Supercritical fluid extraction of free amino acids from broccoli leaves. **Journal of chromatography A**, v. 1250, p. 49-53, 2012.
- CAMPOS, A.J.C *et al.* Estresse hídrico em plantas: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e311101523155-e311101523155, 2021.
- CECCHI, H.M. Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos. Editora da UNICAMP, 2003.
- COUTINHO, A.J.M *et al.* Cupcake adicionado de farinha de resíduos de brócolis: análise físico-química e sensorial entre crianças. **Multitemas**, p. 5-20, 2021.
- CORREIA, R.T.P *et al.* Production of phenolic antioxidants by the solid-state bioconversion of pineapple was temixed with soy flour using *Rhizopus Oligosporus*. **Process Biochemistry**, v. 39, p. 2167- 2172, 2004.
- FREIRE, A.L.O. *et al.* Crescimento, acúmulo de íons e produção de tomateiro irrigado com água salina. **Seminário: Ciências Agrárias**, v. 31, não. 4Sup1, pág. 1133-1144, 2010.
- GONÇALVES, J. C *et al.* Espectroscopia com infravermelho e transformada de fourier para diagnóstico de covid-19. **Produção Científica-Faculdade Multivix Serra**, v. 12, n. 2, p. 81.
- IAL – Instituto Adolfo Lutz. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3. ed. São Paulo: IMESP, 2008.
- LAFARGA, T. *et al.* Bioaccessibility, physicochemical, sensorial, and nutritional characteristics of bread containing broccoli co-products. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 2, p. e13861, 2019.
- LIU, M. *et al.* Comparative phytonutrient analysis of broccoli by-products: The potentials for broccoli by-product utilization. **Molecules**, v. 23, n. 4, p. 900, 2018.
- LÓPEZ-MALVAR, A *et al.* Cell Wall Composition Impacts Structural Characteristics of the Stems and Thereby the Biomass Yield. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 70, n. 10, p. 3136-3141, 2022.
- MŁYNARCZYK, K. *et al.* The content of selected minerals, bioactive compounds, and the antioxidant properties of the flowers and fruit of selected cultivars and wildy growing plants of *Sambucus nigra* L. **Molecules**, v. 25, n. 4, p. 876, 2020.
- NASIR, Sahreen *et al.* Physical, textural, rheological, and sensory characteristics of amaranth-based wheat flour bread. **International Journal of Food Science**, v. 2020, 2020.
- PASQUINI, Celio. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian chemical society**, v. 14, p. 198-219, 2003.
- REFDI, C. W. *et al.* Characteristics of Physical, Chemical, and Organoleptic Properties of Gulai, Kalio, and Rendang from Rubber Seeds (*Hevea Brasiliensis*) as Traditional Plant-based Food. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2023. p. 012066.
- SALAZAR, D. *et al.* Green banana (*Musa acuminata* AAA) wastes to develop an edible film for food applications. **Polymers**, v. 13, n. 18, p. 3183, 2021.
- SANTOS, M.A.T. Efeito do cozimento sobre alguns fatores antinutricionais em folhas de brócoli, couve-flor e couve. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, p. 294-301, 2006.
- SHI, M. *et al.* New food ingredients from broccoli by-products: physical, chemical and technological properties. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 54, n. 4, p. 1423-1432, 2019.
- VILLAÑO, D. Biodisponibilidade de brotos de brócolis em diferentes populações humanas com excesso de peso. **Revista de Alimentos Funcionais**, v. 59, p. 337-344, 2019.
- VILLAÑO, D. *et al.* Revalorisation of broccoli crop surpluses and field residues: novel ingredients for food industry uses. **European Food Research and Technology**, v. 249, n. 12, p. 3227-3237, 2023.
- XU, B.; PODUSKA, K.M. Linking crystal structure with temperature-sensitive vibrational modes in calcium carbonate minerals. **Physical Chemistry Chemical Physics**, v. 16, n. 33, p. 17634-17639, 2014.
- XU, B. *et al.* Structural differences in archaeologically relevant calcite. **Analytical Methods**, v. 7, n. 21, p. 9304-9309, 2015.



Área: Alimentos

SIMULATION ON SPIRITS DISTILLATION AND NEUTRAL ALCOHOL

Eron Paulo Borges Filho*, Aline Dettmer

Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Curso de Mestrado, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: 128448@upf.br*

ABSTRACT – Simulators play an essential role in understanding the behavior of industrial processes. Here, the focus is on the congener profile—key compounds that impart unique flavors to spirits. These studies are relevant in order to optimize energy usage, product quality and see if changes in the process will affect the positive or negative aroma compounds. However, accurately modeling these processes is challenging due to the necessity for extensive thermodynamic data. This is to predict the behavior of compounds within the distilled matrix accurately, further complicated by their low concentration and potential chemical reactions during distillation. Out of the articles reviewed, most preferred to simulate batch operations, and the research assessed the reliability of simulations to enhance product quality through optimized cuts, verify the accuracy of the simulators and develop algorithms to deeper understanding of column dynamics. The most used models were Non-Random Two Liquid (NRTL) and UNIFAC, with the vapor phase being ideal or employing the Hayden-O’Connell (HOC) equation. As research progresses, an increasing number of congeners are analyzed, leading to a pivotal question: Can the pursuit of precision, amid rising complexity, truly enhance the distillation process?

Keywords: Distillation. Simulation. Spirit. Beverage. Congeners.

1 INTRODUCTION

Simulators are outstanding tools for predicting the behavior of compounds in equipment by using models that mathematically calculate the outcome of given processes. This is important particularly in the context of distillation, a complex process characterized by multiple condensations and evaporations based on the differences of the volatility of the components, which is desirable to understand when dealing with alcoholic beverages, as the process influences on the low-concentration compounds, also referred to as congeners or volatile compounds, in the final product. These compounds impart desirable or undesirable aromas and flavors to the spirits, even the spirit being 97-99%v water and ethanol (Decloux *et al.* 2022). However, in order to obtain a good result in the simulation, the model has to represent reality in a certain degree, and this require that the model is well fit for the compounds that are present, be it individually and on their interactions between each other.

Multiple studies have been done in this matter and with different approaches, not only at the equipment and process analysis (Tenorio 2022; Batista *et al.* 2013; Carvallo *et al.* 2011; Decloux and Coustel 2005), but for the data for the predictive models as well (Puentes *et al.* 2018a; Puentes *et al.* 2018b; Matugi *et al.* 2018; Faúndez and Valderrama 2009; 2004). In the context of distilled spirits, distillation should aim to remove compounds with undesirable odors, such as sulfur compounds, and compounds harmful to human health, like methanol (Carvallo *et al.* 2011), while simultaneously preserving compounds that contribute a pleasant odor to the beverage, like terpenes (Zanghelini *et al.* 2022). The distilled beverages can be Whisky, Rum, Vodka, Cachaça, etc., and the main difference between them is the alcoholic graduation and the concentration of congeners, which are in concentration of 10^{-6} – 10^{-4} mg/L (Batista *et al.* 2012). Another application for simulation can also be soft sensing, which infer the composition based on and indirect measure from the process (Alves *et al.* 2019). The aim of this article is to analyze the evolution of the simulations of spirits distillation, its difficulties, trends and an insight of the future.

2 METHODOLOGY

The survey was conducted using the SCOPUS database with the keywords being "DISTILLATION" AND ("SPIRIT*" OR "BEVERAGE") AND "SIMULATION", searched at the “Title, Abstract and Keywords” section, which found 40 articles. In further dept, only 30 articles were analyzed to conduct the review. Besides spirits or beverage being in the keywords, some articles addressed the topic of neutral alcohol (sometimes called neutral spirit), and it was decided to study them as well, because they can give valuable knowledge on congeners behavior. Out of the 30 articles, there was only two review articles, by Ureta and Salvadori (2023), which gave an overview on commercial simulators applied to food processing, with the main challenges studied being the modeling the complex matrices of food products in order to



obtain the properties to run the simulation. This was the case in 2008 (Joulia, 2008 apud Decloux *et al.* 2014) and it is still the case in 2024, with more reliable Vapor-Liquid Equilibrium (VLE) being needed to have results with good agreement (Zanghelini *et al.* 2024). However, there is good perspectives for the future with the advent of Artificial Intelligence and the range of the sensors we have today can cause an evolution on how modelling works. The other review article was made by Valderrama *et al.* (2012), which focused on the advances on modeling and simulation of alcoholic distillation and concluded that simulators help to understand and optimize the distillation process, define the ideal cuts in batch columns, tune the process to obtain the requirements in continuous distillation and estimate the total energy usage.

3 BIBLIOGRAPHIC REVIEW

The way that the distillation can remove the congeners can vary, depending on the process. For the neutral alcohol production, which is a continuous process, there are different distillation columns employed, each one with a different objective. One of the first studies done in the matter, Decloux and Coustel (2005) demonstrated the role of the different columns via simulation, using the software ProSim Plus, with the models Non-Random Two Liquids (NRTL) and UNIFAC. The simulation had the results that the beer stripper produced an intermediate product with lower isoamyl alcohol content, the extractive distillation column eliminated most of the ethyl acetate and acetaldehyde and half of the high alcohols, the rectifier column eliminated the remaining high alcohols and the demethylizer column removed methanol.

On the other hand, spirits distillation are often made in batch, with cuts that are separated, normally the “heads” and “tails” while the “heart” refers to the product itself (Alves *et al.* 2019). The head is the first cut from the distillation, normally 1 or 2% of the boiler volume, and presents acetaldehydes, methanol and ethyl acetate, and is usually discarded. These cuts are the strategy to separate the congeners. The heart is the main cut and the final product, and what is left in the boiler after the heart removal is the tail, which is composed by water-soluble volatiles, mostly acetic acid, furfural (Tenorio *et al.* 2022) and a high concentration of undesirable fatty and oily compounds. The way that cuts are made are from ethanol concentration or by olfaction and tasting, which is an empirical strategy. Experimental studies have shown that the reflux in the column can reduce undesirable components and change its alcoholic strength, and these process changes can be made by simulation instead of having to do numerous experiments (Decloux *et al.* 2022). Besides the batch production, spirits that are made in large production, such as rum, Calvados, Armagnac, whisky and vodka are done by multi-stage continuous distillation (Decloux *et al.* 2022).

Among the articles reviewed, five specifically examined continuous distillation, fourteen focused on batch distillation, and one article explored both methods. This distribution reflects the prevailing industrial preference for batch operations in spirit production and researchers are keenly interested in assessing the reliability of simulations to enhance product quality through optimized cuts, verifying the accuracy of these simulations, and developing innovative models and algorithms to better understand column behavior.

A critical aspect common to all distillation research, regardless of the specific configuration of the distillation column, is the need to accurately characterize the properties of components under various process conditions. To address this, the majority of the studies employed predictive models to estimate these properties. The NRTL model is predominantly used for predicting the behavior of the liquid phase, with many studies assuming ideal conditions for the vapor phase or employing the virial Hayden-O’Connell (HOC) equation for more complex assessments. Additionally, the UNIFAC method has gained popularity for liquid phase predictions, particularly useful in scenarios where direct NRTL parameter estimation is challenging due to data limitations. These models have shown strong agreement with empirical data, a conclusion supported by the rigorous validation efforts undertaken in nearly all reviewed articles. Such validations typically involve comparing model predictions with actual plant data or experimental results, highlighting the models' effectiveness in replicating real-world phenomena. Given the pivotal role of accurate data in simulation-based research, it is evident that possessing a robust predictive model is of paramount importance. The choice and application of these models significantly influence the fidelity of simulations, directly impacting the ability to optimize distillation processes, reduce operational costs, and enhance product quality. Consequently, future research should continue to refine these models, ensuring they remain closely aligned with the evolving complexities of distillation technologies.

The simulation can be done in two ways: Using a commercial process simulation software or developing algorithms. Twelve articles used commercial simulators, six of them being Aspen Plus and the other ones being ProSim Plus or ProSim BatchColumn model. Eleven articles used some kind of algorithm to describe the behavior of the column with good agreement with real data. Table 1 summarizes what type of approaches scientists are having.

Table 1 - Spirit studied, distillation type, software and model used of the articles

Reference	Spirit studied	Distillation type	Software	Model	Findings / results
-----------	----------------	-------------------	----------	-------	--------------------



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Batista <i>et al.</i> 2012	Cachaça	Continuous	Aspen Plus	NRTL / HOC	The degassing system is highly efficient in low contamination. Reflux ratio and product flow have a great impact on the spirit composition.
Batista <i>et al.</i> 2013	Neutral	Continuous	Aspen Plus	NRTL / HOC	It was developed a new process for neutral alcohol production, which used 45% less steam, but resulted in a product less pure than the traditional process.
Carvalho <i>et al.</i> 2011	Pisco	Batch	Developed algorithm	NRTL / Ideal	Developed a model for batch distillation in packed columns, focusing on methanol recovery, that can be used to predict and optimize the distillation cuts.
Decloux <i>et al.</i> 2005	Neutral	Continuous	ProSim Plus	UNIFAC	The role of the neutral spirit distillation columns in congener removal was demonstrated by simulation.
Decloux <i>et al.</i> 2014	Neutral/Beverage	Both	ProSim Plus and BatchColumn	NRTL / Henry's law	The study validated models for neutral spirit production and bitter orange distillate, optimizing plant operations through thorough checks, mass balance reconciliation, and simulations, leading to improved efficiency and product quality in both continuous and batch distillation processes.
Decloux <i>et al.</i> 2022	Whisky	Batch	ProSim BatchColumn	NRTL / Ideal	Acquired data and simulated 57 congeners and their distribution between head, heart, tail and residue. Pushing distillation too far increases recovery of unwanted compounds, energy use, and water in distillate. Optimal ethanol concentration and early peak improve compound separation and energy efficiency, demonstrating multi-stage distillation's flexibility and simulation value in research and industry.
Douady <i>et al.</i> 2019	Generic low wine	Batch	ProSim BatchColumn	NRTL	Initially analyzed 69 compounds, 45 were quantified in laboratory and 26 were simulated, with 18 compounds being accurately represented. The laboratory experiment had a Coriolis flowmeter, which permitted the calculation of ethanol mass flow and concentration over time, adjusting simulation parameters with real results.
Gaiser <i>et al.</i> 2002	Whisky	Continuous	Aspen Plus	NRTL	The simulation data had good agreement with literature and patent data.
Hodel <i>et al.</i> 2021	Gin	Batch	ProSim BatchColumn	NRTL	A higher reflux ratio resulted in a higher concentration of the more volatile fraction. It was possible to manipulate the terpene concentration with changes in equipment and operation.
De Lucca <i>et al.</i> 2013	Generic fruit wine	Batch	Developed algorithm	NRTL	Developed a model for batch distillation in packed columns adding packing heat dynamics. Methanol head/heart cut time represented 70% on total methanol concentration.
Osorio <i>et al.</i> 2004	Pisco	Batch	Developed algorithm	UNIFAC / Raoult	Developed a neural network for batch reactive multicomponent distillation that



				+ Antoine	used less processing time and had the same level of accuracy.
Osorio <i>et al.</i> 2005	Pisco	Batch	Developed algorithm	UNIFAC / Raoult + Antoine	Developed a model for spirit recipes by simulating the distillation. Higher cutting times recovered more ethanol and less linalool.
Puentes <i>et al.</i> 2018a	Armagnac	Continuous	ProSim Plus	NRTL	Data was acquired for 66 aroma compounds and 32 of them were simulated with the NRTL model. Tails extraction, ethanol concentration in distillate and distillate temperature had a real impact on spirit composition.
Diaz-Quezada <i>et al.</i> 2022	Generic fruit wine	Batch	Developed algorithm	NRTL / Raoult / Dalton	Developed a model for simulation and calibration of a packed batch column still. A new heat loss model reduced the predicted ethanol concentration error by five times.
Sacher <i>et al.</i> 2013	Pear wine	Batch	Developed algorithm	UNIFAC / Raoult	Developed a model to predict recovery in Charentais alembic. It was simulated 15 congeners, where five were satisfactorily predicted, six were biased with 8% to 25% deviation and more than 30% for three compounds.
Scanavini <i>et al.</i> 2010	Cachaça	Batch	Developed algorithm	NRTL / HOC	Developed an algorithm to simulate an alembic with 8 congeners. The simulation had good predictions for most of the compounds, but not for methanol, isoamyl alcohol and volatile acidity.
Susuki <i>et al.</i> 2023	Blueberry	Batch	Aspen Plus	-	A distillation column was designed and calculated, in order to the temperature not exceed 98 °C, without damaging the antioxidant compounds in blueberries.
Tenorio <i>et al.</i> 2022)	Cachaça	Batch	Aspen Plus / Developed algorithm	NRTL / HOC	Non-conventional cuts on cachaça production were studied, concluding that acetaldehyde was the key component to determine the distilling cuts. One of these cuts increased the productivity by more than 50%.
Zanghelini <i>et al.</i> 2024	Cognac	Batch	Developed algorithm	NRTL / UNIFAC	Acquired data for 62 compounds, simulated 52 of them, but only half were accurately described, possibly because the data was poorly represented or because that chemical reactions are taking part in the equipment. On the simulation, it was observed that recycling improved the extraction of ethanol and volatile compounds in the heart. Recycling heads, tails and second led to higher recoveries, being steady after 3 to 5 times.

NRTL - Non-Random Two Liquid; HOC – Hayden-O’Connell

Because of the complexity of flavor formation on the spirits, the number of congeners studied in each simulation has started to grow significantly higher. In 2004, Osorio *et al.* (2004) studied rigorous dynamic modeling and simulation for Pisco and developed neural network to improve accuracy. It was used a simplified wine composition with the main 6 components besides water and ethanol. It is still normal to use simplified models today, especially on dealing with fuel ethanol, as the main compounds can represent the VLE satisfactorily and it requires less thermodynamic data and processing capacity, makes the simulation easier and give good and coherent results (Matugi *et al.* 2018).



Nevertheless, scientists are searching for more knowledge on the congener profiles, and this means that much more components needed to be included in the simulations. In 2012, Batista *et al.* (2012) simulated a continuous cachaça distillation, validated the results with industrial data and then studied the degassing system (venting the content of the last condenser to remove what did not condensate, which is mostly congeners), concluding that it was a highly efficient method to remove volatiles when the wine composition was low. In this simulation, some years later, already had 12 total components, and in his following work on this field (Batista *et al.* 2013) already counted with 19 components, used for the simulation of a novel neutral alcohol production process. More recently, Puentes *et al.* (2018a) acquired data for 66 aroma compounds and simulated 32 of them using NRTL with estimated parameters from equilibria data at high dilution for an Armagnac production unit simulation, predicting the results with good precision, but, high deviations were found to nine compounds, possibly because of the limitations of the analysis, which was gas chromatography, due to its complexity and high dilution. In conclusion, simulation is a powerful tool for providing a good understanding on the behavior of the congeners, with the real aim not being reproducing everything with high accuracy, but to satisfactorily represent the distillation trends and analyze what the operating parameters influence on the final product. For the study of cognac distillation, Zanghelini *et al.* (2024) employed a simulation with 52 aroma compounds, acquiring data for a total of 62 compounds. Out of this, 37 were modelled with NRTL and 15 with UNIFAC, but only half of the compounds were accurately predicted by the simulation. Besides the precision of the analysis, this can be explained by having certain chemical reactions occurring in the distillation, and, in order to obtain a representative simulation, all those reactions would have to be inputted on the simulator, which would make everything more complex than already is, requiring more computer power, time, and maybe taking away the reason why simulation is so studied.

4 CONCLUSION

After analyzing the articles, we conclude that scientists are focusing on understanding the phenomena of batch distillation of spirits, some preferring to use commercial simulators, like Aspen Plus and ProSim BatchColumn, while some prefer to develop algorithms to put together heat loss models to try to have more precision. There has been an increase in the compounds simulated each year that passes, with five in 2004 to fifty-two in 2024. The simulations are having good agreement for some compounds, but most of them are not being precisely represented in simulations, possibly because of the lack of good data, as some of them are in very high dilution and the analysis equipment is not so much precise, or because there are chemical reactions undergoing in the equipment, which would require all of them to be manually inputted in the model, highly increasing the complexity. Nevertheless, compounds that are satisfactorily represented today were not years prior, showing that the data and models are evolving, but increasing in complexity. This raises the question of where is the point that we should stop trying to be so much more accurate, and if this accuracy would actually represent something positive on the study of the aroma compounds profile on the simulation. Of course, all the articles have given valuable data for a broad understanding of the phenomena, and with much more information we can more accurately predict and explain the simulation inaccuracy, and this may suffice for the aim that the research strives for.

5 REFERENCES

- ALVES, Tiago H.; OLIVEIRA, Patricia; MOTA, Liliane; CORREA, Cristina; ABUD, Ana Karla; OLIVEIRA JUNIOR, Antonio. Virtual Sensor Using Neural Networks in Batch Distillation of Fermented Beverages. **Chemical Engineering Transactions**, v. 74, p. 1483-1488, May 2019
- BATISTA, Fabio R.M.; FOLLEGATTI-ROMERO, Luis A.; BESSA, L.C.B.A.; MEIRELLES, Antonio J.A. Computational Simulation Applied to the Investigation of Industrial Plants for Bioethanol Distillation. **Computers & Chemical Engineering**, v. 46, p. 1-16, November 2012.
- BATISTA, Fabio R.M.; FOLLEGATTI-ROMERO, Luis A.; MEIRELLES, Antonio J.A. A New Distillation Plant for Neutral Alcohol Production. **Separation and Purification Technology**, v. 118, p. 784-793, October 2013.
- CARVALLO, J.; LABBE, M.; PÉREZ-CORREA, J.R.; ZAROR, C.; WISNIAK, J. Modelling Methanol Recovery in Wine Distillation Stills with Packing Columns. **Food Control**, v. 22, n. 8, p. 1322-1332, 2011.
- DIAZ-QUEZADA, Simon; WILSON, David I.; PEREZ-CORREA, Jose R. Modeling and Simulation of a Packed Column Batch Still for Fruit Wine Distillations. **IEEE Access**, v. 10, p. 84694-84709, 2022.
- DOUADY, Adrien; PUENTES, Cristian; AWAD, Pierre; ESTEBAN-DECLoux, Martine. Batch Distillation of Spirits: Experimental Study and Simulation of the Behaviour of Volatile Aroma Compounds. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 125, n. 2, p. 268-283, 2019.
- DECLoux, Martine; COUSTEL, Julie; Simulation of a neutral spirit production plant using beer distillation. **International Sugar Journal**, v. 107, n. 1283, p. 628-643, 2005.



- DECLoux, Martine; DETERRE, Sophie; KADIR, Samir; GIAMPAOLI, Pierre; ALBET, Joël; JOULIA, Xavier; BAUDOUIN, Olivier. Two Industrial Examples of Coupling Experiments and Simulations for Increasing Quality and Yield of Distilled Beverages. **Food and Bioproducts Processing**, v. 92, n. 4, p. 343-354, 2014.
- DECLoux, Martine; TANO, N'Guessan Charles Romaric; GRANGEON, Hervé. Simulation of the Behaviour of Volatile Compounds during Batch Multi-stage Distillation of Whisky. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 128, n. 4, p. 171-187, 2022.
- FAÚNDEZ, Claudio A.; VALDERRAMA, José O. Phase Equilibrium Modeling in Binary Mixtures Found in Wine and Must Distillation. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 577-583, 2004.
- FAÚNDEZ, Claudio A.; VALDERRAMA, José O. Activity Coefficient Models to Describe Vapor-Liquid Equilibrium in Ternary Hydro-Alcoholic Solutions. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 17, n. 2, p. 259-267, 2009.
- GAISER, M.; BELL, G.M.; LIM, A.W.; ROBERTS, N.A.; FARADAY, D.B.F.; SCHULZ, R.A.; GROB, R. Computer Simulation of a Continuous Whisky Still. **Journal of Food Engineering**, v. 51, n. 1, p. 27-31, 2002.
- HODEL, Jan; O'DONOVAN, Tadhg; HILL, Annie E. Influence of Still Design and Modelling of the Behaviour of Volatile Terpenes in an Artificial Model Gin. **Food and Bioproducts Processing**, v. 129, p. 46-64, September 2021.
- LUCCA, Franco; MUNIZAGA-MIRANDA, Raúl; JOPIA-CASTILLO, David; GELMI, Claudio A.; PÉREZ-CORREA, José R. Operation Strategies to Minimize Methanol Recovery in Batch Distillation of Hydroalcoholic Mixtures. **International Journal of Food Engineering**, v. 9, n. 3, p. 259-265, 2013.
- MATUGI, Karina; CHIAVONE-FILHO, Osvaldo; RIBEIRO, Marcelo Perencin De Arruda; SOARES, Rafael De Pelegrini; GIORDANO, Roberto De Campos. VAPOR-LIQUID EQUILIBRIUM CALCULATION FOR SIMULATION OF BIOETHANOL CONCENTRATION FROM SUGARCANE. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 35, n. 2, p. 341-352, 2018.
- OSORIO, Daniel; PÉREZ-CORREA, J. Ricardo; BIEGLER, Lorenz T.; AGOSIN, Eduardo. Wine Distillates: Practical Operating Recipe Formulation for Stills. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 16, p. 6326-6331, 2005.
- OSORIO, Daniel; PÉREZ-CORREA, Ricardo; BELANCIC, Andrea; AGOSIN, Eduardo. Rigorous Dynamic Modeling and Simulation of Wine Distillations. **Food Control**, v. 15, n. 7, p. 515-521, 2004.
- PUNENTES, Cristian; JOULIA, Xavier; PARICAUD, Patrice; GIAMPAOLI, Pierre; ATHÈS, Violaine; ESTEBAN-DECLoux, Martine. Vapor-Liquid Equilibrium of Ethyl Lactate Highly Diluted in Ethanol-Water Mixtures at 101.3 kPa. Experimental Measurements and Thermodynamic Modeling Using Semiempirical Models. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 63, n. 2, p. 365-379, 2018a.
- PUNENTES, Cristian; JOULIA, Xavier; ATHÈS, Violaine; ESTEBAN-DECLoux, Martine. Review and Thermodynamic Modeling with NRTL Model of Vapor-Liquid Equilibria (VLE) of Aroma Compounds Highly Diluted in Ethanol-Water Mixtures at 101.3 kPa. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 57, n. 10, p. 3443-3470, 2018b.
- SACHER, Johannes; GARCÍA-LLOBODANIN, Laura; LÓPEZ, Francisco; SEGURA, Hugo; PÉREZ-CORREA, José Ricardo. Dynamic Modeling and Simulation of an Alembic Pear Wine Distillation. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 447-456, 2013.
- SCANAVINI, Helena F.A.; CERIANI, Roberta; CASSINI, Carlos E.B.; SOUZA, Elson L.R.; MAUGERI FILHO, Francisco; MEIRELLES, Antonio J.A. CACHAÇA PRODUCTION IN A LAB-SCALE ALEMBIC: MODELING AND COMPUTATIONAL SIMULATION. **Journal of Food Process Engineering**, v. 33, p. 226-252, February 2010.
- SUSUKI, Ken; IPANAQUE, Andres; VINCES, Leonardo. A Design of a Distillation Column to Produce an Alcoholic Beverage Based on Blueberries. **Congreso Internacional de Innovación y Tendencias En Ingeniería (CONITI)**, p. 1-6, IEEE, 2023.
- TENORIO, Lhucas M. S.; BATISTA, Fabio R. M.; MONTEIRO, Simone. Non-Conventional Cuts in Batch Distillation to Brazilian Spirits (Cachaça) Production: A Computational Simulation Approach. **Processes**, v. 11, n. 1, art. 74, 2022.
- URETA, M. Micaela; SALVADORI, Viviana O. A Review of Commercial Process Simulators Applied to Food Processing. **Journal of Food Process Engineering**, v. 46, n. 2, art. e14225, 2023.
- VALDERRAMA, José O.; TOSELLI, Luis A.; FAÚNDEZ, Claudio A. Advances on Modeling and Simulation of Alcoholic Distillation. Part 2: Process Simulation. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 4, p. 832-840, 2012.
- ZANGHELINI, Gabriela; ATHÈS, Violaine; ESTEBAN-DECLoux, Martine; GIAMPAOLI, Pierre; VITU, Stéphane. Isobaric Vapour-Liquid Equilibrium of α -Terpineol Highly Diluted in Hydroalcoholic Mixtures at 101.3 kPa: Experimental Measurements and Thermodynamic Modeling. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, v. 171, August 2022.
- ZANGHELINI, Gabriela; ATHÈS, Violaine; VITU, Stéphane; GIAMPAOLI, Pierre; ESTEBAN-DECLoux, Martine. Charentaise Distillation of Cognac. Part II: Process Simulation and Impact of Recycling Practices on the Aroma Composition of Freshly Distilled Spirit. **Food Research International**, v. 178, February 2024.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Área: Alimentos

ELABORAÇÃO E AVALIAÇÃO SENSORIAL DE BEBIDAS À BASE DE EXTRATOS VEGETAIS

Cinthia da Costa Berwanger*, Dannyele Fernanda Souza Oliveira, Emily da Luz Monteiro, Luciane Maria Colla

Laboratório de Bioquímica e Processos, Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos e Curso de Engenharia Química, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS
**E-mail: 138340@upf.br*

RESUMO – As bebidas vegetais são alternativas nutricionais e funcionais ao leite de origem animal, sendo isentas de lactose e oferecendo uma variedade de opções para adeptos do veganismo ou indivíduos com preocupações de saúde. Com o aumento da popularidade desses produtos, sua participação no mercado global tem experimentado um crescimento significativo. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver quatro bebidas contendo extratos vegetais e combinando os seguintes ingredientes: amendoim com cacau 50%, arroz com café solúvel, aveia com essência de baunilha, e castanha de caju natural. Essas bebidas foram submetidas à avaliação sensorial junto ao público no salão do prédio H1 da Universidade de Passo Fundo. A metodologia utilizada para produção dos extratos envolveu a imersão em água fervente por 2 horas, seguida de trituração com água em liquidificador industrial por 15 minutos na proporção de 1:3. Após as etapas de filtração e saborização, as bebidas foram envasadas em garrafas PET e armazenadas sob refrigeração até sua utilização. Os atributos avaliados não revelaram diferenças significativas em geral, exceto para o atributo aparência. Isso contribuiu para influenciar a decisão de escolha dos consumidores. O índice de aceitabilidade das bebidas variou de 84,47% a 77,54 %, e mesmo no percentual mínimo, indica um potencial promissor em termos de qualidade e aceitação dos extratos vegetais. Assim, essas bebidas podem ser um potencial substituto do leite de vaca.

Palavras-chave: Plant-based; Leite vegetal; Bebidas funcionais, Teste de aceitabilidade.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, enfrentamos um consumo elevado de produtos altamente processados, impondo desafios que demandam mudanças no processamento e composição dos alimentos. Nesse contexto, é crucial aprimorar a qualidade nutricional dos produtos, incorporando ingredientes mais saudáveis para atender às demandas dos consumidores (Fanzo *et al.*, 2023).

Os alimentos funcionais destacam-se como opções saudáveis e promissoras. Dentro dessa categoria, as bebidas vegetais surgem como alternativas ao leite bovino, sendo produtos não lácteos originados de fontes vegetais, como soja, aveia, coco, arroz, amêndoas e nozes. Este segmento ganhou notável popularidade, com as bebidas à base de soja dominando, embora haja uma expectativa de crescimento para aquelas provenientes de outras fontes vegetais (Pritulska *et al.*, 2021). A inclusão de diversas fontes, incluindo subprodutos, na produção dessas bebidas, não apenas proporciona uma nova aplicação a esses resíduos, mas também enriquece seu valor nutricional, contribuindo para a redução dos resíduos gerados na cadeia produtiva (Padula; Coutinho; Battaglini, 2020).

As bebidas vegetais se destacam por suas propriedades benéficas à saúde, combinando ingredientes valiosos com bom sabor e baixo valor calórico (Aydar; Tutuncu; Ozcelik, 2020). A composição vegetal e o tipo de processamento desempenham um papel importante na produção, influenciando as propriedades nutricionais e os componentes bioativos do produto final (Rincon; Botelho; Alencar, 2020). Os cereais, reconhecidos por conterem uma variedade de nutrientes essenciais (Patra *et al.*, 2023), e as oleaginosas, como castanha de caju, amêndoas e outras, destacam-se não apenas por promoverem a saúde, mas também por seu elevado valor nutricional (Kokwar; Arya; Bhat, 2022; Vilas Boas *et al.*, 2023).

A aceitação de um novo alimento é influenciada por diversos fatores, incluindo o sabor agradável ou familiar, a informação nutricional, os benefícios para a saúde e os aspectos ambientais do produto, e cada um desses critérios desempenha um papel importante na determinação do interesse do público em experimentar novos alimentos (Aydar; Tutuncu; Ozcelik, 2020).

O objetivo deste estudo foi formular quatro tipos diferentes de bebidas vegetais a partir de cereais e oleaginosas e avaliar a aceitabilidade dessas bebidas pelos consumidores.



2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Elaboração de extratos vegetais

Quatro formulações de bebidas à base de extratos vegetais foram preparadas no Laboratório de Análise Sensorial, no prédio L1 da Universidade de Passo Fundo – RS, utilizando matérias-primas adquiridas no mercado local da cidade.

O método de produção dessas bebidas varia de acordo a matéria-prima inicial e o propósito do produto final, mas algumas etapas comuns são geralmente empregadas.

A etapa de imersão em água é realizada para promover o inchaço e o amolecimento de cereais e oleaginosas, influenciando o rendimento do extrato. A moagem úmida, que envolve a adição de água durante a moagem da matéria-prima, impacta a concentração final das bebidas. A filtragem é crucial para separar os resíduos da bebida (Aydar; Tutuncu; Ozcelik, 2020; Padma *et al.*, 2018).

Todas as matérias-primas foram submetidas a imersão em água fervente por 2 horas na proporção de 1:2 (p/v). Posteriormente, as matérias-primas foram escorridas e a água foi descartada. Em seguida, elas foram trituradas com água em um liquidificador industrial (modelo Skymen LS-03MB-N) por 15 minutos, na proporção de 1:3 (p/v). Após a etapa de saborização, as bebidas foram envasadas em garrafas PET e armazenadas sob refrigeração até o uso.

A bebida de amendoim (F1) foi elaborada a partir de grãos inteiros, que foram triturados com água, filtrados e, em seguida, submetidos à fervura por 10 minutos. Após o resfriamento, adicionou-se cacau 50% na proporção de 200 g/L. A formulação F2 foi preparada utilizando arroz branco polido, com trituração e filtração dos grãos. Posteriormente, foi saborizada com café solúvel em pó (8 g/L) e adoçada com açúcar (80 g/L). No caso da bebida de aveia (F3), após a trituração e filtração, o extrato foi saborizado com essência de baunilha (20 mL/L) e adoçado com açúcar (50 g/L). Por fim, o extrato sem saborização (F4) foi preparado utilizando castanha de caju natural como matéria-prima, com o objetivo de contrastar seu sabor original com as outras formulações.

2.2 Análise sensorial – Teste de Aceitabilidade

O total de 146 julgadores escolherem uma entre as 4 bebidas à base de extratos vegetais formuladas. Avaliaram os atributos aparência, cor, aroma, sabor e aceitação global da formulação escolhida, utilizando uma escala hedônica de nove pontos, conforme a Figura 1. O teste foi conduzido no salão do prédio H1 de agronomia da Universidade de Passo Fundo – RS. As amostras foram servidas refrigeradas, em copos descartáveis de 50 mL.

Figura 1 - Ficha de avaliação do teste de aceitabilidade

FICHA DE AVALIAÇÃO SENSORIAL					
NOME: _____					
IDADE: _____ anos			DATA: / /		
Por favor, avalie a amostra utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gosta ou desgosta da bebida. Indique o número da escala que melhor reflita o seu julgamento.					
1 - Desgostei extremamente		6 - Gostei ligeiramente			
2 - Desgostei muito		7 - Gostei moderadamente			
3 - Desgostei moderadamente		8 - Gostei muito			
4 - Desgostei ligeiramente		9 - Gostei extremamente			
5 - Indiferente					
AMOSTRA	APARÊNCIA	COR	AROMA	SABOR	IMPRESSÃO GLOBAL

Fonte: elaborado pelos Autores (2024)

2.3 Análise estatística

Os resultados do teste de aceitabilidade foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey para verificação das diferenças entre as médias a um nível de significância de 5 % ($p < 0,05$), utilizando o software *Statistica 7* (Statsoft, USA).



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise sensorial – Teste de Aceitabilidade

Na Tabela 1, são apresentados os dados obtidos para os atributos sensoriais de aparência, cor, aroma, sabor e impressão global das quatro formulações de bebidas à base de extratos vegetais.

Tabela 1 - Médias de aceitabilidade das formulações

Formulação	Atributos				
	Aparência	Cor	Aroma	Sabor	Impressão Global
F1 Amendoim + Cacau	7,97 ± 1,21 ^b	7,90 ± 1,22 ^a	8,11 ± 1,27 ^c	7,31 ± 1,72 ^a	7,53 ± 1,40 ^a
F2 Arroz + Café	7,14 ± 1,91 ^a	7,19 ± 1,88 ^a	7,58 ± 1,98 ^{bc}	6,67 ± 2,03 ^a	7,31 ± 1,55 ^a
F3 Aveia + Baunilha	7,64 ± 1,45 ^{ab}	7,44 ± 1,28 ^a	6,61 ± 1,79 ^a	7,00 ± 2,05 ^a	7,25 ± 1,63 ^a
F4 Castanha de Caju	7,57 ± 1,44 ^{ab}	7,63 ± 1,68 ^a	6,74 ± 1,90 ^{ab}	6,61 ± 1,99 ^a	6,98 ± 1,83 ^a

Nota: Diferentes letras nas colunas indicam diferença estatística significativa entre as amostras pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: elaborado pelos Autores (2024)

Analisando as médias para cada atributo sensorial, observa-se que, para os atributos cor, sabor e impressão global, as quatro formulações não diferiram entre si. No entanto, para o atributo aroma, todas as quatro formulações apresentaram diferença estatística significativa entre elas.

A preferência na escolha da bebida de amendoim pode estar associada ao seu aroma mais adocicado e agradável, tornando-a atrativa e desejável para os consumidores (Yao *et al.*, 2022). A bebida de arroz, sem adição de sabores, apresenta atributos de aroma menos doce e mais amiláceo, com notas de fermentado, o que pode levar à sua rejeição devido a essas características. Diante dos resultados, a adição de café pode ter contribuído para enriquecer seu aroma (Pramudya *et al.*, 2019).

Por sua vez, o aroma da bebida de aveia, quando consumida sem adição de ingredientes, é caracterizado por notas de cereais, esse aroma pode não favorecer o consumo, sendo classificado em último lugar no presente estudo, corroborando com os resultados de Yao *et al.* (2022). A amêndoa do caju naturalmente contém um elevado teor de gordura, atingindo 48% de óleo. Essas características da castanha podem não ser desejadas em comparação com outras bebidas. Notavelmente Tamuno; Monday (2019), alcançaram resultados mais favoráveis em sua pesquisa ao adicionar açúcar ao processo.

Em relação ao atributo aparência, a formulação 1 e a formulação 2 obtiveram diferença significativa entre si, diferindo das formulações 3 e 4, que, por sua vez, são iguais entre si. A aparência da bebida de amendoim pode ter sido influenciada pelos teores de cacau, resultando em uma coloração mais escura que pode torná-la uma opção visualmente mais atraente (Scholz-Ahrens; Ahrens; Barth, 2020). A bebida de arroz com café em termos de aparência sugeriu que a adição de café pode ter contribuído positivamente em sua apresentação. Além disso, a inclusão de adoçantes ou sabores intensificados pode influenciar a percepção de vários atributos sensoriais, incluindo a aparência, ressaltando a importância desses elementos na formulação de bebidas à base de plantas (Pramudya *et al.*, 2019).

No que diz respeito às bebidas à base de aveia, a coloração bege não é considerada satisfatória. Esse resultado pode ser atribuído à diversidade de preferências individuais, o que difere do presente estudo. Isso ressalta a influência das preferências pessoais na avaliação sensorial (McCarron *et al.*, 2024).

Em relação às frequências dos valores hedônicos atribuídos, apresentados na Figura 2, nota-se uma predominância de pontuações variando de “gostei ligeiramente” (6) a “gostei muito” (8), comum a todas as formulações em todos os atributos avaliados.



12° SIAL

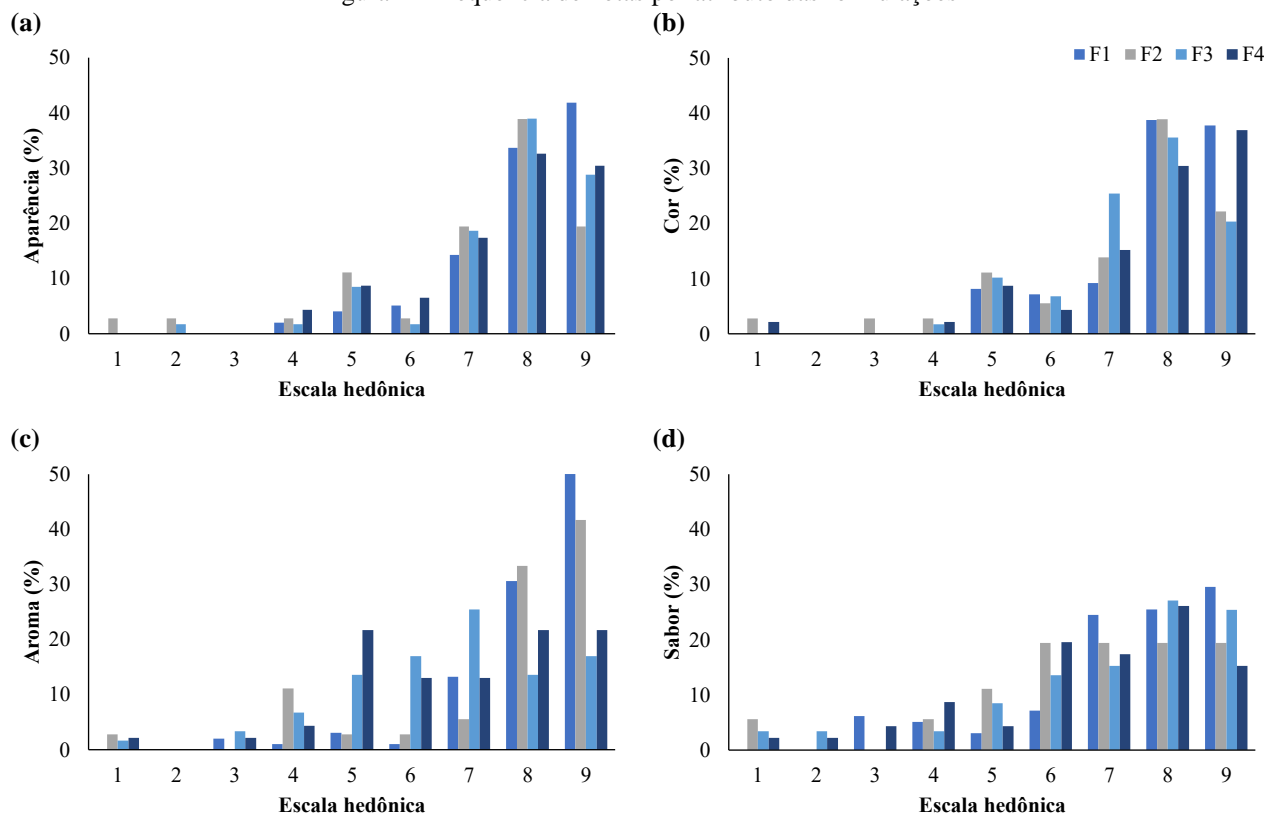
Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Figura 2 - Frequência de notas por atributo das formulações



Fonte: elaborado pelos Autores (2024)

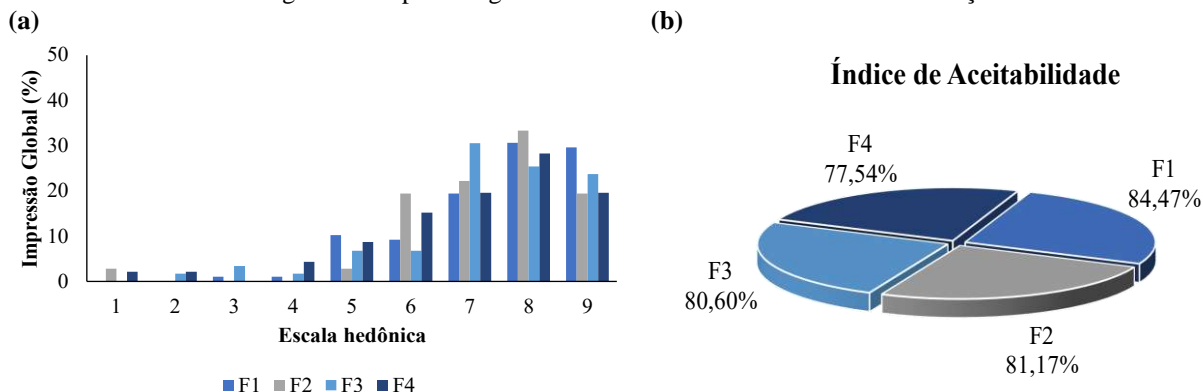
Os resultados deste artigo revelaram uma consideração relativamente baixa em relação à aparência das bebidas de castanha de caju. Estudos similares já foram conduzidos com resultados mais favoráveis. No entanto, é importante destacar que a avaliação da aparência é apenas uma das características a serem consideradas, e a impressão global (Figura 3a) do consumidor é um resultado mais relevante (Tamuno; Monday, 2019).

Com relação ao índice de aceitabilidade (Figura 3b), todas as quatro formulações alcançaram um índice superior a 70%, proporcionando uma promessa potencial em termos de qualidade e aceitação dos extratos vegetais. A bebida à base de extrato vegetal de amendoim e cacau 50% (F1) se destacou em relação às demais, com um índice de aceitabilidade de 84,47%. Em contrapartida, a bebida à base do extrato vegetal de castanha de caju (F4) alcançou um índice de aceitabilidade de 77,54%, sendo considerada menos aceita pelos julgadores. Isso pode ser justificado pelo fato de que essa formulação não possuía a adição de ingredientes complementares, como o cacau, café ou baunilha, tornando a bebida menos atrativa e com uma menor preferência em comparação com as demais.

Além disso, um fator de importância significativa para a aceitabilidade de bebidas vegetais à base de cereais e oleaginosas está vinculado à presença de sabores indesejados, como o sabor de madeira e de papelão ou o cheiro de feno. Tais características sensoriais têm o potencial de desagradar os consumidores, tornando-se um obstáculo para as bebidas que não são adicionadas de saborizantes ou aromatizantes (Jaeger *et al.*, 2024; Pramudya *et al.*, 2019; Vaikma *et al.*, 2021). Sendo assim, a incorporação de ingredientes como adoçantes e aromatizantes nas formulações de bebidas tem sido uma das estratégias para aumentar a aceitabilidade global desses produtos. Além de realçar o sabor, essa prática busca enriquecer a experiência sensorial, tornando as bebidas mais atrativas e palatáveis para os consumidores (Tamuno; Monday, 2019)



Figura 3 - Impressão global e índice de aceitabilidade das formulações



Fonte: elaborado pelos Autores (2024)

A formulação F1, correspondente à bebida de amendoim acrescida de cacau, obteve resultados superior nos atributos de cor, sabor e aroma. É possível que as características específicas desta bebida, especialmente as que se referem ao aroma, tenham exercido uma influência significativa na aceitabilidade (Yao *et al.*, 2022). A adição de cacau em pó para saborização tem sido utilizada para aprimorar o gosto da bebida, contribuindo significativamente para a sua aceitação, conforme evidenciado por resultados em análises sensoriais (Tavares *et al.*, 2018).

A seleção de bebidas vegetais está frequentemente associada a vários fatores, como o preço e características intrínsecas da bebida, incluindo sua composição, a qualidade e sabor. A preferência do consumidor tende a ser influenciada principalmente pelo sabor do produto final (Pritulska *et al.*, 2021).

4 CONCLUSÃO

As bebidas vegetais têm se destacado como uma alternativa viável aos produtos lácteos tradicionais, proporcionando uma variedade de opções que atendem às necessidades e preferências de diferentes públicos consumidores. Os resultados das formulações, especialmente aquelas adicionadas de saborizantes, apresentaram resultados positivos em termos gerais, indicando uma boa aceitabilidade por parte dos julgadores. O destaque para a preferência por bebidas com adição de ingredientes de sabor e aroma sugere desafios na aceitação de opções mais puras, indicando a necessidade de avanços tecnológicos no beneficiamento dessas bebidas. Futuros estudos devem se concentrar na elaboração de formulações saudáveis e atraentes, visando aprimorar ainda mais a aceitação desses produtos inovadores.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Laboratórios de Bioquímica e Processos e de Análise Sensorial da Universidade de Passo Fundo e aos julgadores que participaram deste estudo. Além disso, os autores estendem o agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

6 REFERÊNCIAS

- AYDAR, Elif Feyza; TUTUNCU, Sena; OZCELIK, Beraat. Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. **Journal of Functional Foods**, Istanbul, v. 70, n. 4, p. 103975, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1756464620301997>.
- FANZO, Jessica *et al.* Challenges and opportunities for increasing the effectiveness of food reformulation and fortification to improve dietary and nutrition outcomes. **Food Policy**, Baltimore, v. 119, n. 9, p. 102515, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102515>.
- JAEGER, Sara R. *et al.* Sensory characteristics of plant-based milk alternatives: Product characterisation by consumers and drivers of liking. **Food Research International**, Aarhus, v. 180, n. 11, p. 114093, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114093>.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- KOKWAR, Mona Arun; ARYA, Shalini Subhash; BHAT, Mohmad Sayeed. A cereal-based nondairy probiotic functional beverage: An insight into the improvement in quality characteristics, sensory profile, and shelf-life. **Journal of Food Processing and Preservation**, Mumbai, v. 46, n. 1, p. 1–12, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.16147>.
- MCCARRON, Roisin *et al.* Oat-based milk alternatives: the influence of physical and chemical properties on the sensory profile. **Frontiers in Nutrition**, Reading, v. 11, n. February, p. 1–18, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2024.1345371/full>.
- PADMA, M. *et al.* Physico-chemical analysis of milk prepared from broken rice. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Sangareddy, v. 7, n. 2, p. 426–428, 2018. Disponível em: <https://www.ijcmas.com/abstractview.php?ID=6431&vol=7-2-2018&SNO=54>.
- PADULA, Carmen Cecília Gomes Borges; COUTINHO, Ana Paula Cerino; BATTAGLINI, Neusa Maria Pavão. Elaboração e caracterização físico-química de bebidas saborizadas a base de quirera de arroz e soja. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 6, n. 6, p. 39825–39833, 2020.
- PATRA, Manisha *et al.* A comprehensive review on functional beverages from cereal grains-characterization of nutraceutical potential, processing technologies and product types. **Heliyon**, [s. l.], v. 9, n. 6, p. e16804, 2023.
- PRAMUDYA, Ragita C. *et al.* Variations in U.S. consumers' acceptability of commercially-available rice-based milk alternatives with respect to sensory attributes and food neophobia traits. **Journal of Sensory Studies**, Fayetteville, v. 34, n. 3, p. 12496, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/joss.12496>.
- PRITULSKA, Nataliia *et al.* Consumer preferences on the market of plant-based milk analogues. **Slovak Journal of Food Sciences**, Kyiv, v. 15, n. 2, p. 131–142, 2021. Disponível em: <https://potravinarstvo.com/journal1/index.php/potravinarstvo/article/view/1485>.
- RINCON, Luana; BOTELHO, Raquel Braz Assunção; ALENCAR, Ernandes Rodrigues de. Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut. **LWT - Food Science and Technology**, Brasília, v. 128, n. 4, p. 109479, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643820304680>.
- SCHOLZ-AHRENS, Katharina E.; AHRENS, Frank; BARTH, Christian A. Nutritional and health attributes of milk and milk imitations. **European Journal of Nutrition**, Kiel, v. 59, n. 1, p. 19–34, 2020. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00394-019-01936-3>.
- TAMUNO, Emelike Nkechi Juliet; MONDAY, Akusu Ohwesiri. Physicochemical, mineral and sensory characteristics of cashew nut milk. **International Journal of Food Science and Biotechnology**, Rivers State, v. 4, n. 1, p. 1–6, 2019. Disponível em: <http://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=614&doi=10.11648/j.ijfsb.20190401.11>.
- TAVARES, Pedro Paulo Lordelo Guimarães *et al.* Production of quinoa (*Chenopodium quinoa*) kefir fermented beverage flavored with cocoa (*Theobroma cacao*) powder. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Salvador, v. 13, n. 4, p. 1–7, 2018.
- VAIKMA, Helen *et al.* Market mapping of plant-based milk alternatives by using sensory (RATA) and GC analysis. **Future Foods**, Tallinn, v. 4, n. 5, p. 100049, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100049>.
- VILAS BOAS, Maria Paula Pimenta *et al.* Vegetable drinks made with Brazilian oilseeds: a systematic review. **Research, Society and Development**, Lavras, v. 12, n. 2, p. e5612239890, 2023. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/39890>.
- YAO, Yueying *et al.* Sensory, physicochemical and rheological properties of plant-based milk alternatives made from soybean, peanut, adlay, adzuki bean, oat and buckwheat. **International Journal of Food Science & Technology**, Zhuhai, v. 57, n. 8, p. 4868–4878, 2022. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ijfs.15814>.



Área: Alimentos

PROCESSO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANA DE ULTRAFILTRAÇÃO EM KOMBUCHAS

Júlia Daneluz*, Guilherme Ferreira da Silva, Jocelei Duarte, Tayse Circe Turossi, Venina dos Santos, Camila Baldasso

Laboratório de Membranas e Materiais, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS

**E-mail: jdaneluz@ucs.br*

RESUMO – Kombucha é uma bebida preparada a partir da fermentação de açúcares adicionados em infusões de chás. Os resíduos da fermentação podem não ser visualmente agradáveis para alguns consumidores. Os microrganismos residuais da fermentação continuam em atividade constante e resultam em instabilidade microbiológica. A maioria das kombuchas comercializadas não utiliza técnicas para melhorar essas propriedades. Uma nova alternativa para minimizar essas características é a utilização de processos de separação por membranas. Este processo ainda não foi utilizado para aprimorar kombuchas. Este estudo teve como objetivo avaliar a ultrafiltração em kombuchas, a fim de reduzir a turbidez, a concentração de sólidos suspensos e a quantidade de microrganismos residuais da fermentação. As amostras foram submetidas à análise dos parâmetros de turbidez, sólidos suspensos e dissolvidos, contagem microbiana, pH, acidez volátil, teor alcoólico e avaliação organoléptica. A ultrafiltração reduziu a turbidez (25,05–99,84%), os sólidos suspensos (56,67–79,05%) e os microrganismos (8,99%), devido a esses componentes serem maiores que os poros da membrana e terem ficado parcialmente retidos nos processos. O processo não afetou os demais parâmetros avaliados. As kombuchas ultrafiltradas ficaram visualmente mais claras. Isso comprovou que a técnica foi eficiente para o objetivo proposto.

Palavras-chave: bebidas funcionais, fermentação, membrana, filtração

1 INTRODUÇÃO

A legislação brasileira atual define kombucha como uma bebida fermentada obtida pela fermentação anaeróbica de açúcares adicionados em infusões de chá de *Camellia sinensis* por uma cultura simbiótica de bactérias e leveduras (SCOBY) (Brasil, Instrução Normativa nº 41, de 17 de setembro de 2019). A kombucha é uma bebida probiótica saudável, cada vez mais consumida no mundo segundo a Kombucha Brewers International (2022). É uma bebida efervescente e refrescante e possui sabor ácido, carbonatado e doce.

Para a produção do kombuchá primeiramente é preparada uma infusão de chá em água fervente. O próximo passo é adicionar açúcar para a fermentação, geralmente sacarose. Em seguida é adicionado o SCOBY, composto pelos microrganismos. A mistura de ingredientes preparada é armazenada em temperatura ambiente e em local protegido da luz para que ocorra a fermentação. O período de fermentação pode estender-se de 7 a 14 dias. Sob condições aeróbicas, a sacarose, a fonte de carbono, é hidrolisada em glicose e frutose pela enzima invertase derivada das leveduras. Em condições anaeróbicas, as leveduras produzem etanol a partir de glicose e frutose, gerando também dióxido de carbono (Watawana et al., 2015). As bactérias dominantes no meio de cultura são as bactérias do ácido acético (AAB), que proporcionam a acidificação da bebida ao metabolizar o etanol em ácido acético. A segunda etapa do processo é realizada para saborizar e aumentar a carbonatação da kombucha. Uma nova fonte de açúcar é adicionada à bebida e a mistura é guardada por alguns dias, de preferência já engarrafada. Diferentes tipos de frutas ou ervas podem ser usados como fonte de açúcar. Esta etapa do processo é considerada uma segunda fermentação, pois nesta etapa as bactérias consomem o açúcar, produzindo dióxido de carbono. Após a carbonatação, a kombucha deve ser refrigerada para desacelerar o processo fermentativo (Ansari et al., 2017).

Muitas alterações bioquímicas ocorrem durante a fermentação, o que contribui para a composição do produto. Essas alterações são capazes de melhorar as propriedades sensoriais, nutricionais e medicinais do produto (Ansari et al., 2017). A kombucha possui atividade antimicrobiana, antioxidante, desintoxicante, antienvelhecimento e terapêutica. O consumo da bebida fortalece o sistema imunológico, equilibra o metabolismo e facilita a digestão e absorção de nutrientes (Leal et al., 2018).

Após a fermentação, geralmente há um excesso de microrganismos e sólidos suspensos retidos na kombucha. Isso resulta em uma bebida de aspecto turvo, o que para alguns consumidores não agrada visualmente. Além disso, uma grande quantidade de microrganismos acarreta em uma maior instabilidade microbiológica, o que reduz o prazo de



validade do produto armazenado. Como uma alternativa para desenvolver um produto mais estável e para que os consumidores possam desfrutar da bebida sem se preocupar com a aparente turbidez e sólidos presentes, surge o potencial de aplicação de técnicas de separação. Uma kombucha com menos microrganismos presentes é vantajosa em relação à kombucha original por reduzir ou desacelerar o processo de fermentação, tornando a bebida microbiologicamente mais segura e permitindo seu armazenamento por mais tempo.

Uma técnica de separação de componentes que tem sido amplamente utilizada na indústria de bebidas é o processo de separação por membranas (PSM). É uma operação unitária que visa separar misturas, purificar soluções, fracionar ou concentrar componentes de uma solução. A membrana funciona como um filtro, formando uma barreira permeável ou semipermeável que restringe a passagem de alguns componentes. Componentes maiores que o tamanho dos poros da membrana são retidos e componentes menores que o tamanho dos poros atravessam a membrana. Neste processo, a solução de alimentação é separada em permeado (compostos que atravessam a membrana) e concentrado (compostos retidos). Os processos de separação por membranas podem ser classificados com base no tamanho dos poros da membrana e nas partículas retidas. As membranas de ultrafiltração (UF) possuem poros na faixa de 10^{-9} a 10^{-7} m (1 a 100 nm) de diâmetro e podem reter proteínas, vírus e macromoléculas dissolvidas de alta massa molar, além de microrganismos e partículas suspensas e coloidais (Wen-Qiong et al., 2019).

Devido à recente popularidade da kombucha, ainda existem poucos estudos envolvendo esse tema. A aplicação de processos de separação por membranas na filtração de kombuchas é um assunto pouco discutido e sua aplicação industrial não é conhecida. Este trabalho teve como objetivo avaliar o processo de ultrafiltração por membranas em kombuchas como alternativa para reduzir a concentração de sólidos suspensos, a turbidez e a quantidade de microrganismos residuais da fermentação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Kombuchas

As kombuchas utilizadas nos testes foram da marca Oba Kombuchas, microempresa de Flores da Cunha, Brasil. Kombuchas de duas etapas diferentes do processo foram testadas. A primeira amostra consistiu na kombucha após a primeira fermentação, coletada no meio do processo e armazenada em recipientes (K_1). A segunda amostra consistiu na kombucha finalizada após segunda fermentação, engarrafada e saborizada com frutas vermelhas (K_2).

2.1 Membrana

Para a realização dos testes foi utilizada uma membrana de ultrafiltração fornecida pelo Laboratório de Membranas e Materiais (LAMEM) da Universidade de Caxias do Sul (UCS), Brasil. A membrana era da marca comercial Pam Membranas Seletivas LTDA., confeccionada em polietersulfona (PES), de geometria cilíndrica de fibra oca. A porosidade da membrana era de 10^{-9} a 10^{-7} m (1 a 100 nm). A área de filtração da membrana era de 0,059 m², a taxa de rejeição era de 97%, a permeabilidade hidráulica era de 11,95 L.h⁻¹. m⁻².bar⁻¹ e a pressão máxima de operação era de 2 bar.

2.2 Processo de separação por membrana

Devido aos sólidos presentes no kombucha, as amostras foram previamente filtradas em sistema de filtração a vácuo e papel filtro padrão. O objetivo da etapa dessa pré-filtração foi remover os maiores sólidos para evitar incrustações e danos à membrana.

Para operar o sistema de ultrafiltração, foi utilizada uma bomba de diafragma para o bombeamento do tanque de alimentação para a unidade de filtração. A pressão aplicada ao sistema foi de 1 bar e a mesma foi controlada por meio de um manômetro. A amostra (alimentação) estava em um béquer, e devido à pressão exercida permeou através da membrana. A membrana reteve determinados componentes (concentrado) e permitiu a passagem de outros (permeado). A corrente de concentrado retornava ao béquer, enquanto a corrente de permeado era recolhida em outro recipiente.

2.3 Caracterização das amostras de kombucha

As amostras de kombucha K_1 e K_2 antes e depois da ultrafiltração foram analisadas em relação a alguns parâmetros analíticos. Para cada análise foram realizadas 2 repetições e o resultado considerado foi a média das duas repetições.



A turbidez foi analisada por nefelometria, por medição direta em turbidímetro (Digimed, modelo DM-C2, Brasil).

Os sólidos suspensos e os sólidos dissolvidos foram determinados por gravimetria, com metodologias baseadas na 23ª edição do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (métodos 2540-C e 2540-D, respectivamente).

A contagem de microrganismos foi determinada por plaqueamento em superfície, com metodologia baseada na ABNT NBR ISO 4833-2.

O pH foi determinado por potenciometria, por medição direta em pHmetro (Tecnocon, modelo mPA-210, Brasil). Este parâmetro foi analisado por ser um parâmetro exigido pela legislação brasileira.

A acidez volátil foi determinada por titulometria, com metodologia baseada no Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis (método OIV-MA-AS313-02). Este parâmetro foi analisado por ser um parâmetro exigido pela legislação brasileira.

O teor alcoólico foi determinado por cromatografia líquida. O equipamento foi um cromatógrafo Shimadzu (Japão), modelo LC-20AD, com vazão de amostra de $0,5 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, na temperatura de 60°C . A coluna foi uma coluna Aminex HPX 87H $7,8 \times 300 \text{ mm}$, da marca Biorad (EUA). O detector foi um RID (Índice de Refração Diferencial). A fase móvel foi ácido sulfúrico $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. Este parâmetro foi analisado por ser um parâmetro exigido pela legislação brasileira.

As características organolépticas foram avaliadas por análise visual, observando a aparência das bebidas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 compara os resultados obtidos das análises das amostras de kombucha K_1 e K_2 antes do processo de filtração por membrana (alimentação) e após a ultrafiltração (permeado). A tabela também mostra o aumento ou redução percentual para cada parâmetro.

Tabela 1. Resultados dos parâmetros avaliados para as amostras de kombucha K_1 e K_2 antes (alimentação) e após (permeado) a ultrafiltração.

Parâmetro	K_1 Alimentação	K_1 Permeado	K_2 Alimentação	K_2 Permeado
Turbidez (NTU)	61,00	0,10 (- 99,84%)	105,00	78,70 (- 25,05%)
Sólidos suspensos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	210	44 (- 79,05%)	300	130 (- 56,67%)
Sólidos dissolvidos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	31234	30308 (- 2,96%)	13348	12920 (- 3,21%)
Microrganismos aeróbios mesófilos ($\text{UFC} \cdot \text{mL}^{-1}$)	-	-	$8,9 \cdot 10^2$	$8,1 \cdot 10^2$ (- 8,99%)
pH	3,29	3,38 (+ 2,74%)	3,03	3,05 (+ 0,66%)
Acidez Volátil ($\text{mEq} \cdot \text{L}^{-1}$)	38,61	37,39 (- 3,16%)	67,15	67,42 (+ 0,40%)
Gradação alcoólica (% v/v)	0,680	0,627 (- 7,65%)	1,506	1,354 (- 10,10%)

A literatura sobre filtração de kombuchas é limitada, tornando escassa a base teórica para discussão dos resultados. Foram utilizadas referências de estudos principalmente sobre cervejas e vinhos, por serem bebidas fermentadas com bioquímica semelhante à da kombucha, além de outras bebidas. Além disso, a ultrafiltração foi pouco estudada em processos de clarificação de bebidas. A microfiltração (MF), outro processo de separação por membranas com poros maiores, foi utilizada também como referência para fins comparativos.

Para as kombuchas K_1 e K_2 , a UF resultou em redução de 99,84% e 25,05% da turbidez, respectivamente. A turbidez é causada principalmente por sólidos em suspensão, a maioria deles compostos sólidos e microrganismos que dificultam a passagem da luz. Nos poros com diâmetro entre 10^{-9} e 10^{-7} m (1 e 100 nm) da membrana de ultrafiltração, ficaram retidos parte dos compostos suspensos, colóides e microrganismos responsáveis pelo aspecto turvo, além de outras macromoléculas (Wen-Qiong et al., 2019). Com a utilização de membrana de UF de alumina, Pinto e colaboradores (2008) obtiveram redução de 48,6 % na turbidez de vinhos. Sui e colaboradores (2022) também observaram redução



significativa na turbidez de vinhos após passarem por processos de ultrafiltração, comprovando a eficácia da UF em remover os sólidos em suspensão e colóides da bebida. Em estudos anteriores, testes com membrana de MF de náilon para redução da turbidez de cervejas resultaram na redução de 95,6% a 99,6% na turbidez (Lemma et al., 2015). Omelchenko e colaboradores (2021) realizaram testes de MF em cervejas e observaram uma redução de 17,24 % na turbidez. Urkiaga e colaboradores (2002) avaliaram a MF de vinhos utilizando membrana de polietersulfona e obtiveram resultados de redução de 96,7% na turbidez. Rosária e colaboradores (2022) realizaram um estudo de MF de vinhos e observaram redução nos valores de turbidez para todos os vinhos estudados, variando entre 63,6% e 87,6% em relação ao valor inicial.

Para as kombuchas K_1 e K_2 , a UF resultou em redução de 79,05% e 56,67% de sólidos suspensos, respectivamente. Os resultados são consistentes com os resultados de turbidez obtidos para as amostras, pois os sólidos em suspensão são os principais compostos responsáveis pelo aspecto turvo de uma solução. Uma redução na concentração de sólidos em suspensão gera, portanto, uma redução no valor de turbidez. Para as kombuchas K_1 e K_2 houve diferença de 2,96% e 3,21%, respectivamente, no resultado de sólidos dissolvidos antes e após a UF. Porém, essa diferença é muito pequena e não está relacionada ao processo de filtração. O resultado garante a conservação de alguns componentes importantes da bebida filtrada. Os sólidos suspensos possuem em média tamanho na ordem de 10^{-5} m (10 μ m) e os sólidos dissolvidos na ordem de 10^{-9} m (0,001 μ m) (Kim & Adhikari, 2020). Segundo Wen-Qiong e colaboradores (2019), a membrana de UF, com porosidade entre 10^{-9} e 10^{-7} m, além de reter a maioria dos sólidos suspensos pode reter parte dos sólidos dissolvidos. Testes com membrana de MF de náilon para uso em cervejas revelaram grande redução no teor de sólidos suspensos, enquanto os sólidos dissolvidos não apresentaram variações significativas antes e depois da MF (Lemma et al., 2015).

Foi observada redução de 8,99% na concentração de microrganismos aeróbios mesófilos na kombucha K_2 após a UF. A kombucha é composta por microrganismos que possuem diferentes tamanhos (Kim & Adhikari, 2020). Mesmo após a UF, uma certa quantidade de microrganismos permaneceu. Isso é importante para manter as características probióticas da kombucha, pois alguns microrganismos apresentam propriedades benéficas quando consumidos em quantidades adequadas (Watawana et al., 2015). Segundo Thurmer (2010), partículas como células de processos fermentativos já foram removidas por membranas de MF e UF. Turossi e colaboradores (2021) avaliaram microbiologicamente uma cerveja antes e depois de um processo de MF e observaram a redução de 94,10% dos microrganismos aeróbios mesófilos com a filtração. Membranas de MF de nylon foram utilizadas em testes para remover bactérias patogênicas e reduzir a concentração microbiana geral de bebidas e, conseqüentemente, aumentar a estabilidade do produto. Nestes testes, as células de levedura foram parcialmente retidas e as bactérias apresentaram concentração reduzida (Lemma et al., 2015).

Para as kombuchas K_1 e K_2 houve diferença de 2,74% e 0,66%, respectivamente, no pH antes e após a UF. Porém, essa diferença é muito pequena e não está relacionada ao processo de filtração. Os ácidos encontrados na kombucha, responsáveis pelo pH ácido, são menores que os poros da membrana, passando então poros com a corrente de permeado (Kim & Adhikari, 2020). Para ambas as kombuchas, o pH antes e depois da UF atendeu aos limites estabelecidos pela legislação brasileira, de 2,5 a 4,2 (Brasil, Instrução Normativa nº 41, de 17 de setembro de 2019). Sui e colaboradores (2022) avaliaram os valores de pH de vinhos antes e após um processo de UF e não observaram diferenças significativas entre os resultados. Lemma e colaboradores (2015) realizaram MF em cervejas e observaram que o pH das amostras não variou significativamente antes e depois do processo.

Para as kombuchas K_1 e K_2 houve diferença de 3,16% e 0,40%, respectivamente, na acidez volátil antes e após a UF. Porém, essa diferença é muito pequena e não está relacionada ao processo de filtração. Os ácidos voláteis encontrados na kombucha, sendo o ácido acético o principal, são menores que a porosidade da membrana de UF e passam pelos poros com o fluxo de permeado (Kim & Adhikari, 2020). Para ambas as kombuchas, o parâmetro antes e depois da microfiltração atendeu aos limites estabelecidos pela legislação brasileira, de 30 a 130 mEq·L⁻¹ (Brasil, Instrução Normativa nº 41, de 17 de setembro de 2019). Sui e colaboradores (2022) avaliaram os valores de acidez volátil de vinhos antes e após um processo de UF e não observaram diferenças significativas entre os resultados. Cristofoli (2016) realizou análise de acidez volátil em vinhos antes e depois de processos de MF. Os resultados apresentaram pouca variação, comprovando que os PSM não afetaram a concentração de acidez volátil nas amostras.

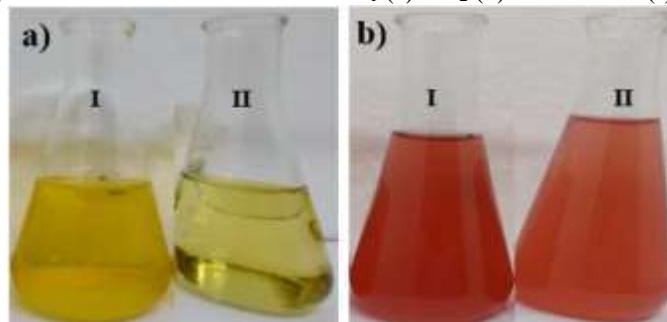
Para as kombuchas K_1 e K_2 houve diferença de 7,65% e 10,10%, respectivamente, no teor alcoólico antes e após a UF. Porém, essa diferença é muito pequena e não está relacionada ao processo de filtração. Considerando os parâmetros descritos pela legislação brasileira, ambas as kombuchas são classificadas como kombucha alcoólica, cuja graduação está entre 0,6% e 8% (Brasil, Instrução Normativa nº 41, de 17 de setembro de 2019). O tamanho médio das moléculas de etanol é da ordem de 10^{-10} m (0,0001 μ m), permeando facilmente as membranas de UF (Kim & Adhikari, 2020). Omelchenko e colaboradores (2021) testaram o teor alcoólico de cervejas antes e depois de uma MF. Os resultados não variaram significativamente e foi observada uma redução de 1,20% após a microfiltração. Sui e colaboradores (2022)



avaliaram o teor alcoólico de vinhos antes e após a realização de um processo de MF, e não observaram diferenças significativas entre os resultados obtidos.

A Figura 1 permite uma comparação visual entre as kombuchas antes da UF (I) e após a UF (II) para as kombuchas K₁ (a) e K₂ (b), respectivamente.

Figura 1. Fotografia das amostras de kombucha K₁ (a) e K₂ (b) antes da UF (I) e após a UF (II).



Visualmente, ambas as kombuchas antes da UF apresentavam coloração mais escura e turva. Após a UF houve uma diferença perceptível, com uma cor mais clara. A aparência das kombuchas condiz com os resultados obtidos para os parâmetros de turbidez, sólidos em suspensão e microrganismos. Esses parâmetros estão relacionados a compostos responsáveis pela aparência visual das bebidas. Muitos compostos que podem ser responsáveis pela cor das bebidas são maiores que os poros das membranas de UF, sendo retidos e modificando as características visuais da kombucha após o PSM, resultando em uma bebida mais clarificada (Kim & Adhikari, 2020).

Rosária e colaboradores (2022) estudaram a MF em vinhos e avaliaram as características organolépticas. Apesar da retenção de alguns compostos coloidais responsáveis pela cor dos vinhos tintos, não foram observadas diferenças significativas na cor das bebidas após o processo de filtração. Cristofoli (2016) realizou MF em vinhos e observou que as amostras microfiltradas eram mais límpidas e mais claras em comparação com o vinho inicial.

4 CONCLUSÃO

O processo de ultrafiltração foi eficaz na redução da concentração de sólidos suspensos, do teor de microrganismos e da turbidez das amostras de kombucha analisadas, por esses componentes serem maiores que os poros da membrana e terem ficado parcialmente retidos no processo. As kombuchas ultrafiltradas apresentam-se visualmente mais claras. A realização do processo de ultrafiltração não alterou os parâmetros avaliados de sólidos dissolvidos, pH, acidez volátil e teor alcoólico das amostras de kombucha analisadas. Em geral, a ultrafiltração de kombuchas pode ser considerada uma alternativa para clarificação da bebida. Para a aplicação industrial deste processo é importante levar em consideração o público-alvo e o impacto que o mesmo geraria no público consumidor.

5 AGRADECIMENTOS

CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul) e UCS (Universidade de Caxias do Sul).

6 REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (SMWW)**. Métodos 2540-C e 2540-D. 23 ed. LMC – Pharmabooks, 1504 p., 2017.
- ANSARI, F.; POURJAFAR, H.; ESMAILPOUR, S. Study on citric acid production and antibacterial activity of kombucha green tea beverage during production and storage. **Annual Research & Review in Biology**: v. 16, p. 1-8, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 4833-2**: Microbiologia da cadeia produtiva de alimentos - Método horizontal para a enumeração de microrganismos. 1 ed. 2015. 13 p.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- BRASIL (2019). Instrução Normativa nº 41, de 17 de setembro de 2019. Estabelece o padrão de identidade e qualidade da kombucha em todo o território nacional. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- CRISTOFOLI, K. **Clarificação de vinho branco por microfiltração utilizando diferentes membranas cerâmicas e compósitas**. 2016. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION OF VINE AND WINE (OIV). **Compendium of international methods of wine and must analysis**. Método OIV-MA-AS313-02. V. 1, 673 p., 2021.
- KIM, J.; ADHIKARI, K. Current trends in kombucha: marketing perspectives and the need for improved sensory research. **Beverages**: v. 6, p. 15-34, 2020.
- KOMBUCHA BREWERS INTERNATIONAL (KBI). 2022. Disponível em: <<https://kombuchabrewers.org/>>. Acesso em: 09 fev. 2022.
- LEAL, J. M.; SUÁREZ, L. V.; JAYABALAN, R.; OROS, J. H.; ABURTO, A. E. A review on health benefits of kombucha nutritional compounds and metabolites. **Journal of Food**: v. 16, p. 390-399, 2018.
- LEMMA, S. M.; ESPOSITO, A.; MASON, M.; BRUSETTI, L.; CESCO, S.; SCAMPICCHIO, M. Removal of bacteria and yeast in water and beer by nylon nanofibrous membranes. **Journal of Food Engineering**: v. 157, p. 1-6, 2015.
- OMELCHENKO, O.; DEYNICHENKO, G.; HUZENKO, V.; ZOLOTUKHINA, I.; DMYTREVSKY, D.; CHERVONYI, V.; HORIELKOV, D.; MELNIK, O.; KOROLENKO, O.; TSVIRKUN, L. Determining the influence of membrane treatment process on the quality indicators of beer. **Eastern-European Journal of Enterprise Technolog**: v. 4, p. 66-72, 2021.
- PINTO, D. M. G.; BARROS, S. T. D.; BARROS JR., C.; OLIVEIRA, R. C.; COSTA, S. C. Clarificação de vinho branco por ultrafiltração utilizando membranas cerâmicas. **Brazilian Journal of Food Technology**: v. 11, p. 305-312, 2008.
- ROSÁRIA, M.; OLIVEIRA, M.; CORREIA, A. C.; JORDÃO, A. M. Impacto f cross-flow and membrane plate filtrations under winery-scale conditions on phenolic composition, chromatic characteristics and sensory profile of different red wines. **Processes**: v. 10, p. 284-304, 2022.
- SUI, Y.; WOLLAN, D.; MCRAE, J.; MUHLACK, R.; TUKE, J.; WILKINSON, K. Impact of commercial scale ultrafiltration on the composition of white and rosé wine. **Separation and Purification Technology**: v. 284, p. 120227-120235, 2022.
- THURMER, M. B. **Preparação e caracterização de membranas poliméricas de poli(floureto de vinilideno) para uso em nanofiltração**. 2010. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2010.
- TUROSSI, T. C. **Avaliação da microfiltração como alternativa à clarificação e pasteurização de cerveja artesanal tipo IPAd**. 2021. 67f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2021.
- URKIAGA, A.; FUENTES, L. L.; ACILU, M.; URIARTE, J. Membrane comparison for wine clarification by microfiltration. **Desalination**: v. 148, p. 115-120, 2002.
- WATAWANA, M. I.; JAYAWARDENA, N.; GUBAWARDHANA, C. B.; WAISUNDARA, V. Y. Health, wellness, and safety aspects of the consumption of kombucha. **Journal of Chemistry**: v. 2015, p. 1-11, 2015.
- WEN-QIONG, W.; YUN-CHAO, W.; XIAO-FENG, Z.; RUI-XIA, G.; MAO-LIN, L. Whey protein membrane processing methods and membrane fouling mechanism analysis. **Food Chemistry**: v. 289, p. 468-481, 2019.



Alimentos

Avaliação da microfiltração como alternativa à clarificação e pasteurização de cerveja artesanal tipo IPA

Tayse Circe Turossi*, Camila Suliani Raota, Júlia Daneluz, Camila Baldasso

*Laboratório de Membranas e Materiais, Programa de pós-graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias
Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS*

**E-mail: tcturossi@ucs.br*

RESUMO – O aumento da produção de cervejas artesanais no Brasil impulsiona a busca por tecnologias inovadoras visando aprimorar o processo e preservar as características organolépticas da bebida. Este estudo propôs a avaliação da microfiltração (MF) como alternativa à clarificação e pasteurização na produção de cerveja artesanal tipo India pale ale (IPA), comparando parâmetros físico-químicos e a estabilidade microbiológica do produto final. Utilizando uma membrana comercial de polietersulfona (0,4 µm) sob pressão de 1,0 bar e fluxo tangencial, os experimentos revelaram que a cerveja microfiltrada manteve suas propriedades sensoriais em conformidade com os padrões do Beer judge certification program. Houve significativa redução de turbidez (99,9 %), cor (41,7 %), e amargor (8,4 %), enquanto pH, teor alcoólico e densidade relativa permaneceram estáveis. A análise microbiológica indicou que a MF favorece a estabilização a frio, mantendo-se dentro dos limites da ANVISA durante 14 dias de prateleira. Os resultados promissores destacam a eficiência da microfiltração nas etapas de clarificação e pasteurização da cerveja artesanal, sem comprometer a qualidade do produto.

Palavras-chave: Cerveja artesanal; Microfiltração; Pasteurização; Clarificação; Membranas.

1 INTRODUÇÃO

A história secular da cerveja, desde suas origens com os sumérios, babilônios, hebreus, mesopotâmicos, incas e egípcios até a sua consolidação como paixão nacional no Brasil no século XIX, testemunha não apenas uma tradição, mas também uma evolução constante. Hoje, a cerveja representa 2 % do produto interno bruto (PIB) brasileiro, gerando 2,7 milhões de empregos diretos e indiretos, conforme dados do sindicato nacional da indústria da cerveja (Sindicerv, 2019). A preferência nacional por cervejas refrescantes, leves e com menor teor alcoólico moldou o perfil sensorial brasileiro, embora as cervejas artesanais tenham emergido como uma tendência, impulsionadas pela busca pela qualidade e ingredientes diferenciados.

Com a expansão do mercado cervejeiro e o advento de novas tecnologias, aprimorar as técnicas tradicionais e otimizar os processos de fabricação torna-se essencial. A clarificação, fase crucial para garantir a qualidade da cerveja final, visa reduzir a turbidez filtrando partículas suspensas, resíduos de lúpulo e leveduras. A pasteurização, por sua vez, desempenha papel vital na estabilidade microbiológica e no aumento da vida útil do produto, embora sua aplicação possa impactar o perfil sensorial da bebida.

Diante desse cenário, os processos de separação por membranas (PSM) surgem como alternativa atraente para substituir as etapas de clarificação e pasteurização de cervejas. A utilização de membranas possui operação simples, eficiência energética e ausência de geração de resíduos sólidos perigosos, preservando as características sensoriais da cerveja e atendendo as crescentes exigências dos consumidores.

Logo, surge a necessidade de estudar a tecnologia de membranas como uma alternativa promissora aos processos convencionais de clarificação e pasteurização da cerveja artesanal. Este trabalho visa avaliar especificamente o emprego da microfiltração na clarificação e pasteurização de cervejas artesanais do tipo India pale ale (IPA), com o objetivo de preservar as propriedades distintas e a qualidade intrínseca dessa variedade de cerveja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A cerveja artesanal do tipo IPA utilizada como objeto de estudo neste trabalho, foi coletada diretamente do tanque de maturação de uma microcervejaria da região de Caxias do Sul. A membrana empregada no processo de microfiltração foi disponibilizada pelo laboratório de membranas e materiais. A área de filtração da membrana utilizada é de 270 cm² e tamanho dos poros de 0,4 µm.



O estudo foi realizado em cinco etapas: coleta da cerveja, testes de microfiltração, estudo dos parâmetros de controle, caracterização através de análises físico-químicas e microbiológicas e, finalmente, a comparação da cerveja microfiltrada com a cerveja artesanal bruta, a qual não passou pelo processo de clarificação e pasteurização.

Todos os parâmetros foram analisados em cervejas descarbonatadas, visto que a presença do dióxido de carbono interfere nas análises físico-químicas. Ademais, o gás acarretaria a formação demasiada de espuma durante a MF, o que dificultaria o processo. Para a descarbonatação, a amostra foi transferida para um béquer de 500 mL em constante agitação com auxílio de um bastão de vidro. A cerveja foi mantida a temperatura de 20 a 25 °C (Instituto Adolfo Lutz, 2008). Em seguida, realizou-se a filtração comum (FC) anteriormente a microfiltração devido a amostra estudada apresentar sujidades do tanque de maturação. Esses colóides poderiam causar deformações irreversíveis na membrana, prejudicando o andamento da pesquisa.

As análises físico-químicas efetuadas neste trabalho foram quanto ao pH, turbidez, cor, amargor, densidade relativa e teor alcoólico. O pH foi determinado empregando o método potenciométrico, utilizando um pHmetro digital (modelo Tecnopon - mPA-210). A leitura foi conduzida a uma temperatura de 25 °C, e as soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 (EBC, 2004) foram empregadas para a calibração. A turbidez foi avaliada por meio de um turbidímetro de bancada (modelo Digimed - DM-C2) com padrões de calibração estabelecidos em 10, 100 e 500 NTU. As análises de coloração foram executadas por espectrofotometria (EBC, 2000), medindo a absorvância a um comprimento de onda de 430 nm, utilizando água destilada como branco e um espectrofotômetro modelo DU 530 da marca Beckman. A determinação do amargor baseou-se na espectrofotometria por radiação ultravioleta visível (UV-Vis), considerando a isomerização dos alfa-ácidos como responsável pelo amargor percebido na cerveja (EBC, 2020). A densidade foi determinada utilizando um mini densímetro para cervejas (modelo Incoterm - 5600), calibrado à temperatura de 20 °C. O teor alcoólico foi quantificado por meio da técnica de cromatografia líquida de alta eficiência, empregando um cromatógrafo líquido Shimadzu (modelo LC-20AD) e uma coluna (Aminex HPX 87H) com dimensões de 7,8 mm x 300 mm. As condições de ensaio incluíram um fluxo de 0,5 mL.min⁻¹, fase móvel contendo solução de ácido sulfúrico (5 mmol.L⁻¹) em modo isocrático, e a temperatura foi mantida a 60 °C (Souza *et al.*, 2021).

As análises microbiológicas foram realizadas quanto a bactérias mesófilas aeróbias e anaeróbias facultativas, leveduras selvagens e bolores por meio da técnica de contagem em profundidade (Placas 3MTM Petrifilm™) no laboratório de análises e pesquisas em alimentos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença de microrganismos e partículas em suspensão são os principais responsáveis pela turbidez da cerveja que dificulta a passagem de luz. A Figura 1 mostra a diferença visual de turbidez das três amostras de cerveja: bruta (A), após filtração comum (B) e microfiltrada (C). Os resultados das análises físico-químicas estão sumarizadas na Tabela 1.

Figura 1 - Análise visual das amostras de cerveja

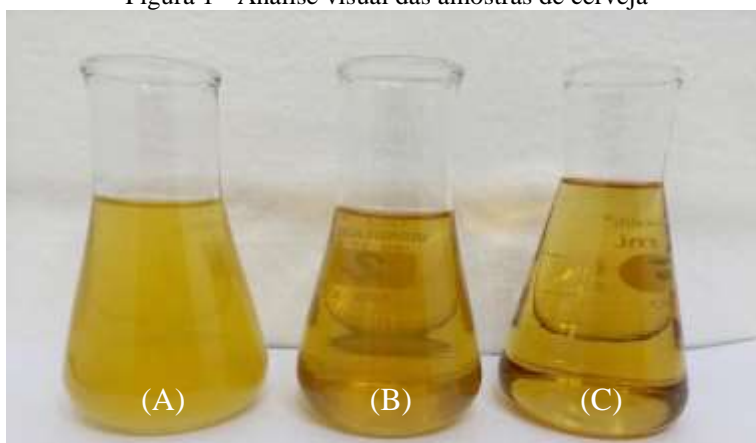




Tabela 1 – Resultados das análises físico-químicas das amostras

Análises	Cerveja bruta	Cerveja após filtração comum	Cerveja após microfiltração
pH	4,39	4,48	4,66
Turbidez (EBC)	1948	53	0,4
Cor (EBC)	24	21	14
Amargor (IBU)	59	-	54
Densidade relativa	1,0083	-	1,0089
Teor alcoólico (% v/v)	6,2	-	5,7

Observa-se que o pH das amostras está em conformidade com os valores estabelecidos entre 4,0 e 5,0, que delimitam a acidez necessária para prevenir contaminação microbológica (Rosa; Afonso, 2015). O caráter menos ácido da cerveja microfiltrada pressupõe a retenção dos iso-alfa-ácidos do lúpulo americano com notas cítricas, e de microrganismos deteriorantes, resultando no aumento do pH da amostra (Souza; Favero, 2017).

A redução da turbidez foi notável, atingindo 99,9 % para a cerveja microfiltrada e de 97,2 % apenas com a filtração comum. Os resultados indicam a eficiência de ambos os processos na retenção de sólidos em suspensão, gerando um produto límpido. O coeficiente de rejeição, avaliado pelos valores da turbidez da cerveja microfiltrada e da cerveja após processo de filtração comum, indicou uma capacidade seletiva de 99,3 %, valor próximo ao fornecido pelo fabricante (99,9 %).

Após a microfiltração, é crucial preservar alguns parâmetros para manter as características essenciais e propriedades organolépticas da cerveja, como cor, amargor, densidade relativa e teor alcoólico de cada estilo da bebida, conforme determinado pelo *Beer judge certification program* (BJCP) (2015). As análises sensoriais, conforme apresentadas na Tabela 1, estão em conformidade com os padrões estabelecidos pelo BJCP para a cerveja tipo IPA. Portanto, a microfiltração foi eficaz na preservação das propriedades organolépticas da cerveja. Quanto à cor, a redução da amostra microfiltrada foi de aproximadamente 41,7 %, assemelhando-se a uma coloração âmbar.

A cerveja IPA é caracterizada por apresentar um sabor, aroma e amargor intensos, peculiaridade do lúpulo e suas diversas notas sensoriais. Através da Tabela 1 percebe-se que o amargor se manteve alto após a MF, com um valor de 54 IBU. De acordo com Conceição *et al.* (2020), a microfiltração da cerveja IPA não afeta o perfil cromatográfico e a composição química da cerveja em comparação à amostra comercial.

Os valores obtidos para a densidade relativa e o teor alcoólico não variaram consideravelmente. Conforme constatado por Gan *et al.* (2001), as análises de pH e álcool são pouco afetadas durante a filtração devido ao tamanho das moléculas constituintes dessas propriedades, que são inferiores aos poros da MF. Além disso, todas as amostras apresentaram uma graduação alcoólica conforme a Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019, a qual denomina: “cerveja, aquela cujo conteúdo alcoólico é superior a 2,0 % em volume (2,0 % v/v).”

Para evitar a perda de propriedades sensoriais, Esmaeili *et al.* (2015) recomendam a utilização de membranas com poros maiores, em torno de 1 µm, para a clarificação e pasteurização de cervejas. Conjuntamente, Fillaudeau e Carrère (2002), sugerem membranas com poros superiores a 1 µm, pois proporcionam fluxos de permeados superiores e uma retenção mínima das propriedades essenciais da cerveja.

A estabilidade microbológica da cerveja foi avaliada de acordo com os padrões adotados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Os limites de contaminação e os resultados obtidos das amostras após 14 dias de prateleira (à temperatura ambiente) estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados das análises microbiológicas da cerveja após 14 dias de prateleira

Análises	Cerveja bruta	Cerveja após filtração comum	Cerveja após microfiltração	Limites
Bactérias mesófilas aeróbias e anaeróbias facultativas (UFC/mL)	170	2800	10	<3000
Bolores e leveduras (UFC/mL)	4,2.10 ⁵	1,2.10 ⁵	30	<100

Na avaliação microbológica da cerveja microfiltrada, nota-se a redução de 94,1 % das bactérias e 99,9 % dos bolores e leveduras, estando dentro dos limites da legislação. Essa diminuição sugere que a MF é eficaz na retenção de microrganismos deteriorantes, tornando-a um para a estabilização a frio da bebida. Lovato (2019) concluiu que tanto a MF quanto a pasteurização são eficientes para a remoção de microrganismos patogênicos no suco de melancia. Em ambos processos, a fermentação e degradação iniciou após 21 dias.



Os resultados destacam que o valor da análise de leveduras/bolores na cerveja bruta é muito superior ao estabelecido pela ANVISA. Isto se deve ao tempo de maturação insuficiente para a decantação das leveduras. A duração correta do processo é fundamental, visto que nessa etapa ocorre a segunda fermentação, a precipitação das células de levedura e proteínas e o amadurecimento do sabor (Reinold, 1997). A cerveja bruta foi coletada após um dia de maturação, sendo que a cerveja IPA comercial, segundo o fabricante, passa aproximadamente cinco dias no tanque de maturação.

A proliferação de bactérias na filtração comum foi superior em comparação à cerveja bruta. Acredita-se que o aumento se deva à contaminação da amostra durante o armazenamento inadequado, sendo que esta foi acondicionada em um *erlenmeyer* aberto, por cerca de 18 horas, sob refrigeração. Souza e Favero (2017) destacam que a maior parte da contaminação ocorre no envase, posto que uma exposição incorreta acarreta na deterioração precoce da bebida.

Habert, Borges e Nobrega (2006) compararam o diâmetro de poros dos processos de filtração e o tamanho de diferentes espécies. Enquanto a filtração com filtro comum apresenta poros de 10 a 100 μm e a microfiltração de 0,1 a 10 μm , as leveduras e bolores possuem tamanho entre 1 e 10 μm e as bactérias entre 0,3 e 100 μm . Essas informações são corroboradas pelas análises sumarizadas na Tabela 2, confirmando que a microfiltração é eficiente para a estabilização microbiológica da cerveja.

4 CONCLUSÃO

Considerando os resultados de cor e turbidez, a microfiltração emerge como alternativa viável para a clarificação da cerveja artesanal, destacando-se pela ausência de resíduos perigosos e redução do impacto ambiental em comparação com métodos tradicionais, como a filtração com terra diatomácea. Apesar das alterações nos parâmetros físico-químicos, as características mantiveram-se em conformidade com os padrões estabelecidos para a cerveja IPA pelo BJCP. A análise microbiológica indicou que a cerveja microfiltrada permaneceu dentro dos limites legais mesmo após 14 dias em temperatura ambiente, destacando a ineficácia da filtração comum no controle de microrganismos. Em síntese, a microfiltração se revela uma alternativa promissora para a clarificação e pasteurização da cerveja artesanal tipo IPA, preservando as propriedades e a qualidade do produto.

5 AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão à equipe do PGEPROTEC pelo suporte e recursos oferecidos durante a pesquisa e também a UCS por proporcionar o ambiente propício para a realização deste estudo.

6 REFERÊNCIAS

- BEER Style Guidelines. BJCP, 2015. Disponível em: <<https://dev.bjcp.org/style/2015/beer/>>. Acesso em: 05 fev. 2024.
- CONCEIÇÃO, S. R. *et al.* Perfil cromatográfico da cerveja do fundo de dorna recuperada por microfiltração. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 17884-17897, 2020.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Instrução normativa Nº 65, de 10 de dezembro de 2019. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria. Diário Oficial da União: edição 239: seção 2: Brasília, DF, p. 31, 11 dez. 2019.
- ESMAEILI, S. *et al.* Utilization of membrane systems in beer processing. **Journal of paramedical sciences**, v. 6, n. 2, p. 149-156, 2015.
- EUROPEAN BREWERY CONVECTION (EBC): 9.6 - Colour of beer: spectrophotometric method (IM). EBC analytica, 2000. Disponível em: <<https://brewup.eu/ebc-analytica/beer/colour-of-beer-spectrophotometric-method-im/9.6>>. Acesso em: 25 fev. 2024.
- EUROPEAN BREWERY CONVECTION (EBC): 9.35 - pH of Beer. EBC analytica, 2004. Disponível em: <<https://brewup.eu/ebc-analytica/beer/ph-of-beer-formerly-published-as-iob-method-9-42/9.35>>. Acesso em: 18 fev. 2024.
- EUROPEAN BREWERY CONVECTION (EBC): 9.8 - Bitterness of beer (IM). EBC analytica, 2020. Disponível em: <<https://brewup.eu/ebc-analytica/beer/bitterness-of-beer-im/9.8>>. Acesso em: 18 fev. 2024.
- FILLAUDEAU, L.; CARRÈRE, H. Yeast cells, beer composition and mean pore diameter impacts on fouling and retention during cross-flow filtration of beer with ceramic membranes. **Journal of membrane science**, v. 196, p. 36-57, 2002.
- GAN, Q. *et al.* Beer clarification by microfiltration - product quality control and fractionation of particles and macromolecules. **Journal of membrane science**, v. 194, p. 185-196, 2001.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. **Processo de separação por membranas**. Rio de Janeiro: E- papers, 2006.
- Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.
- LOVATO, Frederico. **Otimização do processo de microfiltração para a produção de suco de melancia**. 2019. 106 f. Dissertação (Mestrado em Processos químicos e biotecnológicos) - Universidade Tecnológica federal do Paraná. Toledo, 2019.
- O setor em números. Sindicerv. Disponível em: <<https://www.sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/>>. Acesso em: 25 fev. 2024.
- REINOLD, Matthias R. **Manual prático da cervejaria**. São Paulo: ADEN, 1997.
- ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A química da cerveja. **Química nova**, v. 37, n. 2, p. 98-105, 2015.
- SOUZA, B. C. *et al.* Validated High-Performance Liquid Chromatographic (HPLC) Method for the Simultaneous Quantification of 2,3-Butanediol, Glycerol, Acetoin, Ethanol, and Phosphate in Microbial Cultivations. **Analytical letters**, v. 54, n. 15, p. 2395–2410, 2021.
- SOUZA, R. S. de; FAVERO, D. M. Correlação entre a redução da carga microbiológica e a inativação da enzima intervase na etapa de pasteurização da cerveja. **Revista mundi**, v. 2, n. 1, p. 1-17, 2017.



Área: Alimentos

TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS NO CULTIVO DO MORANGO: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Tamires Maria Berger dos Santos, Mirian Mia Coelho, Jean Carlos Wohlenberg, Janaína Wohlenberg*, Luciane Rumpel Segabinazzi

Universidade Federal do Pampa, Curso Superior de Tecnologia em Agronegócio, Dom Pedrito, RS

**E-mail: janainawohlenberg@unipampa.edu.br*

RESUMO – O morangueiro é uma cultura de alto valor agregado, que proporcionando uma fonte significativa de renda para os produtores, em sua maioria, provenientes da agricultura familiar. Além disso, a cadeia produtiva do morango envolve diversos setores da economia, desde a produção agrícola até a comercialização e distribuição, gerando empregos e movimentando a economia local e regional. O cultivo do morango envolve uma série de aspectos que influenciam diretamente na produtividade e qualidade do fruto. Sabendo que o morango é uma alternativa nutritiva, rico em vitaminas (especialmente vitamina C), minerais e antioxidantes, este estudo buscou identificar, através da análise bibliométrica junto à plataforma de indexação da *Scopus Elsevier*, quais os aspectos mais relevantes ao cultivo do morangueiro. A pesquisa demonstrou que existem meios de aumentar a produtividade com práticas mais sustentáveis, como a utilização de fertilizantes orgânicos, técnica de polinização e auxílio do uso da iluminação com ondas que propiciem o desenvolvimento da planta e do fruto.

Palavras-chave: Fragaria; ananassa duch; bibliometria; agricultura familiar; sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

O ano de 2014 foi o marco internacional da agricultura familiar, que proporcionou uma reflexão a nível mundial sobre a situação das pequenas propriedades. Os debates políticos a nível internacional e regional demonstraram que a agricultura familiar não é mais vista como parte do problema da fome, mas sim, como uma fonte potencial para a solução desta problemática (GRAEUB *et al.*, 2016).

No ano de 2015, os Estados membros da ONU, sendo o Brasil um deles, estabeleceram os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), assumindo o compromisso e a colaboração de promoverem ações em prol dos meios social, econômico e ambiental (GOMES; FERREIRA, 2018). Fome zero e agricultura sustentável é o objetivo que demonstra a importância de se promoverem ações que auxiliem na perpetuidade de empreendimentos relacionados à agricultura familiar, visto que, contribuem para a oferta e diversificação de alimentos a nível mundial.

A agricultura familiar é um importante setor na economia do Brasil, de acordo com o censo agropecuário de 2017 (IBGE, 2019), 77% dos estabelecimentos agropecuários brasileiros pertencem a grupos familiares. Mesmo sabendo de sua representatividade no meio rural, estes estabelecimentos enfrentam algumas limitações em seu desenvolvimento provenientes da dificuldade de acesso ao mercado, políticas públicas e investimento em recursos tecnológicos (SOUZA *et al.*, 2019). Uma forma de promover o desenvolvimento rural dos sistemas produtivos nas unidades familiares é por meio do uso de alternativas tecnológicas, que propiciem o uso eficiente dos recursos e a redução de resíduos, contribuindo para um processo produtivo mais sustentável e com maior inclusão produtiva, geração de renda e melhoria na qualidade de vida dos produtores (BITTENCOURT, 2020).

As pequenas propriedades apresentam uma produção diversificada, geralmente com escala menor de produção se comparadas às propriedades de monocultura com sistema produtivo intensivo e utilizam como alternativa estratégica a produção de orgânicos, para a agregação de valor ao produto final, ou a produção de cultivares exóticas, como o morango e a pitaiá (MORAES; OLIVEIRA, 2017). A fragaria é um dos frutos que vem recebendo maior atenção em expansão de mercado nos últimos dez anos no Brasil, Argentina e Chile, pois vem incorporando novas tecnologias que favorecem a produção de um fruto de melhor qualidade e com possibilidade de exportação (ANTUNES *et al.*, 2017). No Brasil, os estados com maior produção do fruto são Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Rio Grande do Sul (RS), São Paulo (SP), Espírito Santo (ES), Santa Catarina (SC), Distrito Federal (DF), Bahia (BA) e Rio de Janeiro (RJ) (ANTUNES *et al.*, 2020).

Esta cultura tem uma grande importância socioeconômica em razão de ser geralmente cultivada em propriedades agrícolas familiares, contribuindo para a geração de empregos, aumentando na renda do produtor e o



incentivo na fixação do homem no campo, além de ser destinada boa parte de sua produção ao mercado interno e para o consumo *in natura* (BENATI, 2016).

O morango é um fruto vermelho, comestível que vem de uma planta perene da família das Rosáceas de origem Europeia é produzido e apreciado em diversas regiões a nível mundial. Sua cultura se destaca pela alta rentabilidade por área e pela demanda intensa de mão de obra no processo de cultivo e colheita (RICHTER *et al.*, 2017).

As cultivares de fragaria são classificadas de três tipos, como cultivares de dias curtos (DC), dias longos (DL) e dias neutros (DN). As mais utilizadas no Brasil são as cultivares de DC (Oso grande, Camarosa, Camino Real e Festival) que são influenciadas pelo fotoperíodo curto, ou seja, com menos de oito horas de luz diurna e as cultivares de DN (Albion, San Andrés, Monterrey, Portola, Aromas e Cristal) que são neutras ao fotoperíodo, podem produzir o ano todo, desde que a temperatura permita, as chamadas plantas refflorescentes (RICHTER *et al.*, 2017; SANTIN, 2017; SENAR, 2019). As propriedades de DN permitem que a insensibilidade ao fotoperíodo abasteça o mercado consumidor durante todo o ano, proporcionando uma maior estabilidade financeira ao produtor e a necessidade do envolvimento da mão de obra familiar, que deixa de ser sazonal para ser fixa. Como desvantagens, apresenta menor produtividade e qualidade do fruto em períodos mais quentes (ANDREAZZA, 2019).

Conforme observado, existem várias espécies de fragaria e várias formas de se realizar o cultivo, variando desde o cultivo convencional, realizado diretamente no solo, que pode ser de forma orgânica ou com o uso de defensivos; e, hidropônico, com o uso de substrato ou, apenas, em água, fazendo o uso de soluções nutritivas que ficam em contato direto com a raiz da planta (ANDREAZZA, 2019; ANTUNES *et al.*, 2017). A escolha da cultivar e do sistema de cultivo deve ser embasado nas características da região e na possibilidade de adaptação da planta ao clima, a fim de garantir um desempenho produtivo favorável e levando em consideração a fragilidade do fruto, em especial, no processo de colheita (ANTUNES *et al.*, 2017).

As técnicas de cultivo do morangueiro sofreram mudanças significativas em um curto período de tempo, principalmente no sul do Brasil. No Rio Grande do Sul o cultivo denominado “fora do solo”, contemplado pelo sistema hidropônico, vem sendo utilizado como uma tendência a fim de superar as dificuldades apresentadas pelo cultivo no solo, como em decorrência da contaminação por fungos, bactérias, dificuldades no sistema de irrigação, intempéries e doenças no fruto que demandam a necessidade do uso intensivo de agroquímicos. Outra vantagem dessa forma de cultivo é a possibilidade de desenvolver a estrutura em modo vertical, proporcionando uma melhor ergonomia aos trabalhadores e maior ventilação das plantas, contribuindo para a qualidade de vida do trabalhador, o aumento da produtividade e qualidade dos frutos (ANDREAZZA, 2019; ANTUNES; JUNIOR, 2019; RICHTER *et al.*, 2017).

Comparações realizadas entre os sistemas convencional e hidropônico mostram que, o sistema convencional, tem uma maior produtividade, porém, apresenta dificuldades no manejo e perde em relação aos aspectos de qualidade do fruto (RICHTER *et al.*, 2017). O ganho com a qualidade do produto final, o desempenho do trabalho e da saúde do colaborador acabam sendo os fatores preponderantes na escolha pelo cultivo hidropônico, mesmo ele apresentando um retorno econômico menor se comparado ao sistema convencional de produção (FACHINI, 2017).

Ao mesmo tempo que, cresceu o interesse de novos produtores em aderirem ao cultivo do morangueiro na região sul do estado, aumentando a oferta do fruto no mercado local, também aumentou a demanda, valorização e conscientização dos consumidores por produtos de melhor qualidade que contribuam no desenvolvimento de hábitos saudáveis de alimentação (ANTUNES *et al.*, 2020). Com isso, o desenvolvimento de novas tecnologias de cultivo, que proporcionem maior rentabilidade, qualidade dos frutos e qualidade de vida aos produtores, se tornam imprescindíveis ao estímulo e continuidade dos produtores na atividade.

Sabendo da importância da produtividade no cultivo de morango, uma vez que, a maior de parte dos produtores deste fruto provém da mão de obra familiar, este estudo tem por objetivo identificar, através da análise bibliométrica junto à plataforma de indexação da *Scopus Elsevier*, quais os aspectos mais relevantes ao cultivo do morangueiro presentes na literatura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo se caracteriza como um estudo exploratório de análise bibliométrica, que consiste na investigação que busca explorar e mapear o conhecimento existente em determinada área, campo ou tema por meio da análise quantitativa e qualitativa de publicações científicas. Esse tipo de pesquisa tem como objetivo principal identificar padrões, tendências, lacunas e inter-relações entre os estudos já realizados, utilizando técnicas e métodos bibliométricos para coletar, analisar e interpretar dados bibliográficos, tais como número de artigos publicados, autores mais produtivos, instituições de pesquisa mais ativas, palavras-chave mais frequentes, entre outros indicadores.

Por meio dessa abordagem, os pesquisadores podem obter insights valiosos para orientar o planejamento e desenvolvimento de novos estudos, bem como, para contribuir para o avanço do conhecimento em determinada área de interesse, neste caso, o de aspectos relacionados a produção de morango.



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

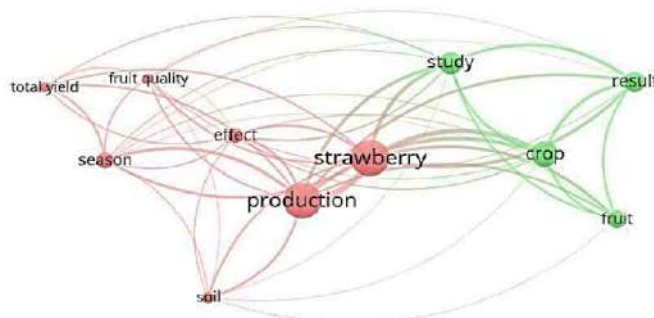
A pesquisa bibliométrica foi realizada junto ao site da *Scopus (Elsevier)* fazendo uso das terminologias “production” AND ”strawberry” AND ”small farm”. Foram identificados 68 artigos originais publicados nos últimos 10 anos (2011 – 2021), destes, 24 abordam estudos direcionados ao uso de tecnologias, a fim de promover o desenvolvimento produtivo de morango em propriedades da agricultura familiar.

Os 24 artigos foram submetidos ao tratamento de dados junto ao *software VOSviewer*, a fim de identificar os principais aspectos relacionados a produtividade de morango presente nos artigos selecionados. Os resultados obtidos com o tratamento e a análise dos dados podem ser observados no item 3 Resultados e Discussão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os artigos junto ao software VOSviewer foi observado que a produtividade de morango está diretamente relacionada à qualidade do fruto, rendimento da produção, sazonalidade das cultivares e propriedades presentes no solo, conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1- Fatores relacionado a produtividade de morango



Fonte: Autor (2021).

A combinação de tecnologia, conhecimento e a capacidade de investimento em inovação são essenciais para o desenvolvimento na agricultura brasileira. Entretanto, a maioria das propriedades de pequeno porte, principalmente relacionada à agricultura familiar, não possuem recursos orçamentários para acompanhar e investir em tecnologias sofisticadas, sendo necessária, a análise de alternativas que demandem um menor investimento e sejam capazes de auxiliar no desenvolvimento das propriedades e seus processos produtivos (BITTENCOURT, 2020).

Quando analisados em relação às técnicas de utilização relacionadas ao cultivo de morango, os artigos selecionados demonstraram que existem tecnologias alternativas, de modo que, o uso de agroquímicos não é o principal fator para se garantir a produtividade do sistema. Estas informações foram compiladas na Tabela 1.

Tabela 1- Técnicas utilizadas no cultivo de morango para o aumento da produtividade presente nos artigos científicos selecionados na bibliometria

Técnica Utilizada	Descrição	Referência
Fertilizantes Orgânicos	Substituição do adubo químico pelo orgânico para maior produtividade e qualidade do fruto.	Li <i>et al.</i> (2021) Negi <i>et al.</i> (2021) Yadav <i>et al.</i> (2016)
Hidroponia	Cultivo de plantas em água enriquecida com nutrientes. Comparativos com de rendimento em estruturas verticais e horizontais.	Ramirez-Arias <i>et al.</i> (2017) Diel <i>et al.</i> (2018) Carvalho <i>et al.</i> (2015)
Aquaponia	Sistema integrado entre hidroponia e piscicultura.	Costache <i>et al.</i> (2021)
Polinização por Abelhas	Uso de abelhas para o aumento da floração e produção de frutos.	Hutchinson <i>et al.</i> (2021) Hata <i>et al.</i> (2019) Macinnis e Forrest (2019) Horth e Campbell (2018)
Iluminação Artificial	Influência das ondas de iluminação no desenvolvimento do morangueiro.	Choi, Moom e Kang (2015)
Plantio Complementar	Plantio de culturas complementares a fim de atrair polinizadores. Culturas utilizadas: cebolinha, alho e flores.	Griffiths-Lee <i>et al.</i> (2020) Hata <i>et al.</i> (2019)
Robótica	Uso de processos de automação para o aumento da produtividade.	Defterli <i>et al.</i> (2016)



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Drone	Uso de drone para controle de doenças e pragas no cultivo do morango.	Rieder <i>et al.</i> (2014)
Substrato com Irrigação	Plantio em substrato com sistema de irrigação por gotejamento para redução da evapotranspiração.	Wang (2019) Claire <i>et al.</i> (2018)
Produção em Túneis	Interferência da altura dos túneis de cultivo no crescimento, rendimento e extensão da estação do morangueiro.	Rana e GU (2020) GU <i>et al.</i> (2017) Demchak e Hanson (2011)
Estufas	Utilização de estufas para proteção contra intempéries e melhor controle da produção.	Al-Ismaili <i>et al.</i> (2017)
Espaçamento entre plantas	Plantas com maior espaçamento no plantio apresentam um melhor desenvolvimento.	Al-Ramamneh <i>et al.</i> (2013)

Fonte: Autor (2021).

Devido à fragilidade do fruto, a busca na diminuição do uso de agrotóxico, melhor manejo e, principalmente, na hora de fazer a colheita, os produtores brasileiros vêm migrando para o sistema de cultivo fora do solo com substratos (semi-hidropônico) e em água (com soluções nutritivas que ficam em contato direto com a raiz) (ANTUNES *et al.*, 2017). O uso de substrato em túneis verticais e horizontais são descritos como preferíveis nas bibliografias analisadas quanto ao cultivo do morangueiro, fortalecendo o uso de sistema hipotônico (CARVALHO *et al.*, 2015; RAMIREZ-ARIAS *et al.*, 2017). O substrato utilizado como suporte para as plantas também é importante, pois o seu papel é ser o meio de ancoragem para as plantas, regularizam os nutrientes, terem características físicas, químicas e biológicas adequadas para o seu desenvolvimento das plantas (CARVALHO *et al.*, 2015). O uso de biofertilizantes e adubo orgânico é uma tendência, principalmente, quando se busca o cultivo de forma orgânica. Um estudo realizado por Negi *et al.* (2021) mostrou que a combinação entre adubos orgânicos e biofertilizantes aumenta os rendimentos e as propriedades nutritivas da cultura em condições de campo, aumentando a produção agrícola e melhorando a qualidade e a fertilidade do solo. Yadav *et al.* (2016) realizaram um estudo analisando a combinação de fertilizantes bio-orgânicos juntamente com fertilizantes químicos. O estudo demonstrou uma melhora acentuada na combinação de tratamentos suplementados com adubos orgânicos favorecendo o rendimento, melhorando a qualidade dos frutos do morango, mantendo a saúde do solo e a produtividade em longo prazo para a produção sustentável de frutas. Este estudo demonstrou que a combinação de biofertilizantes com adubos orgânicos pode ser utilizada para a produção sustentável de morangos de alta qualidade com baixo custo de insumo.

Outra tendência observada na literatura envolve o uso de polinizadores e cultivares complementares. A utilização de abelhas na polinização vem sendo estudadas para contribuir com o aumento da floração e produção dos frutos. Hutchinson *et al.* (2021) apresentam um estudo demonstrando a possibilidade do aumento da produtividade e da qualidade dos frutos com o uso de abelhas como polinizadores aplicados ao cultivo de morango, maçã, feijão e oleaginosas. Horth e Campbell (2018) e Macinnis e Forrest (2019) contribuem ressaltando que o uso de abelhas selvagens é mais eficiente no processo de polinização e aumento da produtividade.

As flores que receberam visita das abelhas apresentaram uma maior taxa de fecundação quando comparadas às que não receberam nenhum, a polinização promoveu frutos de maior qualidade, maiores e mais pesados quando comparados aos derivados da autopolinização (SCHEID *et al.*, 2020). A polinização pode encurtar o ciclo de certas culturas agrícolas e ainda uniformizar o amadurecimento dos frutos, dentre as 57 espécies de plantas mais cultivadas no mundo, 42% delas dependem das abelhas nativas para a sua polinização (SILVA *et al.*, 2014).

Outra forma de atrair polinizadores é através da técnica de cultivo de espécies complementares. Griffiths-Lee *et al.* (2020) utilizam a produção complementar de borragem (*borago officinalis*), uma planta herbácea, como uma alternativa para atrair polinizadores no cultivo do morangueiro e demonstram que, utilizar plantas companheiras, aumentam significativamente a produção e a qualidade dos morangos. Essa técnica também se fez presente no estudo apresentado por Hata *et al.* (2019), que utiliza o cultivo de alho para essa finalidade.

Outra tecnologia que vem ganhando espaço na agricultura é a utilização de iluminação complementar, que tem como objetivo determinar a qualidade dos frutos e as características de crescimento durante o cultivo (CHOI; MOOM; KANG, 2015). No mercado de comércio é possível observar tecnologias inovadoras de iluminação de plantas que são desenvolvidas para várias culturas. A capacidade de ajustar o espectro de luz para as respostas desejáveis da planta parece ser uma das vantagens dessas fontes de luz que podem influenciar no crescimento, desenvolvimento e composição química dos frutos da planta (YAKOVITSEVA; GOVOROVA; TARAKANOV, 2015). Embora essa técnica envolva custos relacionados a implantação e manutenção do sistema, bem como exijam certo “conhecimento”, relacionado a técnica necessária para a sua utilização, é uma possibilidade que fica em aberto aos agricultores que tiverem interesse na sua utilização.



A inovação pode, de fato, contribuir como elemento central no processo de desenvolvimento, consolidando estratégias para um processo produtivo mais eficiente, tecendo inovações, enraizando novas maneiras e favorecendo os agricultores familiares.

4 CONCLUSÃO

Este estudo busca contribuir com a identificação do uso de tecnologias e formas de cultivo do morango. Observou-se que existem meios de aumentar a produtividade com práticas mais sustentáveis, como a utilização de fertilizantes orgânicos, técnica de polinização e auxílio do uso da iluminação com ondas que propiciem o desenvolvimento da planta e fruto.

Também se evidenciou que o cultivo do morango é realizado, principalmente, através da técnica de hidropônica e cultivo em substrato, e que a utilização de estufas é indispensável na conservação e proteção da planta e fruto, devido a sua alta perecibilidade.

5 REFERÊNCIAS

- AL-ISMAILI, A. M.; AL-MEZEINI, N. K.; JAYASURIYA, H. P. Controlled environment agriculture in Oman: facts and mechanization potentials. *Ama, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 48, n. 2, p. 75-81, 2017.
- AL-RAMAMNEH, E.; AL-RAWASHDEH, Z.; KARAJEH, M.; ABU-ROMMAN, S. Plant response of strawberry to intra-row spacing and growing conditions in south of Jordan. *Asian Journal of Plant Sciences*, 12, n. 5, p. 201-207, 2013.
- ANDREAZZA, B. D. S. **Avaliação do cultivo do morangueiro no sistema sem solo em substrato no Chile**. 2019. - Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.
- ANTUNES, L. E. C.; BONOW, S.; REISSER JUNIOR, C. Morango: crescimento constante em área e produção. **Embrapa Clima Temperado-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2020.
- ANTUNES, L. E. C.; FAGHERAZZI, A. F.; VIGNOLO, G. K. Morango tem produção crescente. **Embrapa Clima Temperado-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2017.
- ANTUNES, L. E. C.; JUNIOR, C. R. Recomendação da utilização do sistema de produção fora de solo para morangueiro. **Embrapa Clima Temperado-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2019.
- BENATI, J. A. A contribuição da produção de morango para a produção social dos (as) agricultores (as) da microrregião de Cerro Largo. 2016.
- BITTENCOURT, D. M. d. C. Estratégias para a agricultura familiar: visão de futuro rumo à inovação. **Área de Informação da Sede-Texto para Discussão (ALICE)**, 2020.
- CARVALHO, R. O.; MACHADO, M. B.; GÖEBEL, J. T. S.; LANG, G. H. *et al.* Economical Feasibility of Strawberry Production in a Semi-Hydroponic System and Agroindustry of Jelly on a Small Property. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, 2015.
- CHOI, H. G.; MOON, B. Y.; KANG, N. J. Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. *Scientia Horticulturae*, 189, p. 22-31, 2015.
- CLAIRE, D.; WATTERS, N.; GENDRON, L.; BOILY, C. *et al.* High productivity of soilless strawberry cultivation under rain shelters. *Scientia Horticulturae*, 232, p. 127-138, 2018.
- COSTACHE, M.; CRISTEA, D. S.; PETREA, S.-M.; NECULITA, M. *et al.* Integrating aquaponics production systems into the Romanian green procurement network. *Land Use Policy*, 108, p. 105531, 2021.
- DEFTERLI, S. G.; SHI, Y.; XU, Y.; EHSANI, R. Review of robotic technology for strawberry production. **Applied Engineering in Agriculture**, 32, n. 3, p. 301-318, 2016.
- DEMCHAK, K.; HANSON, E. J., Small fruit production in high tunnels in the US. In: **International Symposium on High Tunnel Horticultural Crop Production 987**. 2011. p. 41-44.
- DIEL, M. I.; PINHEIRO, M. V. M.; THIESEN, L. A.; ALTÍSSIMO, B. S. *et al.* Cultivation of strawberry in substrate: Productivity and fruit quality are affected by the cultivar origin and substrates. *Ciência e Agrotecnologia*, 42, p. 229-239, 2018.
- FACHINI, J. d. S. **Viabilidade econômica do morangueiro na unidade de produção familiar: uma análise comparativa do cultivo no solo e semi-hidropônico**. 2017. - Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
- GOMES, M. F.; FERREIRA, L. J. Políticas públicas e os objetivos do desenvolvimento sustentável. **Direito e Desenvolvimento**, 9, n. 2, p. 155-178, 2018.



- GRAEUB, B. E.; CHAPPELL, M. J.; WITTMAN, H.; LEDERMANN, S. *et al.* *The State of Family Farms in the World*. **World Development**, 87, p. 1-15, 2016/11/01/ 2016.
- GRIFFITHS-LEE, J.; NICHOLLS, E.; GOULSON, D. Companion planting to attract pollinators increases the yield and quality of strawberry fruit in gardens and allotments. **Ecological Entomology**, 45, n. 5, p. 1025-1034, 2020.
- GU, S.; GUAN, W.; BECK, J. E. Strawberry cultivar evaluation under high-tunnel and organic management in North Carolina. **HortTechnology**, 27, n. 1, p. 84-92, 2017.
- HATA, F. T.; VENTURA, M. U.; BÉGA, V. L.; CAMACHO, I. M. *et al.* Chinese chives and garlic in intercropping in strawberry high tunnels for *Neopamera bilobata* Say (Hemiptera: Rhyparochromidae) control. **Bulletin of Entomological Research**, 109, n. 4, p. 419-425, 2019.
- HATA, F. T.; VENTURA, M. U.; PAULA, M. T. d.; SHIMIZU, G. D. *et al.* Intercropping garlic in strawberry fields improves land equivalent ratio and gross income. **Ciência Rural**, 49, 2019.
- HORTH, L.; CAMPBELL, L. A. Supplementing small farms with native mason bees increases strawberry size and growth rate. **Journal of Applied Ecology**, 55, n. 2, p. 591-599, 2018.
- HUTCHINSON, L. A.; OLIVER, T. H.; BREEZE, T. D.; BAILES, E. J. *et al.* Using ecological and field survey data to establish a national list of the wild bee pollinators of crops. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 315, p. 107447, 2021.
- IBGE, Instituto de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 8, p. 1 - 105, 2019. ISSN 0103-6157. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2021.
- LI, J.; HE, R.; DEVOIL, P.; WAN, S. Enhancing the application of organic fertilisers by members of agricultural cooperatives. **Journal of Environmental Management**, 293, p. 112901, 2021.
- MACINNIS, G.; FORREST, J. R. K. Pollination by wild bees yields larger strawberries than pollination by honey bees. **Journal of Applied Ecology**, 56, n. 4, p. 824-832, 2019.
- MORAES, M. D.; OLIVEIRA, N. A. M. Produção orgânica e agricultura familiar: obstáculos e oportunidades. **Desenvolvimento Socioeconômico em Debate**, 3, n. 1, p. 19-37, 2017.
- NEGI, Y. K.; SAJWAN, P.; UNIYAL, S.; MISHRA, A. C. Enhancement in yield and nutritive qualities of strawberry fruits by the application of organic manures and biofertilizers. **Scientia Horticulturae**. 2021.
- RAMIREZ-ARIAS, J. A.; HERNÁNDEZ-IBARRA, U.; PINEDA-PINEDA, J.; FITZ-RODRÍGUEZ, E. **Horizontal and vertical hydroponic systems for strawberry production at high densities**. 2017. ISSN 331-338.
- RANA, T. S.; GU, S. Growth and yield of organic day-neutral strawberries in low tunnels inside high tunnel in North Carolina. **HortScience**, 55, n. 3, p. 336-343, 2020.
- RICHTER, Adrik *et al.* Produção de morangueiro em diferentes sistemas de cultivo. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, p. 2307-2314, 2017.
- RIEDER, R.; PAVAN, W.; CARRÉ MACIEL, J. M.; CUNHA FERNANDES, J. M. *et al.* A virtual reality system to monitor and control diseases in strawberry with drones: A project. 2014.
- SANTIN, Anderson *et al.* **Produção e qualidade de frutos de morangueiro cultivados sobre coberturas plásticas de solo**. Tese (Doutorado em Agronomia), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Marechal Cândido Rondon, p. 64, 2017.
- SCHEID, L.; MARTARELLO, N. S.; HOLDEFER, D. R.; GRUCHOWSKI-WOITOWICZ, F. C. Eficácia de abelhas na polinização de cultivares de morango no sul do Brasil. **LUMINÁRIA**, v. 22, n. 02, 2020.
- SENAR, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Olericultura: cultivo de morango**. Brasília: Snar, 80 p., 2019. ISBN: 978-85-7664.
- SILVA, Cláudia Inês da *et al.* Guia ilustrado de abelhas polinizadoras no Brasil. **Instituto de Estudos Ambientais**, 2014.
- SOUZA, P. M. d.; FORNAZIER, A.; SOUZA, H. M. d.; PONCIANO, N. J. Diferenças regionais de tecnologia na agricultura familiar no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 57, p. 594-617, 2019.
- WANG, Dong. Field production of strawberry fruit using growing media under different irrigation scheduling regimes. In: **III International Symposium on Growing Media, Composting and Substrate Analysis 1305**. 2019. p. 471-476.
- YADAV, S. K.; KHOKHAR, U. U.; SHARMA, S. D.; KUMAR, P. Response of strawberry to organic versus inorganic fertilizers. **Journal of Plant Nutrition**, 39, n. 2, p. 194-203, 2016.
- YAKOVITSEVA, M.; GOVOROVA, G.; TARAKANOV, I. Supplemental lighting for greenhouse-grown strawberries: effects of different ratios of red to blue radiation. In: **International Symposium on New Technologies and Management for Greenhouses-GreenSys2015 1170**. 2015. p. 1011-1018.



Área: Alimentos

**QUALIDADE TECNOLÓGICA DE FARINHAS DE TRIGO *SOFTS*
CULTIVADO EM DIFERENTES LOCALIDADES**

Lúcia Gabriela Cavalet*, Telma Elita Bertolin, Luciane Maria Colla

Laboratório de Cereais, Curso de Engenharia de Alimentos, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: 166368@upf.br*

RESUMO – O cultivo do trigo (*Triticum aestivum L.*) no Brasil ocorre em maior quantidade na região Sul do país, regiões que apresentam as melhores condições para o desenvolvimento da cultura. Características climáticas amenas são importantes para garantir produtividade e qualidade do grão. Contudo, nos últimos anos as regiões que semeiam o trigo estão expandindo para o estado de São Paulo, Minas Gerais e algumas cidades do Cerrado brasileiro. O trigo é classificado em categorias conforme a textura do endosperma em macio/mole, misto e duro, tendo impacto direto na qualidade tecnológica da farinha. Assim, esse trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade tecnológica de genótipos de trigo de textura mole sob diferentes ambientes de cultivo no sul do Brasil e sua aptidão para elaboração de biscoitos tipo cookies. Foram avaliadas amostras obtidas de três locais, Ciríaco RS I (região fria e úmida), Santa Rosa RS II (região quente e úmida) e Tibagi PR II (região quente e úmida). Após a obtenção da farinha de trigo, as amostras foram avaliadas quanto a sua reologia e propriedades de retenção de solventes. A localidade de Ciríaco apresentou dados de força de glúten (W) mais baixos, também atendeu a resultados mais desejáveis de perfil SRC, encontrando valores muito próximos ou iguais ao padrão de cada solvente. O genótipo BISCO05 obteve menor valor de W em todas as localidades, demonstrando estabilidade de qualidade as variações de ambiente.

Palavras-chave: Clima, *Triticum aestivum L.*, farinha, qualidade tecnológica

1 INTRODUÇÃO

O cultivo do trigo (*Triticum aestivum L.*) no Brasil, ocorre principalmente na região Sul do país, que são os locais que tem melhor desenvolvimento da cultura, uma vez que as características climáticas amenas favorecem o desenvolvimento do grão. Contudo, nos últimos anos, o crescimento de regiões que semeiam o trigo anualmente está expandindo para os estados de São Paulo, Minas Gerais e algumas cidades do Cerrado brasileiro (Conab, 2019). A qualidade da farinha de trigo obtida pela moagem do grão, é determinada por uma multiplicidade de fatores que tem diferentes significados, dependendo do uso ou designo da mesma ao produto final. Essas características podem ser classificadas em composição química, atividade enzimática e funcionalidade da farinha (Morita et al., 2002).

Segundo Massad (2021), o principal estudo para designar uma farinha de trigo em uma indústria de alimentos, é avaliar suas características reológicas, as quais vão predizer as características de processamento da massa, especificação de ingredientes e conseqüentemente a qualidade do produto final. O trigo é classificado em diferentes categorias, de acordo com a sua dureza, são elas, trigo macio ou mole, misto e duro, a qual essa classificação é baseada no conteúdo proteico e qualidade tecnológica de cada grão (Morris, 2015).

Para a produção de biscoitos com qualidade tecnológica prefere-se o trigo mole, de baixo teor de proteína bruta, que apresenta como principais características na farinha uma intermediária força de glúten e menor absorção de água, fazendo com que assim seja produzido biscoitos com mais crocância, diferindo e do trigo duro, cuja maior absorção de água é adequada para a produção de pães. As diferentes regiões produtoras de trigo no território nacional apresentam grande variação climática, sendo caracterizadas em quatro regiões principais que diferem em temperatura e distribuição de chuvas. Essas diferenças climáticas impactam diretamente na distribuição da composição principal do grão. As propriedades distintas da farinha ocorrem da variação do teor de amido danificado, fibras e qualidade das proteínas, o que influencia diretamente na qualidade e aptidão tecnológica da farinha. Sendo as características de qualidade do trigo dependentes do clima e do tipo de solo. Diante disso, o objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade tecnológica de genótipos de trigo de textura mole sob diferentes ambientes de cultivo no sul do Brasil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material



Os grãos de trigo utilizados nesse projeto foram cedidos pela empresa Biotrigo Genética LTDA- Passo Fundo/RS. Foram selecionados oito genótipos de trigo, três dos quais são cultivares comerciais utilizadas como testemunhas e os demais, linhagens do programa de melhoramento da Biotrigo Genética que estão em fase de avaliação de valor de cultivo e uso. Essas amostras foram obtidas na safra de 2019 de três localidades: Tibagi, região homogênea de adaptação PR II (quente e úmida); Santa Rosa, região homogênea de adaptação RS II (quente e úmida); e Ciriaco, região homogênea de adaptação RS I (fria e úmida).

2.2 Processo de moagem e obtenção das farinhas

As amostras de grãos de trigo foram condicionadas para 14,5 % de umidade com água destilada. Após 24 h de descanso, os grãos foram moídos em moinho experimental (Vitti Molinos), de acordo com o método da AACC n°26-10.02 (AACCI, 2010).

2.3 Determinação de umidade

A determinação de umidade foi realizada por infravermelho (MOC63u, Shimadzu, PAIS). Pesando 5 gramas de farinha, sendo elevada a 130 °C, por aproximadamente 12 minutos.

2.4 Alveografia

A alveografia ou força geral do glúten (W) foi determinada de acordo com a AACC, método n° 54-30 (AACC, 1995) utilizando um alveografo Chopin, modelo MA-87 (França). O parâmetro obtido no alveograma foi a energia de deformação da massa (W), que corresponde ao trabalho mecânico necessário para expandir a bolha até a ruptura, expressa em 10-4 J, tenacidade (P), que corresponde à pressão máxima necessária para expandir a massa; extensibilidade (L), correspondente à capacidade de extensão da massa e relação tenacidade/ extensibilidade (P/L), que expressa o equilíbrio da massa e a configuração da curva.

2.5 Capacidade de retenção de solventes

O perfil de capacidade de retenção de solventes (SRC) foi obtido de acordo com o método da AACC n° 56-11.02 (AACCI, 2010). O teste de capacidade de Retenção de Solventes (SRC) é a massa do solvente mantida pela farinha após centrifugação. É expressa em percentagem da massa da farinha (14 % de umidade). Para realizar o teste, adicionou-se 25 g ± 0,05 de solvente a 5 g ± 0,05 de amostra de farinha, homogeneizada e centrifugada. A mistura de farinha e solvente (gel) se deposita no fundo do tubo; qualquer solvente adicional (chamado sobrenadante) é descartado e se determina a massa do gel. A percentagem de solvente mantido é então calculada. Quatro solventes foram utilizados para produzir quatro valores de SRC %: água, 50 % de sacarose, 5 % de carbonato de sódio e 5 % de ácido láctico. Para a obtenção dos resultados, utilizou-se a equação 1:

$$\%SRC = [\text{peso do tubo} + \text{gel}/\text{peso da farinha} - 1] * [86/100 - \% \text{ umidade da farinha}] * 100$$

2.6 Análise estatística

As determinações foram realizadas em duplicatas nas três localidades. O experimento foi conduzido através de um delineamento bifatorial, e os dados foram avaliados pela análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey com intervalo de confiança de 95%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

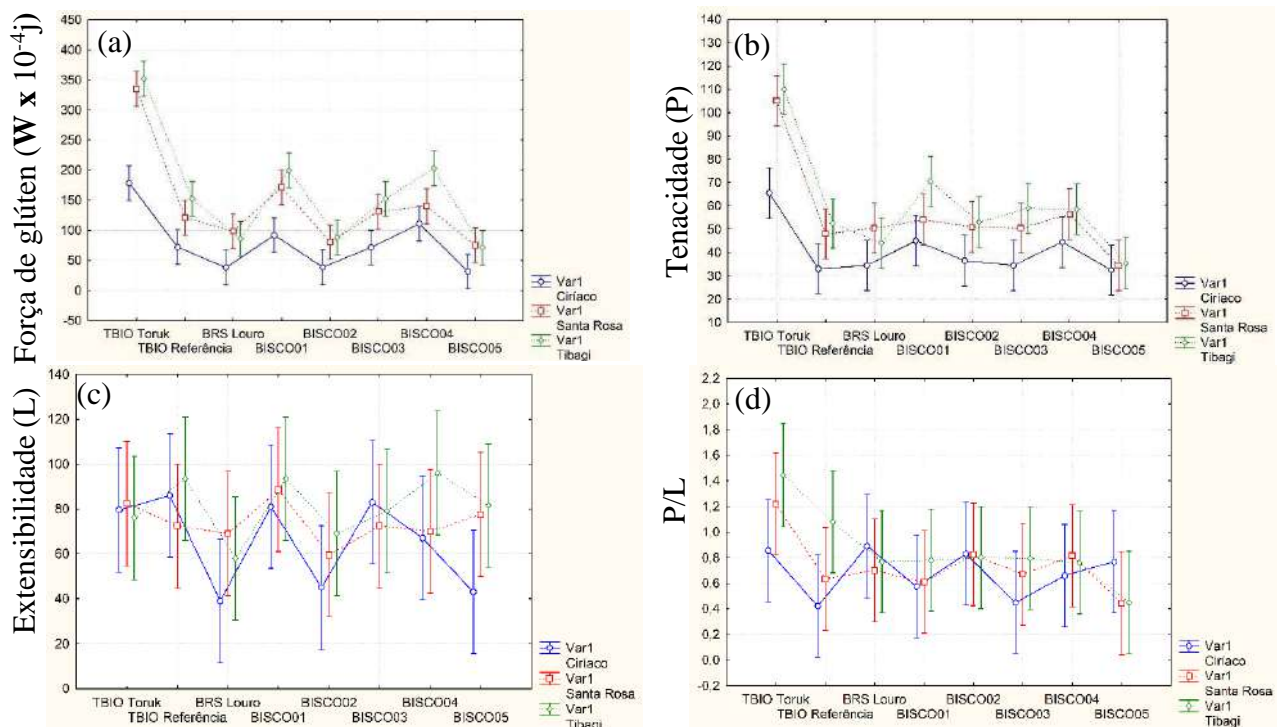
3.1 Alveografia

A Figura 1 apresenta os valores de alveografia das amostras referentes aos cultivos realizados na região do município de Ciriaco (região fria e úmida), os quais demonstraram que a força de glúten variou de 175 para TBIO Toruk



à 31,5 para o BISCO05, ficando abaixo de 150 para todos os genótipos de textura mole avaliados. Já, as amostras referentes a localidade de Santa Rosa (região quente e úmida), além do cultivar TBIO Toruk, o genótipo BISCO01 ficou acima dos 150, enquanto que em Tibagi (região fria e úmida) as amostras TBIO Toruk, BISCO01 e BISCO04 ficaram com força acima dos 150, estando TBIO Referência e BISCO03 com 150 de W, e os demais genótipos de trigo mole ficaram abaixo.

Figura 1. Força de glúten (W), Tenacidade (P) e Extensibilidade (L) referentes as diferentes localidades de amostragem: amostragem:



A qualidade industrial de trigo, além de ser afetada pelo genótipo, também é influenciada por fatores ambientais, como as condições meteorológicas prevalentes durante a permanência da cultura na lavoura (Guarienti, 1996). As amostras provenientes da localidade de Tibagi apresentaram os maiores valores de força de glúten, seguida das amostras provenientes da localidade de Santa Rosa, ambas pertencentes a região II, caracterizada por temperaturas no enchimento de grãos de média à alta. Os resultados de força de glúten para as amostras da localidade de Ciriaco, pertencentes a região I e caracterizada por temperaturas no enchimento de grãos mais amenas, menores valores de força de glúten foi verificado, e, de maneira geral, significativamente menores que os trigos cultivados na localidade de Tibagi. Segundo a Comissão Sul Brasileira de Pesquisa de trigo, farinhas para biscoito devem apresentar força de glúten entre 50 e 150 x10⁴ J. Desta forma, todos os genótipos de trigo mole cultivados em Ciriaco, apresentaram valores de W adequados para a elaboração de biscoitos.

A força geral do glúten é correlacionada com a baixa temperatura do local de cultivo. Em estudo realizado por Stone et al. (1997) e Popineau et al. (1993), demonstram que a baixa temperatura durante o desenvolvimento do trigo, ou mais especificamente quando o grão estivesse imaturo, afeta negativamente a qualidade e quantidade de glúten, e conseqüentemente a força geral de glúten (W). Esse fenômeno é devido a maior deposição de amido, comparando a quantidade de proteínas, quando a temperatura é baixa, propiciando menor teor de proteínas nos grãos, ocasionando assim, uma menor força de glúten (W) (Rodrigues et al., 2000).

O TBIO Toruk apresentou a maior força de glúten em todas as localidades estudadas. Esse resultado era esperado, uma vez que é uma cultivar de trigo duro é indicada para panificação e foi incluída nesse estudo apenas para comparação. Dentre os genótipos de trigo mole, TBIO Referência, BISCO01, BISCO03 e BISCO04, na localidade de Tibagi, e o genótipo BISCO01 na localidade de Santa Rosa, apresentaram valores de W acima do recomendado para biscoito, um indicativo de que para esta genética há maior risco de não atender as especificações da indústria, em detrimento de maior



efeito de ambiente sobre a qualidade. Na localidade de Ciríaco, as cultivares BRS LOURO, BISCO02 e BISCO05 apresentaram a menor força de glúten.

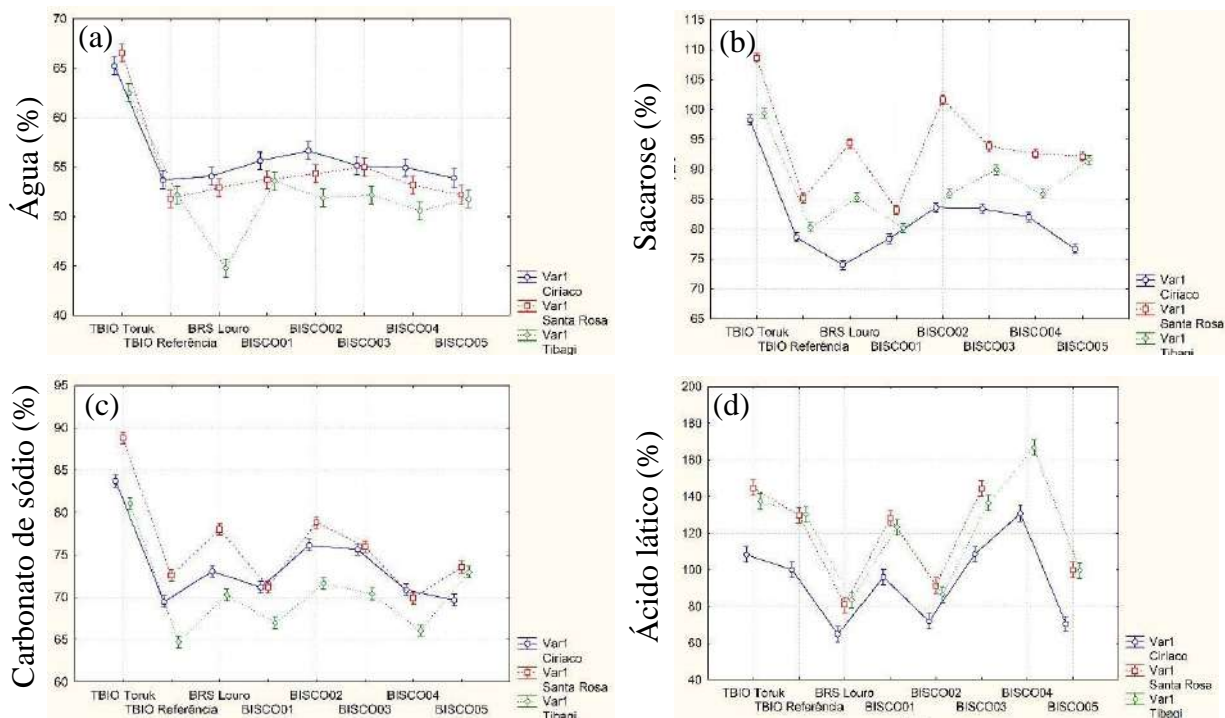
A Figura 1-b-c-d, apresentam os valores de tenacidade (P) e extensibilidade (L). A relação desses dois parâmetros baseia-se em P/L. A localidade de Ciríaco apresentou valores médios de P/L de 0,45 a 0,89, Santa Rosa de 0,45 a 1,22 e Tibagi com 0,45 a 1,45. Os maiores valores de P/L encontrado nas três localidades foi da cultivar de trigo duro, TBIO Toruk, estando com a média de 1,17 e a cultivar TBIO Referência na localidade de Tibagi com 1,08, estando a localidade de Ciríaco com menores valores de P/L entre as amostras avaliadas. Os menores valores encontrados nas três localidades pertencem ao genótipo BISCO05, estando com média de 0,45. Miranda et al. (2005) descreveram que o valor ideal de P/L para biscoitos são farinhas extensíveis com P/L < 0,49. Os demais valores obtidos de P/L apresentaram características mais elásticas (maior tenacidade que extensibilidade), indicando não serem as mais adequadas para produção de biscoitos; para os quais são indicadas farinhas mais extensíveis (Dobraszczyk; Morgensternb, 2003).

Segundo Bagulho et al. 2020, a composição proteica nos trigos é uma característica definida pelo genótipo (G), isto é, cada variedade possui genes que vão codificar as proteínas específicas e podem aportar uma maior ou menor qualidade/força ao glúten. Este aspecto qualitativo é influenciado pelo ambiente (E) que condiciona os níveis de expressão dos genes e irão determinar a quantidade relativa de cada uma destas proteínas. A interação destes dois fatores (G x E) influencia a quantidade dos diferentes tipos individuais de proteínas que se depositam no grão, o balanço entre os diferentes grupos de proteínas (gluteninas vs. gliadinas) e a polimerização das gluteninas que decorre desde a floração até se atingir a maturação fisiológica do grão.

3.2 Capacidade de retenção de solventes

A Figura 2 apresentam os valores médios de SRC dos oito genótipos estudados. Um perfil de SRC foi definido por Kweon, Slade e Levine, 2011, para farinhas de trigo refinada destinada a elaboração de biscoito tipo cookies, com valores de SRC-Água ≤ 51%; SRC-Sacarose, ≤ 89%; SRC-Carbonato de sódio, ≤ 64% e SRC-Ácido láctico, ≤ 87%. Os valores de SRC da água indicam a capacidade de retenção de água dos constituintes funcionais em geral da farinha de trigo, os quais incluem as proteínas do glúten, gliadina e glutenina, amido danificado e arabinosilanas (Kweon et al., 2011).

Figura 2. Capacidade de Retenção de Solvente Água (a), Sacarose (b), Carbonato de sódio (c) Ácido láctico (d) (d):





A localidade de Ciríaco (região fria e úmida) apresentou maiores valores médios de SRC-Água, seguido respectivamente de Santa Rosa (região quente e úmida) e Tibagi (região quente e úmida). A única cultivar de trigo duro TBIO Toruk, apresentou média de SRC-água de 64,74 % entre as três localidades avaliadas (> 62 %) enquanto que a média de valores de trigos moles foi de 44,76 a 56,63 %. A amostra TBIO Toruk é um trigo duro, não utilizado comercialmente para a produção de biscoitos, mas sim para pães, pois de acordo com Gaines (2000), farinhas com SRC-água ≥ 57 % é adequada para sistemas de pães e massas.

Segundo Gaines (2000), para um bom desempenho na fabricação de biscoitos, a farinha deve estar com um valor de SRC-água ≤ 51 %, o que não foi encontrado nos resultados da localidade de Ciríaco e Santa Rosa. A cultivar BRS LOURO apresentou o menor resultado de SRC-água, estando 44,76%, esse baixo valor pode ser explicado por um erro de processo durante a análise, não havendo uma explicação lógica para esse resultado, seguido do genótipo BISCO04 com 50,57%, quando cultivada na localidade de Tibagi, os demais valores estão acima do parâmetro esperado. De acordo com Moretto e Fett (1999), a capacidade de retenção pelo SRC-Água está diretamente relacionada com o diâmetro do biscoito.

O solvente Sacarose simula o ambiente funcional na massa de biscoito de alto teor de açúcar e fornece uma indicação do teor de arabinosilanas, pentosanas e funcionalidade das gliadinas na farinha de trigo (Gaines, 2000). Arabinosilanas e pentosanas influenciam diretamente na absorção de água da farinha, sendo assim, valores baixos de SRC-Sacarose são desejáveis para uma farinha de biscoito de boa qualidade, estando os valores ≤ 89 %. Entre as localidades analisadas, Santa Rosa apresentou maiores valores de SRC-Sacarose, seguido de Tibagi e Ciríaco. Na localidade de Santa Rosa, entre os trigos moles, a cultivar BRS LOURO e o genótipo BISCO02, apresentaram maiores valores de SRC-Sacarose, estando as médias com 94,29 a 101,66 %, respectivamente e com o menor valor o genótipo BISCO01. Na localidade de Ciríaco, os trigos moles ficaram todos abaixo de ≤ 89 %, encontrando a cultivar BRS LOURO e o genótipo BISCO05 com os valores mais baixos, variando de 73,96 a 76,59 %. Já na localidade de Tibagi, os genótipos BISCO03 e BISCO05 ficaram acima desse parâmetro, estando com as médias entre 89,87 a 91,50 % para esse solvente.

O solvente Carbonato de sódio está relacionado ao teor de amido danificado da farinha, o qual é gerado durante a quebra do grão no processo de moagem, o qual é associado a textura do grão. Essa característica pode afetar consideravelmente a qualidade da farinha, trazendo grande influência na quantidade de água absorvida pela mesma, trazendo consequências ao processo de fabricação de biscoitos, pois aumentando a absorção de água, altera a viscosidade da massa, uma vez que o amido danificado apresenta capacidade de reter quatro vezes mais água do que o amido nativo (Kweon et al., 2011).

A localidade com maiores valores de SRC-Carbonato de sódio foi a de Santa Rosa, com valores que variaram de 69,92 a 88,76 %, seguindo respectivamente de Ciríaco, com 69,46 a 83,73 %, e Tibagi com menores valores, de 64,73 a 81,07 % (Figura 2-c). Para classificar uma farinha adequada para a produção de biscoitos, os valores de retenção desse solvente deve estar ≤ 64 %, isso explica os máximos valores encontrados no cultivar TBIO Toruk (trigo duro) nas três localidades avaliadas. Dentre os trigos moles, a cultivar TBIO Referência e o genótipo BISCO04 apresentaram os valores mais próximos ao parâmetro, quando cultivados na localidade de Tibagi.

O solvente ácido láctico refere-se à resistência do glúten, propriedade das gluteninas da farinha de trigo. Ciríaco apresentou os menores valores de ácido láctico, com médias de 64,83 a 108,28 %, enquanto Santa Rosa e Tibagi seguiram com médias de 80,89 a 144,80 % e 83,47 a 166,74 %, respectivamente. Para classificar uma farinha adequada para a produção de biscoitos, os valores de retenção desse solvente deve estar ≤ 87 %. Nas três localidades avaliadas, houve destaque negativo no cultivar BISCO04, por apresentar um alto valor de retenção desse solvente, variando de 130,78 % na localidade de Ciríaco à 166,74 % em Tibagi, o que pode ser associado a elevada força de glúten desse genótipo. Já em Santa Rosa, não foi possível obter os valores para este genótipo, pois o volume retido pelo solvente ficou acima da capacidade de retenção no tubo. Esse resultado está associado a alta força de glúten. Os valores mais baixos encontrados foram em Ciríaco, na cultivar BRS LOURO, que também foi obtido um baixo valor nas outras duas localidades, e para os genótipos BISCO02 e BISCO05.

Desta forma, foi demonstrado que há grande variabilidade de ambiente, genótipo e interação genótipo ambiente para a variável SRC-Ácido láctico. A indústria de panificação geralmente prefere farinhas de trigo com baixa resistência ao glúten e baixa capacidade de retenção de água para a produção comercial de biscoitos tipo cookie (Slade; Levine, 1994). A localidade que atendeu a resultados mais desejáveis de perfil SRC, foi Ciríaco, encontrando valores muito próximos ou iguais ao padrão de cada solvente, porém, para determinar que uma farinha seja aplicada para a produção de biscoitos, utilizando o método de capacidade de retenção de solventes, é preciso levar em consideração os resultados dos quatro solventes, permitindo assim que haja contribuição de todos os componentes funcionais da farinha (Bressiani et al., 2021).

4 CONCLUSÃO



O ambiente interferiu diretamente na força de glúten, sendo que a localidade de Ciríaco, a qual pertence a região homogênea de adaptação do RS I (fria e úmida), apresentou dados de W mais baixos. Destaque especial para o genótipo BISCO05, o qual obteve menor valor de W em todas as localidades, demonstrando estabilidade de qualidade as variações de ambiente.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de Passo Fundo (UPF) pela infraestrutura. Aos colegas do laboratório de Bioquímica e Bioprocessos (LaBio), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - finance code 001, e à empresa Biotrigo Genética pelo fornecimento das amostras estudadas.

6 REFERÊNCIAS

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS INTERNATIONAL, Approved methods of analysis - AACCI. 11 ed. Saint Paul, MN, U.S.A, 2010.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS INTERNATIONAL – AACCI. Approved methods. 9 ed. Saint Paul, 1995.
- BRESSIANI, J. Farinha de trigo integral: Relação entre propriedades de hidratação e qualidade de biscoitos tipo Cookie. **(Doutorado em Engenharia de alimentos)** – Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, 2019.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). Acompanhamento da safra brasileira de grãos, 2019. Disponível em www.conab.gov.br. Acesso em fevereiro de 2024.
- DOBRAZCZYK, B.J.; MORGENSTERN, M.P. Rheology and the breadmaking process. **Journal of Cereal Science**, London, v.38, n.3, p.229-245, 2003. Disponível em: doi: 10.1016/S0733- 5210(03)00059-6.
- GAINES C.S. Collaborative study of methods for solvent retention capacity profiles. **Cereal Food World**, v.45, p.303-306, 2000.
- GUARIENTI, E.M. **Qualidade Industrial de Trigo** 2.ed., Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1996. 27p.
- KWEON M., SLADE L., LEVINE H. Solvent retention capacity (SRC) testing of wheat flour: principles and value in predicting flour functionality in different wheat-based food processes and in wheat breeding e a review. **Cereal Chemistry**, v. 88, p. 537-552, 2011.
- MASSAD J. A. Reologia de farinha integral para biscoitos enriquecida com diferentes fontes proteicas. **(Dissertação de mestrado em tecnologia de alimentos)**. Universidade tecnológica federal do paraná, 2021.
- MIRANDA, M. Z.; MORI, C.; LORINI, I. Qualidade do trigo brasileiro: safra 2004. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, 2005. 92 p. (Documentos, v. 52)
- MORETTO, E.; FETT, R. Processamento e análise de biscoitos. São Paulo: Varela. P. 97, 1999.
- MORITA, N.; MAEDA, T.; MIYAZAKI, M.; YAMAMORI, M.; MJURA, H.; OHTSUKA, I. Dough and baking properties of highamylose and waxy wheat flours. **Cereal Chemistry**. v.79, p.491- 495, 2002.
- POPINEAU, Y.; CORNEC, M.; LEFEBVRE, J.; MARCHYLO, B. Influence of high Mr glutenin subunits on glutenin polymers and rheological properties of gluteins and gluten subfraction of near-isogenic lines of wheat Sicco. **Journal of Cereal Science**, New York, v. 19, p. 231-241, Nov , 1993.
- RODRIGUES, S. M., et al. (2000). Efeito da temperatura na qualidade tecnológica de trigo. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 20(3), 328-332.
- SLADE, L.; LEVINE, H.; CRAIG, S.; ARCISZEWSKI, H. (1994). Reducing checking in crackers with pentosanase. United States Patent US 5362502.
- STONE, P. J.; GRAS, P. W.; NICOLAS, M.E. The influence of recovery temperature on the effects of a brief heat shock on wheat. III. Grain protein composition and dough properties. **Journal of Cereal Science**, London, v. 25, n. 1, p. 129-141, Jul., 1997.



Área: Alimentos

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE BISCOITOS TIPO
COOKIE ELABORADOS A PARTIR DE TRIGOS *SOFTS* CULTIVADOS EM
DIFERENTES LOCALIDADES DO SUL DO BRASIL**

Lúcia Gabriela Cavalet*, Telma Elita Bertolin, Luciane Maria Colla

Laboratório de Cereais, Curso de Engenharia de Alimentos, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: 166368@upf.br*

RESUMO – O trigo (*Triticum aestivum L.*), é classificado em categorias conforme a textura do endosperma em macio/mole, misto e duro, tendo impacto direto na qualidade tecnológica da farinha. Para a produção de biscoitos, faz-se o uso do trigo mole, o qual contém como principais características a baixa força de glúten, menor absorção de água da farinha e a distribuição dos componentes do grão, como amido, fibras e proteínas que o difere do trigo duro ou semi-duro, comumente usados para produção de pães. O Brasil ocupa a posição de quarto maior vendedor de biscoitos mundialmente, sendo assim, esse trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade tecnológica de genótipos de trigo de textura mole sob diferentes ambientes de cultivo no sul do Brasil e sua aptidão para elaboração de biscoitos tipo cookie. Foram avaliadas amostras obtidas de três locais, Ciríaco RS I (região fria e úmida), Santa Rosa RS II (região quente e úmida) e Tibagi PR II (região quente e úmida). Biscoitos tipo cookie foram elaborados e avaliados quanto a sua espessura, diâmetro, fator de propagação e textura. Concluiu-se que o genótipo BISCO05 obteve melhor performance em biscoito nas três localidades avaliadas. Dentre as localidades avaliadas, Santa Rosa (clima quente e úmido) foi a que obteve melhores performances em biscoito, no que se refere a características como espessura e diâmetro.

Palavras-chave: Trigo *soft*, biscoito, fator de propagação.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil ocupa a posição de quarto maior vendedor de biscoitos mundialmente, com registro de 1,27 milhões de toneladas, comercializadas em 2019 (ABIMAPI, 2019). Com isso, a cultura do trigo, está se voltando a diferenciação de produtos no mercado que atendam e supram as necessidades dos consumidores, com a intenção de aprimorar cada vez mais a aptidão tecnológica diferenciada (Bressiani, 2019).

O biscoito tipo cookie, pode ser definido como um produto assado, o qual contém três ingredientes principais: farinha, açúcar e gordura (Perez, 2002), que juntamente com o baixo teor de água, forma uma massa homogênea e de aspecto leve. De acordo com a formulação a ser usada, pode ser acrescentando alguns complementos, como agentes químicos, leveduras, enzimas, fibras, sal, xaropes e emulsificantes, os quais são usados em pequenas quantidades (Chevallier et al., 2000). Os biscoitos atendem à demanda dos consumidores, levando em conta sua popularidade e simplicidade no consumo, pois já vem pronto. É um alimento consumido por crianças, adultos e idosos, com uma qualidade nutricional e disponibilidade em grandes variedades, podendo sem encontrado biscoitos tipo craker e wafer, os quais são produzidos e distribuídos em grande escala, devido a sua longa vida-de-prateleira (Bruno et al., 1995).

Para que o biscoito seja aceito pela indústria, e assim produzido em larga escala, as características como maior diâmetro e menor espessura fazem referência a parâmetros de boa qualidade (Bressiani, 2019), enquanto que um biscoito produzido com uma farinha de trigo duro, não apropriada para biscoito, além de não apresentar essas características, não haverá crocância, pois apresentara acúmulo de água no produto. Tais características tornam o biscoito um alimento para estudo de diferentes formulações, pelo fato de ser um produto cuja exigência de referência está bem definida.

De acordo com os dados da Associação Brasileira de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados (Abimapi, 2019), o Brasil foi responsável pela comercialização de 1,17 milhões de toneladas de biscoitos em 2018 e possui percentual de penetração de 99,6 nos domicílios. O Brasil consome em média de 5,55 kg por habitante anualmente. Cultivares de trigo com especificação de qualidade especial possuem mercado diferenciado, normalmente remunerando melhor o produtor por tonelada de grão produzido. Essa maior remuneração paga pela indústria exige alto padrão de qualidade da produção, havendo a necessidade de melhor caracterização dos lotes, conforme variações encontradas nos grãos nas diferentes regiões produtoras. Diante disso, objetivo deste trabalho é avaliar a influência da adição de trigos cultivados em diferentes ambientes de cultivo no sul do Brasil nas características tecnológicas de *cookies*.



2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Os grãos de trigo utilizados nesse projeto, foram cedidos pela empresa Biotrigo Genética LTDA- Passo Fundo/RS. Foram selecionados oito genótipos de trigo, três dos quais são cultivares comerciais (TBIO Referência, TBIO Toruk e TBIO Louro) utilizadas como testemunhas, e os demais, linhagens do programa de melhoramento da Biotrigo Genética que estão em fase de avaliação de valor de cultivo e uso. Essas amostras foram obtidas na safra de 2019 de três localidades: Tibagi, região homogênea de adaptação PR II (quente e úmida); Santa Rosa, região homogênea de adaptação RS II (quente e úmida); e Ciríaco, região homogênea de adaptação RS I (fria e úmida).

2.2 Processo de moagem e obtenção das farinhas

As amostras de grãos de trigo foram condicionadas para 14,5 % de umidade com água destilada. Após 24 h de descanso, os grãos foram moídos em moinho experimental (Vitti Molinos), de acordo com o método da AACC n°26-10.02 (AACCI, 2010).

2.3 Elaboração dos biscoitos tipo Cookie

A elaboração dos biscoitos tipo cookies foi realizada de acordo com a AACC, método n° 10-50D (AACCI, 1995), utilizando a tabela de proporção dos ingredientes (Tabela 1). Todos os ingredientes foram pesados em balança semi-analítica, adicionados a batedeira planetária. Foram adicionados primeiro a gordura vegetal, o açúcar, o sal e o bicarbonato de sódio e batidos em baixa velocidade por 3 minutos, a cada minuto a batedeira era desligada para homogeneização dos ingredientes com o auxílio de uma espátula. Então, foram adicionadas a solução de dextrose e a água destilada, batidas por 1 minuto em baixa velocidade e mais 1 minuto em velocidade média. Adicionou-se a farinha e a massa foi batida por 2 minutos em velocidade baixa parando a cada 30 segundos para mexer a massa com uma colher. A massa foi então separada em seis biscoitos, e depois colocada em papel manteiga dentro de forma para biscoitos de 60 mm de diâmetro e espessura de 13 mm, retirando o excesso das laterais. Com auxílio de paquímetro foi medida a altura inicial dos biscoitos e em seguida eles foram assados em forno elétrico na temperatura de 205 °C por 13 minutos. Após 30 minutos de resfriamento foram realizadas novas medições de altura e diâmetro e os biscoitos armazenados em saco plástico para análises subsequentes.

Tabela 1 - Formulação de biscoitos cookie (AACC *internacional method*).

Ingredientes, em temperatura de 23,9°C	Peso (g)
Gordura vegetal	64,0
Açúcar	130,0
Sal	2,1
Bicarbonato de sódio	2,5
Solução de dextrose (8,9g dextrose e 150 mL de água destilada)	33,0
Água destilada	16,0
Farinha de trigo	225,0

2.4 Avaliação das características de qualidade dos biscoitos tipo cookie

Os biscoitos foram avaliados quanto ao diâmetro, índice de propagação, cor e textura. O diâmetro médio dos biscoitos foi determinado medindo a largura de seis biscoitos colocados lado a lado e dividindo por seis. Os cálculos de diâmetro incluíram rotação dos biscoitos em um ângulo de 90 ° para medições duplicadas. A espessura média dos biscoitos



foi determinada medindo a altura de uma pilha de seis biscoitos e dividindo por seis. O fator de propagação dos biscoitos foi calculado dividindo o diâmetro do biscoito cozido pela espessura do biscoito. A análise de textura dos biscoitos foi realizada em equipamento texturômetro (TA.XT.plus, Stable Micro Systems, Inglaterra), com probe 3-Point bending Rig (HDP/3PB) e plataforma HDP/90. Os parâmetros utilizados nos testes foram: velocidade pré-teste = 1,0 mm.s⁻¹; velocidade de teste = 3,0 mm.s⁻¹; velocidade pós-teste = 10,0 mm.s⁻¹; distância 5 mm. A força de pico exibida no gráfico de textura foi a força necessária para quebrar o cookie e foi registrada como a força de ruptura do *cookie*.

2.5 Análise estatística

As determinações foram realizadas em duplicatas nas três localidades. O experimento foi conduzido através de um delineamento bi-fatorial, e os dados foram avaliados pela análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey com intervalo de confiança de 95%.

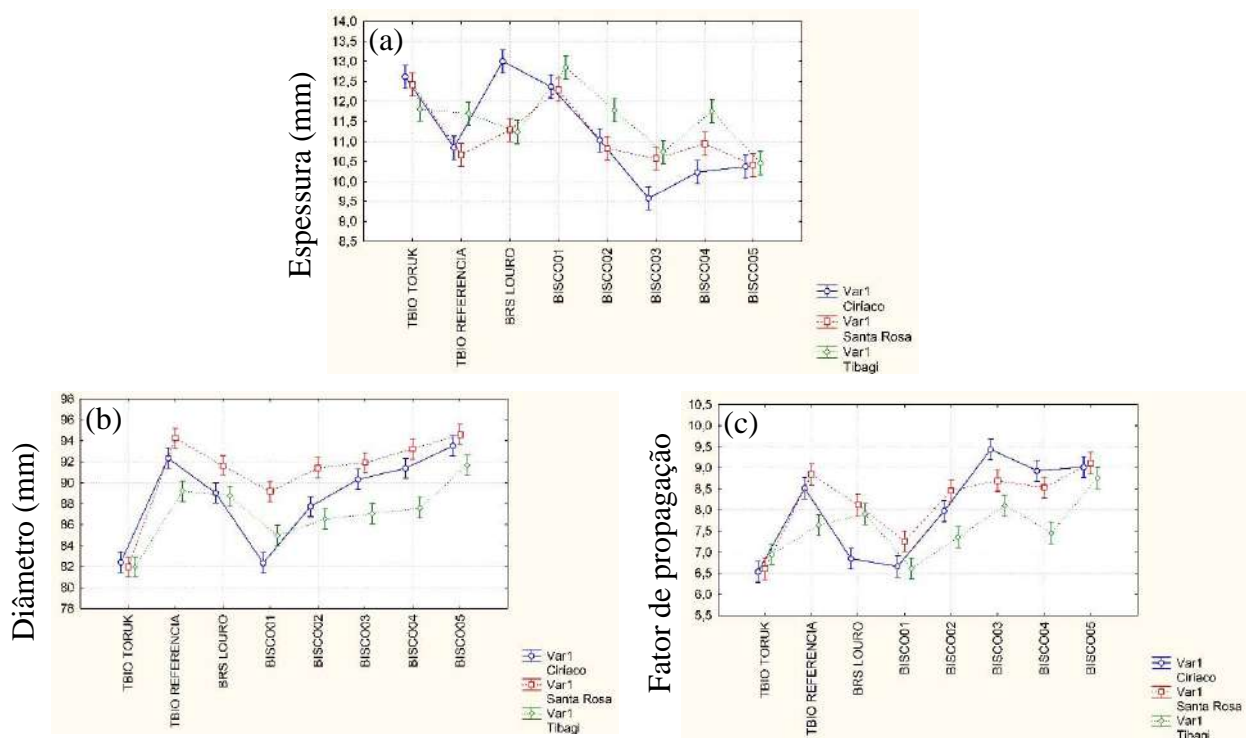
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

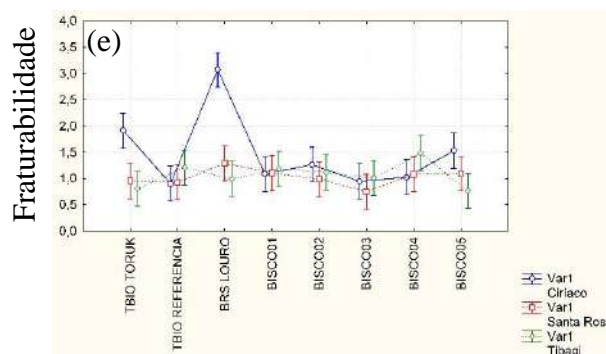
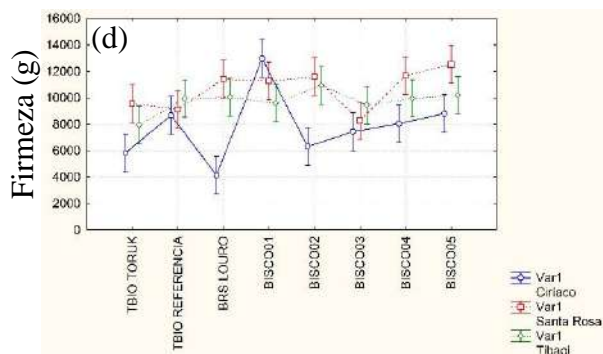
3.1 Análises tecnológicas dos biscoitos tipo *cookie*

3.1.1 Diâmetro, Espessura, Fator de propagação e textura dos cookies

Os principais critérios na avaliação da aptidão de farinhas de trigo para a produção de biscoitos são diâmetro, espessura e as características superficiais dos biscoitos. Durante o cozimento dos biscoitos, a massa da farinha de trigo mole se espalha mais rápido, e produz biscoitos maiores do que o da farinha de trigo. Sendo assim, o maior diâmetro dos biscoitos está associado a trigos de dureza mole, de baixo teor de proteínas e que produzem farinha de quebra em maior quantidade e com pequeno tamanho de partículas (Gutkoski, 2007). Para Yamamoto et al., 1996, o fator de propagação é o que prediz melhor a qualidade de uso final da farinha de trigo para a elaboração de biscoitos.

Figura 1. Espessura (a) Diâmetro (b) Fator de propagação (c) Firmeza (d) e Fraturabilidade (e) dos biscoitos tipo *cookie*





A utilização de farinha com aptidão para produção de biscoitos geralmente impacta em aumento do diâmetro depois do forneamento, que é atribuído ao baixo conteúdo de glúten e força da farinha, que forma um filme frágil ao invés de rede viscoelástica (Zoulias et al., 2002). A localidade e o genótipo tiveram efeito significativo no diâmetro e espessura dos cookies (Figura 1 a-b). Na localidade Ciríaco, a espessura dos biscoitos variou de 9,57 a 13,0 mm, sendo o menor valor obtido pelo cultivar BISCO03. Quanto menor a espessura do biscoito, melhor é a característica da farinha de trigo utilizada (Gutkoski et al., 2007). As maiores médias de espessura foram obtidas com a cultivar BRS LOURO, com 13,0 mm e com a cultivar não indicada para biscoito TBIO TORUK, com 12,61 mm. Biscoitos de espessuras maiores são obtidos a partir de massa elástica que armazena energia mecânica, que por si só induz a recuperação parcial da tensão (Fustier et al., 2007).

O diâmetro do biscoito é uma função da taxa de propagação e do ponto de ajuste da massa de biscoito (Ram, 2004). Na média de diâmetro dos biscoitos da região de Ciríaco, novamente a cultivar de trigo duro TBIO Toruk obteve um menor diâmetro, com a média de 82,41mm ficando próximo também da cultivar BISCO01, com 82,34 mm. Uma rede elástica da massa apresenta encolhimento durante o cozimento após a expansão e, portanto, redução no diâmetro (Zoulias et al., 2000). Esse resultado pode ser explicado pela relação negativa entre SRC-Ácido láctico e diâmetro do biscoito (Gaines, 2004). Embora esse perfil de SRC apresente menor potencial de expansão durante o cozimento do biscoito, é adequado para elaboração de outros produtos de panificação (Gaines, 2004). Segundo a classificação de qualidade de glúten descrita por Williams et al. (1988), citado por Guarienti (1996), a força de glúten da farinha usada para a produção dos biscoitos pode ser classificada como de força intermediária.

Na localidade de Santa Rosa, encontrou-se os valores de espessura muito próximos das ambas localidades, porém, no diâmetro dos biscoitos foi a localidade em que se destacou por possuir os maiores valores, que variaram de 81,96 a 94,59 mm com destaque de maior diâmetro para a testemunha TBIO Referência, com 94,25 mm. Já na localidade de Tibagi no parâmetro espessura, foi a localidade em que apresentou maiores valores em algumas cultivares, o que não é bom para a performance em biscoitos, pois é um indicativo de que o fator de propagação desse biscoito não teve boa performance.

Para biscoitos tipo cookie, a baixa espessura e alto espalhamento, assim como uma textura macia e fácil de quebrar, são parâmetros de qualidade desejados. Segundo Fustier et al. (2007), o comportamento de espalhamento do biscoito depende de sua rede de glúten, e que, acima de um certo nível de proteína, a qualidade da proteína tem apenas um impacto menor. Isso significaria que, uma vez formada uma rede de glúten, a qualidade do glúten tem pouco impacto nas dimensões dos biscoitos. O fator de propagação dos cookies teve diferença significativa entre algumas amostras na localidade de Ciríaco, e o menor fator de propagação foi da cultivar TBIO Toruk, com 6,53. O maior valor de fator de propagação foi da cultivar BISCO03, a qual obteve um alto valor nas três localidades avaliadas, apresentando altas médias para o diâmetro e baixas para espessura, resultando em parâmetros ótimos para biscoitos tipo cookies. Observando a cultivar BISCO01, nas três localidades avaliadas resultou em um baixo fator de propagação, isso se explica por seu alto valor de SRC-Ácido láctico e altos valores de força de glúten, pois este solvente é um indicador de força de glúten, quanto mais alto seu valor, maior será o W (Guttieri, 2003), o que não é bom para a expansão e desenvolvimento dos biscoitos.

Um fator importante em uma cultivar de trigo para biscoito se refere a estabilidade da qualidade frente as variações do ambiente. Nesse quesito, um destaque especial foi observado para o genótipo BISCO05, que apresentou valores muito similares entre as três localidades estudadas, apresentando valores adequados na reologia, no SRC e nos parâmetros do teste de biscoito, diâmetro, espessura e fator de propagação. Desta forma, os resultados desse estudo evidenciam o valor superior deste genótipo na qualidade para biscoitos.

Os biscoitos preparados a partir da farinha de trigo duro apresentaram maior estresse de fratura do que os biscoitos preparados com de farinha de trigo mole. O estresse da fratura de biscoito pode estar relacionado a parâmetros estruturais internos, como porosidade, tamanho dos poros e espessura da matriz (Pauly et al., 2013). Observando os



resultados de textura (Figura 1-d), podemos analisar que não houve diferença significativa entre as três localidades, exceto a cultivar BRS LOURO de Ciriáco, a qual obteve o menor valor de firmeza, com 3872,93 g, isso se explica pelo fato da espessura do cookie ser maior (Figura 1-a), resultando em maior umidade na sua massa, e por consequência menor crocância do biscoito. Além disso, a gelatinização do amido durante a cocção da massa também contribui para a rigidez da matriz de biscoitos (Manley, 2011). Provavelmente, a força da matriz dos biscoitos resulta do impacto combinado dos diferentes constituintes de farinha, obtendo uma alta firmeza nos cookies. Alto nível de proteína e fatores relacionados à dureza do grão também contribuem para a textura do biscoito (Fustier et al., 2007).

Os resultados de fraturabilidade (Figura 1-e) dos cookies apresentaram pequena variabilidade nos valores médios, apresentando valores mais altos na localidade de Ciriáco com 1,91 para a cultivar TBIO Toruk e 3,07 para a cultivar BRS LOURO, as localidades de Santa Rosa e Tibagi não diferiram significativamente. O estresse da fratura de biscoito pode estar relacionado a parâmetros estruturais internos, como porosidade, tamanho dos poros e espessura da matriz (Pauly et al., 2013). A variação de textura dos biscoitos é interferida pela porosidade do biscoito durante a cocção, proveniente da dureza do trigo, quanto mais duro o trigo, menos poroso, quanto mais mole, mais porosidade, e consequentemente a textura é influenciada por esse fator.

De um modo geral, os genótipos que se destacaram por apresentar uma performance adequada para a produção de biscoitos foram os genótipos BISCO03, BISCO04 E BISCO05, tanto nos valores dentro dos parâmetros de capacidade de retenção de solventes e força de glúten, ocasionou em um fator de propagação característico de biscoito, que foi possível observar na Figura 1, esses genótipos seguiram uma estabilidade nas três localidades avaliadas e essa característica se deve a sua genética, a qual é apta para biscoito.

4 CONCLUSÃO

A localidade com melhor desempenho dos trigos para elaboração de biscoito tipo *cookie* foi Santa Rosa, a qual pertence a região homogênea de adaptação do RS II (quente e úmida), apresentando maiores valores de diâmetro e menores de espessura, o que ocasionou em um maior fator de expansão nos biscoitos. Ciriáco foi o ambiente que mais diferenciou a expressão genética para performance em biscoito. Já os ambientes Santa Rosa e Tibagi, apresentaram performance similar da performance dos genótipos, que é associado à sua semelhança climática, quente e úmida.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de Passo Fundo (UPF) pela infraestrutura. Aos colegas do laboratório de Bioquímica e Bioprocessos (LaBio), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - finance code 001, e à empresa Biotrigo Genética pelo fornecimento das amostras estudadas.

6 REFERÊNCIAS

- American association of cereal chemists international – AACCI. Approved methods of analysis. 11 ed. Saint Paul, MN, U.S.A, 2010.
- American association of cereal chemists international - AACCI. Approved methods. 9 ed. Saint Paul, 1995.
- Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Paes & Bolos (ABIMAPI). Anuário ABIMAPI. (2019). Disponível em: Acesso em: 25 de março de 2024.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução (ANVISA) – CNNPA nº 12, de 1978.
- BRESSIANI, J. Farinha de trigo integral: Relação entre propriedades de hidratação e qualidade de biscoitos tipo Cookie. (Doutorado em Engenharia de alimentos) – Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, 2019.
- BRUNO, M. E. C.; CAMARGO, C. R. O. Enzimas proteolíticas no processamento de biscoitos e pães. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 170-178, 1995
- CHEVALLIER, S.; COLONNA, P.; DELLA VALLE, G.; LOURDIN, D. Contribution of major ingredients during baking of biscuit dough systems. *Journal of Cereal Science*, v.31, p.241-252, 2000.
- FUSTIER P., CASTAIGNE F., TURGEON S. L., BILIADERIS C. G., Biscoito semi-doce fazendo potencial de patente de farinha de trigo macio, fluxos de moinho médio e claro feitos com farinhas nativas e reconstituídas. **Revista de Ciência do Cereal**, 46 (2007), pp. 119-131.
- GAINES S. C., Previsão do diâmetro do biscoito com encaixe de açúcar usando capacidade de retenção de solventes de sacarose, maciez de moagem e teor de proteína de farinha. **Química do Cereal**, 81 (4) (2004), pp. 549-552.
- GUARIENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1996. 36 p.
- GUTKOSKI, L. C.; PAGNUSSATT, F. A.; SPIER, F.; PEDÓ, I. Efeito do teor de amido danificado na produção de



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- biscoitos tipo semi-duros. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, p. 119-124, 2007.
- MANLEY, D., Classificação de biscoitos, tecnologia de biscoitos. **Manley Woodhead Publishing**, Cambridge, (2011), pp. 271-278.
- GUTTIERI M. J., Fontes de variação no teste de capacidade de retenção de solventes da farinha de trigo. **Ciência da Cultura**, 43 (2003), pp. 1628-1633.
- PEREZ, P.M.P. Elaboração de biscoito tipo salgado, com alto teor de fibra alimentar, utilizando farinha de berinjela (solanun melongena, L.). 2002.120f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Tecnologia dos Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2002.
- RAM, S., Capacidades de retenção de solventes de trigo indiano e sua relação com a qualidade de fabricação de biscoitos. **Química do Cereal**, 81 (2004), pp. 128-133
- WILLIAMS, P. et al. **Crop quality evaluation methods and guidelines** 2 ed. Syria: ICARDA, 1988. 145 p.
- YAMAMOTO, H. et al. Rheological properties and baking qualities of selected soft wheat grown in the United States. **Cereal Chemistry**, v. 73, n. 2, p. 215-221, 1996.
- ZOULIAS, E. I.; OREOPOULOU, V.; KOUNALAKI, E. Effect of fat and sugar replacement on cookie properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, n. 14, p. 1637-1644, 2002.



Área: Alimentos

ACEITABILIDADE SENSORIAL DE IOGURTE PROBIÓTICO ADICIONADO DE CARBOIDRATOS EXTRAÍDOS DO FARELO DE ARROZ

Ana Letícia Back, Laura Luisi Antunes, Eliane Colla, Deisy Alessandra Drunkler*

Curso de Engenharia de Alimentos, Departamento Acadêmico de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Medianeira, Medianeira, PR

*E-mail: deisydrunkler@utfpr.edu.br

RESUMO – Com o objetivo de utilizar um resíduo do beneficiamento do arroz e também de desenvolver um produto com propriedades funcionais e aceitabilidade sensorial, neste trabalho foi elaborado iogurte potencialmente simbiótico a partir da utilização de cultura probiótica de *Lactobacillus acidophilus* e de carboidratos extraídos do farelo de arroz desengordurado como ingrediente prebiótico. Foram elaboradas três formulações de iogurte, todas contendo microrganismo probiótico: uma utilizando carboidrato extraído do farelo de arroz desengordurado (FFAD) como potencial prebiótico, um controle positivo utilizando inulina como prebiótico (FI) e um controle negativo sem prebiótico (FC). Foram realizadas análises microbiológicas que confirmaram a segurança microbiológica para a análise sensorial. No Teste de Escala Hedônica, os tratamentos diferiram entre si para os atributos cremosidade, sabor, acidez e impressão global, onde FC e FI apresentaram maior média para estes atributos, assim como para intenção de compra. No entanto, não diferiram entre si para cor, aparência e aroma. No entanto, as notas para FFAD ficaram entre nem gostei/nem desgostei (5,0) e gostei muito (8,0), o que sugere que os carboidratos extraídos do FAD possuem potencial para serem empregados na elaboração de iogurte.

Palavras-chave: carboidratos; farelo de arroz; iogurte; probióticos.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o reaproveitamento de resíduos sólidos gerados pela indústria de alimentos que apresentam, ainda, quantidades significativas de proteínas, fibras, vitaminas e outros componentes nutricionais tem sido constante nos últimos anos. Dentre os resíduos gerados, destaca-se o farelo de arroz, que representa cerca de 6 a 12% do peso total e é composto pela parte externa do grão (Spaggiari *et al.*, 2021). Em sua composição, apresenta altos teores de carboidratos, lipídios, fibras e vitaminas, o que o torna um subproduto com propriedades nutricionais, mas pouco utilizado na indústria de alimentos por sofrer rancificação rapidamente (Wu *et al.*, 2020). Após a extração do óleo, este farelo de arroz desengordurado (FAD) pode ser aplicado na indústria de alimentos e fármacos (Spaggiari *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2020).

Dentre os carboidratos constituintes do FAD, há uma grande concentração destes não digeríveis que compreendem os oligossacarídeos, polissacarídeos e amido resistente (Spaggiari *et al.*, 2021). Trabalhos têm associado a presença dos carboidratos extraídos do FAD e o desenvolvimento de microrganismos benéficos, assim como inibição de microrganismos maléficos (Ghimire *et al.*, 2020; Saman *et al.*, 2019). Antunes *et al.* (2023) verificaram que os carboidratos obtidos do FAD demonstram resistência as condições gastrointestinais simuladas, sendo capazes de estimular bactérias benéficas e limitar microrganismos entéricos, servindo de fonte de carboidrato para o desenvolvimento das cepas probióticas, o que indica ser uma fonte potencial de prebióticos e com potencial para utilização em produtos alimentícios. Porém, a maioria destes estudos são realizados com o produto isolado sem aplicação em alimentos. Devido às características apresentadas, poderiam ser denominados de prebióticos, ou seja, resistente a digestão e seletivamente fermentados por microrganismos benéficos do organismo (conhecidos como probióticos) conferindo benefícios à saúde (Saman *et al.*, 2019; Gibson *et al.*, 2017).

O iogurte destaca-se como excelente matriz alimentar para a veiculação de ingredientes com propriedades funcionais, como prebióticos e probióticos (Abdi-Moghadam *et al.*, 2023), conferindo efeitos benéficos ao consumidor quando os microrganismos probióticos mantêm-se viáveis, ativos e em determinada concentração durante a vida útil do produto (Hashemi; Hosseini, 2021). No entanto, a adição de ingredientes pode impactar benéficamente ou não na aceitabilidade sensorial deste derivado lácteo (Farag *et al.*, 2021).

Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o impacto na aceitabilidade sensorial de um iogurte simbiótico, elaborado pela adição de carboidratos extraídos do FAD como fonte de prebiótico e de *Lactobacillus acidophilus* como probiótico.



2 MATERIAL E MÉTODOS

Três (03) formulações de iogurte foram preparadas, sendo uma a formulação controle (controle negativo – sem prebiótico, denominada de FC), outra contendo inulina, na concentração de 15 gL⁻¹ (denominada de FI e controle positivo) e outra formulação contendo os carboidratos extraídos do FAD na concentração de 15 gL⁻¹ e denominada de FFAD. A obtenção dos carboidratos do farelo de arroz desengordurado e a concentração selecionada para adição no iogurte foi baseada no trabalho realizado por Antunes *et al.* (2023). As diferentes formulações de iogurte foram elaboradas iniciando com a correção do teor de sólidos totais do leite para 12% (m/v) e, a seguir, foi adicionada a inulina (Raftiline GR, Orafiti®, Mannheim, Alemanha) e os carboidratos extraídos do FAD, respectivamente, nas formulações FI e FFAD, na concentração de 15 gL⁻¹. Todas as formulações passaram por tratamento térmico a 95 °C por 5 minutos, foram posteriormente resfriadas até atingirem 42 °C e inoculadas com a cultura *starter* e *L. acidophilus*, nas concentrações determinadas pelos fabricantes. As formulações foram incubadas a 42 °C até o teor de acidez atingir 0,6 g de ácido láctico/100 g⁻¹ e/ou pH igual a 4,6. As formulações foram refrigeradas e, no dia seguinte, o coágulo foi quebrado manualmente e realizou-se o acondicionamento em frascos de vidro sob refrigeração a 5° ± 1 °C até o momento da realização das análises (Bai *et al.*, 2020).

As análises microbiológicas foram realizadas com o intuito de avaliar a qualidade higiênico-sanitária das diferentes formulações elaboradas, seguindo o disposto na Instrução Normativa nº 161, de 1º de Julho de 2022 (Brasil, 2022), a saber: Bactérias e Leveduras, *Escherichia coli* e *Salmonella sp.*, seguindo metodologia descrita por Silva (2017).

O projeto foi submetido e aprovado pelo comitê de ética em pesquisa envolvendo seres humanos do Campus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR (CAAE 56540422.0.0000.0165). Foram recrutados 80 julgadores, de acordo com o proposto pela ISO 11136 (2014), pertencentes ao quadro de discentes e servidores da UTFPR, maiores de 18 anos e com ausência de histórico de alergia e ou intolerância ao leite. Para a avaliação sensorial utilizou-se o Teste de Escala Hedônica de 09 pontos, onde 01 correspondeu a “desgostei muitíssimo” e 09 a “gostei muitíssimo”, onde os atributos avaliados foram: aroma, sabor, acidez, aparência, cremosidade, cor e aceitação global (IAL, 2008). A análise foi realizada no laboratório de Análise Sensorial do Campus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), em cabines individuais e com luz branca. Cada avaliador recebeu cerca de 40 mL de cada formulação, na temperatura de 5 °C ± 1 °C, em copos plásticos descartáveis com capacidade de 50 mL e codificados com números aleatórios de três dígitos. Além das amostras, foi ofertado um copo com água mineral para limpeza do palato entre as amostras (Dutcosky, 2013). Também foi aplicada a escala de atitude estruturada de 5 pontos para avaliar a intenção de compra, onde 1 refere-se a “certamente não compraria” e 5 refere-se a “certamente compraria” (IAL, 2008). Juntamente com a ficha de análise sensorial, os participantes receberam um questionário com questões socioeconômicas para caracterização do público envolvido na pesquisa, com questões sobre gênero, nível de escolaridade, idade, renda familiar, consumo de derivados de leite, frequência e preferências no consumo de iogurtes.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando detectada diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade ao teste de Tukey ao nível de 5% de significância, utilizando o programa *Excel for Windows*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise microbiológica apresentou resultados dentro dos padrões exigidos pela Instrução Normativa Nº 161, de 1º de julho de 2022 (BRASIL, 2022). Através dos dados socioeconômicos dos participantes da análise sensorial, 60% dos julgadores pertenciam ao sexo feminino e a maioria enquadrava-se na faixa etária de 18 a 25 anos, possuindo ensino superior incompleto, uma vez que grupo de provadores era composto majoritariamente por acadêmicos da universidade. Ao questionar os provadores sobre a frequência de consumo de produtos derivados de leite, 32% afirmou consumir todos os dias ou pelo menos três vezes na semana (25%); por sua vez, a frequência de consumo de iogurte é de uma vez por mês (33%) ou uma vez na semana (26%). No Brasil, em especial, o consumo está associado a vários fatores, dentre estes idade, sexo, renda per capita, condições de saúde, entre outros (Possa *et al.*, 2015). Dos provadores, apenas 30% afirmam consumir iogurte natural, enquanto o restante afirma preferir sabores como morango, coco, frutas vermelhas e ameixa.

Os atributos aparência, aroma e cor não apresentaram diferença significativa entre as formulações avaliadas ($p > 0,05$). Resultados similares foram obtidos por Jaman *et al.* (2022) ao avaliar a adição dos prebióticos beta-glucana, himeize e inulina, nas concentrações de 1,5 e 2,5% (m/v), em iogurte de baunilha.

Por sua vez, nos atributos sabor, acidez e cremosidade, o tratamento FFAD apresentou diferença significativa dos demais tratamentos ($p < 0,05$) (Tabela 1). A amostra FFAD recebeu notas inferiores ao atributo acidez e foi citada por diversos provadores por apresentar sabor mais ácido que as demais; provavelmente a causa para o atributo sabor também



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

receber notas inferiores ao FI e FC. Salgado et al. (2021) também verificaram que a adição de fibras, neste caso de maracujá, em iogurtes elaborados a partir de leite de burro e de vaca também contribuíram para uma redução da aceitabilidade quanto acidez e sabor.

O atributo cremosidade apresentou diferença significativa, onde o FFAD apresentou valores menores, resultado diferente do obtido por Bessa e Silva (2019) onde a formulação sem adição de prebióticos recebeu as menores notas quando comprado às formulações adicionadas de 3% de inulina ou de frutoligossacario.

Tabela 1 – Resultados da análise sensorial dos iogurtes elaborados.

Amostra	FC	FI	FFAD
Atributo			
Aparência	7,21 ± 1,38 ^a	7,65 ± 1,25 ^a	7,21 ± 1,42 ^a
Aroma	7,10 ± 1,53 ^a	7,12 ± 1,60 ^a	6,72 ± 1,80 ^a
Cremosidade	6,99 ± 1,80 ^a	6,91 ± 1,99 ^a	5,95 ± 1,82 ^b
Sabor	6,07 ± 2,12 ^a	6,01 ± 2,15 ^a	5,16 ± 2,10 ^b
Acidez	6,35 ± 1,76 ^a	6,29 ± 2,03 ^a	5,60 ± 1,99 ^b
Cor	7,57 ± 1,41 ^a	7,42 ± 1,57 ^a	7,24 ± 1,87 ^a
Impressão global	6,73 ± 1,67 ^a	6,72 ± 1,64 ^a	6,02 ± 1,85 ^b

Nota: * Os resultados estão expressos como média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha expressam diferença significativa (ao nível de 5% de probabilidade) entre os tratamentos. FC: Formulação Padrão. FI: Formulação contendo Inulina. FFAD: Formulação contendo carboidrato do farelo de arroz desengordurado.

As médias de intenção de compra dos três tratamentos ficaram entre “provavelmente não compraria” (2) e “provavelmente compraria” (4). Para FC e FI os resultados aproximaram-se dos obtidos por Bessa e Silva (2019). No entanto, a FC apresentou diferença significativa em relação a FFAD; porém, FI não apresentou diferença significativa da FC e nem mesmo da FFAD. O fato de as médias, no geral, ficarem relativamente baixas pode ser explicado pela preferência de consumo de iogurtes saborizados e doces sobre o iogurte natural. Como citado pelos provadores, muitos não consomem iogurtes naturais, o que causa estranheza pelo sabor mais ácido do produto natural.

Tabela 2– Resultados da intenção de compra dos participantes da análise sensorial.

Amostra	Intenção de compra
FC	3,40 ± 1,32 ^a
FI	3,28 ± 1,22 ^{ab}
FFAD	2,76 ± 1,27 ^b

Nota: * Os resultados estão expressos como média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha expressam diferença significativa (ao nível de 5% de probabilidade) entre os tratamentos. FC: Formulação Padrão. FI: Formulação contendo Inulina. FFAD: Formulação contendo carboidrato do farelo de arroz desengordurado.

As médias de intenção de compra dos três tratamentos ficaram entre “provavelmente não compraria” (2) e “provavelmente compraria” (4). Para FC e FI os resultados aproximaram-se dos obtidos por Bessa e Silva (2019). No entanto, a FC apresentou diferença significativa em relação a FFAD; porém, FI não apresentou diferença significativa da FC e nem mesmo da FFAD. O fato de as médias, no geral, ficarem relativamente baixas pode ser explicado pela preferência de consumo de iogurtes saborizados e doces sobre o iogurte natural. Como citado pelos provadores, muitos não consomem iogurtes naturais, o que causa estranheza pelo sabor mais ácido do produto natural.

4 CONCLUSÃO

Da análise sensorial podemos concluir que os iogurtes apresentaram semelhança em características visuais; porém, a FFAD diferiu das demais nos atributos sabor, acidez e cremosidade. Para a intenção de compra a FC apresentou diferença significativa em relação a FFAD; no entanto, a amostra contendo inulina não apresentou diferença significativa da FC e nem mesmo da FFAD. As notas para FFAD ficaram entre nem gostei/nem desgostei (5,0) e gostei muito (8,0), o



que sugere que os carboidratos extraídos do FAD possuem potencial para serem empregados na elaboração de iogurte com pequenas modificações na concentração ou na forma de adição no produto final.

5 AGRADECIMENTOS

À IRGOVEL - Indústria Riograndense de Óleos Vegetais (Pelotas/RS) pela doação da biomassa de farelo de arroz desengordurado.

6 REFERÊNCIAS

- ABDI-MOGHADAM, Z.; DARROUDI, M.; MAHMOUDZADEH, M.; MOHTASHAMI, M.; JAMAL, A.M.; SHAMLOO, E.; REZAEI, Z. Functional yogurt, enriched and probiotic: A focus on human health. **Clinical Nutrition ESPEN**, v. 57, p.575e586, 2023.
- ANTUNES, L. L.; BACK, A. L.; KOSSAR, M. L. B. C.; SPESSATO, A. G.; COLLA, E.; DRUNKLER, D. A. Prebiotic potential of carbohydrates from defatted rice bran—Effect of physical extraction methods. **Food Chemistry**, v. 404, p. 134539, 2023.
- BAI, M., HUANG, T., GUO, S., WANG, Y., WANG, J., KWOK, L., DAN, T., ZHANG, H., BILIGE, M. Probiotic *Lactobacillus casei* Zhang improved the properties of stirred yogurt. **Food Bioscience**, v. 37, p. 100718, 2020.
- BESSA, M. M.; SILVA, A. G. F. Elaboração e caracterização físico-química e sensorial de iogurte prebiótico de tamarindo. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, [S.L.], v. 73, n. 4, p. 185-195, 2019.
- Brasil - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução normativa nº 161, de 1º de julho de 2022. Estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial –República Federativa do Brasil**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-161-de-1-de-julho-de-2022-413366880>. Acesso em 17/11/2022.
- DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**. 4. Ed. Curitiba: Champagnat - Pucpress, 2013.
- FARAG, M.A.; SALEH, H.A.; EL AHMADY, S.; ELMASSRY, M.M. Dissecting Yogurt: the Impact of Milk Types, Probiotics, and Selected Additives on Yogurt Quality. **Food Reviews International**, v. 38, sup1, p. 634-650, 2022.
- GHIMIRE, S.; WONGKUNA, S.; SANKARANARAYANAN, R.; RYAN, E. P.; BHAT, G. J.; SCARIA, J. Rice bran and quercetin produce a positive synergistic effect on human gut microbiota, elevate the level of propionate, and reduce the population of enterobacteriaceae family when determined using a bioreactor. **BioRxiv**, Brookings, Fev. 2020.
- GIBSON, G. R.; HUTKINS, R.; SANDERS, M. E.; PRESCOTT, S. L.; REIMER, R. A.; SALMINEN, S. J.; SCOTT, K.; STANTON, C.; SWANSON, K. S.; CANI, P. D.; VERBEKE, K. Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, v. 14, p. 1-12, 2017.
- HASHEMI, K.; HOSSEINI, E. The stabilizing and prebiotic potential of water-soluble phase of bitter almond gum exudate in probiotic yogurt drink. **Carbohydrate Polymers**, v. 255, p. 117395, mar. 2021.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 11136: Sensory analysis – Methodology – General guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area**. Switzerland: ISO, 2014.
- JAMAN, S.; ISLAM, Z.; SOJIB, S.I.; HASAN, S.; KHANDAKAR, M.H.; BARI, S.; SARKER, A.H.; HABIB, R.; SIDDIKI, M.S.R.; ISLAM, M.A.; HARUN-UR-RASHID Physicochemical characteristics, sensory profile, probiotic, and starter culture viability of synbiotic yogurt. **Journal Of Advanced Veterinary And Animal Research**, v. 9, n. 4, p. 694-701, 2022.
- POSSA, G.; CASTRO, M.A.; MARCHIONI, D.M.L.; FISBERG, R.M.; FISBERG, M. Probability and amounts of yogurt intake are differently affected by sociodemographic, economic, and lifestyle factors in adults and the elderly—results from a population-based study. **Nutrition Research**, v. 35, p. 700–706, 2015.
- SALGADO, M. J.G.; RAMOS, M.S.; ASSIM, D.J.; OTERO, D.M.; OLIVEIRA, R.L.; RIEBIRO, C.V.D.M.; COSTA, M.P.; OLIVEIRA, C.A.A. Impact of fiber-rich donkey milk yogurt on apparent viscosity and sensory acceptance. **LWT – Food Science and technology**, v. 145, p. 111494, 2021.
- SAMAN, P.; FUCIÑOS, P.; VÁZQUEZ, J. A.; PANDIELLA, S. S. By-products of the rice processing obtained by controlled debranning as substrates for the production of probiotic bacteria. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 51, p. 167-176, 2019.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C A.; SILVEIRA, N. F. de A. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. São Paulo: Editora Blucher, 2017. 9788521212263..

SPAGGIARI, M.; DALL'ASTA, C.; GALAVERNA, G.; DEL CASTILLO BILBAO, M. D. Rice bran by-product: from valorization strategies to nutritional perspectives. **Foods**, v. 10, n. 85, p. 1-16, 2021.

WU, X.; LI, F.; WU, W. Effects of rice bran rancidity on the oxidation and structural characteristics of rice bran protein. **LWT-Food Science and Technology**, v. 120, 2020.



Área: Alimentos

DESENVOLVIMENTO DE “VEGBURGUER” COM VEGETAIS E MICROALGAS

Aline Taís Streit*, Aline Dettmer, Luciane Maria Colla

Curso de Engenharia de Alimentos, Escola de Ciências Agrárias, Inovação e Negócio, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: 188134@upf.br*

RESUMO – Com o intuito de substituir ou diminuir o consumo de produtos de origem animal, surgem novas dietas e produtos, como os produtos plant-based. Por serem ricos nutricionalmente a lentilha e a ervilha vêm ganhando destaque como ingredientes para esses produtos. A *Spirulina* é uma microalga com alto valor nutricional, por ser rica em aminoácidos essenciais. O objetivo foi produzir um produto plant-based, similar ao “burger” com alto teor de proteína. O desenvolvimento do produto envolveu os testes de formulações iniciais para ajuste das proporções de lentilha e ervilha. As formulações analisadas sensorialmente através do teste de aceitabilidade continham lentilha e ervilha, totalizando 5 formulações. A Tabela nutricional foi avaliada a fim de escolher-se uma formulação para adição de biomassa de *Spirulina* (1%) e novamente realizou-se uma análise sensorial e a construção da tabela nutricional. A partir da análise dos resultados do teste sensorial observou-se que as amostras não obtiveram diferença significativa. A tabela nutricional mostrou que as amostras não apresentam diferença na concentração de fibra alimentar. A adição de *Spirulina* foi realizada na formulação 3, que continha 50% de ervilha e 50% de lentilha. Através do teste sensorial observou-se que essa formulação com a adição de *Spirulina* teve uma boa aceitabilidade nos três atributos avaliados (Sabor – 81,85%; textura – 71,85%; e Aceitabilidade global – 72,59%), além de possuir um teor de fibra e proteína maior que as outras formulações. Conclui-se que o vegburger desenvolvido é uma ótima opção para quem busca alimentos veganos.

Palavras-chave: Vegburger, vegetais, microalgas, lentilha, ervilha.

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional dos últimos anos e o bem-estar animal aumentam a preocupação com a qualidade e a quantidade de alimentos, além de mudança de hábitos, como a busca por alimentos não convencionais, fazem surgir novas dietas e produtos totalmente a base de vegetais. Entre essas novas dietas e produtos podemos citar os produtos plant-based.

Uma pesquisa realizada, em 2020, pelo The Good Food Institute (GFI) Brasil em parceria com o Ibope, mostrou que 50% dos brasileiros teriam reduzido o consumo de carne, além do fator econômico, a pesquisa mostra a preocupação do consumidor em relação ao que consome. Produtos plant-based são produtos totalmente de origem vegetal, que se assemelham aos produtos de origem animal (GUGLIELMETTI, 2020). As dietas e produtos plant-based surgiram no meio científico em 1980, inicialmente visando promover a saúde, ligado aos intolerantes e alérgicos, visando prevenir Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNT) (FREITAS, et al.; 2022; MARRUBIA, VERONEZI; 2022).

O aumento de pessoas que buscam novas dietas com objetivos de não consumir mais produtos de origem animal ou a diminuição do consumo desse tipo de alimento, baseiam-se no argumento do animal sofrer na hora do abate, meio ambiente e saúde. Uma pesquisa realizada pelo Ibope, em 2018, aponta que o número de vegetarianos é 75% maior em 2018 comparado com 2012, chegando a cerca de 30 milhões de brasileiros (CASTELLO, 2022; GONÇALVES, 2023). As proteínas de origem vegetal podem ser caracterizadas como funcionais, causando benefícios à saúde. Contudo, apesar de podermos usar toda a estrutura da planta, da semente até o caule, esse tipo de produto necessita de um consumo maior para garantir o uso sustentável dos recursos naturais (ALVES et al., 2020).

Grãos como das leguminosas são ricos em fibras, vitaminas, minerais, proteínas e carboidratos, mas apresentam também compostos antinutricionais como os taninos, vale ressaltar que os produtos plant-based devem ser formulados de forma adequada para apresentarem um conjunto de aminoácidos essenciais, com isso muitas receitas são incrementadas com a adição de ingredientes funcionais como a *Spirulina* (MOTTA et al., 2016).

A *Arthrospira* (*Spirulina*) é uma cianobactéria, unicelular, que possui cor verde azulada, fotossintetizante, que tem despertado o interesse da indústria alimentícia pelo fato de sua biomassa possuir alto valor nutricional, com a presença elevada de proteína, vitaminas e sais minerais (MIRA, 2015). A *Spirulina* é rica em proteína quando comparado a carne



e a soja, e ainda possui todos os aminoácidos essenciais, além de elevados teores de cálcio, fósforo e potássio (BORBA; CAMARGO, [2018]; FERREIRA, 2020).

Apesar do consumo de produtos veganos e vegetarianos ter aumentado nos últimos anos, podemos observar que estes tipos de produtos ainda são poucos no mercado, principalmente aqueles que se assemelham aos produtos de origem animal, o que acaba por se tornar uma dificuldade para quem procura esses produtos. Assim, necessitam de empresas dispostas a investir nesse tipo de produto e conseqüentemente suprir esse tipo de mercado. Com isso, vem a escolha de ingredientes, como a ervilha e a lentilha, que são ricos em nutrientes além da *Spirulina*, que possui os aminoácidos essenciais para o organismo. Esse trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de produto similar ao burger a base de vegetais (lentilha e ervilha), com a adição de *Spirulina*, analisando sensorialmente as formulações e o desenvolvimento da tabela nutricional do produto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de lentilha, ervilha, *Spirulina*, bem como todos os ingredientes necessários para a produção do vegburger foram compradas em mercados no município de Passo Fundo, no estado do Rio Grande do Sul. As amostras de lentilha e ervilha foram selecionadas, para a retirada de grãos estragados e sujidades, em seguida foram lavadas com água corrente. As amostras foram deixadas submersas em água por 12 h. As amostras foram cozidas por 1 h a 100°C e então, resfriadas até a temperatura ambiente.

2.1. TESTE 1:

Os hambúrgueres foram preparados com uma mistura de ervilha, lentilha, sal e condimentos (cebola e alho). As formulações testadas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Formulações de hambúrguer de vegetais

Formulação	Ervilha (%)	Lentilha (%)	Condimentos (%)	Sal (%)	Amido de milho (%)
1	77,5	0	1,5	1	20
2	0	77,5	1,5	1	20
3	38,75	38,75	1,5	1	20
4	19,375	58,125	1,5	1	20
5	58,125	19,375	1,5	1	20

Fonte: Autora

Inicialmente, foram preparados os condimentos, com 98% de cebola e 2% de alho, realizando a trituração da cebola e do alho separadamente, e em seguida, a mistura.

As misturas apresentadas na Tabela 1 foram pesadas separadamente e após misturadas em uma vasilha. Amido de milho foi adicionado (20%) aos poucos para dar ponto a massa e permitir a modelagem dos hambúrgueres. Em seguida, os hambúrgueres foram embalados e congelados.

As formulações foram submetidas a análise sensorial, conforme descrito no item 2.5.

2.2. TESTE 2:

As formulações testadas no teste 2 estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Formulações de hambúrguer de vegetais

Formulação	Ervilha (%)	Lentilha (%)	Condimentos (%)	Tempero (%)	Sal (%)	Farinha de Arroz (%)
1	84,5	0	5	1	1,5	8
2	0	84,5	5	1	1,5	8
3	42,25	42,25	5	1	1,5	8
4	21,125	63,375	5	1	1,5	8
5	63,375	21,125	5	1	1,5	8

Fonte: Autora

Inicialmente, foram preparados os condimentos, com 96% de cebola e 4% de alho, realizando a trituração da cebola e do alho separadamente, e em seguida, a mistura.



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

As misturas apresentadas na Tabela 2 foram pesadas separadamente e após misturadas em uma vasilha. Farinha de arroz foi adicionado (8%) aos poucos para dar ponto a massa e permitir a modelagem dos hambúrgueres. Em seguida, os hambúrgueres foram embalados e congelados.

As formulações foram submetidas a análise sensorial, conforme descrito no item 2.5.

2.3. TESTE 3

Na formulação com melhor aceitabilidade, após a análise sensorial do teste 2, procedeu-se com a adição de *Spirulina*. Os vegburger foram preparados conforme Tabela 3. Novamente, uma análise sensorial de aceitabilidade das formulações com adição de *Spirulina* foi realizada.

Tabela 3: Formulações de hambúrguer com adição de *Spirulina*

Ervilha (%)	Lentilha (%)	Condimentos (%)	Tempero (%)	Sal (%)	Farinha de Arroz (%)	<i>Spirulina</i> (%)
41,75	41,75	5	1	1,5	8	1

Fonte: Autora

Primeiramente, foram preparados os condimentos, com 96% de cebola e 4% de alho, realizando a trituração da cebola e do alho separadamente, e em seguida, a mistura. Em seguida, realizou-se o preparo dos temperos, com 50% de salsa e 50% de cebolinha verde.

A mistura da tabela 3 foram pesadas e misturadas, e em seguida procedeu-se teste de aceitabilidade conforme item 2.5.

2.4. TABELA NUTRICIONAL DO HAMBÚRGUER

A partir dos dados obtidos foi construída a rotulagem e a tabela nutricional utilizando o programa Dietwin Suporte Nutrição, das formulações do teste 2 e das formulações com adição de *Spirulina*.

2.5. ANÁLISE SENSORIAL

A análise sensorial das formulações apresentadas na Tabela 6, 7 e 8 ocorreu no Laboratório de Análise Sensorial da Universidade de Passo Fundo. Cada participante voluntário recebeu uma amostra do hambúrguer, juntamente com um copo de água, guardanapo e uma ficha (Anexo 1) impressa para a avaliação do sabor, textura e aceitabilidade geral mediante escala hedônica de nove pontos.

O provador recebeu a orientação de provar a amostra e preencher a ficha de avaliação, após terminar o teste com a primeira amostra o provador recebeu a segunda amostra e procedeu-se da mesma forma com todas as amostras.

A partir da avaliação dadas pelos provadores procedeu-se o cálculo da média, da aceitabilidade e análise do teste ANOVA.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO (ou REVISÃO BIBLIOGRÁFICA)

Os resultados obtidos para a análise sensorial dos hambúrgueres do teste 1 com ervilha e lentilha estão descritos na Tabela 4. Observou-se que a faixa de idade dos participantes variava entre 20 e 48 anos.

Tabela 4: Resultados do teste sensorial de aceitabilidade das 5 formulações no teste 1

Formulação	Sabor		Textura		Aceitabilidade Global	
	Média	IA*	Média	IA*	Média	IA*
1 77,5% ervilha	6,05±1,8	67,22	5,95±2,1	66,11	6,37±1,5	70,78
2 77,5% lentilha	6,29±2,0	69,89	6,14±1,8	68,22	6,33±1,8	70,73
3 38,75% ervilha e 38,75% lentilha	6,5±1,6	72,22	6,1±1,5	67,78	6,25±1,5	69,44
4 19,375% ervilha e 58,125% lentilha	6,2±1,8	68,89	5,8±1,7	64,44	5,9±1,8	65,56



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

5	19,375% ervilha e 58,125% lentilha	6,14±1,7	68,22	5,24±1,7	58,22	5,67±1,4	63,00
---	---------------------------------------	----------	-------	----------	-------	----------	-------

*Índice de Aceitabilidade

Fonte: Autora

Observou-se que a formulação 1, sem a presença de lentilha, obteve o maior número do índice de aceitabilidade no atributo aceitabilidade global, contudo em relação ao sabor obteve o menor número no índice de aceitabilidade. Contudo, observou-se pelo Traves da análise de variância ANOVA que as amostras não apresentam diferença significativas, para o atributo sabor obteve p-0,9533, o atributo textura obteve p-0,5066 e a aceitabilidade global obteve p-0,5697.

Verificou-se que nenhuma das formulações obteve uma boa aceitabilidade, ficando entre nem gostei/nem desgostei e gostei moderadamente, a partir disso foram realizadas modificações nas formulações.

Os resultados obtidos para a análise sensorial dos hambúrgueres do teste 2 com ervilha e lentilha estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5: Média da avaliação das 5 formulações do teste 2

Formulação	Sabor		Textura		Aceitabilidade Global	
	Média	IA*	Média	IA*	Média	IA*
1 77,5% ervilha	6,45±1,0	71,72	6,00±1,6	66,67	6,50±1,1	72,22
2 77,5% lentilha	6,68±1,6	74,24	5,86±1,8	65,15	5,95±1,6	66,16
3 38,75% ervilha e 38,75% lentilha	7,14±1,1	79,29	6,64±1,1	73,74	6,50±1,3	72,22
4 19,375% ervilha e 58,125% lentilha	7,41±1,3	82,32	6,14±1,8	68,18	6,45±1,4	71,72
5 19,375% ervilha e 58,125% lentilha	6,86±1,2	76,26	6,23±1,5	69,19	6,41±1,2	71,21

*Índice de Aceitabilidade

Fonte: Autora

Observou-se que a formulação 4 obteve o maior número no índice de aceitabilidade no atributo sabor com 82,32%. Contudo através da análise estatística observou que as amostras não obtiveram uma diferença significativa, entre para os atributos sabor com valor de p-0,1195, textura com valor de p- 0,5725 e aceitabilidade global com valor de p0,6461. Assim, a fim de contribuir na tomada de decisão, foi realizada a avaliação nutricional das formulações que se encontram apresentada no item a seguir.

Adicionou-se 1% de *Spirulina* na formulação 3, com ervilha e lentilha. Os resultados obtidos na análise sensorial estão descritos na tabela 6 e na tabela 7 está descrita as informações nutricionais.

Tabela 6: Média da avaliação sensorial da formulação com adição de *Spirulina*

Formulação	Sabor		Textura		Aceitabilidade Global	
	Média	IA*	Média	IA*	Média	IA*
Ervilha						
Lentilha	7,4±1,1	81,85	6,5±1,5	71,85	6,5±1,3	72,59
<i>Spirulina</i>						

*Índice de Aceitabilidade

Fonte: Autora

Tabela 7: Informações nutricionais da formulação com adição de *Spirulina*

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL

Porção por embalagem: 00000 porções

Porção: 80g (1 unidade)



	100g	80g	% VD*
Valor energético (kcal)	113,6	90,9	5
Carboidratos totais (g)	21	16,8	6
Açúcares totais (g)	0	0	-
Açúcares adicionado (g)	0	0	-
Proteínas (g)	7,6	6	8
Gorduras totais (g)	1	1	1
Gorduras saturadas (g)	1	1	1
Gorduras trans (g)	0	0	-
Fibra alimentar (g)	8	6,4	26
Sódio (mg)	357	285,7	12

*Percentual de valor diário fornecido pela porção

Fonte: Autora

Através do teste do sensorial observou-se que a formulação que contém ervilha, lentilha e *Spirulina* teve boa aceitabilidade, o que mostra que o produto seria bem aceito pelos consumidores.

A proteína é essencial para o corpo crescer e se regenerar, recomenda-se que uma pessoa adulta consuma em torno de 0,75g de proteína por kg de peso corporal (BROWN, 2018). As maiores fontes de proteína ainda são os produtos de origem animal, contudo as fontes vegetais com teores de proteínas mais elevadas já são uma realidade e uma alternativa para quem não consome produtos de origem animal ou quem busca diminuir o consumo de carne (TORRES, 2022). Observou-se que os teores de fibra e proteína para a formulação com a adição de *Spirulina* são superiores em comparação com as formulações do teste 2, o que torna o hambúrguer de lentilha e ervilha uma ótima opção, pois se trata de um produto vegano com alto teor de fibra e proteína.

4 CONCLUSÃO

Produtos plant-based já são uma realidade, e a lentilha e a ervilha são ótimas opções, no fator nutricional, para o desenvolvimento de produtos análogos a produtos de origem animal, e juntamente com a *Spirulina* se tornam uma opção ótima devido aos nutrientes. Observou-se com a análise sensorial que o vegburger com a adição de *Spirulina* teve uma boa aceitabilidade.

Conclui-se que o vegburger com ervilha, lentilha e *Spirulina* é uma ótima opção para quem não consome carne ou busca diminuir o consumo, além de se tornar uma opção para pessoas veganas.

5 AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais e meu irmão por todo o apoio, e a professora Luciane Colla por toda a orientação e ajuda prestada durante a realização do trabalho.

6 REFERÊNCIAS

- GUGLIELMETTI, Julia. Pesquisa aponta que metade dos brasileiros reduziu o consumo de carnes. Mercy for Animals, [s. l.], 8 dez. 2020. Disponível em: <https://mercyforanimals.org.br/blog/pesquisa-aponta-que-metade-dos-brasileiros/>. Acesso em: 7 jul. 2023.
- FREITAS, Rosana da Saúde de Farias e; PITOMBEIRA, Mardênia Gomes Vasconcelos; GONÇALVES, Jonas Loiola; LOPES, Maria Áurea Catarina Passos; CRUZ, Sabrina Montenegro; BEZERRA, Indara Cavalcante. ALIMENTAÇÃO PLANT-BASED E O IMPACTO NA SAÚDE BRASILEIRA: PROTOCOLO DE REVISÃO DE ESCOPO. REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR, [s. l.], v. 3, ed. 10, out. 2022.
- MARRUBIA, Beatriz; VERONEZI, Carolina Médi. Avaliação do conhecimento da População Sobre Alimentos PlantBased. Revista Científica Unilago, [s. l.], 2022.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- CASTELLO, Isabela. Cresce o número de veganos e vegetarianos no Brasil. A gazeta, [S. l.], 8 maio 2022. Disponível em: <https://www.agazeta.com.br/colunas/isabela-castello/cresce-onumero-de-veganos-e-vegetarianos-no-brasil-0522>. Acesso em: 17 ago. 2023
- GONÇALVES, Nadia. Entenda o rápido crescimento do veganismo no mundo. Vegan Business, [S. l.], 6 jul. 2023. Disponível em: <https://veganbusiness.com.br/crescimento-doveganismo/>. Acesso em: 17 ago. 2023.
- ALVES, Eloize da Silva; SILVA, Luciana Alvez da; SAQUETI, Bruno Henrique Figueredo; ARTILHA, Carla Adriana Ferrari; SILVA, Denise de Moraes Batista da; SOUZA, Luana Cristina Silva de; SCAPIM, Monica Regina da Silva; VISENTAINER, Jesui Vergílio. Proteína Vegetal como alimento funcional: revisão. Brazilian Journal of Deelopment, Curitiba, ano 2020, v. 6, n. 2, p. 5869-5879, 5 fev. 2020
- MOTTA, Carla; BENTO, Cristina; NASCIMENTO, Ana C.; SANTOS, Mariana. A importância das leguminosas na alimentação, nutrição e promoção da saúde. Instituto Nacional de Saúde, [s. l.], n. 1, p. 1-7, 4 jul. 2023.
- MIRA, Vanessa de souza. Desenvolvimento de um Iogurte suplementado com Spirulina platensis: caracterização FísicoQuímica, Microbiológica e Sensorial. 2015. 141 p. Dissertação (Mestre em Gestão da Qualidade e Segurança Alimentar) - Escola Superior de Turismo e Tecnologia do mar, [S. l.], 2015.
- BORBA, Vivia Ipaves Almeida; CAMARGO, Livia seno ferreira. CIANOBACTÉRIA Arthrospira (Spirulina) platensis: BIOTECNOLOGIA E APLICAÇÕES. Centro de Pósgraduação, Pesquisa e Extensão Oswaldo Cruz, [s. l.], [2018].
- FERREIRA, Mariana Martins. Spirulina: Uma revisão. Orientador: Letícia Rocha Guidi. 2020. 51 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2020.
- MOSKOWITZ, H. R. Applied Sensory Analysis of Foods. Boca Raton: CRC Press, v. 1, 1988. 259 p.
- NASCIMENTO, M. S.; SILVA, N; CATANOZI, M. P. L. M. Emprego de sanitizantes na desinfecção de vegetais. Higiene Alimentar, v. 17, n. 112, p. 42-46, 2003.
- BROWN, Jessica. Proteína, suplementos, nutrição e muita discussão. Asbran - Associação Brasileira de Nutricional, [s. l.], 18 jun. 2018. Disponível em: <https://www.asbran.org.br/noticias/proteina-suplementos-nutricao-e-muitadiscussao>. Acesso em: 10 dez. 2023.



Área: Alimentos

POTENCIAIS APLICAÇÕES DE *PSIDIUM CATTLEIANUM* SABINE

César Augusto Franceschetto Mangoni*, Luciana Ruschel dos Santos, Lára franco dos Santos, Carla Patricia Freitas

Programa de Pós-graduação em Bioexperimentação, Curso de Mestrado em Bioexperimentação, Escola de Ciências Agrárias, Inovação e Negócios, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: 152751@upf.br*

RESUMO – *Psidium cattleianum* (*P. cattleianum*) é uma planta nativa do Brasil que pode ser amplamente encontrada no território brasileiro desde o Rio Grande do Sul até a Bahia e a região amazônica e no Nordeste do Uruguai. Essa planta é conhecida popularmente como araçá, porém pode ser chamada de goiabeira, goiabeira bovina, goiabeira jeju, goiaba cereja e goiaba roxa. A variada composição química de *P. cattleianum* confere propriedades biológicas antiproliferativas, antioxidantes, antibacterianas, antidiabéticas, antiinflamatórias e antienvhecimento. O extrato de araçá pode ser utilizado na fabricação de bebidas alcoólicas, como licores, adicionados em filmes bioativos para conservação e controle microbiológico em alimentos. Além de, auxiliar no tratamento do diabetes e apresentar capacidade de gelificação. Os extratos de folhas e de frutos de araçá demonstram ação antibacteriana e antibiofilme contra microrganismos Gram-positivos e negativos. O método de extração e o solvente utilizado podem interferir nas atividades biológicas e na concentração dos compostos. O extrato hidroalcoólico por banho ultrassônico e por fluido supercrítico com CO₂ como solvente são eficazes contra microrganismos patogênicos, sendo o extrato hidroetanólico 80% eficaz contra biofilmes também.

Palavras-chave: *Psidium cattleianum*, Araçá, Composição Química de *P. cattleianum*, Atividades Biológicas de *P. cattleianum*.

1 INTRODUÇÃO

O araçá é uma planta nativa do bioma brasileiro, pode ser encontrada desde o Nordeste do Uruguai e estende-se pelo Brasil através do Rio Grande do Sul até a Bahia e à região amazônica. Essa planta pertence à família *Myrtaceae* e ao gênero *Psidium*, sendo conhecida cientificamente como *P. cattleianum* (Franzon, 2009; Massunari et al, 2017; Morais et al, 2023). Também pode ser chamada popularmente de goiabeira, goiabeira bovina, goiabeira jeju, goiaba cereja e goiaba roxa. A composição química observada no araçá é variada, *P. cattleianum* é rica em compostos fenólicos e flavonoides, minerais, ácidos graxos, polissacarídeos, compostos voláteis, carotenóides e vitamina C. Dentre os compostos fenólicos presentes em *P. cattleianum*, encontram-se o ácido protocateico, clorogênico, cafeico, ácido siríngico, ácido gálico, sendo os ácidos gálico e siríngico os mais frequentemente isolados (Mazzutti et al, 2017; Silva et al, 2022).

As folhas e os frutos de *P. cattleianum* apresentam grande concentração de compostos flavonoides, dentre esses, a epicatequina representa a maior concentração de flavonoides da planta (Zandoná et al, 2020; Santos et al, 2018; Morais et al, 2023; Pereira et al, 2018). Além disso, pode-se observar a presença de ácidos graxos e compostos voláteis na composição química, os quais são responsáveis pelas características de odor e sabor do araçá (Morais et al, 2023; Santos et al, 2018; Zandoná et al, 2020). Além de, apresentar variada composição química, esses compostos conferem diversas atividades biológicas à *P. cattleianum* como ação antiproliferativa, antioxidante, antibacteriana, antidiabética, antiinflamatória e antienvhecimento (Mazzutti et al, 2017; Medina et al, 2011; Silva et al, 2022).

Poucos estudos com o objetivo de avaliar o potencial de utilização de araçá na cadeia produtiva de alimentos foram conduzidos. A produção de alimentos seguros representa um desafio constante às indústrias alimentícias. O comprometimento das empresas em produzir alimentos com o controle de microrganismos deteriorantes e patogênicos na cadeia produtiva é essencial para sustentar a confiabilidade dos consumidores (Brauge et al, 2020; Esbelin et al, 2018). O extrato de *P. cattleianum* pode ser obtido do bagaço da fruta e adicionado a filmes bioativos com aplicação na conservação e controle microbiológico (Santos et al, 2023). Pode ser uma promissora alternativa para o tratamento do diabetes por inibir significativamente a enzima α - glicosidase *in vitro* (Pereira et al, 2024). Também, pode ser utilizado para fabricação de bebidas alcoólicas como licores e apresenta potencial para produção de hidrogéis devido a presença de pectinas (Amaral et al, 2021; Pagliarini et al, 2023).



O extrato de araçá apresenta conhecida atividade antimicrobiana contra microrganismos Gram-positivos e negativos, diferentes métodos e solventes podem ser utilizados para a extração a partir de folhas e de frutos. Métodos como infusão aquosa (IA) e extração líquida pressurizada (PLE) demonstram atividade bactericida frente à *Listeria monocytogenes* (*L. monocytogenes*), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) e *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) (Silva et al, 2022; Nurten et al, 2006). A extração por banho ultrassônico apresenta ação antimicrobiana satisfatória por causar danos à membrana celular, o que leva à perda de integridade e morte do microrganismo (Gemmell, 2022; Dacoreggio, 2019; Lima et al, 2020). Com isso, o objetivo da presente revisão é apresentar a caracterização de *P. cattleianum*, destacar as atividades biológicas conferidas pela variada composição química encontrada nessa planta e o potencial de utilização na indústria alimentícia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A redação da presente revisão sobre *P. cattleianum* ocorreu através da seleção de trabalhos que trouxessem uma ampla abordagem a cerca da caracterização da planta, a ocorrência geográfica, os nomes populares da planta, o formato e as características das folhas. Além disso, buscaram-se artigos que descrevessem as propriedades físico-químicas de *P. cattleianum* e as atividades biológicas, com foco nas atividades bactericidas dos compostos flavonoides e fenólicos. Essas informações foram buscadas através de trabalhos que exploram essas atividades em alimentos e casos clínicos. Os estudos foram buscados pelas seguintes palavras-chave: *Psidium cattleianum*, extratos de *Psidium cattleianum*, composição química de *Psidium cattleianum*, atividades biológicas de *Psidium cattleianum* e aplicações de *Psidium cattleianum* em alimentos. Os trabalhos que compõem a presente revisão são provenientes das seguintes bases de dados: SciELO, ScienceDirect e PubMed.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *P. CATTLEIANUM* SABINE

O bioma brasileiro apresenta diversas frutas nativas com variadas funções biológicas pouco conhecidas e, dentre elas, destaca-se o Araçá, (Figura 1), uma fruta nativa pertencente à família *Myrtaceae* e ao gênero *Psidium*, com cerca de 100 espécies, encontrada desde o Nordeste do Uruguai e Rio Grande do Sul até a Bahia e região amazônica. Existem duas espécies da planta, conhecidas por araçá vermelho e araçá amarelo, podendo também ser conhecida como goiabeira, goiabeira bovina, goiabeira jeju, goiaba cereja, goiaba roxa, waiawi, goiaba e araçá. As folhas são simples e opostas, com típica venação broquidódroma (Franzon, 2009; Massunari et al, 2017; Morais et al, 2023; Silva, 2021).

Figura 1. *P. cattleianum* (araçá)





3.2 COPOSIÇÃO QUÍMICA DE *P. CATTLEIANUM*

O araçá apresenta atividades biológicas como ação antiproliferativa, antioxidante, antibacteriana, antidiabética, antiinflamatória e antienvhecimento, referentes à composição química de *P. cattleianum*. Essa planta é rica em compostos fenólicos, flavonóides, minerais, ácidos graxos, polissacarídeos, compostos voláteis, carotenóides e vitamina C. *P. cattleianum* inclui ácidos fenólicos na composição química, como ácido gálico, ácido 4-hidroxibenzóico, protocateico, clorogênico, cafeico, p-cumárico, transcinâmico, ácido vanílico, ácido siríngico, siríngico e ácido elágico, sendo o ácido siríngico e gálico os de maior concentração (Correia et al, 2022; Mazzutti et al, 2017; Medina et al, 2011; Silva et al, 2021 Silva et al, 2022).

Os frutos e as folhas de araçá apresentam grande quantidade de flavonóides como epicatequina, kaempferol, luteolina, apigenina, ácido cumárico, ácido ferúlico, miricetina, Cianidina-3- O -glicosídeo, Malvidin-3- O -glicosídeo, cianidina, e quercetina, sendo a epicatequina o composto mais encontrado. Outros compostos encontrados nas folhas são galocatequina, epigallocatequina, hesperetina-7- O -glicuronídeo, plantagoside, reynoutrin, luteolina-7-glucuronide, quercitrina, apigenina-7- O -glucoside, peonidina-3-glucoside, hispidulina, gardenina A, 8 -hidroxi-5-metoxiflavanona e 3',4'-dimetoxi-7-hidroxi-flavona (Morais et al, 2023; Pereira et al, 2018; Santos et al, 2018; Zandoná et al, 2020).

Os ácidos graxos encontrados na planta são ácido palmítico, ácido linoléico, ácido esteárico e ácido oléico, sendo o ácido linoléico o mais prevalente. O araçá também apresenta compostos voláteis na sua composição química como (E)- β -cariofileno, ácido hexadecanóico, (Z)-3-hexenol, α -pineno, (Z)-3-hexenal, 1,8-cineol e (Z)-1,5-Octadien-3-ona, esses compostos são responsáveis pelas características de odor e sabor dos frutos do araçá. Além disso, carotenóides como all- trans - β -caroteno, all- trans -luteína, all- trans -anteraxantina, all- trans- β -criptoxantina e zeaxantina (Morais et al, 2023; Santos et al, 2018; Zandoná et al, 2020).

3.3 ATIVIDADE BIOLÓGICAS DE *P. CATTLEIANUM*

O araçá apresenta diversas atividades biológicas, como antiproliferativa, antioxidante, antibacteriana, antidiabética, antiinflamatória e antienvhecimento. A utilização de diferentes extratos, (IA) e por (PLE) usando tecido e água (PLE-W) e etanol (PLE-E) de *P. cattleianum* foram capazes de reduzir os níveis de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) e espécies reativas de oxigênio (ROS) em cérebros de ratos Wistar. Ao avaliarem a ação antioxidante em ensaio de levedura com *Saccharomyces cerevisiae*, foi observado que os extratos de PLE-W, PLE-W:E e PLE-E demonstraram ação superior ao compostos padrão, sendo o extrato PLE-W com nível de sobrevivência de células de levedura de 90% (Silva et al, 2022). Além disso, *P. cattleianum* apresenta propriedades analgésicas periféricas relevantes, a aplicação de extrato hidroalcoólico de araçá diminui significativamente as contorções abdominais em camundongos albinos machos injetados intraperitonealmente com ácido acético (Alvarenga, 2013).

A produção de alimentos seguros representa um desafio constante às indústrias alimentícias. O comprometimento das empresas em produzir alimentos com o controle de microrganismos deteriorantes e patogênicos na cadeia produtiva é essencial para sustentar a confiabilidade dos consumidores (Brauge et al, 2020; Esbelin et al, 2018). Poucos estudos com o objetivo de avaliar o potencial de utilização de araçá na cadeia produtiva de alimentos foram conduzidos. Nesse sentido, *P. cattleianum* pode ser considerado uma alternativa para utilização em alimentos. O extrato de *P. cattleianum* pode ser obtido do bagaço da fruta e adicionado a filmes bioativos com aplicação na conservação e controle microbiológico de espécies deteriorantes e patogênicas em alimentos (Santos et al, 2023). A adição de extrato de araçá a iogurte pode ser uma promissora alternativa para o tratamento do diabetes por inibir significativamente a enzima α -glicosidase *in vitro* (Pereira et al, 2024). O araçá pode ser utilizado para fabricação de bebidas alcoólicas como licores, a fruta acrescenta sabor e odor únicos à bebida, além de atribuir atividade antioxidante devido a migração de compostos voláteis e a alta concentração de flavonóides totais presentes na composição química (Pagliarini et al, 2023). As pectinas presentes nos polissacarídeos da polpa do fruto do araçá possuem capacidade de gelificação, o que demonstra potencial para produção de hidrogéis para aplicação na área biomédica, para produtos farmacêuticos e cosméticos (Amaral et al, 2021).

O extrato de araçá apresenta conhecida atividade antibacteriana e diferentes métodos de extração podem ser utilizados na obtenção dos extratos. O extrato de folhas por IA e por PLE demonstraram ação sobre *L. monocytogenes*, *S. aureus* e *P. aeruginosa*, sendo o extrato PLE-W o mais ativo contra os microrganismos testados, com halos de inibição de 18,5 mm e MIC de 1,56 mg/mL para *L. monocytogenes* (Silva et al, 2022). A ação do extrato aquoso das folhas, extraído por banho ultrassônico, também foi eficaz contra *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *Salmonella. Enteritidis* e *Escherichia. coli*, sendo classificado como muito ativo e formação de halos de inibição superiores a 18mm (Nurten et al, 2006).



O extrato hidroalcoólico dos frutos de araçá, utilizando o banho ultrassônico apresentou ação contra *S. aureus*, provocando danos à membrana celular, com perda da integridade, de nucleotídeos e macromolécula, além de intercalar com o DNA bacteriano e causar a morte do microrganismo. Já o método de extração do extrato dos frutos de araçá vermelho, por fluido supercrítico usando CO₂ como solvente, apresentou ação inibitória contra *L. monocytogenes* e *S. aureus*. Ainda, os extratos aquoso e hidroetanólico, solvente etanol 80%, foram testados contra *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*), *P. aeruginosa*, *Actinomyces israelii* e *Candida albicans*, onde os dois extratos inibiram a multiplicação das espécies testadas, com resultados superiores para o extrato hidroalcoólico, que eliminou os biofilmes de *E. faecalis* e *P. aeruginosa* (Gemmell, 2022; Dacoreggio, 2019; Lima et al, 2018). As ações antibacterianas do araçá ocorrem pela ação de compostos presentes na planta como ácidos fenólicos e flavonóides (Silva et al, 2022; Lima et al, 2020).

4 CONCLUSÃO

Em suma, *P. cattleianum* é encontrada em uma extensa área geográfica desde a região sul do Brasil até a região amazônica e o Uruguai, o que favorece o desenvolvimento de estudos para avaliar os benefícios clínicos da variada composição química encontrada na planta, o que confere diversas atividades biológicas conhecidas ao araçá. Poucos estudos exploram a utilização de extrato e de óleo essencial de araçá na indústria alimentícia. A notável ação antimicrobiana contra microrganismos patogênicos e deteriorantes Gram-positivos e negativos demonstrada por *P. cattleianum* evidencia o potencial para uso na cadeia produtiva de alimentos no controle microbiológico dentro das indústrias e em produtos. Além disso, pode-se para agregar propriedades antioxidantes aos produtos em filmes comestíveis, encapsulação, bebidas e embalagens bioativas.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecimento à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado.

6 REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, F. et al. In vivo analgesic activity, toxicity and phytochemical screening of the hydroalcoholic extract from the leaves of *Psidium cattleianum* Sabine. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 150, p. 280–284, 2013.
- AMARAL, S. et al. Extraction, characterization and gelling ability of pectins from Araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) fruits. **Food Hydrocolloids**, v. 121, 2021.
- BRAUGE, T. et al. Treatment with disinfectants may induce an increase in viable but non culturable populations of *Listeria monocytogenes* in biofilms formed in smoked salmon processing environments. **Food Microbiology**, 2020.
- CORREIA, V. et al. An Integrative Review on the Main Flavonoids Found in Some Species of the *Myrtaceae* Family: Phytochemical Characterization, Health Benefits and Development of Products. **Plants**, v. 11, p. 2796, 2022.
- DACOREGGIO, M.; MORONI, L.; KEMPKA, A. Antioxidant, antimicrobial and allelopathic activities and surface disinfection of the extract of *Psidium cattleianum* sabine leaves. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 21, p. 101-295, 2019.
- ESBELIN, J. et al. Desiccation: An environmental and food industry stress that bacteria commonly face. **Food Microbiology**, v. 69, p. 82, 2018.
- FRANZON, R. Araçás do gênero *Psidium*: principais espécies, ocorrência, descrição e usos. **Embrapa cerrados Planaltina**, DF, ISSN 1517-5111, 2009.
- GEMMELL, C.; PARREIRA, V.; FARBER, J. Controlling *Listeria monocytogenes* Growth and Biofilm Formation Using Flavonoids. **Journal of Food Protection**, v. 85, n. 4, p. 639–646, 2022.
- LIMA, A. et al. Action mechanism of araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) hydroalcoholic extract against *Staphylococcus aureus*. **Food Science and Technology**, v. 119, p. 108-884, 2020.
- MASSUNARI, L.; NOVAIS, R.; OLIVEIRA, M.; VALENTIM, D.; JUNIOR, E.; DUQUE, C. Antimicrobial Activity and B iocompatibility of the *Psidium cattleianum* Extracts for Endodontic Purposes. **Brazilian Dental Journal**, v. 28, n. 3, p. 372-379, 2017.
- MAZZUTTI, S.; RIEHL, C.; IBAÑEZ, E; FERREIRA, S. Green-based methods to obtain bioactive extracts from *Plantago major* and *Plantago lanceolata*. **J. of Supercritical Fluids**, v. 119, p. 211–220, 2017^a.
- MEDINA, A. et al. Araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) fruit extracts with antioxidante and antimicrobial activities and antiproliferative effect on human cancer cells. **Food Chemistry**, v. 128, p. 916–922, 2011.
- MORAIS, L. et al. Araçá (*Psidium Cattleianum* Sabine) ethanol extracts increase lifespan and alleviate oxidative stress in *Caenorhabditis elegans*. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 11, p. 100-505, 2023.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- NURTEN, A.; GÜLÇİN, S.; BETÜL, S. Antilisterial Activity of Some Plants Used in Folk Medicine, **Pharmaceutical Biology**, v. 44, n. 2, p. 91-94, 2006.
- PAGLIARINI, M. et al. Hydroalcoholic extracts of *Psidium cattleianum* Afzel. ex Sabine for liqueur production: influence of different fruit harvesting points on phytochemical, volatile, and sensory profiles, antioxidant activity and physical characteristics. **European Food Research and Technology**, v. 249, p. 2321–2334, 2023.
- PEREIRA, E. et al. Probiotic Yogurt Supplemented with *Lactococcus lactis* R7 and Red Guava Extract: Bioaccessibility of Phenolic Compounds and Influence in Antioxidant Activity and Action of Alpha-amylase and Alpha-glucosidase Enzymes. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 79, p. 219–224, 2024.
- PEREIRA, E. et al. *Psidium cattleianum* fruits: A review on its composition and bioactivity. **Food Chemistry**, v. 258, p. 95–103, 2018.
- SANTOS et al. *Psidium cattleianum* fruits: A review on its composition and bioactivity. **Food Chemistry**, v. 258, p. 95–103, 2018.
- SANTOS, L. et al. Brazilian native fruit pomace as a source of bioactive compounds on starch-based films: Antimicrobial activities and food simulator release. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 242, p. 124900, 2023.
- SILVA, R. et al. Monoterpenes and Sesquiterpenes of Essential Oils from *Psidium* Species and Their Biological Properties. **Molecules**, v. 26, p. 965, 2021.
- SILVA, N. et al. Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from *Psidium cattleianum* Leaves: Optimization Using the Response Surface Methodology. **Molecules**, v. 27, p. 35-57, 2022.
- ZANDONÁ, G. et al. Extraction and characterization of phytochemical compounds from araçazeiro (*Psidium cattleianum*) leaf: Putative antioxidant and antimicrobial properties. **Food Research International**, v. 137, p. 109-573, 2020.



Área: Alimentos

**POTENCIAIS APLICAÇÕES DE *PLANTAGO MAJOR* (TANSAGEM) NA
INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA**

César Augusto Franceschetto Mangoni*, Luciana Ruschel dos Santos, Lára Franco dos Santos, Carla Patricia Freitas

Programa de Pós-graduação em Bioexperimentação, Curso de Mestrado em Bioexperimentação, Escola de Ciências Agrárias, Inovação e Negócios, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: 152751@upf.br*

RESUMO – *Plantago major* (*P. major*) é uma planta medicinal, incluída nas Informações Sistematizadas da Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS com ação anti-inflamatória, antibacteriana, antioxidante, antiviral, cicatrizante e antifúngica de interesse clínico conferidas pela rica composição química encontrada em *P. major*. Porém, poucos estudos com o objetivo de avaliar o potencial de utilização de *P. major* na cadeia produtiva de alimentos foram conduzidos. Os polissacarídeos presentes nas sementes podem ser utilizados para produzir revestimentos comestíveis com óleos essenciais e prolongar o *shelf life* dos produtos. Além disso, pode agregar propriedades antioxidantes aos alimentos e demonstra potencial prebiótico. Os extratos de *P. major* apresentam ação bactericida eficaz contra microrganismos Gram-positivos e negativos. O comprometimento das empresas em produzir alimentos com controle de microrganismos deteriorantes e patogênicos na cadeia produtiva é essencial para sustentar a confiabilidade dos consumidores, o que torna a tansagem uma alternativa para utilização em alimentos. As propriedades biológicas e a concentração dos compostos da planta podem ser influenciadas pelo método de extração e pelo solvente utilizado. A extração por ultrassom com etanol em concentração acima de 70% demonstra os melhores resultados por extrair maior teor de compostos fenólicos em menor tempo de processamento.

Palavras-chave: *Plantago major*, Tansagem, Extrato de Tansagem, Composição Química de *P. major*, *P. major* em Alimentos

1 INTRODUÇÃO

P. major é uma planta medicinal perene, incluída nas Informações Sistematizadas da Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS, que vem sendo foco de investigações científicas devido a sua composição química ser rica em compostos fenólicos e flavonoides, os quais conferem atividades biológicas à planta (Adom et al, 2017; Anne, 2000; Brasil, 2021; Hassemer et al, 2019). Essa planta é originária da Europa, Norte e Centro da Ásia e é conhecida popularmente como Tansagem, Transagem ou Tanchagem (Adom et al, 2017; Anne, 2000; Brasil, 2021 Hassemer et al, 2019). A composição química dessa planta é formada por monossacarídeos, lipídeos, alcaloides, derivados do ácido cafeico, flavonoides, glicosídeos iridoides e vitaminas (Adom et al, 2017; Anne, 2000, Silva, 2021). Dentre os compostos isolados de *P. major*, o plantamajoside e o acteoside, também chamado de verbascoside, são os principais compostos fenólicos e a baicaleína é o principal flavonoide (Adom et al, 2017; Anne, 2000).

As diversas atividades biológicas de interesse clínico observadas em *P. major* incluem propriedades anti-inflamatórias, antibacterianas, antioxidantes, antivirais, cicatrizantes e antifúngicas (Mazzuti, 2017; Zhang, 2021). Porém, poucos estudos com o objetivo de avaliar o potencial de utilização de *P. major* na cadeia produtiva de alimentos foram conduzidos. Além disso, a produção de alimentos seguros representa um desafio constante às indústrias alimentícias. O comprometimento das empresas em produzir alimentos com controle de microrganismos deteriorantes e patogênicos na cadeia produtiva é essencial para sustentar a confiabilidade dos consumidores (Brauge et al, 2020; Esbelin et al, 2018). Nesse sentido, a tansagem pode ser uma alternativa para utilização em alimentos, os polissacarídeos presentes nas sementes podem ser utilizados para produzir revestimentos comestíveis com óleos essenciais e prolongar o tempo de prateleira dos produtos (Correia, 2022; Niknam, 2019). Nesse contexto, pode agregar propriedades antioxidantes aos alimentos e ser utilizada como prebiótico (Noshad, 2021; Hasinika, 2018). O extrato de *P. major* mostrou ação antibacteriana eficaz contra microrganismos Gram-positivos e negativos ao demonstrar ação bactericida contra *Escherichia coli* (*E. coli*), *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) e *Porphyromonas gingivalis* (*P. gingivalis*), sendo considerado promissor para uso em alimentos (Lukova, 2020; Stanisavljevic, 2008).



O método de extração e o solvente utilizados para obter o extrato podem influenciar a concentração dos compostos isolados e as atividades biológicas. Os extratos obtidos a partir de acetato de etila apresentam ação frente a *S. aureus* e *P. aeruginosa*, o que não é observado ao utilizar éter de petróleo como solvente (Lukova, 2020). O extrato produzido com etanol 70% apresentou maior ação antioxidante e maior concentração de compostos fenólicos e flavonoides do que a extração com metanol (Lukova, 2020). A técnica de extração por ultrassom com etanol em concentração acima de 70% apresenta melhores resultados para *P. major* por extrair maior teor de compostos fenólicos em menor tempo de processamento (Mazzuti, 2017; Zhang, 2021). Com isso, o objetivo da presente revisão é apresentar a caracterização de *P. major* e destacar as atividades biológicas conferidas pela variada composição química encontrada nessa planta e o potencial de utilização na produção de alimentos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A redação da presente revisão sobre *P. major* ocorreu através da seleção de trabalhos que trouxessem uma ampla abordagem sobre a caracterização da planta, a ocorrência geográfica, os nomes populares da planta, a estação do ano de crescimento, a altura, a inflorescência, o formato e as características das folhas. Além disso, buscaram-se artigos que descrevessem as propriedades físico-químicas de *P. major* e as atividades biológicas, com foco nas atividades bactericidas dos compostos flavonoides e fenólicos. Os estudos foram buscados pelas seguintes palavras-chave: *Plantago major*, extratos de *Plantago major*, composição química de *Plantago major*, atividades biológicas de *Plantago major* e aplicações de *Plantago major* em alimentos. Essas informações foram buscadas através de trabalhos que explorassem essas atividades em alimentos e casos clínicos. Os trabalhos que compõem a presente revisão são provenientes das seguintes bases de dados: SciELO, ScenceDirect e PubMed.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *P. MAJOR*

P. major, conhecida por Tansagem, Transagem ou Tanchagem (Figura 1), é uma planta medicinal perene pertencente à família *Plantaginaceae*, que atinge até 15 cm de altura e folhas em formato de rosetas, ovais a elípticas com nervuras paralelas (Adom, 2017). Suas flores são pequenas, de coloração verde acastanhadas e formato em espigas longas e não ramificadas (Anne, 2000). Essa planta é originária da Europa, norte e centro da Ásia com distribuição cosmopolita com mais de 250 espécies. Além disso, é conhecida como erva daninha, porém é usada como planta medicinal popular incluída nas Informações Sistematizadas da Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS (Adom et al, 2017; Anne, 2000; Brasil, 2021; Hassemer et al, 2019).

Figura 1. *P. major* (tansagem).





3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE *P. MAJOR*

A composição química de *P. major* inclui monossacarídeos, lipídeos, alcaloides, derivados do ácido cafeico, flavonoides, glicosídeos iridoides e vitaminas, os quais conferem atividades biológicas à planta (Adom, 2017; Anne, 2000; Silva, 2021). Os polissacarídeos mais abundantes nas folhas e sementes da planta são xilose, arabinose, galactose, ácido galacturônico, ácido glucurônico e ramnose (Anne, 2000).

Os derivados do ácido cafeico são compostos fenólicos com atividade antimicrobiana, anti-inflamatória e antioxidante. Já, plantamajoside e o acteoside (verbascoside) são os principais compostos isolados da planta, sendo o plantamajoside o de maior concentração (Adom, 2017; Anne, 2000). A caracterização do extrato de *P. major* demonstrou a presença de fitocompostos como ácido n-hexadecanóico (ácido palmítico) e seus derivados, o ácido 9, 12-octadecadienóico (ácido linoleico) e seus derivados e α -sitosterol. Esses compostos apresentam propriedades anti-inflamatórias, antibacterianas, antioxidantes e antivirais (Mazzuti, 2017; Zhang, 2021).

P. major apresenta grandes concentrações de compostos bioativos como flavonoides e compostos fenólicos. Nesse sentido, foram isolados vários flavonoides como: apigenina 7-glicosídeo, baicaleína, hispidulina, hispidulina 7-glucuronídeo, homoplantaginina, luteolina 7-glicosídeo, luteolina 7-diglicosídeo, luteolina 6-hidroxi-4'-metoxi-7-galactosídeo, nepetina 7-glicosídeo, plantaginina, escutelareína. Esses compostos apresentam ação antioxidante e sequestradora de radicais livres como a baicaleína, hispidulina, escutelareína e plantaginina, além de auxiliarem na cicatrização de feridas, bem como glicosídeos iridoides como a aucubigenina com ação bactericida e antifúngica (Adom, 2017; Anne, 2000).

3.3 ATIVIDADES BIOLÓGICAS DE *P. MAJOR*

A produção de alimentos seguros representa um desafio constante às indústrias alimentícias. O comprometimento das empresas em produzir alimentos com controle de microrganismos deteriorantes e patogênicos na cadeia produtiva é essencial para sustentar a confiabilidade dos consumidores (Brasil, 2013; Brauge et al, 2020; Cdc, 2016; Esbelin et al, 2018). As sementes de *P. major* possuem revestimento externo com polissacarídeos que em contato com água formam mucilagem de alta viscosidade, a qual pode ser utilizada em alimentos (Anne, 2000). Nesse contexto, filmes biodegradáveis à base de mucilagem de sementes de *P. major* incorporados com óleos vegetais de milho e azeite demonstraram baixo valor de vapor de água, o que auxilia na preservação dos alimentos (Correia, 2022). Também, a utilização de mucilagem como revestimento para óleo de *Anethum graveolens* em carne bovina apresentou aumento de *shelf life* da carne em três dias, evitando a oxidação lipídica e a deterioração microbiana, podendo ser utilizada como embalagem ativa em alimentos (Niknam, 2019).

Um revestimento de mucilagem de *P. major* com óleo de *Citrus limon* foi avaliado em carne de búfalo e os resultados demonstraram que o revestimento manteve as características da carne ao longo do tempo de validade e não apresentou alterações sensoriais (Behbahani, 2017). Os polissacarídeos extraídos de folhas e sementes de *Plantago* spp. apresentam potencial prebiótico, ou seja, são fermentados pela microbiota intestinal e estimulam a multiplicação seletiva dos microrganismos (Noshad, 2021; Hasinika, 2018).

P. major apresenta atividade antibacteriana contra microrganismos Gram-positivos e negativos. O extrato etanólico a 70% mostrou ação inibitória contra *E. coli*, *B. subtilis*, *S. aureus*, *P. aeruginosa* e *P. gingivalis*, sendo considerado promissor para uso clínico e em alimentos (Lukova, 2020; Stanisavljevic, 2008). Outros compostos, como: ácido n-hexadecanóico (ácido palmítico) e seus derivados, o ácido 9,12-octadecadienóico (ácido linoleico) e seus derivados e α -sitosterol, campesterol e estigmasterol demonstram atividades anti-inflamatória, antiviral, antioxidante, anticancerígena e antibacteriana (Mazzuti, 2017; Zhang, 2021).

Diferentes formas de extração e de solventes podem ser utilizadas, nesse sentido o extrato de *P. major* obtido com acetato de etila como solvente e o extrato aquoso demonstraram inibição contra *S. aureus*, *P. aeruginosa* e *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis* e *Salmonella Typhimurium*. No entanto, a extração realizada com o solvente de acetato de etila mostrou melhor atividade antibacteriana, principalmente frente a microrganismos Gram-Positivos. Porém, não apresentaram ação antimicrobiana contra *Listeria monocytogenes* (*L. monocytogenes*). Já, o extrato com éter de petróleo utilizado como solvente não demonstrou ação contra os microrganismos testados (Sangay, 2020).

O extrato etanólico a 75% e o extrato aquoso de *P. major* mostraram-se efetivos contra *L. monocytogenes*, *L. ivanovii*, *L. innocua*, e *L. murrayi* (Karima et al, 2015). Outros autores, encontraram maior ação antioxidante e maiores teores de compostos fenólicos e flavonoides no extrato etanólico a 70% em comparação com a extração com metanol,



destacando que o extrato etanólico em concentrações superiores a 70% apresentou melhores resultados contra *L. monocytogenes* (Lukova, 2020).

Em um estudo em que foram comparados os métodos de extração assistidos por ultrassom, SOX e fluido supercrítico (SFE), usando hexano, diclorometano, acetato de etila, etanol e metanol como solventes, a técnica por ultrassom com etanol foi considerada mais vantajosa para *P. major* por extrair maior teor de compostos fenólicos e menor tempo de processamento, cerca de 45 min. Além disso, apresentou potencial antioxidante entre moderado a forte e inibidor bacteriano entre moderado a forte em que valores de Concentração Inibitória Mínima (CIM) inferiores a 500 µg/mL foi considerado forte e de 600 a 1500 µg/mL considerado moderado. Todos os extratos de *P. major* foram considerados eficazes contra *Bacillus cereus* e *E. coli*, porém o extrato SFE apresentou melhores resultados frente a *B. cereus*, com valores de CIM de 15,62 µg/mL (Mazzuti, 2017; Zhang, 2021).

4 CONCLUSÃO

Em suma, *P. major* apresenta notáveis propriedades biológicas clínicas já conhecidas, porém demonstra ser uma promissora alternativa para utilização na indústria alimentícia como revestimento comestível para alimentos, óleos essenciais e extratos. Além disso, possui potencial para agregar propriedades biológicas antioxidantes aos produtos, aumentar o tempo de prateleira e controlar a contaminação microbiológica cruzada para produtos pela ação da composição química rica em compostos fenólicos e flavonoides, encontrada na planta. As atividades biológicas e a concentração dos compostos de *P. major* podem ser afetadas pelo método de extração e pelo solvente utilizados, a extração por ultrassom com etanol 80% proporciona o extrato com maior atividade antioxidante e maiores teores de compostos fenólicos com menor tempo de extração, cerca de 45 minutos.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado.

6 REFERÊNCIAS

- ADOM, M. et al. Chemical constituents and medical benefits of *Plantago major*. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 96, p. 348–360, 2017.
- ANNE, S. The traditional uses, chemical constituents and biological activities of *Plantago major* L. A review. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 71, p. 1–21, 2000.
- BEHBAHANI, B.; SHAHIDI F.; YAZDIF.; MORTAZAVIS.; MOHEBBI, M. Use of *Plantago major* seed mucilage as a novel edible coating incorporated with *Anethum graveolens* essential oil on shelf life extension of beef in refrigerated storage. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 94, p. 515–526, 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde. Departamento de Assistência Farmacêutica e Insumos Estratégicos. Informações Sistematizadas da Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS: *Plantago major* L., *Plantaginaceae* (Tanchagem) Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 2021;91:il. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/sectics/daf/cbaf/arquivos/arquivos-plantas-medicinais-e-fitoterapicos/plantago_major.pdf/view>. Acesso em: 07 mar. 2024.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Doenças transmitidas por Água e Alimentos, 2013 Disponível em:<<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/d/dtha>>. Acesso em: 07 mar. 2024.
- BRAUGE, T. et al. Treatment with disinfectants may induce an increase in viable but non culturable populations of *Listeria monocytogenes* in biofilms formed in smoked salmon processing environments. **Food Microbiology**, 2020.
- CDC. Centers of Disease and Control and Prevention. People at Risk, 2016 Disponível em:<<https://www.cdc.gov/listeria/risk.html>>. Acesso em: 07 mar. 2024.
- CORREIA, V. et al. An Integrative Review on the Main Flavonoids Found in Some Species of the *Myrtaceae* Family: Phytochemical Characterization, Health Benefits and Development of Products. **Plants**, v. 11, p. 27-96, 2022.
- ESBELIN, J. et al. Desiccation: An environmental and food industry stress that bacteria commonly face. **Food Microbiology**, v. 69, p. 82, 2018.
- HASINIKA et al. Fiber Supplements Derived From Sugarcane Stem, Wheat Dextrin and *Psyllium* Husk Have Different In Vitro Effects on the Human Gut Microbiota. **Front. Microbiol**, v. 9, 2018.
- HASSEMER, G. et al. The application of high-throughput sequencing for taxonomy: The case of *Plantago* subg. *Plantago* (*Plantaginaceae*). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 138, p. 156–173, 2019.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- KARIMA, S.; SAHLI, S.; MIHOUB, Z. Antioxidant and antimicrobial activities of *Plantago major*. **Int J Pharm Pharm Sci**, v. 7, n. 5, p. 58-64, 2015.
- LUKOVA P, NIKOLOVA M, PETIT E, ELBOUTACHFAITI R, VASILEVA T, KATSAROV P, et al. Atividade prebiótica de poli e oligossacarídeos obtidos das folhas de *Plantago major* L. **Ciências Aplicadas**, v. 10, n. 8, p. 26-48, 2020.
- MAZZUTI, S. FERREIRA, S.; HERRERO, M.; IBAÑEZ, E. Intensified aqueous-based processes to obtain bioactive extracts from *Plantago major* and *Plantago lanceolata*. **J. of Supercritical Fluids**, v. 119, p. 64–71, 2017.
- NIKNAM, R.; GHANBARZADEH, N.; AYASEH, A.; HAMISHEHKAR, H. *Plantago major* seed gum based biodegradable films: Effects of various plant oils on microstructure and physicochemical properties of emulsified films. **Polymer Testing**, v. 77, p. 105-868, 2019.
- NOSHAD, M. et al. Utilization of *Plantago major* seed mucilage containing *Citrus limon* essential oil as an edible coating to improve shelf-life of buffalo meat under refrigeration conditions. **Food Sci Nutr**, v. , p. 1625–1639, 2021.
- SANGAY, S. Chemical Composition and Antibacterial Effect of *Plantago major* Extract on Periodontal Pathogens. **Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada**, v. 20, p. e0012, 2020.
- SILVA, R. et al. Monoterpenes and Sesquiterpenes of Essential Oils from *Psidium Species* and Their Biological Properties. **Molecules**, v. 26, p. 965, 2021.
- STANISAVLJEVIC, I. et al. Screening the Antioxidant and Antimicrobial Properties of the Extracts from Plantain (*Plantago Major* L.) Leaves. **Separation Science and Technology**, v. 43, p. 3652–3662, 2008.
- ZHANG, S, HU, J, SUN, Y, TAN, H, YIN, J, GENG, F, NIE, S. Review of structure and bioactivity of the *Plantago* (*Plantaginaceae*) polysaccharides. **Food Chemistry**, v. 10, n. 12, p. 100- 158, 2021.



Área: Alimentos

POTENCIAL TECNOLÓGICO DE ISOLADOS DE KEFIR NA PRODUÇÃO DE EXOPOLISSACARÍDEOS

Caroline Krause Bierhals, Pedro Fernandes Viana*, Maria Fernanda Fernandes Siqueira, Silvana de Souza Sigali, Wladimir Padilha da Silva, Graciela Völz Lopes, Ângela Maria Fiorentini

Laboratório de Processamento de Produtos de Origem Animal, Programa de Pós-Graduação em Ciência e tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS

**E-mail: fernandes199921@gmail.com*

RESUMO – O kefir é uma bebida fermentada rica em microrganismos probióticos e metabólitos bioativos, associados a uma variedade de benefícios à saúde do indivíduo. Este estudo investigou a produção de exopolissacarídeos (EPS) por bactérias ácido-láticas (BAL) isoladas de kefir, identificando variações significativas na quantidade de EPS produzida por cada bactéria. A análise molecular revelou a predominância das espécies *Leuconostoc mesenteroides* e *Pediococcus pentosaceus* entre os isolados estudados. Quanto à produção de EPS, os isolados KLM6, KLM7 e KLM5 apresentaram a maior produção, superando valores encontrados na literatura. Esses achados ressaltam a diversidade genética e a influência de fatores ambientais na produção de EPS por BAL isoladas de kefir. A produção de EPS pelos microrganismos do kefir tem potencial biotecnológico, podendo ser aplicada na indústria de alimentos como agentes viscosificantes, estabilizantes e melhoradores de textura. Além disso, EPS produzidos por essas BAL podem contribuir para a melhoria das características sensoriais e funcionais de alimentos fermentados. Este estudo fornece percepções importantes sobre a diversidade microbiana no kefir e destaca o potencial desses microrganismos para aplicações futuras na indústria de alimentos e na promoção da saúde humana.

Palavras-chave: Metabólitos; Bactérias ácido-láticas; Alimentos fermentados; Kefir.

1 INTRODUÇÃO

O kefir é uma bebida com teor alcoólico baixo, consiste em uma mistura de ácido láctico, ácido acético, etanol e CO₂, obtida por meio da fermentação de leveduras, bactérias acéticas e bactérias ácido-láticas (BAL), que estão integradas em uma matriz de polissacarídeos e proteínas (Kim *et al.*, 2019). Os benefícios associados ao consumo deste produto fermentado derivam dos microrganismos presentes nos grãos de kefir (muitos com potencial probiótico) e dos metabólitos gerados durante o processo fermentativo. Portanto, o consumo regular de kefir pode proporcionar vantagens como efeitos antioxidantes, antialérgicos, antitumorais, anti-inflamatórios, anti-hipertensivos, além de auxiliar na redução do colesterol e demonstrar atividade antimicrobiana (Nejati *et al.*, 2020).

A produção tradicional de kefir envolve a inoculação dos grãos em leite (Cassanego *et al.*, 2017), e após a fermentação em temperatura ambiente, os grãos de kefir são coados, separando-os do leite fermentado, os quais podem ser aplicados em novas fermentações, enquanto o leite fermentado é armazenado sob refrigeração até o consumo (Schawn *et al.*, 2015).

As BAL são comuns em alimentos lácteos fermentados, mas também podem ser encontradas em outras fontes alimentares, produtos artesanais e diversos ambientes (microbiota humana, animal, vegetal e do solo) (Rodríguez *et al.*, 2019; Duar *et al.*, 2017). Essas BAL fazem parte de um grupo diversificado de microrganismos Gram-positivos, catalase negativa, produzem ácidos orgânicos, bacteriocinas, exopolissacarídeos (EPS) e geralmente reconhecidos como seguros (GRAS - *Generally Recognized As Safe*), devido a isso têm aplicação em alimentos como culturas iniciadoras ou adjuntas (Zheng *et al.*, 2020). As BAL produtoras de EPS são de grande interesse na indústria de laticínios (iogurte, queijos), pois seus polissacarídeos contribuem para melhorar as características sensoriais e reológicas dos alimentos fermentados. Além disso, os EPS podem ajudar na prevenção da sinérese, um problema que afeta a qualidade dos produtos lácteos fermentados (Feldmane, Semjonovs, Ciprovica, 2013). No entanto, é importante continuar pesquisando novas espécies microbianas produtoras de polissacarídeos, pois o rendimento e a produção desses metabólitos podem variar dependendo do microrganismo e das condições de cultivo (Williams, Wimpenny, 1977). Entre os EPS microbianos, os produzidos por BAL se destacam devido à sua variabilidade estrutural e ampla gama de aplicações (Silva, 2022).



A aplicação de BAL produtoras de EPS em alimentos não só melhora as características reológicas e sensoriais, mas também oferece benefícios à saúde do consumidor, incluindo atividade imunomoduladora, antioxidante, antitumoral, propriedades antibacterianas e capacidade de redução do colesterol sanguíneo (Ryan *et al.*, 2015; Yildiz; Karatas, 2018).

Enquanto na indústria de alimentos, os EPS produzidos por BAL são de interesse devido aos seus efeitos como viscosificantes, estabilizantes, agentes emulsificantes ou gelificantes. A adição de BAL produtoras de EPS pode melhorar características sensoriais dos alimentos, como aparência, textura e propriedades reológicas, como viscosidade e cremosidade (Caggianiello, Kleerebezem, Spano, 2016; Polak-Berecka *et al.*, 2013). A viscosidade dos produtos lácteos pode ser aumentada pela presença de EPS, que interage com a água e as proteínas do leite, proporcionando uma textura homogênea e agradável ao paladar do consumidor. Além disso, a formação de uma rede polimérica pelo complexo EPS-EPS ou EPS-proteínas pode aumentar a viscosidade do produto final (Lynch *et al.*, 2018). Como também, os EPS podem ser purificados e utilizados como bioingredientes, garantindo uma concentração conhecida e um processo de produção mais controlado (Lynch *et al.*, 2018).

O estudo teve como objetivo identificar o gênero e a espécie de isolados microbianos através do sequenciamento do gene 16S do rDNA, utilizando o programa Contig Express e a ferramenta BLAST do NCBI e além disso, caracterizar a produção, obtenção e quantificação de exopolissacarídeos (EPS) em meio de cultura pelos isolados de BAL.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os isolados de BAL apresentados no presente estudo, são procedentes de amostras de kefir e foram obtidos em estudo anterior, realizado pelo nosso grupo de pesquisa.

2.1 IDENTIFICAÇÃO MOLECULAR

Para identificação de gênero e espécie dos isolados, foi realizada a extração de DNA de 8 isolados de BAL (Green *et al.*, 2012). As amostras de DNA foram enviadas à empresa ACTgene análises moleculares Ltda. (Alvorada, Rio Grande do Sul, Brasil), para análise genotípica através do sequenciamento do gene 16S do rDNA. O programa Contig Express, da Vector NTI, Invitrogen, foi empregado para analisar o fragmento sequenciado, enquanto a ferramenta BLAST do *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) foi utilizada para comparar a similaridade com sequências depositadas no *GenBank* (NCBI BLAST).

2.2 PRODUÇÃO DE EXOPOLISSACARÍDEOS

Quanto à produção, obtenção e quantificação de EPS em meio de cultura por 8 isolados de BAL, utilizou-se a metodologia proposta por Dabour *et al.* (2005), com modificações sugeridas por Ali *et al.* (2020) e Lima *et al.* (2008). Os isolados foram cultivados em 500 mL de caldo MRS a 37 °C por 48 h, sob condições anaeróbicas. A obtenção do EPS produzido ocorreu após a incubação, em banho-maria a 100 °C, por 30 minutos. Posteriormente, a amostra foi centrifugada a 5.000 g por 20 min a 4 °C e na sequência adicionado ácido tricloroacético 80% na amostra livre de células, numa proporção de 1:6, para precipitar as proteínas, que foram retiradas por centrifugação a 7.197 g por 35 min a 20 °C. O EPS suspenso no sobrenadante foi precipitado pela adição de duas vezes o volume de etanol por volume de sobrenadante. O conteúdo de EPS do sobrenadante foi coletado por centrifugação a 7.197 g por 35 min a 4 °C e dissolvido em água destilada estéril.

Para quantificar o EPS, utilizou-se o método fenol-ácido sulfúrico modificado com glicose como padrão, para determinar o teor de açúcares totais das amostras. Uma mistura de 1 mL da amostra com 0,5 mL de solução aquosa de fenol a 5%, seguido pela adição de 2,5 mL de ácido sulfúrico (VI) a 95%, foi incubada a 20 ± 2 °C/10 min e agitação por 30 s. As amostras foram então incubadas por 20 minutos em banho-maria a 25 °C, e a absorbância foi medida a um comprimento de onda de 490 nm. Água destilada foi utilizada como controle de reação (Dubois *et al.*, 1956).



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da identificação molecular, realizada através do sequenciamento do gene 16S do rDNA dos isolados de BAL obtidos de diversas amostras de kefir, são apresentados na tabela 1. Esses resultados foram comparados por similaridade com os dados disponíveis no *GenBank* (NCBI BLAST) para uma análise mais detalhada.

Tabela 1 - Identificação molecular dos isolados de bactérias ácido-láticas (BAL) provenientes de kefir

Isolado	Gênero e espécie	Grau de similaridade	Código de acesso
KLM1	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	97,20%	NZ_CP028251.1
KPP1	<i>Pediococcus pentosaceus</i>	89,10%	NC_008525.1
KLM2	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	96,76%	NZ_CP028251.1
KLM3	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	97,67%	NZ_CP028251.1
KLM4	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	97,67%	NZ_CP028251.1
KLM5	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	97,67%	NZ_CP028251.1
KLM6	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	97,21%	NZ_CP028251.1
KLM7	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	97,66%	NZ_CP028251.1

O isolado KPP1 foi reconhecido como *Pediococcus pentosaceus*, sob o código de acesso NC_008525.1, com uma similaridade de 89,10%. No entanto, os demais isolados (7) foram identificados como *Leuconostoc mesenteroides*, com o código de acesso NZ_CP028251.1, exibindo um grau de similaridade de aproximadamente 97%.

Zanirati (2012), ao examinar a literatura sobre as espécies encontradas em grãos de kefir em relação ao substrato utilizado para cultivo, constatou que em amostras de grãos de kefir cultivadas em leite, as espécies predominantes foram *Lactococcus lactis*, *Leuconostoc mesenteroides*, *L. kefir* e *L. kefiranofaciens*. Por outro lado, em amostras de grãos de kefir cultivadas em água com açúcar, as espécies mais comumente encontradas foram *Leuconostoc mesenteroides*, *L. mali*, *L. hordei*, *L. casei*, *L. sunkii*, *L. helveticus*, *L. buchneri*, *L. paracasei*, *L. satsumensis* e *L. kefir*.

Cada espécie microbiana individual de grãos de kefir desempenha um papel importante na formação de uma cultura iniciadora para a produção industrial de kefir (Zanirati, 2012). Toba *et al.* (1991) observaram que a viscosidade da bebida fermentada está diretamente relacionada à quantidade de polissacarídeo kefirano, produzido pelos microrganismos responsáveis.

As estirpes do gênero *Leuconostoc* são heterofermentativas e produzem ácido láctico a partir da utilização de lactose e citrato (Cicotello *et al.*, 2018). Por isso vêm sendo utilizadas por indústrias de laticínios para melhorar o aroma e sabor do leite fermentado (Zhou *et al.*, 2009; Hsieh *et al.*, 2012). Enquanto que, estirpes do gênero *Pediococcus* são homofermentativas, podem produzir bacteriocinas e são consideradas adjuntas em lácteos e utilizadas como culturas iniciadoras na fermentação de embutidos cárneos (Jiang *et al.*, 2021).

Quanto aos resultados referentes à produção de EPS a 37 °C durante o período de 72 horas de fermentação pelos 8 isolados em análise, estão apresentados na tabela 2. O processo fermentativo foi conduzido em duplicata.



Tabela 2 - Produção de EPS pelos isolados de bactérias ácido-láticas (BAL) de kefir

Isolados	Concentração de EPS (mg/mL)		
	Amostra 1	Amostra 2	Média ± dp
KLM1	0,243	0,239	0,241 ± 0,003
KPP1	0,329	0,312	0,320 ± 0,012
KLM2	0,241	0,238	0,239 ± 0,002
KLM3	0,274	0,302	0,288 ± 0,020
KLM4	0,314	0,309	0,311 ± 0,003
KLM5	0,326	0,320	0,323 ± 0,004
KLM6	0,388	0,433	0,410 ± 0,032
KLM7	0,392	0,356	0,374 ± 0,025

A produção de EPS variou de 0,239 mg/mL a 0,410 mg/mL. Os isolados que demonstraram a maior produção de EPS foram KLM6, KLM7 e KLM5, gerando quantidades de 0,410 mg/mL, 0,374 mg/mL e 0,323 mg/mL, respectivamente. Em comparação com dados da literatura, a concentração máxima de EPS obtida por You *et al.* (2020) foi de 0,185 mg/mL, utilizando uma cepa de *Lactobacillus pentosus* em uma matriz láctea, durante um período de 24 horas. Em outro estudo realizado por Islam *et al.* (2021) investigaram isolados de leite cru e identificados como *L. mesenteroides* subsp. *mesenteroides*, *L. mesenteroides* subsp. *dextranicum* e *P. pentosaceus*, tiveram produção de EPS de 0,088 mg/mL, 0,075 mg/mL e 0,023 mg/mL, respectivamente. Esses resultados foram inferiores aos observados neste estudo.

O rendimento da produção de EPS é considerado cepa-dependente, isso significa que o rendimento depende do isolado utilizado, bem como das necessidades nutricionais que o mesmo requer (Williams; Wimpenny, 1977). Além disso, é importante considerar que diversos fatores afetam a produção de EPS, tais como: a espécie e linhagem bacteriana, composição do meio, condições operacionais (temperatura, pH, rotação e aeração), podendo obter variações no rendimento e na qualidade do polímero produzido (GARCIA-OCHOA, 2000).

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que no kefir estão presentes BAL produtoras de exopolissacarídeos (EPS) com prevalência da espécie *Leuconostoc mesenteroides*. Os isolados que demonstraram potencial com maior produção de EPS foram KLM6, KLM7 e KLM5, todos identificados como *L. mesenteroides*. Os resultados foram superiores aos encontrados na literatura, indicando a capacidade promissora das BAL de kefir estudadas. O estudo ressalta a complexidade da produção de EPS, influenciada por fatores genéticos e ambientais. Esses achados contribuem para um melhor entendimento da diversidade microbiana no kefir e abrem caminho para potenciais aplicações biotecnológicas futuras.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).



6 REFERÊNCIAS

- ALI, P.; SHAH, A. A.; HASAN, F.; HERTKORN, N.; GONSIOR, M.; SAJJAD, W.; CHEN F. A Glacier Bacterium Produces High Yield of Cryoprotective Exopolysaccharide. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.03096>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2019.03096/full>.
- CASSANEGO, D. et al. Identification by PCR and evaluation of probiotic potential in yeast strains found in kefir samples in the city of Santa Maria, RS, Brazil, **Food Sci. Technol** vol.38 supl.1 Campinas Dec. 2018 Epub Oct 26, 2017.
- CAGGIANIELLO, G.; KLEEREBEZEM, M.; SPANO, G. Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: From health-promoting benefits to stress tolerance mechanisms. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 100, n. 9, p. 3877–3886, 2016. DOI: 10.1007/s00253-016-7471-2. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27020288/>.
- CICOTELLO, J.; WOLF, I. V.; ANGELO, L.; GUGLIELMOTTI, D. M.; QUIBERONI, A.; SUÁREZ, V. Response of *Leuconostoc* strains against technological stress factors: Growth performance and volatile profiles. **Food Microbiol.**, v. 73, p. 362-370, 2018. DOI: 10.1016/j.fm.2018.02.010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29526224/>.
- DABOUR, N., LAPOINTE, G. Identification and molecular characterization of the chromosomal exopolysaccharide biosynthesis gene cluster from *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* SMQ-461. **Appl. Environ. Microbio.**, v. 71, p. 7414–7425, 2005. DOI: 10.1128/AEM.71.11.7414-7425.2005. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1287649/>.
- DUAR, R. M.; LIN, X. B.; ZHENG, J.; MARTINO, M. E.; GRENIER, T.; PÉREZ-MUÑOZ, M. E.; LEULIER, F.; GÄNZLE, M.; WALTER, J. Lifestyles in transition: Evolution and natural history of the genus *Lactobacillus*. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 41, p. 27–48, 2017. DOI: 10.1093/femsre/fux030. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28673043/>.
- DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A. T.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Anal Chem**, v. 28, p. 350–356, 1956. DOI: 10.1021/ac60111a017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/216090838_Calorimetric_Dubois_Method_for_Determination_of_Sugar_and_Related_Substances.
- FELDMANE, J.; SEMJONOV, P.; CIPROVICA, I. Potential of exopolysaccharides in yoghurt production. **International Journal of Nutrition and Food Engineering**, v. 7, n. 8, p. 767–770, 2013. DOI: doi.org/10.5281/zenodo.1086547. Disponível em: <https://publications.waset.org/16077/potential-of-exopolysaccharides-in-yoghurt-production>.
- GARCÍA-OCHOA, F.; SANTOS, V. E.; CASAS, J. A.; GÓMEZ, E. *Xanthan* gum: production, recovery, and properties. **Biotechnology Advances**, v. 18, p. 549-579, 2000.
- GREEN, M. R.; HUGHES, H.; SAMBROOK, J.; MACCALLUM, P. Molecular cloning: a laboratory manual. **Molecular cloning: a laboratory manual**, p.1890-1898, 2012.
- HSIEH, H. H.; *et al.*, Effects of cow's and goat's milk as fermentation media on the microbial ecology of sugary kefir grains, **International Journal of Food Microbiology**, 2012, doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2012.04.014
- ISLAM, M. Z.; UDDIN, M. E.; RAHMAN, M. T.; ISLAM, M. A.; HARUN-UR-RASHID, M. Isolation and characterization of dominant lactic acid bacteria from raw goat milk: Assessment of probiotic potential and technological properties. **Small Ruminant Research**, v. 205, p. 106-532, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106532>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921448821002091>.
- JIANG, S.; CAI, L.; LV, L.; LI, L. *Pediococcus pentosaceus*, a future additive or probiotic candidate. **Microbial Cell Factories**, v. 20, n. 1, p. 45, 2021. DOI:10.1186/s12934-021-01537-y. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33593360/>.
- KIM, D. H.; JEONG, D.; KANG, I. B.; LIM, H. W.; CHO, Y.; SEO, K. H. Modulation of the intestinal microbiota of dogs by kefir as a functional dairy product. **Journal of Dairy Science**, South Korea, v. 102, n. 5, p. 3903–3911, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15639>.
- LIMA, L.; HABU, S.; GERN, J. C.; NASCIMENTO, B. M.; PARADA, J. L.; NOSEDA, M.; GONÇALVES, A.; NISHA, V. R.; PANDEY, A.; SOCCOL, V. T.; SOCCOL, C. Production and Characterization of the Exopolysaccharides Produced by *Agaricus Brasiliensis* in Submerged Fermentation. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 151, n. 2-3, pp. 283–294, 2008. DOI: 10.1007/s12010-008-8187-2. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/5278626_Production_and_Characterization_of_the_Exopolysaccharides_Produced_by_Agaricus_brasiliensis_in_Submerged_Fermentation.
- LYNCH, K. M.; ZANNINI, E.; COFFEY, A.; ARENDT, E. K. Lactic Acid Bacteria Exopolysaccharides in Foods and Beverages: Isolation, Properties, Characterization, and Health Benefits. **Annual Review of Food Science and**



- Technology**, Ireland, v. 9, n. 1, p. 155–176, 2018. DOI: 10.1146/annurev-food-030117-012537. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29580141/>.
- NEJATI, F.; JUNNE, S.; NEUBAUER, P. A Big World in Small Grain: A Review of Natural Milk Kefir Starters. **Microorganisms**, Germany, v. 8, n. 2, p. 192, 2020. DOI: 10.3390/microorganisms8020192. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32019167/>.
- POLAK-BERECKA, M.; WAŠKO, A.; SKRZYPEK, H.; KREFT, A. Production of exopolysaccharides by a probiotic strain of *Lactobacillus rhamnosus*: Biosynthesis and purification methods. **Acta Alimentaria**, v. 42, n. 2, p. 220–228, 2013. DOI: 10.1556/AALim.42.2013.2.9. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260047076_Production_of_exopolysaccharides_by_a_probiotic_strain_of_Lactobacillus_rhamnosus_Biosynthesis_and_purification_methods.
- RODRÍGUEZ, L. G. R.; MOHAMED, F.; BLECKWEDEL, J.; MEDINA, R.; DE VUYST, L.; HEBERT, E. M.; MOZZI, F. Diversity and functional properties of lactic acid bacteria isolated from wild fruits and flowers present in northern Argentina. **Front. Microbiol.**, v. 10, p. 1091, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01091>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2019.01091/full>.
- RYAN, P. M.; ROSS, R. P.; FITZGERALD, G. F.; CAPLICE, N. M.; STANTON, C. Sugar-coated: exopolysaccharide producing lactic acid bacteria for food and human health applications. **Food Funct.**, v.6, n. 3, p. 679-93, 2015. DOI: 10.1039/c4fo00529e. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25580594/>.
- SILVA, E. C. **Exopolissacarídeos de bactérias ácido lácticas: otimização da produção em meio soro de leite, caracterização parcial e avaliação do potencial antioxidante in vitro**. 2022. Tese (Doutorado em Biociência Animal) - Programa de Pós Graduação em Biociência Animal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2022.
- SCHAWN, R. F. *et al.* Kefir-grains and beverages: a review. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, n. 1, p. 1-9, 2015. DOI: <https://doi.org/10.18188/sap.v14i1.11137>
- TOBA, T.; UEMURA, H.; MUKAI, T.; FUJII, T.; ITOH, T. AND ADACHI, S. A new fermented milk using capsular polysaccharide-producing *Lactobacillus kefiranofaciens* isolated from kefir grains. **Journal of Dairy Research**, v.58, p.497–502, 1991.
- WILLIAMS, A. G.; WIMPENNY, J. W. T. Exopolysaccharide Production by *Pseudomonas* 1264 Grown in Batch Culture. **Microbiology**, v. 102, n. 1, p. 13-21, 1977. DOI: 10.1099/00221287-102-1-13. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21224/>.
- YOU, X.; YANG, L.; ZHAO, X.; MA, K.; CHEN, X.; ZHANG, C.; WANG, G.; DONG, M.; RUI, X.; ZHANG, M.; LI, W. Isolation, purification, characterization and immunostimulatory activity of an exopolysaccharide produced by *Lactobacillus pentosus* LZ-R-17 isolated from Tibetan kefir. **International Journal of Biological Macromolecules**, China, v. 158, p. 408–419, 2020. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.05.027. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32389648/>.
- YILDIZ, H.; KARATAS, N. Microbial exopolysaccharides: Resources and bioactive properties. **Process Biochemistry**, v. 72, p. 41-46, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.06.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359511317317166>.
- ZANIRATI, D. F. **Caracterização de bactérias lácticas da microbiota de grãos de kefir cultivados em leite ou água com açúcar mascavo por metodologias dependentes e independentes de cultivo**. 2012. Dissertação (Mestrado em Genética) - Programa de Pós Graduação em Genética, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.
- ZHENG, J.; WITTOUCK, S.; SALVETTI, E.; FRANZ, C. M. A. P.; HARRIS, H. M. B.; MATTARELLI, P.; O'TOOLE, P. W.; POT, B.; VANDAMME, P.; WALTER, J.; WATANABE, K.; WUYTS, S.; FELIS, G. E.; GÄNZLE, M. G.; LEBEER, S. A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 70, n. 4, p. 2782–2858, 2020. DOI: 10.1099/ijsem.0.004107. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32293557/>.
- ZHOU J.; LIU X.; JIANG H.; DONG M. Analysis of the microflora in Tibetan kefir grains using denaturing gradient gel electrophoresis. **Food Microbiology**, v. 26, p. 770–775, 2009.



Área: Alimentos

**POTENCIAL DO CAFÉ COMO FONTE DE COMPOSTOS
ANTIMICROBIANOS PARA APLICAÇÃO EM IOGURTES**

Marinêz de Souza, Ademir Mattana, Deisy Alessandra Drunkler, Eliane Colla*

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos (PPGTA), Universidade Federal Tecnológica do Paraná, campus Medianeira, PR

**E-mail: ecolla@utfpr.edu.br*

RESUMO – O artigo de revisão explora o potencial do café como fonte de compostos antimicrobianos para uso em alimentos, com ênfase na sua eficácia na inibição de microrganismos indesejados em produtos lácteos fermentados, como o iogurte. Os alimentos de origem láctea enfrentam desafios de deterioração e contaminação por microrganismos, representando um obstáculo para a indústria de laticínios. O café apresenta propriedades antimicrobianas que podem contribuir para a preservação desses produtos, devido a sua composição em cafeína, ácidos clorogênicos e melanoidinas. Assim, essa revisão destaca as principais características da composição química do café enfatizando como esses compostos ativos têm demonstrado atividade antimicrobiana contra uma variedade de patógenos, incluindo *Salmonella* sp., *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, sem prejudicar o crescimento de bactérias probióticas. Além disso, destacam-se as propriedades antioxidantes e de promoção à saúde do café, principalmente com relação a redução do risco de doenças. Os estudos indicam que os ácidos clorogênicos, as melanoidinas e a cafeína presentes no café atuam em diferentes alvos na estrutura celular bacteriana, o que lhe confere atividade antimicrobiana além de prolongar a vida útil e preservar a viabilidade de bactérias lácticas durante o armazenamento dos alimentos, como o iogurte. Portanto, a utilização de extratos de café em iogurtes representa uma abordagem inovadora e sustentável na produção de alimentos saudáveis, atendendo às demandas dos consumidores por produtos naturais e funcionais de alta qualidade e maior durabilidade.

Palavras-chave: Conservação, laticínios, saúde, tecnologia alimentar, qualidade microbiológica.

1 INTRODUÇÃO

Os produtos lácteos fermentados, como o iogurte, constituem uma fonte nutricional significativa e, conseqüentemente, são suscetíveis à ação prejudicial de microrganismos que causam deterioração e doenças (Abdelhamid; Edris; Sadek, 2023).

Apesar da existência de várias técnicas de preservação, o desafio persiste com relação à presença de microrganismos indesejados nesses produtos (Misra *et al.*, 2017). Dessa forma, há uma demanda por abordagens alternativas visando controlar a microbiota indesejável na indústria de laticínios.

O café, por sua vez, é reconhecido pela sua composição química diversificada, que inclui uma variedade de compostos bioativos, como ácidos clorogênicos, melanoidinas e cafeína (Butt; Sultan, 2011). Além de suas conhecidas vantagens para a saúde, como suas propriedades antioxidantes e seu potencial na prevenção de doenças crônicas (Sun *et al.*, 2006), o café também exibe propriedades antimicrobianas (Singh, 2018).

Estudos têm evidenciado que os extratos derivados do café podem efetivamente inibir o crescimento de microrganismos patogênicos, incluindo *Salmonella* sp., *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. Entretanto, destaca-se o fato de que essa ação antimicrobiana não compromete o crescimento de bactérias probióticas, como *Lactobacillus plantarum* e *Lactobacillus rhamnosus*, fundamentais para a saúde intestinal (Canci *et al.*, 2022).

Frente a essas considerações, o presente estudo se propõe a investigar o potencial do café como agente conservante antimicrobiano, explorando sua origem, composição química, propriedades antimicrobianas e aplicabilidade em produtos alimentícios.

2 CULTURA DO CAFÉ E PRINCIPAIS ETAPAS DE BENEFICIAMENTO

O café destaca-se por sua diversidade de aromas e sabores, os quais são influenciados pelas diferentes variedades e técnicas de produção empregadas (Mancini; Wang; Weaver, 2018; Hariadi *et al.*, 2022).



Originário do cafeeiro, planta pertencente à família *Rubiaceae*, classe *Eudicotyledoneae* das Angiospermas e ao gênero *Coffea* (Bridson, 1987), o café possui uma notável diversidade, com aproximadamente 130 espécies catalogadas (Davis; Rakotonasolo, 2021).

Entre as diferentes variedades de café, destacam-se o arábica, robusta ou canéfora, liberica e excelsa. O café arábica é amplamente consumido e apreciado por sua acidez, doçura e complexidade aromática, enquanto o café canéfora, mais rico em cafeína, é comumente utilizado em *blends* e cafés solúveis. Menos comuns são as variedades liberica, conhecida por seu sabor terroso, e excelsa, valorizada por suas notas frutadas e aroma floral (WCR, 2024).

Em termos de importância econômica, o *Coffea arabica* e o *Coffea canephora* se destacam (Incaper, 2019), sendo este último, conhecido como robusta ou conilon, o segundo tipo mais produzido globalmente, com o Brasil contribuindo com cerca de 20% da produção total (Pereira *et al.*, 2021). Entretanto, é a indústria de café solúvel que faz maior uso do café canéfora (Qosimah *et al.* 2021).

A produção do café envolve uma série de etapas, incluindo secagem, torrefação, moagem (para obtenção de café em pó ou solúvel) e embalagem (Hariadi *et al.*, 2022). Durante o processo de torrefação, busca-se desenvolver os sabores, cores e aromas característicos do café, sendo que a duração deste procedimento pode influenciar no amargor, na acidez e no perfil de sabor do grão, ou seja, essa etapa desempenha um papel crucial na definição dos atributos sensoriais do produto, uma vez que o aumento da intensidade da torra resulta em uma coloração mais escura e um sabor mais pronunciado (ITC, 2011; Preedy, 2015; Hariadi *et al.*, 2022).

Durante a torrefação, ocorrem mudanças substanciais na composição química do café, com a degradação de algumas substâncias e a formação de novos compostos, impactando assim sua atividade biológica (Livrimento *et al.*, 2017). Conseqüentemente, o café figura entre os alimentos mais suscetíveis a alterações durante o processamento (Preedy, 2015). Na torrefação diferentes compostos presentes nos grãos de café verde sofrem degradação e transformação, resultando na redução dos carboidratos e dos ácidos clorogênicos, bem como na produção de melanoidinas e compostos fenólicos, que são produtos da reação de *Maillard* (Pastoriza; Rufián-Henares, 2014; Contreras-Calderón *et al.*, 2016).

3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CAFÉ

O café, além de oferecer um sabor característico e proporcionar efeito energizante, também apresenta propriedades medicinais e benéficas para o organismo. Pesquisas têm revelado que essa bebida contém uma variedade de compostos ativos, tais como cafeína, ácidos clorogênicos e melanoidinas, os quais podem contribuir para a promoção da saúde (Shazly *et al.*, 2022).

O componente ativo mais abundante nos grãos de café é a cafeína, também conhecida como 1,3,7-trimetilxantina, um alcaloide que desempenha um papel crucial nas propriedades fisiológicas e no sabor amargo do café. Ela tem uma solubilidade moderada em água e é prontamente absorvida pelo trato gastrointestinal humano (Preedy, 2015). A cafeína possui diversas atividades biológicas, incluindo estimulação do sistema nervoso central, aumento da atividade cardíaca e constrição dos vasos sanguíneos periféricos (Mancini; Wang; Weaver, 2018).

Outros compostos bioativos como os ácidos clorogênicos (CGAs), estão presentes no café. Estes compostos representam uma classe de ésteres formados a partir do ácido quínico e diversos ácidos transcinâmicos, principalmente o ácido caféico, p-cumárico e ferúlico. Os CGAs mais prevalentes nos grãos de café são variantes dos ácidos cafeoilquínicos, incluindo o ácido 5-O-cafeoilquínico (5-CQA), ácido 4-O-cafeoilquínico (4-CQA) e ácido 3-O-cafeoilquínico (3-CQA) (Preedy, 2015). Assim como outros polifenóis, os CGAs contribuem para uma série de propriedades benéficas do café, como antioxidantes, antibacterianas, anti-inflamatórias, antipiréticas, antineoplásicas, hepatoprotetoras e neuroprotetoras. Além disso, eles demonstraram potencial na prevenção de doenças como degeneração da retina, obesidade, diabetes, hipertensão e doenças cardiovasculares, e na regulação do metabolismo lipídico e da glicose, tanto em indivíduos saudáveis quanto naqueles com predisposição a distúrbios metabólicos hereditários (Jang *et al.*, 2014; Dong *et al.*, 2015; Preedy, 2015; Naveed *et al.*, 2018).

Entretanto, além dos ácidos clorogênicos, outros compostos fenólicos estão presentes no grão de café, como o ácido ferúlico, o ácido vanílico e fitoquímicos (Clifford, 1985; Rempé *et al.*, 2017). Além disso, a composição do café inclui a teobromina, a teofilina, diterpenos (como cafestol e kawool), bem como micronutrientes como magnésio, potássio, vitamina B3 e derivados da trigonelina (antes do processo de torrefação). No entanto, as quantidades desses compostos variam devido a uma série de fatores, incluindo diferenças nas plantas (espécie, origem e características genéticas), métodos de cultivo e colheita, condições de armazenamento, bem como o grau e tipo de torrefação (Curti *et al.*, 2020).

Durante o processo de torrefação, os ácidos clorogênicos sofrem redução devido a reações entre grupos redutores de açúcares e grupos amino livres de proteínas ou aminoácidos, resultando na formação de melanoidinas e outros compostos (Vignoli *et al.*, 2014).

As melanoidinas são polímeros nitrogenados produzidos nas etapas finais da reação de *Maillard* durante a torrefação, não estando presentes no café verde (Preedy, 2015). Elas contribuem para a coloração marrom do café e foram



associadas a propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, anticancerígenas, anti-hipertensivas e prebióticas (Mesías; Delgado-Andrade, 2017; Opitz *et al.*, 2017). Além disso, as melanoidinas podem servir como fonte de carbono e nitrogênio para a microflora intestinal, promovendo o crescimento de bifidobactérias, o que pode ter efeitos prebióticos e modular a população bacteriana no cólon (Borrelli; Fogliano, 2005; Jiménez-Zamora; Pastoriza; Rufián-Henares, 2015).

4 BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DO CAFÉ EM ALIMENTOS

A demanda crescente por produtos mais saudáveis e naturais tem impulsionado a indústria alimentícia a buscar alternativas aos aditivos sintéticos (Caldas, 2014). Nesse contexto, os compostos bioativos presentes no café têm despertado interesse como possíveis aditivos naturais, devido às suas propriedades funcionais e benefícios à saúde (Langner; Rzeski, 2013).

Estudos sugerem que o extrato de café pode ser utilizado como aromatizante em uma variedade de produtos, como doces, sorvetes, bebidas maltadas e licores, além de possuir potencial como agente antimicrobiano (Rufián-Henares; De La Cueva, 2009; Alvarez; Moreira; Ponce, 2012; Oestreich-Janzen, 2013; Shazly *et al.*, 2022). O interesse na capacidade antimicrobiana do café tem sido crescente, com pesquisas demonstrando que seus compostos podem inibir o crescimento de diversos microrganismos, incluindo bactérias, fungos e vírus (Monente *et al.*, 2014; Garcia *et al.*, 2015; Martins; Sentanin; Souza, 2019; Canci *et al.*, 2022; Fonseca *et al.*, 2022), ou seja, o café pode auxiliar no aumento da vida útil dos alimentos por inibir o crescimento de microrganismos indesejáveis (Silva *et al.*, 2021).

No entanto, além de suas propriedades antimicrobianas, o café pode atuar na promoção da saúde devido a sua capacidade de influenciar a microbiota intestinal (Martins; Sentanin; Souza, 2019). Pesquisas indicam que o consumo regular de café está correlacionado com um aumento na diversidade microbiana no intestino, o que pode favorecer um ambiente intestinal mais saudável e equilibrado (Garcia *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2021). Além disso, o café pode proporcionar benefícios adicionais, como a redução do risco de doenças crônicas, incluindo doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2 e câncer (Camargo *et al.*, 2020; Fonseca *et al.*, 2022), bem como contribuir para a neutralização de radicais livres e a redução do estresse oxidativo no organismo (Ribeiro *et al.*, 2018).

Além do mencionado, a adição de café ou seus extratos pode melhorar as características sensoriais dos alimentos, como por exemplo, aroma e sabor (Garcia *et al.*, 2015; Fonseca *et al.*, 2022), o que é importante em mercados onde a demanda por produtos inovadores é alta (Silva *et al.*, 2021).

Dessa forma, a incorporação de extratos de café pode representar uma abordagem versátil na fabricação de alimentos, unindo vantagens de preservação com melhorias sensoriais. Ao introduzir o extrato de café no iogurte, por exemplo, os consumidores podem desfrutar de uma experiência sensorial distinta, em que o sabor inconfundível do café realça a textura suave e cremosa desse produto.

5 MECANISMOS DE AÇÃO DOS COMPOSTOS ANTIMICROBIANOS DO CAFÉ E APLICAÇÃO EM ALIMENTOS

Estudos têm investigado diferentes métodos de incorporação de compostos de café, como por meio da adição direta de café moído, utilização de extratos de café solúvel ou uso de extratos de café em pó (Camargo *et al.*, 2020; Fonseca *et al.*, 2022). Essas abordagens permitem controlar a concentração e o perfil de compostos antimicrobianos adicionados ao alimento, otimizando a eficácia dos compostos do café contra microrganismos patogênicos (Ribeiro *et al.*, 2018).

O efeito antimicrobiano do extrato de café sobre os microrganismos patogênicos está relacionado à presença dos ácidos clorogênicos, das melanoidinas e da cafeína, sendo que estes também apresentam atividade antioxidante (Vignoli *et al.*, 2014; Mesias; Delgado-Andrade, 2017; Lu *et al.*, 2020).

Os ácidos clorogênicos e compostos fenólicos apresentam atividade antimicrobiana, agindo na membrana plasmática bacteriana ao formar poros que aumentam a permeabilidade celular (Campos; Couto; Hogg, 2003; Lou *et al.*, 2011; Duangjai *et al.*, 2016). Além disso, influenciam vias de sinalização intracelulares, resultando na morte celular e em desequilíbrios metabólicos (Lee; Lee, 2018; Wu *et al.*, 2020; Ji *et al.*, 2022). Esses compostos também interrompem a força próton-motriz, o fluxo de elétrons e o transporte ativo, contribuindo para sua ação antimicrobiana (Campos; Couto; Hogg, 2003; Martínez-Tomé *et al.*, 2011).

A ação das melanoidinas sobre as bactérias está relacionada às características da parede celular, sendo diferentes para bactérias Gram-positivas e Gram-negativas devido às suas composições distintas (Tortora; Funke; Case, 2012). As melanoidinas podem exercer atividade antimicrobiana por meio da quelação de íons metálicos, resultando em atividade bacteriostática em baixas concentrações e bactericida em concentrações mais altas, devido à remoção de íons magnésio da membrana celular e subsequente desestabilização (Rufián-Henares; De La Cueva, 2009; Mueller *et al.*, 2011; Morales; Somoza; Fogliano, 2012; Preedy, 2015; Canci *et al.*, 2022). Além disso, as melanoidinas podem interferir na



disponibilidade de ferro e inibir processos biossintéticos bacterianos, além de diminuir a captação de glicose e oxigênio e a atuação de enzimas catabolizadoras de carboidratos nos microrganismos (Preedy, 2015).

A cafeína é considerada mutagênica para bactérias devido à sua capacidade de induzir erros durante a replicação do DNA, sendo incorporada em lugar da adenina e interrompendo o emparelhamento de bases (Kuhlmann *et al.*, 1968; Labbe; Nolan, 1987; Bazzaz *et al.*, 2019). Além disso, atua como inibidor competitivo da enzima alostérica timidina quinase, inibindo a incorporação de adenina e timina ao DNA durante a replicação (Sandle; Kleppe, 1980; Kang *et al.*, 2012; Bazzaz *et al.*, 2019).

Em suma, é importante ressaltar que a segurança e eficácia dos extratos de café devem ser cuidadosamente avaliadas antes de sua aplicação em alimentos pois estudos adicionais ainda são necessários para entender completamente os mecanismos de ação dos compostos nele presentes.

Entretanto, vários estudos têm destacado a eficácia dos compostos do café na inibição de microrganismos em alimentos. A pesquisa de Ibrahim *et al.* (2006) revelou a capacidade da cafeína em inibir o crescimento de *Escherichia coli* O157:H7, destacando seu potencial como agente antimicrobiano e possível aditivo alimentar. Além disso, outros estudos destacaram atividades antioxidantes e antibacterianas da cafeína contra diversas bactérias (Yashin *et al.*, 2013; Nonthakaew *et al.*, 2015; Rathi *et al.*, 2022; Suryanti *et al.*, 2023).

Em seus estudos, Canci *et al.* (2022) identificaram as melanoidinas como responsáveis pela atividade antimicrobiana do café torrado, destacando sua eficácia em comparação com o café verde. Esses autores mostraram que o extrato de café torrado promoveu a redução nas contagens de *Salmonella Typhimurium* e a inibição completa do crescimento de *E. coli*, evidenciando seu potencial antimicrobiano em produtos lácteos. Esses resultados são corroborados por Monente *et al.* (2015), que ressaltaram o papel das melanoidinas na inibição do crescimento de bactérias Gram-negativas.

Mueller *et al.* (2011) também destacaram como mecanismos antimicrobianos do café a geração de peróxido de hidrogênio e as propriedades das melanoidinas, da cafeína e do ácido ferúlico, reforçando o potencial do café como conservante natural em alimentos, por atuar sobre *Escherichia coli*. Bravo *et al.* (2012) verificaram a atividade antimicrobiana da cafeína e das melanoidinas do café contra microrganismos deteriorantes, especialmente bactérias Gram-positivas e leveduras, enfatizando seu potencial como ingrediente funcional com benefícios à saúde e conservação de alimentos.

Nesse sentido, a pesquisa de Khochapong *et al.* (2021) destacou a atividade antimicrobiana do café contra *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* e *Enterococcus faecalis*. Observou-se que o café expresso colombiano apresentou a melhor atividade, com os ácidos cafeico e clorogênico sendo identificados como os compostos responsáveis por essa propriedade, o que enfatiza a importância de compostos antibacterianos naturais na indústria alimentar.

O estudo realizado por Almeida *et al.* (2006) investigou a atividade antimicrobiana de extratos de café contra nove cepas de enterobactérias. Os resultados indicaram que todos os extratos apresentaram forte atividade, independentemente das diferenças nas suas características físico-químicas. Além disso, observou-se que o ácido cafeico, a trigonelina e a cafeína demonstraram efeitos inibitórios variados sobre o crescimento bacteriano, sugerindo interferência em processos vitais das bactérias.

Já Mbae, Koskei e Mugendi (2022) verificaram que a inclusão de extrato de café no iogurte prolongou sua vida útil, mantendo a contagem de bactérias lácticas durante seu armazenamento, o que sugere que os compostos do café podem influenciar positivamente o crescimento das culturas iniciadoras e probióticas, preservando a qualidade do iogurte probiótico.

O estudo conduzido por Sales *et al.* (2020) revelou que o café, especialmente os extratos de torra média regular, promove o crescimento de cepas probióticas, enquanto os de torra escura e descafeinados têm efeitos distintos. Esses achados indicam um potencial seletivo do café, influenciando o crescimento de cepas probióticas de forma complexa e dependente da cepa. Semelhantemente, Fernandes *et al.* (2016) ao estudarem a vida útil do iogurte sabor café não identificaram comprometimento da viabilidade das bactérias lácticas durante o armazenamento, sustentando a segurança microbiológica do produto estudado.

Em síntese, apesar das evidências promissoras, são necessárias mais pesquisas para explorar totalmente o potencial do café como conservante natural em iogurtes visando garantir sua efetividade e segurança microbiológica. A interação dos compostos do café com as culturas probióticas e sua influência na saúde intestinal também requerem investigações adicionais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inclusão de extratos de café em alimentos fermentados, como os iogurtes, oferece benefícios de conservação e melhorias nas características sensoriais desses produtos. No entanto, são necessárias mais pesquisas com relação aos mecanismos de ação dos compostos do café, visando-se assim garantir a segurança e eficácia do uso desse aditivo natural.



Portanto, pode-se dizer que a utilização de extratos de café em iogurtes representa uma abordagem inovadora e sustentável na produção de alimentos saudáveis, atendendo às demandas dos consumidores por produtos naturais e com benefícios adicionais à saúde. Assim, essa revisão visa estimular pesquisas futuras sobre o potencial do café como uma alternativa viável aos conservantes sintéticos, promovendo o desenvolvimento de produtos lácteos funcionais de alta qualidade e maior vida útil.

7 REFERÊNCIAS

- ABDELHAMID, S. M.; EDRIS, A. E.; SADEK, Z. Novel approach for the inhibition of *Helicobacter pylori* contamination in yogurt using selected probiotics combined with eugenol and cinnamaldehyde nanoemulsions. **Food Chemistry**, Dresden, v. 417, p. 346-388, 2023.
- ALMEIDA, A. A. P.; *et al.* Antibacterial activity of coffee extracts and selected coffee chemical compounds against enterobacteria. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 23, p. 8738-8743, 2006.
- ALVAREZ, M. V.; MOREIRA, M. R.; PONCE, A. Antiquorum sensing and antimicrobial activity of natural agents with potential use in food. **Journal of Food Safety**, Hoboken, v. 32, n. 3, p. 379-387, 2012.
- BAZZAZ, B. S. F.; *et al.* Effects of omeprazole and caffeine alone and in combination with gentamicin and ciprofloxacin against antibiotic resistant *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* strains. **Journal of Pharmacopuncture**, Seoul, v. 22, n. 1, p. 49, 2019.
- BORRELLI, R. C.; FOGLIANO, V. Bread crust melanoidins as potential prebiotic ingredients. **Molecular Nutrition & Food Research**, Hoboken, v. 49, n. 7, p. 673-678, 2005.
- BRAVO, J.; *et al.* Evaluation of spent coffee obtained from the most common coffeemakers as a source of hydrophilic bioactive compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 51, p. 12565-12573, 2012.
- BRIDSON, D. M. Nomenclatural notes on psilanthus, including coffea sect. Paracoffea (Rubiaceae Tribe Coffeae). **Kew Bulletin**, Berlim, v.42, n.2, p. 453-460, 1987.
- BUTT, M. S.; SULTAN, M. T. Coffee and its consumption: benefits and risks. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 51, p. 363-373, 2011.
- CALDAS, A. F. Avaliação das Propriedades Antioxidantes do Bagaço de Mirtilo com Potencial Conservante Alimentar. 2014. **Dissertação** (Mestrado em Ciências do Consumo e Nutrição). Programa de Pós-Graduação em Ciências do Consumo e Nutrição. Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território. Faculdade de Ciência Universidade do Porto, Cidade do Porto, 2014.
- CAMARGO, A. C.; *et al.* Incorporation of coffee compounds in food products: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 97, p. 194-205, 2020.
- CAMPOS, F. M.; COUTO, J. A.; HOGG, T. A. Influence of phenolic acids on growth and inactivation of *Oenococcus oeni* and *Lactobacillus hilgardii*. **Journal of Applied Microbiology**, Hoboken, v. 94, p. 167-174, 2003.
- CANCI, L. A.; *et al.* Antimicrobial potential of aqueous coffee extracts against pathogens and *Lactobacillus* species: A food matrix application. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 47, p. 1-8, 2022.
- CLIFFORD, M. N. **Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products**. In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage, Berlim: Springer, 1985. p. 305-374.
- CONTRERAS-CALDERÓN, J.; *et al.* of antioxidant capacity in coffees marketed in Colombia: Relationship with the extent of non-enzymatic browning. **Food Chemistry**, Dresden, v. 209, p. 162-170, 2016.
- CURTI, V.; *et al.* In vivo Modulatory Effect of Coffee (*Coffea canephora* var. Robusta) on the Expression Levels of Murine microRNA-124-3p Associated with Antioxidant Defenses. **eFood**, Nanjing, v. 1, n. 2, p. 140-146, 2020.
- DAVIS, A. P.; RAKOTNASOLO, F. Six new species of coffee (*Coffea*) from northern Madagascar. **Kew Bulletin**, Berlim, v. 76, n. 3, p. 497-511, 2021.
- DONG, W.; *et al.* Characterization of fatty acid, amino acid and volatile compound compositions and bioactive components of seven coffee (*Coffea robusta*) cultivars grown in Hainan Province, China. **Molecules**, Basel, v. 20, n. 9, p. 16687-16708, 2015.
- DUANGJAI A.; *et al.* Comparison of antioxidant, antimicrobial activities, and chemical profiles of three coffee (*Coffea arabica* L.) pulp aqueous extracts. **Integrative Medicine Research**, Amsterdam, v. 5, n. 4, p. 324-331, 2016.
- FERNANDES, A. F. C.; *et al.* Vida de prateleira de iogurte sabor café. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 538-543, 2016.
- FONSECA, S. C.; *et al.* Coffee by-products as functional ingredients: A review. **Food Research International**, v. 151, p. 111048, 2022.
- GARCÍA, C. E. V.; *et al.* Piliation of *Lactobacillus rhamnosus* GG promotes adhesion, phagocytosis, and cytokine modulation in macrophages. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 81, n. 6, p. 2050-2062, 2015.
- HARIADI, H.; *et al.* Effect in Ultrasound Usage Time on Chemical and Organoleptic Properties of Robusta Coffee Powder (*Coffea canephora* L.). In: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE. 1. 2022, Londres. Anais [...] Londres: IOP Science, 2022. p. 6.
- INCAPER. Capixaba Institute for Research. **Conilon coffee**. 3 ed. Vitória: Incaper, 2019.
- ITC. International Trade Centre. **The coffee exporter's guide**. 3 ed. Geneva. 2011. Disponível em: <http://www.intracen.org/The-Coffee-Exporters-Guide>. Acesso em 09 de maio de 2023.
- JANG, H.; *et al.* Chlorogenic acid and coffee prevent hypoxia-induced retinal degeneration. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Granada, v. 62, n. 1, p. 182-191, 2014.
- JI, Q.; *et al.* Protective Effects of Chlorogenic Acid on Inflammatory Responses Induced by *Staphylococcus aureus* and Milk Protein Synthesis in Bovine Mammary Epithelial Cells. **Microbial Pathogenesis**, Amsterdam, v. 171, p. 1-12, 2022.
- JIMÉNEZ-ZAMORA, A.; PASTORIZA, S.; RUFÍAN-HENARES, J. A. Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. **LWT-Food Science and Technology**, Zurich, v. 61, n. 1, p. 12-18, 2015.
- KALSCHNE, D. L.; *et al.* Growth inhibition of lactic acid bacteria in ham by nisin: A model approach. **Meat Science**, Amsterdam, v. 98, n. 4, p. 744-752, 2014.
- KANG, T. M.; *et al.* The aminoglycoside antibiotic kanamycin damages DNA bases in *Escherichia coli*: caffeine potentiates the DNA-damaging effects of kanamycin while suppressing cell killing by ciprofloxacin in *Escherichia coli* and *Bacillus anthracis*. **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**, Washington, v. 56, n. 6, p. 3216-3223, 2012.
- KHOCHAPONG, W.; *et al.* Effect of in vitro digestion on bioactive compounds, antioxidant and antimicrobial activities of coffee (*Coffea arabica* L.) pulp aqueous extract. **Food Chemistry**, v. 348, p. 129094, 2021.
- KUHLMANN, W.; *et al.* The mutagenic action of caffeine in higher organisms. **Cancer Research**, London, v. 28, n. 11, p. 2375-2389, 1968.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- LABBE, R. G.; NOLAN, L. L. Inhibition of macromolecular synthesis by caffeine in *Clostridium perfringens*. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 33, n. 7, p. 589-592, 1987.
- LANGNER, E.; RZESKI, W. Biological properties of melanoidins: a review. **International Journal of Food Properties**, London, v. 17, n. 2, p. 344-553, 2013.
- LEE, B.; LEE, D. G. Depletion of reactive oxygen species induced by chlorogenic acid triggers apoptosis-like death in *Escherichia coli*. **Free Radical Research**, London, v. 52, p. 605-615, 2018.
- LIVRAMENTO, K. G.; *et al.* Proteomic analysis of coffee grains exposed to different drying process. **Food Chemistry**, Dresden, v. 221, p. 1874-1882, 2017.
- LOU, Z.; *et al.* Antibacterial activity and mechanism of action of chlorogenic acid. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 76, n. 6, p. 398-403, 2011.
- LU, H.; *et al.* Chlorogenic acid: A comprehensive review of the dietary sources, processing effects, bioavailability, beneficial properties, mechanisms of action, and future directions. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 19, n. 6, p. 3130-3158, 2020.
- MANCINI, R. S.; WANG, Y.; WEAVER, D. F. Phenylindanes in Brewed Coffee Inhibit Amyloid-Beta and Tau Aggregation. **Frontiers in Neuroscience**, Lausanne, v. 12, n. 735, p. 1-14, 2018.
- MARTÍNEZ-TOMÉ, M.; *et al.* Assessment of Antimicrobial Activity of Coffee Brewed in Three Different Ways from Different Origins. **Food Research & Technology**, Berlin, v. 233, n. 3, p. 497-505, 2011.
- MARTINS, F. C. O.L.; SENTANIN, M. A.; SOUZA, D. Analytical methods in food additives determination: Compounds with functional applications. **Food Chemistry**, Dresden, v. 272, p. 732-750, 2019.
- MARTINS, S. Caracterização sensorial de *smoothies* de frutos tropicais com iogurte. 2005. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharelado de Engenharia de Alimentos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2005.
- MBAE, J.; KOSKEI, R.; MUGENDI, B. Effect of Addition of Coffee Extract on Microbial Growth and Functional Properties of Yoghurt. **European Journal of Agriculture and Food Sciences**, v. 4, n. 1, p. 76-80, 2022.
- MESÍAS, M.; DELGADO-ANDRADE, C. Melanoidins as a potential functional food ingredient. **Current Opinion in Food Science**, Amsterdam, v. 14, p. 37-42, 2017.
- MISRA, N. N.; *et al.* Landmarks in the historical development of twenty first century food processing technologies. **Food Research International**, Burlington, v. 97, p. 318-339, 2017.
- MONENTE, C.; *et al.* Coffee and spent coffee extracts protect against cell mutagens and inhibit growth of food-borne pathogen microorganisms. **Journal of Functional Foods**, Amsterdam, v. 12, p. 365-374, 2015.
- MORALES, F. J.; SOMOZA, V.; FOGLIANO, V. Physiological Relevance of Dietary Melanoidins. **Amino Acids**, Berlin, v. 42, n. 4, p. 1097-1109, 2012.
- MUELLER, U.; *et al.* Identification of H₂O₂ as a major antimicrobial component in coffee. **Food & Function**, London, v. 2, n. 5, p. 265-272, 2011.
- NAVEED, M.; *et al.* Chlorogenic acid (CGA): A pharmacological review and call for further research. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, Amsterdam, v. 97, p. 67-74, 2018.
- NONTHAKAEW, A.; *et al.* Caffeine in foods and its antimicrobial activity. **International Food Research Journal**, Selangor, v. 22, n.1, p. 132-144, 2015.
- OESTREICH-JANZEN, S. **Chemistry of Coffee**. Elsevier, Amsterdam, p. 28, 2013
- OPITZ, S. E.; *et al.* Understanding the effects of roasting on antioxidant components of coffee brews by coupling on-line ABTS assay to high performance size exclusion chromatography. **Phytochemical Analysis**, Hoboken, v. 28, n. 2, p. 106-114, 2017.
- PASTORIZA, S.; RUFÍAN-HENARES, J. A. Contribution of melanoidins to the antioxidant capacity of the Spanish diet. **Food chemistry**, Dresden, v. 164, p. 438-445, 2014.
- PEREIRA, P. V.; *et al.* Microbial diversity and chemical characteristics of *Coffea canephora* grown in different environments and processed by dry method. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 37, p. 1-12, 2021.
- PREEDY, V. R. **Journal in Health and Disease Prevention**. London: Elsevier, 2015.
- QOSIMAH, D.; *et al.* Green *Coffea robusta* (*Coffea canephora*) from Lampung province effect toward free radicals in chickens infected with *Salmonella enteritidis* bacteria. **Open Veterinary Journal**, Trípoli, v. 11, n. 1, p. 61-69, 2021.
- RATHI, B.; *et al.* Anti biofilm activity of caffeine against uropathogenic *E. coli* is mediated by curli biogenesis. **Scientific Reports Metrics**, Berlin, v. 12, p. 189-203, 2022.
- REMPE, C. S.; *et al.* The potential of systems biology to discover antibacterial mechanisms of plant phenolics. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 8, p. 422, 2017.
- RIBEIRO, B. D.; *et al.* **Microbiologia Industrial: Alimentos**. Elsevier, Amsterdam, v. 1, p. 329-370, 2018.
- RUFÍAN-HENARES, J. A.; DE LA CUEVA, S. P. Antimicrobial Activity of Coffee Melanoidins- A Study of Their Metal-Chelating Properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Granada, v. 57, n. 2, p. 432-438, 2009.
- SALES, A. L.; *et al.* Effects of regular and decaffeinated roasted coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*) extracts and bioactive compounds on in vitro probiotic bacterial growth. **Food & Function**, London, v. 11, p. 1410-1424, 2020.
- SHAZLY, A. B.; *et al.* Probiotic coffee ice cream as an innovative functional dairy food. **Journal of Food Processing and Preservation**, Hoboken, p. 17253, 2022.
- SILVA, L. M.; *et al.* Análise Sensorial de Iogurte de Café. **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana**, Macaé, v. 14, p. 25-28, 2021.
- SINGH, V. P. Recent approaches in food bio-preservation - a review. **Open Veterinary Journal**, Trípoli, v. 8, n. 1, p.104-111, 2018.
- SUN, C. L.; *et al.* Green tea, black tea and breast cancer risk: A meta-analysis of epidemiological studies. **Carcinogenesis**, Oxford, n. 27, p. 1310-1315, 2006.
- SURYANTI, E.; *et al.* Chemical Composition, Antioxidant, Antibacterial, Antibiofilm, and Cytotoxic Activities of Robusta Coffee Extract (*Coffea canephora*). **Journal of Biosciences**, Bangalore, v. 30, n. 4, p. 632-642, 2023.
- TORTORA, G. J; FUNKE, B. R; CASE, C. L. **Microbiologia: Anatomia Funcional de células Procarióticas e Eucarióticas**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.
- VIGNOLI, J. A.; *et al.* Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of Arabica and Robusta coffees. **Food Research International**, Burlington, v. 61, p. 279-285, 2014.
- YASHIN, A.; *et al.* Antioxidant and antiradical activity of coffee. **Antioxidants**, Basel, v. 2, p. 230-245, 2013.
- WCR. World Coffee Research. **Coffee varieties catalog**. Disponível em: <<https://worldcoffeeresearch.org/>>. Acesso em 28 de fevereiro de 2024.
- WU, Y.; *et al.* The effect of chlorogenic acid on *Bacillus subtilis* based on metabolomics, **Molecules**, Basel, v. 25, p. 4038, 2020.



Área: Alimentos

CARACTERIZAÇÃO SENSORIAL DE BISCOITOS TIPO *COOKIE* ISENTOS DE GLÚTEN ENRIQUECIDOS COM *Spirulina platensis* E ÓLEO DE CHIA

Ademir Mattana, Marinêz de Souza, Angela Cláudia Rodrigues, Eliane Colla*

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos (PPGTA), Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Campus Medianeira, PR

**E-mail: ecolla@utfpr.edu.br*

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi realizar a avaliação sensorial de biscoitos tipo *cookie* isentos de glúten enriquecidos com *Spirulina platensis* (SP) e óleo de chia (OC). Foi aplicado um planejamento fatorial completo 2^2 para definição das proporções desses ingredientes. Foram obtidos sete ensaios, sendo designados de F1 a F7. Além destes, elaborou-se uma formulação padrão (FP). A qualidade microbiológica foi determinada por meio da detecção de *Salmonella* sp., *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e bolores e leveduras. A análise sensorial contou com 120 avaliadores não treinados selecionados na comunidade universitária, sendo avaliadas as formulações F3 (2% SP e 25% OC), F4 (8% SP e 25% OC) e F5 (5% SP e 17,5% OC). Foi utilizado o método de escala hedônica de nove pontos para avaliar os atributos: aparência, aroma, cor, sabor, textura e impressão global; o índice de aceitabilidade foi calculado com base na média das notas atribuídas pelos avaliadores. As análises microbiológicas comprovaram a segurança alimentar dos biscoitos. A análise sensorial indicou maior aceitação sensorial para a F3 em todos os atributos sensoriais, com destaque para a aparência, cor e textura. A F5 também apresentou boa aceitação, com destaque para o sabor. Os resultados sugerem que a inclusão de 2% de biomassa de *Spirulina platensis* e 25% de óleo de chia pode ser uma estratégia viável para enriquecer biscoitos tipo *cookie* com proteínas e ácidos graxos poli-insaturados, apresentando potencial tecnológico para aplicação em produtos panificáveis.

Palavras-chave: Alimentos funcionais, celíacos, tendências alimentares, qualidade tecnológica.

1 INTRODUÇÃO

O mercado alimentício está em constante mudança, sendo impulsionado por diversos fatores, como o estilo de vida contemporâneo e o aumento de patologias relacionadas a distúrbios intestinais, a exemplo dos celíacos. Neste sentido destaca-se o aumento da produção de alimentos com características nutricionais e funcionais que atendam a estes públicos consumidores (Monção et al., 2020).

Apesar da disponibilidade de diversas formulações de alimentos isentos de glúten à base de cereais por parte das indústrias alimentícias, observa-se uma redução na concentração de proteínas destes alimentos, em comparação com os alimentos tradicionais (Wu et al., 2015).

Neste contexto, Foschia, Beraldo e Peressini (2017) destacam a complexidade de desenvolver alimentos nutritivos isentos de glúten, ressaltando a necessidade de pesquisas contínuas. Neste contexto, a biomassa de *Spirulina platensis* e o óleo de chia surgem como uma alternativa promissora para o enriquecimento do valor nutritivo estes alimentos.

A biomassa de *Spirulina platensis* é reconhecida por seu alto teor de proteínas, vitaminas, minerais, polifenóis e fibras, além de ser considerada segura para o consumo humano (Ambrosi et al., 2008; Soni; Sudhakar; Rana, 2017; Fan et al., 2018). Paralelamente, o óleo de chia é investigado por suas propriedades funcionais, incluindo seu potencial antioxidante e seu perfil rico em ácidos graxos poli-insaturados, como o ácido n-3-linolênico (Cardoso et al., 2020).

O presente estudo teve como objetivo desenvolver biscoitos tipo *cookie* isentos de glúten enriquecidos com *Spirulina platensis* e óleo de chia, e avaliar suas propriedades microbiológicas e sensoriais. Este trabalho buscou não apenas aprimorar a qualidade tecnológica desse produto, mas também oferecer uma alternativa saudável e funcional para consumidores que procuram reduzir o consumo de glúten em suas dietas, especialmente aqueles com intolerância ao glúten, como os celíacos.



2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Elaboração dos biscoitos tipo *cookie*

Os biscoitos tipo *cookie* isentos de glúten, enriquecidos com *Spirulina platensis* (SP) e óleo de chia (OC), foram produzidos no Laboratório de Panificação da UTFPR – Campus Medianeira. As formulações foram adaptadas a partir de uma formulação padrão definida na literatura (Morais; Miranda; Costa, 2006), substituindo a farinha de trigo por farinha de arroz integral, a manteiga por OC, e o enriquecimento com a biomassa de SP.

Para elaboração dos biscoitos, foram desenvolvidas sete formulações, seguindo um planejamento experimental fatorial completo 2². As concentrações de SP e OC foram definidas de acordo com a matriz do planejamento experimental, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Matriz do planejamento experimental fatorial completo 2² com valores codificados e reais (entre parênteses) das variáveis estudadas para o enriquecimento nutricional dos biscoitos tipo *cookie* isentos de glúten enriquecidos com *Spirulina platensis* e óleo de chia

Ensaio	x ₁ ^a	x ₂ ^b
1	-1(2)	-1(10)
2	1(8)	-1(10)
3	-1(2)	1(25)
4	1(8)	1(25)
5	0(5)	0(17,5)
6	0(5)	0(17,5)
7	0(5)	0(17,5)

^a *Spirulina platensis* (g/100 g de farinha de arroz); ^b Óleo de chia (g/100 g de farinha de arroz).

*A formulação padrão (FP) não fez parte da matriz de planejamento.

Fonte: Autoria própria (2023)

O processamento dos *cookies* envolveu as seguintes etapas: pesagem dos ingredientes, homogeneização em batedeira planetária, abertura manual da massa, corte em formato circular, disposição em assadeira por um período de espera de 10 minutos, e posterior assamento em forno elétrico a 170°C por 10 minutos. Para finalizar, após resfriamento, os biscoitos foram acondicionados em embalagens plásticas de polipropileno e armazenados a temperatura ambiente.

2.2 Análises Microbiológicas

As análises microbiológicas foram conduzidas de acordo com as diretrizes estabelecidas pela Instrução Normativa nº 161, de 01 de julho de 2022 (Brasil, 2022), que determina os padrões microbiológicos a serem seguidos pela indústria de alimentos. Foram realizadas análises para detecção de *Salmonella* sp., *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, além de contagem de bolores e leveduras. Os procedimentos microbiológicos seguiram a metodologia descrita por Da Silva et al. (2017) e foram realizados em triplicata.

2.3 Análise Sensorial

A análise sensorial foi conduzida após a avaliação da qualidade microbiológica e aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira (registro CAAE: 67190823.9.0000.0165). As avaliações sensoriais foram realizadas no Laboratório de Análise Sensorial desta instituição.

Cento e vinte avaliadores não treinados, com idade superior a 18 anos, foram selecionados entre alunos, professores, funcionários administrativos e terceirizados da universidade.

As formulações F3 (2% SP e 25% OC), F4 (8% SP e 25% OC) e F5 (5% SP e 17,5% OC) foram selecionadas para a análise sensorial. Os testes foram realizados em cabines individuais, em sessão única de aproximadamente 10 minutos por provador. O ambiente foi controlado, mantendo-se uma temperatura constante de 25°C, limpeza rigorosa e ausência de odores.



As amostras foram servidas aleatoriamente em pratos plásticos descartáveis e codificadas com três dígitos. Os avaliadores utilizaram uma escala hedônica de nove pontos: (1) desgostei muitíssimo; (2) desgostei muito; (3) desgostei moderadamente; (4) desgostei ligeiramente; (5) não gostei/nem desgostei; (6) gostei ligeiramente; (7) gostei moderadamente; (8) gostei muito; (9) gostei muitíssimo (Meilgaard; Civille; Carr, 1987; Meilgaard; Carr; Civille, 1999; Dutcosky, 2013). Foram avaliados os atributos de aparência, aroma, cor, sabor, textura e impressão global. Também foi calculado o índice de aceitabilidade para cada atributo sensorial com base na média das notas atribuídas pelos provadores (Santana et al., 2006; Gularte, 2009).

2.4 Análises estatísticas dos dados

Os dados da escala hedônica foram avaliados quanto a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk, e quanto a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene. Como os dados não atendiam aos pressupostos de distribuição normal e homogeneidade, empregou-se o teste de Kruskal Wallis, seguido pelo teste de Dunn.

As respostas dos provadores também foram avaliadas utilizando o índice de aceitabilidade calculado pela média dos resultados dos provadores (M) dividida pelo número de pontos utilizados na escala de avaliação (9), multiplicado por 100. Adotou-se um nível de significância de 5% para todas as análises, conduzidas no *software* R Core Team (2023), versão R 4.3.1 (2023-06-16).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As formulações foram avaliadas quanto à presença de *Salmonella* sp, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, bolores e leveduras. Todos esses microrganismos não apresentaram crescimento nas amostras, indicando conformidade com os padrões regulatórios estabelecidos pela legislação vigente (BRASIL, 2022).

Os resultados da avaliação sensorial das formulações de biscoitos tipo *cookie* isentos de glúten enriquecidos com *Spirulina platensis* e óleo de chia (Tabela 2) demonstraram que para o atributo aparência, a formulação F3, contendo 2% de SP e 25% de OC, resultou na maior nota média, diferindo estatisticamente das demais formulações.

Tabela 2 - Resultados do teste de escala hedônica das três formulações de biscoitos tipo *cookie* isentos de glúten enriquecidos com *Spirulina platensis* e óleo de chia

Atributos	Notas sensoriais médias		
	F3	F4	F5
Aparência	7,21±1,61 ^a	6,19±1,87 ^{bc}	6,42±1,81 ^c
Aroma	6,95±1,6 ^a	6,66±1,64 ^a	6,79±1,57 ^a
Cor	7,36±1,52 ^a	6,01±2,15 ^{bc}	6,18±1,9 ^b
Sabor	6,84±1,64 ^a	6,28±1,84 ^b	6,93±1,54 ^a
Textura	7,39±1,67 ^a	6,67±1,98 ^{bc}	6,82±1,77 ^b
Impressão global	7,08±1,51 ^a	6,41±1,73 ^b	6,84±1,56 ^a

F3: 2% *Spirulina platensis* e 25% óleo de chia; F4: 8% *Spirulina platensis* e 25% óleo de chia; F5: 5% *Spirulina platensis* e 17,5% óleo de chia.

Os resultados apresentam a média das notas da escala hedônica ± desvio padrão. Médias seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma linha, indicam não haver diferença significativa entre os ensaios ao nível de 5% de significância pelo teste de Dunn.

Fonte: Autoria própria (2023)

No atributo aroma, não foram observadas diferenças significativas entre as formulações, e todas receberam notas médias que indicam aceitação moderada. Quanto à cor, a formulação F3 novamente se destacou, obtendo a maior pontuação média e diferindo estatisticamente das demais. No atributo sabor, todas as formulações foram classificadas na categoria "gostei ligeiramente", com a formulação F4 recebendo a menor nota média.

Para a textura, a formulação F3 também obteve a maior nota média, enquanto as formulações F4 e F5 não apresentaram diferenças significativas entre si.

Na impressão global, todas as formulações tiveram pontuações que indicam uma aceitação moderada, com a formulação F3 alcançando a maior nota média.



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Para os índices de aceitabilidade (Tabela 3), a F3 apresentou resultados superiores, seguida por F5 e F4. Apesar das diferenças nas preferências, todas as formulações obtiveram índices de aceitabilidade superiores a 70% para impressão global, sugerindo uma possível aceitação no mercado consumidor.

Tabela 3. Índice de aceitabilidade dos atributos aparência, aroma, cor, sabor, textura e impressão global das três formulações de biscoitos tipo *cookie* isentos de glúten enriquecidos com *Spirulina platensis* e óleo de chia

Ensaio	Índice de aceitabilidade (%)					
	Aparência	Aroma	Cor	Sabor	Textura	Impressão global
F3	80,08	77,20	81,81	75,97	82,14	78,68
F4	68,72	73,99	66,75	69,79	74,16	71,19
F5	71,36	75,47	68,64	76,95	75,80	75,97

F3: 2% *Spirulina platensis* e 25% óleo de chia; F4: 8% *Spirulina platensis* e 25% óleo de chia; F5: 5% *Spirulina platensis* e 17,5% óleo de chia.

Fonte: Autoria própria (2023)

Portanto, os resultados da avaliação sensorial indicaram que a formulação F3, com 2% de *Spirulina platensis* e 25% de óleo de chia, se destacou por obter melhores notas nos atributos aparência, cor, sabor e textura, o que demonstra preferência em comparação com as outras formulações (F4 e F5), embora todas as formulações tenham alcançado uma aceitação moderada. Isso sugere que a formulação F3 pode ter uma recepção mais favorável no mercado consumidor. Portanto, os biscoitos tipo *cookie* isentos de glúten enriquecidos com *Spirulina platensis* e óleo de chia têm potencial para serem bem aceitos pelos consumidores.

4 CONCLUSÃO

O enriquecimento de biscoitos tipo *cookie* isento de glúten com biomassa de *Spirulina platensis* e óleo de chia mostrou-se viável sob o ponto de vista sensorial. Verificou-se que a formulação contendo 2% de *Spirulina platensis* e 25% de óleo de chia apresentou aceitação superior em comparação as demais formulações testadas. Como perspectivas futuras, estudos adicionais podem explorar novas formulações ou ajustes nas concentrações de *Spirulina platensis* e óleo de chia utilizadas, visando otimizar as características sensoriais e o valor nutritivo dos biscoitos tipo *cookie* para atender às demandas do mercado e às necessidades dos consumidores, contribuindo assim para a inovação tecnológica na indústria de alimentos.

5 AGRADECIMENTOS

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade de realização deste trabalho. A CEANMED (Central Analítica Multiusuário de Medianeira) pela disponibilização de equipamentos.

6 REFERÊNCIAS

- AMBROSI, M. A.; et al. Propriedades de saúde de *Spirulina* spp. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 29, n. 2, p. 109-117, 2008.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Ministério da Saúde. Instrução Normativa nº 161 de 01 de julho de 2022. Estabelece os padrões microbiológicos de alimentos. **Diário Oficial da União**, Ed. 126, seção 1, p.23. Poder Executivo: Brasília, DF, 01 jul. 2022.
- CARDOSO, L. G.; et al. Processed cheese with inulin and microencapsulated chia oil (*Salvia hispanica*). **Food Bioscience**, v. 37, p. 100731, 2020.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- DA SILVA, N.; et al. **Manual de métodos de análise microbio-lógica de alimentos e água**. 5 ed., São Paulo: Editora Blucher, 2017.
- DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 4. ed. Curitiba: Champagnat, p. 531, 2013.
- FAN, X.; et al. Purification and identification of anti-obesity peptides derived from *Spirulina platensis*. **Journal of Functional Foods**, v. 47, p. 350-360, 2018.
- FOSCHIA, M.; BERALDO, P.; PERESSINI, D. Evaluation of the physicochemical properties of gluten-free pasta enriched with resistant starch. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 2, p. 572-577, 2017.
- GULARTE, M.A. **Manual de Análise Sensorial de Alimentos**. Pelotas: **Universidade Federal de Pelotas**, 2009.
- MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B.T. **Sensory evaluation techniques**. Florida: CRC Press Inc., 1987. 158p.
- MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory evaluation techniques**. 3 ed. New York: CRC Press, 1999, 387 p.
- MONÇÃO, F.P.; et al. Nutritional Value of BRS Capiapu Grass (*Pennisetum purpureum*) silage associated with cactus pear. **Iranian Journal of Applied Animal Science**, v.10, p. 25-29, 2020.
- MORAIS, M. G.; MIRANDA, M. Z.; COSTA, J. A. V. Biscoitos de chocolate enriquecidos com *Spirulina platensis*: características físico-químicas, sensoriais e digestibilidade. **Alimento e Nutrição**, 2006.
- Pacote "rstatix": **Teste de Dunn**.
- SANTANA, L. R. R.; et al. A. Perfil Sensorial de Iogurte Light, Sabor Pêssego. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v 26, n. 3, p. 619-625, 2006.
- SONI, R. A.; SUDHAKAR, K.; RANA, R. S. Spirulina–From growth to nutritional product: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 69, p. 157-171, 2017.
- WU, J. H.; et al. Are gluten-free foods healthier than non-gluten-free foods? An evaluation of supermarket products in Australia. **British Journal of nutrition**, v. 114, n. 3, p. 448-454, 2015.



Área: Alimentos

PRÉ-TRATAMENTO POR EXPLOSÃO À VAPOR APLICADO À EXTRAÇÃO DE GELATINA DE PELE BOVINA: UM ESTUDO PRELIMINAR

Cesar Vinicius Toniciolli Riguetto^{1*}, Daniela Dal Castel Krein², Aline Dettmer³, Ionara Regina Pizzutti¹

¹Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Centro de Ciências Rurais (CCR), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos (PPGCTA), Santa Maria-RS, Brasil

²Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Engenharia química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPGEQ), Santa Maria-RS, Brasil

³Universidade de Passo Fundo (UPF), Instituto de Tecnologia (ITec), Curso de Engenharia Química, Passo Fundo-RS, Brasil

*E-mail: cesartonicio@gmail.com

RESUMO – A explosão à vapor embora amplamente utilizada como pré-tratamento de amostras lignocelulósicas, tem sido recentemente estudada para a extração e melhoria da funcionalidade de proteínas. Em paralelo, os métodos convencionais de extração de gelatina são demorados e envolvem o uso de produtos químicos nocivos ao meio ambiente. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo extrair e caracterizar a gelatina extraída de pele bovina após pré-tratamento por explosão a vapor. O pré-tratamento das peles em reator de explosão à vapor foi realizado a 108 °C por 2, 5 e 10 minutos, com posterior extração em água quente a 65 °C por 5 minutos, seguido de filtração e resfriamento das soluções. As soluções de gelatina foram caracterizadas quanto ao teor de matéria seca, cinzas, pH, proteína Lowry e FTIR-ATR. Os resultados indicam que o aumento do tempo de pré-tratamento da pele bovina de 2 para 10 minutos, resultou em um aumento significativo ($p < 0,05$) nos teores de massa seca (4,30%) e proteína (36,92 g/L), além de um menor teor de cinzas presentes na solução (12,59%). O pH manteve-se na faixa de 12,17 – 12,25 para todas as amostras analisadas. A análise FTIR sugere que as principais estruturas secundárias das proteínas estavam presentes nas amostras de gelatina extraídas. Em geral, a explosão a vapor mostrou-se promissora para pré-tratamento de pele bovina para extração de gelatina, assim, novas pesquisas são essenciais para promover avanços no uso desta técnica.

Palavras-chave: Técnica alternativa; Gelatina; Proteína; Cinzas; FTIR.

1 INTRODUÇÃO

A explosão a vapor (EV) é uma técnica de pré-tratamento de amostras que envolve a injeção de vapor saturado em temperaturas variando de 150 a 210°C por curtos períodos de tempo (GUO et al., 2020). Entre as principais vantagens da aplicação da EV, destacam-se o menor consumo de energia, tempo de processamento e impacto ambiental, devido à substituição ou redução do uso de agentes químicos e ao aumento do rendimento nas etapas de extração (SCOPEL et al., 2020).

A explosão a vapor é comumente utilizada no pré-tratamento de amostras lignocelulósicas para obtenção de biocombustíveis e biogás (GAO et al., 2021; ROONI et al., 2021). Recentemente, tem sido estudada para extração e melhoria da funcionalidade de proteínas (SCOPEL et al., 2020; ZHANG et al., 2019), uma vez que as proteínas se tornaram um componente alimentar cada vez mais valioso, com alta demanda global, considerando que o aumento populacional é estimado em 9,7 bilhões até 2050 (ONU, 2022).

Nesse sentido, a gelatina é um polipeptídeo de alto peso molecular, com características de solubilidade em água, não toxicidade e biodegradabilidade, naturalmente presente em diferentes fontes animais, incluindo pele de porcos, bovinos e peixes (RIGUETO et al., 2021a). No âmbito das aplicações, é usada principalmente no setor de alimentos para melhorias nas propriedades de textura de alimentos (KEENAN, 2012).

No entanto, os métodos convencionais de extração de gelatina envolvem o uso de produtos químicos prejudiciais ao meio ambiente e podem levar até uma semana para serem concluídos (SCOPEL et al., 2020). Portanto, as indústrias de gelatina têm buscado métodos de extração rápidos e com menor consumo de reagentes químicos (RIGUETO et al., 2023). Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo extrair e caracterizar a gelatina de pele bovina extraída em água quente após pré-tratamento por explosão a vapor.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção e processamento da matéria-prima

As peles bovinas foram obtidas após a etapa de caleamento e foram gentilmente doadas por um curtume localizado em Roca Sales, Rio Grande do Sul, Brasil. As peles foram previamente homogeneizadas, trituradas e caracterizadas físico-quimicamente em Riguetto et al. (2023).

2.2 Pré-tratamento por explosão a vapor

Aproximadamente 200g (base úmida) das peles foram colocadas em um reator de explosão a vapor (LTSA Ind. Com. LTDA, Brasil). Então, vapor a 108 °C foi injetado na amostra por 2, 5 e 10 minutos. Posteriormente, as peles foram coletadas do reator e submetidas à extração em 200 mL de água quente a 65 °C por 5 minutos através de agitação manual, seguida de filtração em uma bomba de vácuo. Por fim, o extrato líquido de gelatina foi resfriado a 5 °C por 12 horas. As extrações foram realizadas em duplicata.

A Figura 1 apresenta as etapas de pré-tratamento do couro e extração da gelatina.

Figura 1: Etapas do pré-tratamento de pele bovina por explosão a vapor para extração de gelatina.



2.3 Caracterização do extrato de gelatina

2.3.1 Teor de Matéria Seca

A Matéria Seca (MS) foi determinada utilizando 5 g do extrato de gelatina em uma estufa de circulação de ar forçado (SSDc-336 L, Solid Steel, Brasil) a 105 °C até peso constante. A análise foi realizada em triplicata e calculada de acordo com a Equação 1:

$$\text{Matéria Seca (\%)} = 100 - \left(\frac{Pa - Ps}{Pa} \times 100 \right) \quad (1)$$

Sendo: Pa: Peso da amostra (g); Ps: Peso da amostra após secagem (g).



2.3.2 Teor de Cinzas

Para determinação do teor de cinzas, 5 g do extrato de gelatina foi previamente carbonizado e colocado em uma mufla (Q318M21, Quimis, Brasil) a 600 °C por 2 horas. Todas as medições de massa foram realizadas em uma balança analítica (ATX224, Shimadzu, Japão). A análise foi realizada em triplicata e calculada de acordo com a Equação 2:

$$\text{Cinzas (\% b. s.)} = \frac{\left[\frac{(Ps \times 100)}{Pa}\right] \times 100}{100 - U} \quad (2)$$

Sendo: Pa: Peso da amostra (g); Ps: Peso da amostra após secagem (g); U: Teor de umidade da amostra (%).

2.3.3 pH e condutividade

O pH do extrato de gelatina foi medido usando um medidor de pH (DM-22, Digimed, Brasil), e a condutividade foi medida usando um medidor de condutividade (TDS-3, BMax, China). Todas as medições foram realizadas em triplicata.

2.3.4 Proteína Lowry

O teor de proteína do extrato de gelatina foi determinado como proteína total pelo método espectrofotométrico descrito por Lowry et al. (1951). Uma curva padrão de BSA foi utilizada para a determinação do teor de proteína pelo método de Lowry ($y = 1.9616.x + 0.1039$, $R^2 = 0.9868$). As determinações de proteína foram realizadas em triplicata.

2.3.5 FTIR

A espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier foi realizada no modo de reflexão total atenuada (FTIR-ATR), utilizando uma faixa de 4000–700 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} e 48 varreduras por espectro (Cary 630 FTIR, Agilent, EUA).

2.4 Análise estatística

No tratamento estatístico dos dados, foi realizada a comparação entre médias utilizando a Análise de Variância (ANOVA), e, posteriormente, o Teste de Tukey, com um intervalo de confiança de 95% no Software Statistica 7.0 (StatSoft Inc., EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização físico-química das soluções de gelatina

A Tabela 1 apresenta a caracterização físico-química da gelatina obtida após o pré-tratamento por explosão a vapor, utilizando diferentes tempos de residência da pele bovina no reator. São apresentados os teores de matéria seca, cinzas, pH e proteína pelo método de Lowry.

Na Tabela 1 é possível observar que o aumento do tempo de pré-tratamento das peles bovinas por explosão a vapor de 2 para 10 minutos, resultou em um aumento significativo ($p < 0,05$) no teor de matéria seca (3,10 para 4,30%). O aumento do teor de matéria seca com maior tempo de pré-tratamento por explosão a vapor está associado a um maior fornecimento de energia que promove a abertura da estrutura fibrosa do couro, além disso, favorece maior penetração do vapor na amostra (SCOPEL et al., 2019; RIGUETO et al., 2023).



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Tabela 1: Caracterização físico-química da gelatina extraída após o pré-tratamento por explosão a vapor.

Amostra	Matéria seca (%)	Cinzas (b.s.%)	pH	Proteína Lowry (g/L)
108 °C/2 min	3,10±0,015 ^a	17,15±1,27 ^b	12,23±0,03 ^a	24,05±1,47 ^a
108 °C/5 min	3,43±0,021 ^b	17,34±0,04 ^b	12,25±0,03 ^a	28,78±0,47 ^a
108 °C/10 min	4,30±0,015 ^c	12,59±0,73 ^a	12,17±0,02 ^a	35,51±1,99 ^b

* Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

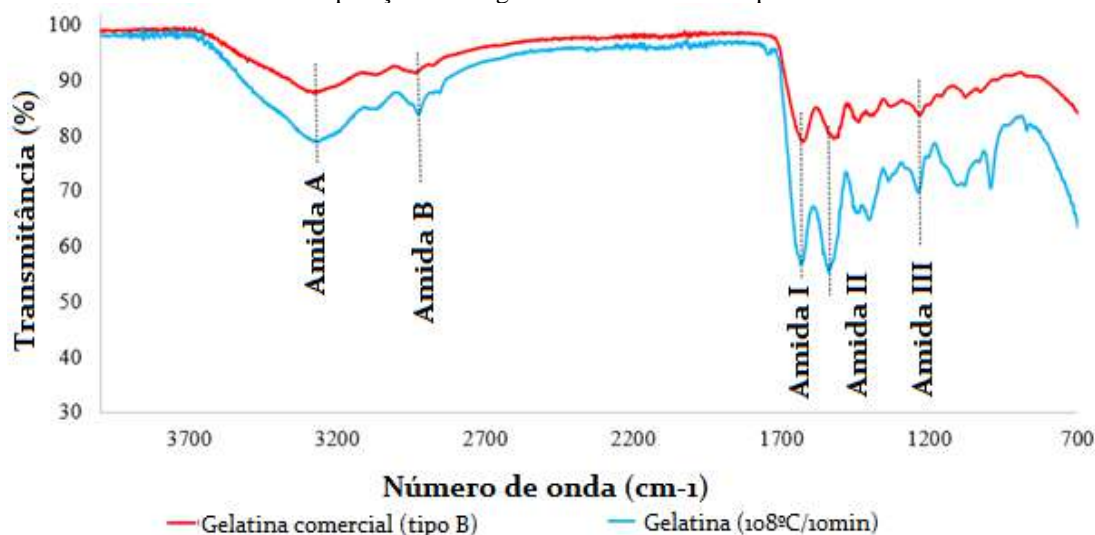
O teor de proteína Lowry não diferiu significativamente ($p > 0,05$) entre os tempos de 2 e 5 minutos, mas apresentou aumento significativo a partir de 10 minutos. Isso sugere que, a partir de 10 minutos de pré-tratamento, ocorreu uma maior hidrólise das cadeias de colágeno, e, conseqüentemente, maior liberação de proteína da estrutura fibrosa. Outros estudos também relataram que condições mais elevadas de pressão, temperatura e tempo durante a explosão a vapor proporcionaram maior extração de proteína (ZHANG et al., 2013; KEMPPAINEN et al., 2016; ZHANG et al., 2015).

O pH da gelatina é um parâmetro importante para aplicação em alimentos, uma vez que os compostos minerais ionizados impactam negativamente na qualidade e funcionalidade. Assim, a purificação da gelatina extraída pela explosão de vapor é essencial, visando a remoção de cinzas, parâmetro associado a presença de sais de amônio e sulfeto de sódio, que são utilizados no processo de caleamento das peles bovinas (LI et al., 2008; STEFAN et al., 2020). Quando o teor de matéria seca e proteína da gelatina aumentaram no tempo 10 minutos de pré-tratamento pro explosão a vapor (Tabela 1), houve uma redução significativa do teor de cinzas em base seca de 17,15-17,34 para 12,59%.

3.2 FTIR

A fim de verificar a presença das estruturas proteicas da gelatina obtida após pré-tratamento por explosão a vapor, a amostra com o maior teor de proteína (108 °C/10 min), também foi caracterizada quanto à estrutura química por FTIR (Figura 2), em comparação com a gelatina comercial bovina (tipo B).

Figura 2: Espectros de FTIR da gelatina obtida após o pré-tratamento por explosão a vapor (108 °C/10 min) em comparação com a gelatina comercial do Tipo B.



Os espectros FTIR da gelatina comercial e gelatina (108 °C/10 min) produzidas com número de onda variando de 4200 a 700 cm^{-1} são mostrados na Figura 2. A banda amida A está localizada em torno de 3200 cm^{-1} , que está associada a vibrações de estiramento N-H quando o grupo NH do peptídeo está envolvido em pontes de hidrogênio. A banda amida B foi relacionada ao alongamento assimétrico da vibração de alongamento CH_2 (RIGUETO et al., 2021b).



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

A banda amida I, que tem frequências características próximas à faixa de 1700 cm^{-1} , está principalmente associado com as vibrações de estiramento dos grupos carbonila ao longo do esqueleto polipeptídico, enquanto as bandas amida II e III representam vibrações de flexão N–H acopladas com vibração de estiramento C–N (RIGUETO et al., 2021b).

Dessa forma, a análise de FTIR sugere que as estruturas secundárias da proteína da gelatina extraída por explosão a vapor a 108°C por 10 minutos são semelhantes à da gelatina comercial, ou seja, o processo térmico utilizado no pré-tratamento por explosão a vapor nas peles bovinas não ocasionou degradação total das principais estruturas proteicas.

4 CONCLUSÃO

O pré-tratamento por explosão a vapor a 108°C por 10 minutos resultou em aumentos significativos nos teores de matéria seca e proteína, e redução no teor de cinzas, indicando um aumento na extração de gelatina. Além disso, a análise dos espectros FTIR sugerem que o processo de explosão a vapor preservou as principais amidas presentes na estrutura secundária da gelatina.

Em geral, esses resultados enfatizam o potencial promissor da explosão a vapor como pré-tratamento da pele bovina para a extração de gelatina. Portanto, é imprescindível a continuidade das pesquisas para aprimorar o uso dessa técnica para promover avanços que possam impactar positivamente a indústria produtora de gelatina.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código Financeiro 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) Proc. 21/2551-0002144-6, e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT).

6 REFERÊNCIAS

GAO, H.; WANG, Y.; YANG, Q.; PENG, H.; LI, Y.; ZHAN, D.; WEI, H.; LU, H.; BAKR, M.M.A.; EI-SHEEKH, M.; QI, Z.; PENG, L.; LIN, X. Combined steam explosion and optimized green-liquor pretreatments are effective for complete saccharification to maximize bioethanol production by reducing lignocellulose recalcitrance in one-year-old bamboo. **Renewable Energy**, v. 175, p. 1069-1079, 2021.

GUO, L.; LU, L.; YIN, M.; YANG, R.; ZHANG, Z.; ZHAO, W. Valorization of refractory keratinous waste using a new and sustainable bio-catalysis. **Chemical Engineering Journal**, v. 397, p. 125420, 2020.

KEENAN, T.R. Gelatin. In: MATYJASZEWSKI, K.; MÖLLER, M. (Eds.). **Polymer Science: A Comprehensive Reference**, v. 10, p. 237-247, 2012.

KEMPPAINEN, K.; ROMMI, K.; HOLOPAINEN, U.; KRUIUS, K. Steam explosion of Brewer's spent grain improves enzymatic digestibility of carbohydrates and affects solubility and stability of proteins. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 180, p. 94-108, 2016.

LI, D.; YANG, W.; LI, G.Y. Extraction of native collagen from limed bovine split wastes through improved pretreatment methods. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology**, v. 83, p. 1041-1048, 2008.

ONU – Organização das Nações Unidas. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Population Prospects 2022: Summary of Results**. 2022. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/>. Acesso em 8 jan. 2023.

RIGUETO, C.V.T.; NAZARI, M.T.; MASSUDA, L.Á.; OSTWALD, B.E.P.; PICCIN, J.S.; DETTMER, A. Production and environmental applications of gelatin-based composite adsorbents for contaminants removal: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 19, p. 2465-2486, 2021a.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

RIGUETO, C.V.T.; NAZARI, M.T.; ROSSETO, M.; MASSUDA, L.A.; ALESSANDRETTI, I.; PICCIN, J.S.; DETTMER, A. Emerging contaminants adsorption by beads from chromium (III) tanned leather waste recovered gelatin. **Journal of Molecular Liquids**, v. 330, p. 115638, 2021b.

RIGUETO, C.V.T.; ROSSETO, M.; GOMES, K.S.; LOSS, R.A.; BIDUSKI, B.; MANERA, C.; DETTMER, A.; PIZZUTTI, I.R. Steam explosion pretreatment for bovine limed hide waste gelatin extraction. **Food Hydrocolloids**, v. 142, p. 108854, 2023.

ROONI, V.; SJULANDER, N.; CRISTOBAL-SARRAMIAN, A.; RAUD, M.; ROCHA-MENESES, L.; KIKAS, T. The efficiency of nitrogen explosion pretreatment on common aspen - *Populus tremula*: N₂ - VS steam explosion. **Energy**, v. 220, p. 11971, 2021.

SCOPEL, B.S.; RESTELATTO, D.; BALDASSO, C.; DETTMER, A.; SANTANA, R.M. Steam explosion as pretreatment to increase gelatin extraction yield from chromium tanned leather wastes. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 38, p. 367-373, 2019.

SCOPEL, B.S.; RESTELATTO, D.; BALDASSO, C.; DETTMER, A.; SANTANA, R.M.C. Steam Explosion in alkaline medium for gelatine extraction from chromium-tanned leather wastes: time reduction and process optimization. **Environmental Technology**, v. 41, p. 1857-1866, 2020.

STEFAN, D.S.; ZAINESCU, G.; MANEA-SAGHIN, A.M.; TRIANTAPHYLIDOU, I. E.; TZOUMANI, I.; TATOULIS, T.I.; SYRIOPOULOS, G.T.; MEGHEA, A. Collagen-based hydrogels composites from hide waste to produce smart fertilizers. **Materials**, v. 13, p. 4396, 2020.

ZHANG, S.; ZHENG, L.; ZHENG, X.; AI, B.; YANG, Y.; PAN, Y.; SHENG, Z. Effect of steam explosion treatments on the functional properties and structure of camellia (*Camellia oleifera* Abel.) seed cake protein. **Food Hydrocolloids**, v. 93, p. 189-197, 2019.

ZHANG, Y.; YANG, R.; ZHAO, W.; HUA, X.; ZHANG, W. Application of high density steam flash-explosion in protein extraction of soybean meal. **Journal of Food Engineering**, v. 116, p. 430-435, 2013.

ZHANG, Y.; ZHAO, W.; YANG, R. Steam flash explosion assisted dissolution of keratin from feathers. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 3, p. 2036-2042, 2015.



Área: Alimentos

FARINHA DE MARAPUAMA: UMA ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

Amanda Luiza Binda Dornelles*, Carlos Gabriel Fauth da Silva, Estela Candaten, Julia Roberta Maldonado, Valéria Hartmann, Cintia Cassia Toniato Gris

Curso de Nutrição, Instituto da Saúde, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: 177428@upf.br*

RESUMO – A marapuama, também conhecida como *Ptychopetalum olacoides*, é uma planta cujas propriedades e características nutricionais são pouco exploradas pela comunidade científica e pouco conhecida pelos indivíduos. Nesse sentido, foi realizado um estudo a fim de investigar a composição centesimal da farinha de marapuama. A composição centesimal foi determinada de acordo com as metodologias propostas pela *Association of Official Analytical Chemists (AOAC)* (1997) e todas as análises foram realizadas em duplicata. As análises realizadas permitiram a obtenção de resultados sobre percentual de umidade, cinzas, lipídios, fibras, proteínas e carboidratos na amostra investigada. Dessa maneira, a partir das apurações, foi possível compreender as características nutricionais da farinha de marapuama, o qual se apresentou como um produto versátil, com potencial de utilização em áreas de produção alimentícia. A escassez de estudos sobre aspectos nutricionais da marapuama expõe a necessidade de que estudos sobre o tema sejam conduzidos, a fim de se obter maior clareza e precisão das informações, e consequentemente, sua utilização de maneira segura.

Palavras-chave: *Ptychopetalum olacoides*; Valor nutritivo; Informação nutricional

1 INTRODUÇÃO

A farinha da marapuama deriva da raiz da árvore conhecida como *Ptychopetalum olacoides*, abundante na região amazônica brasileira (Piato, 2008), onde a utilização da planta é pautada em conhecimentos tradicionais e seu principal uso se dá em chás com apelo afrodisíaco (Mario; Silva; Silva, 2021). O conhecimento acerca das características nutricionais e composição fitoquímica da marapuama ainda é escasso (Ferreira *et al.*, 2022), no entanto, sua presença no preparo de alguns produtos como chás e cápsulas, além de ser comercializada na forma de farinha (Piato, 2009). Entretanto, apesar de sua livre circulação, as características nutricionais e os efeitos deste ingrediente no organismo humano ainda não foram totalmente exploradas e exemplificadas, não havendo estudos suficientes que possuam respaldo científico sobre o assunto. Dessa maneira, embora haja indícios sobre as propriedades e os prováveis benefícios e contra indicações da utilização da farinha de marapuama, julgou-se relevante realizar uma análise da composição centesimal do produto, a fim de investigar e obter melhor entendimento sobre essas particularidades nutricionais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de um estudo experimental, desenvolvido no Laboratório de aulas práticas do Centro de Pesquisa em Alimentos da Universidade de Passo Fundo (UPF), RS. A farinha de marapuama foi adquirida no comércio local da cidade de Passo Fundo, RS. A composição centesimal foi determinada de acordo com as metodologias propostas pela *Association of Official Analytical Chemists (AOAC)* (1997) e todas as análises foram realizadas em duplicata. Os estudos efetuados permitiram a obtenção de resultados sobre percentual de: umidade, cinzas, lipídios, fibras, proteínas e carboidratos na amostra investigada e valor calórico total em 100g do alimento.

A determinação de umidade foi executada pelo método gravimétrico, no qual é realizado em estufa sob aquecimento a 105°C em um período entre 6 e 18 horas até que a amostra reduza seu peso. As cinzas são definidas também pelo método gravimétrico e a amostra é submetida a um processo de queima em mufla a uma temperatura de 550°C. Para estabelecer o valor dos lipídios, o método utilizado foi o de extração por solvente, no qual os óleos e as graxas são extraídos por meio do contato da amostra com solvente orgânico em um aparelho de Soxhlet.

Já o teor de fibra alimentar total foi encontrado pelo método gravimétrico não-enzimático, o qual é caracterizado pelas seguintes etapas: digestão ácida, filtragem do material, digestão básica, nova filtragem do material, resíduo orgânico que se deposita no cadinho e utilização da mufla. A determinação das proteínas é feita por meio do método de proteína bruta Kjeldahl, no qual quantifica o teor de nitrogênio total, passando pelas etapas de digestão, destilação e titulação. Para a determinação dos carboidratos, emprega-se o método de determinação por diferença, soma-



se os valores centesimal da umidade, cinzas, proteína, lipídios e fibras e subtrai do valor em percentual de 100%. O valor calórico total em 100 g da amostra de farinha de marapuama foi calculada por meio dos valores estabelecidos por Atwater - os valores de carboidrato e de proteína foram multiplicados por 4 e o de lipídios multiplicado por 9.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta pesquisa, foi realizada uma análise centesimal da farinha de marapuama, e assim, foi possível alcançar resultados sobre as características nutricionais da amostra do produto. Dessa maneira, foi encontrado o valor calórico total de 189,68 Kcal, correspondente a 100 g da amostra, sendo que desse valor 18 Kcal são dos lipídios, 6,44 Kcal são das proteínas e 165,24 Kcal representam os carboidratos.

A amostra apresentou valor de umidade de 6,02%, fato que influencia positivamente na qualidade de armazenamento da farinha. O teor de cinzas encontrado foi de 2,56%. Quanto ao teor de fibras brutas, o valor identificado foi de 46,39%. O Codex considera como fibra alimentar os carboidratos encontrados naturalmente nos alimentos, e também os isolados ou extraídos da matriz alimentar e os sintetizados por processos industriais que apresentam benefícios à saúde comprovados cientificamente. Os valores encontrados de lipídios foram de 2,00%, e mesmo em níveis reduzidos, são relevantes para compreender a composição nutricional e avaliar as possibilidades de aplicação da marapuama no cotidiano, possibilitando observações a respeito da taxa lipídica de planejamentos alimentares. Já em relação às quantidades de proteína, a amostra possui concentração proteica de 1,61%.

Apesar do crescimento no número de estudos dedicados às análises de farinhas de consumo habitual (Souza, et al., 2023; Oliveira, et al., 2013; Neto, et al., 1998; Miri, et al., 2019), não foram encontrados estudos ou materiais científicos nacionais que dissertem sobre a composição centesimal da marapuama e sua farinha. Nesse sentido, uma comparação da composição centesimal da farinha de marapuama com a composição centesimal da farinha de trigo é apresentada na Tabela 1, como forma de estabelecer um comparativo entre os dados encontrados com as características de uma farinha amplamente aceita e consumida pela população.

Tabela 1. Comparação entre composição centesimal da farinha de marapuama com farinha de trigo. Brasil, 2023.

COMPOSIÇÃO CENTESIMAL	FARINHA DE MARAPUAMA	FARINHA DE TRIGO
FIBRAS (%)	46,39%	2,58%
UMIDADE (%)	6,02%	11,80%
CINZAS (%)	2,65%	0,64%
PROTEÍNA (%)	1,61%	10,70%
LIPÍDIOS (%)	2,00%	1,36%

*Fonte: TBCA (2023)

Ferreira et al. (2022), disserta sobre a composição fitoquímica da farinha de marapuama e expõe que ela pode ser dissolvida em álcool, éter e água acidulada. Ela possui propriedades afrodisíacas, as quais são provenientes de substância de grupo alcaloideído extraído por diferenciação ácido-base, sendo composta por ácidos araquídico, behênico, lignocérico e pentacosanóico, além de apresentar sete ácidos graxos de cadeia longa. Além disso, é constituída de alcalóides, saponinas, taninos, leucoantocianidinas, ácidos palmítico e esteárico, cafeína, adenina e teobromina (xantinas). Nessa perspectiva, é possível discutir sobre a fitoterapia da farinha de *Ptychopetalum olacoides*, destacando que é utilizada no tratamento de depressão, doenças do sistema nervoso central, além de ser antirreumática e estimulante sexual. Ademais, é composta por antocianinas e carotenóides, antioxidantes e anti-inflamatórios, os quais a presença está relacionada a baixa incidência de câncer, de doenças cardiovasculares, osteoporose e problemas referentes ao processo de envelhecimento. Entretanto, é necessário ressaltar que os compostos antioxidantes são instáveis, sendo degradados facilmente, principalmente em processos de cocção, e assim não havendo garantia de seu efetivo impacto no organismo a partir da ingestão da farinha (Oliveira, et al., 2019).

Além disso, segundo Ferreira et al. (2022), a partir da decocção da casca, raiz e galhos da marapuama, obtém-se propriedades energéticas, antidiarreicas, de tônico muscular, e por isso, se mostrou benéfica no tratamento de ataxia, paralisia facial, astenia gastrointestinal, atonia da ovulação, ataxia locomotriz e nevalgias. Crescente a isso, o consumo



deste produto indica-se favorável no combate ao reumatismo crônico, distúrbios menstruais, poliomielite aguda, estimulante do apetite, além de facilitar a recuperação da memória de pacientes com isquemia cerebral, a partir da melhora da rede celular antioxidante no cérebro e reduz danos por estresse oxidativo (Ferreira, et al., 2022). Nesse contexto, a partir das discussões de Mello et al. (2009), entende-se que há um nível de toxicidade relevante proveniente da ingestão da farinha de marapuama, visto que apesar de ser uma planta segura, há registros sobre seus efeitos adversos, tanto em seu uso isolado, quanto em associação com determinados fármacos ou plantas. Nesse sentido, experimentos realizados em ratos com doses repetidas da substância durante 30 dias, baseados em recomendações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), relatam efeitos como elevação da pressão arterial, estimulação do SNC, efeitos semelhantes à testosterona, fato que desaconselha seu uso na gestação, além de interação com anticoagulantes, com inibidores de MAO, antidepressivos e simpaticomiméticos. Esse cenário expõe que a utilização da marapuama, sendo realizada de maneira consciente e moderada, não oferece riscos demasiados, porém é imperioso que pesquisas mais específicas sobre essa farinha sejam executadas, para que assim haja maior conhecimento sobre os reais efeitos do consumo desse alimento para os humanos.

4 CONCLUSÃO

Entende-se que os dados atingidos nas análises realizadas fornecem informações quanto à composição química e características nutricionais da farinha de marapuama, o que permite melhor compreensão de seus potenciais benefícios nutricionais e aplicações. Portanto, tais descobertas podem ser úteis para setores relacionados à produção de alimentos e suplementos, bem como para pesquisas adicionais sobre as propriedades e uso da farinha de marapuama.

5 REFERÊNCIAS

- CODEX ALIMENTARIUS. **International Food Standards**. 2008. Disponível em: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/>. Acesso em: 30 nov. 2023.
- MELLO, J. R. B.; MELLO, F. B.; LANFIELOH, A. Toxicidade Pré-Clínica de Fitoterápico com *Anemopaegma mirandum*, *Cola nitida*, *Passiflora alata*, *Paullinia cupana*, *Ptychopetalum olacoides* e *Tiamina*, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Joao-Mello/publication/241704542_Toxicidade_Pre-Clinica_de_Fitoterapico_com_Anemopaegma_mirandum_Cola_nitida_Passiflora_alata_Paullinia_cupana_Ptychopetalum_olacoides_e_Tiamina/links/0c96051cad3693988a000000/Toxicidade-Pre-Clinica-de-Fitoterapico-com-Anemopaegma-mirandum-Cola-nitida-Passiflora-alata-Paullinia-cupana-Ptychopetalum-olacoides-e-Tiamina.pdf. Acesso em: 29 nov. 2023.
- MIRI, J. C.; LIMA, M. C. P. M. et al. Avaliação Química de Farinha da Casca de Abacaxi da Cultivar Pérola. **SLACA**, v. 4, 2019. Disponível em: file:///C:/Users/User/Downloads/galoa-proceedings--slaca-2019--113027.pdf. Acesso em 30 nov. 2023.
- NETO, J. M. M.; CIRNE, L. E. M. R.; PEDROZA, J. P.; SILVA, M. Componentes Químicos da Farinha de Banana (*Musa sp.*) Obtida por meio de Secagem Natural. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 316 - 318, 1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/CdfTm9QrjjFWZhTPszDQp3b/?lang=pt#>. Acesso em: 30 nov. 2023.
- OLIVEIRA, A. C. F.; HERNANDEZ-TORRES, D. L.; NfiOME, M. T. et al. Análise de antocianinas e carotenoides em marapuama (*Ptychopetalum olacoides*) liofilizada. **Revista Higiene Alimentar**, v. 33, p. 1200 - 1204, 2019. Disponível em: https://higienealimentar.com.br/wp-content/uploads/2020/08/Anais-Higienistas-2019_VERS%C3%83O-ATUALIZADA-FINAL_compressed.pdf. Acesso em 28 nov. 2023.
- OLIVEIRA, L. P.; CESCINETTO, G. et al. Avaliação e Composição Nutricional da Farinha de Beterraba e sua Utilização no Preparo de Sobremesas. **Revista Interdisciplinar de Estudos em Saúde (RIES)**, v. 2, n. 1, p. 13 - 19, 2013. Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ries/article/view/158/150>. Acesso em: 30 nov. 2023.
- PIATO, A. L. et al. Anti-stress effects of the “tonic” *Ptychopetalum olacoides* (Marapuama) in mice. **Phytomedicine**, v. 17, n. 3-4, p. 248-253, 2010.
- PIATO, A. L. S. Investigação das atividades antidepressiva e adaptógena de *Ptychopetalum olacoides* Bentham (Marapuama). Porto Alegre: UFRGS, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/1018333/16095/000696522.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 29 nov.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

2023.

PIATO, Â. L. et al. Effects of Marapuama in the chronic mild stress model: Further indication of antidepressant properties. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 118, n. 2, p. 300–304, 23 jul. 2008.

SOUZA, M. A. S.; LUCIANO, A. V.; BARRIENTOS, M. O. Determinação de teor de umidade em amostras de farinhas de trigo. **Revista Brasileira de Saúde Funcional**, Cachoeira, BA, v. 11, n. 1, 2023. Disponível em: <https://adventista.emnuvens.com.br/RBSF/article/view/1617/1134>. Acesso em: 30 nov. 2023.

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC). Versão 7.2. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.tbca.net.br/index.html#>. Acesso em: 30 nov. 2023.

TECNOLOGIA, T. **Fast Caps Turbo, MSV Suplementos**. Disponível em: <https://www.msvsuplementos.com.br/atacado/10-unidades/fast-caps-turbo-10-unidades>. Acesso em: 30 nov. 2023.



Área: Alimentos

IDENTIFICAÇÃO GENOTÍPICA E CAPACIDADE DE SÍNTESE DE FOLATO DE BACTÉRIAS ÁCIDO-LÁTICAS ISOLADAS DE MATRIZES ALIMENTARES

Maria Fernanda Fernandes Siqueira*, Khadija Bezerra Massaut, Pedro Fernandes Viana, Patrícia Radatz Thiel, Silvana de Souza Sigali, Graciela Volz Lopes, Wladimir Padilha da Silva, Ângela Maria Fiorentini

Laboratório de Processamento de Produtos de Origem Animal, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS

**E-mail: maria.fernanda.fs97@gmail.com*

RESUMO – O folato é um micronutriente essencial para o organismo humano e devido a sua importância metabólica e a sua instabilidade a utilização da forma sintética dessa vitamina (ácido fólico) é preconizada pela legislação através da fortificação de farinhas. Entretanto, nos últimos a utilização do ácido fólico vem sendo questionada quanto a sua segurança a longo prazo. Sabe-se que alguns microrganismos são capazes de sintetizar as formas naturais de folato, dentre eles o grupo das bactérias ácido-láticas (BAL) ganha destaque pois, são microrganismos amplamente estudados e utilizados nas indústrias de alimentos e farmacêutica, por seu *status* GRAS (*Generally Recognized as Safe*). Dentro desse contexto, o presente estudo objetiva verificar a capacidade de síntese de folato de isolados de BAL de diversas matrizes alimentares. Como protocolo foi utilizado o processo de 7 lavagens em *Folic Acid Casei Medium* (FACM) os isolados capazes de apresentar uma boa multiplicação durante as lavagens foram considerados capazes de sintetizar folato. Neste estudo foram encontrados 5 isolados de BAL com capacidade de produção de folato, a presença de folato extracelular e intracelular no meio foi avaliada com base na multiplicação da ATCC 7469 *Lactocaseibacillus rahnmosus*. Os isolados foram identificados molecularmente como *Leuconostoc mesenteroides* (1), *Pediococcus pentosaceus* (2) e *Lactiplantibacillus plantarum* (2) através do gene 16S do rDNA. Dentre os isolados avaliados destacaram-se o KLM6 *Leuconostoc mesenteroides* e o L111 *Lactiplantibacillus plantarum* com as maiores absorvâncias respectivamente de 1,615 e 1,578. Os resultados obtidos indicam que a prospecção de bactérias ácido-láticas como potenciais produtoras de folato é viável.

Palavras-chave: vitamina B9; biossíntese; prospecção; alimentos.

1 INTRODUÇÃO

As vitaminas do Complexo B são essenciais para o funcionamento pleno do metabolismo humano, contribuindo para a formação de energia e na manutenção de glóbulos vermelhos (Leblanc *et al.*, 2011). Além disso, atuam como fatores coenzimáticos na regulação de algumas reações bioquímicas essenciais, dentre elas podemos citar a cobalamina (B12) folato (B9) biotina (B7), riboflavina (B2), a tiamina (B1), entre outras (Leblanc *et al.*, 2011; Engevik *et al.*, 2016). A denominação folato, é designada para vários compostos considerados micronutrientes essenciais, que estão diretamente envolvidos em diversas reações bioquímicas dentro do organismo humano (Serrano-Amatriain *et al.*, 2016). Os folatos variam de acordo com o seu estado de oxidação e no grupo carbono ligado às posições N5 e N10 do anel de pteridina e dentro desse grupo se destacam quanto a sua ação fisiológica o tetraidrofolato (THF), 5-metil-THF (5-MTHF) 5,10-metileno-THF, 5,10-metenil-THF e 10-formil-THF (Serrano-Amatriain *et al.*, 2016; Saubade *et al.*, 2017).

A baixa ingestão de folatos na dieta diária pode ocasionar diversas doenças, como o declínio cognitivo em idosos, anemia e a má formação do tubo neural (Lucock, 2000; Sarma *et al.*, 1995). Esse grupo de vitaminas pode ser encontrado de forma natural em alimentos como leite (20 a 50 µg /L) (Leblanc *et al.*, 2011), hortaliças, frutas e vegetais (20 a 160 µg/100 g (Alaburda, Shundo *et al.*, 2007). No entanto, essas concentrações são baixas quando levamos em consideração a recomendação mínima diária de ingestão de folatos de 200 a 400 µg para adultos (FAO/WHO, 2002) e no Brasil a recomendação de 240 µg para indivíduos adultos e de 355 µg para gestantes (Brasil, 2005). Soma-se a isso, o fato de que o folato é uma vitamina termicamente instável (processos de cozimento com tempo superior a 15 minutos é capaz de degradar de 60 a 90% dos folatos) (Lima, Catharin, Godoy, 2009).



Nesse contexto, o ácido fólico (a forma sintética do folato) é amplamente utilizado na suplementação alimentar, devido a sua estabilidade (Czeizel et al., 2013). No Brasil, desde 2002 é obrigatória a fortificação com ácido fólico em farinhas de milho e trigo e, atualmente está em vigor a RDC nº 604/2022 que determina como limite mínimo de concentração de ácido fólico nas farinhas até o vencimento do prazo de validade de 140 µg/100 g e o máximo de 220 µg/100g de farinha (Brasil, 2022). Todavia, a utilização do ácido fólico vem sendo questionada quanto a sua segurança, uma vez que sua estrutura difere dos folatos naturalmente reduzidos, influenciando assim no seu metabolismo e absorção (Maynard et al., 2018). Além do modo de absorção diferenciado, um outro ponto questionável da utilização do ácido fólico é quanto ao seu acúmulo substancial que pode mascarar a deficiência de vitamina B12 ocasionando em um comprometimento cognitivo e prejudicar o sistema imunológico (Strickland et al., 2013).

Com a finalidade de contornar as divergências existentes entre as formas sintéticas e naturais de vitaminas, atualmente algumas abordagens vêm sendo desenvolvidas, entretanto resultados satisfatórios ainda não foram alcançados (Blancquaert et al., 2014). Muitos estudos têm relatado a capacidade microbiana de síntese de vitaminas. Nessas circunstâncias as bactérias ácido-láticas (BAL) que são um grupo de microrganismos amplamente utilizados na indústria de alimentos vêm sendo estudadas quanto as suas propriedades funcionais e tecnológicas (Sornplang, Piyadeatsonntorn, 2016), como a sua atividade proteolítica e lipolítica (Zakirul, et al., 2021), produção de exopolissacarídeos (Mende et al., 2019), tratamento de doenças não transmissíveis como a obesidade (Reynés et al., 2019), doenças cardiovasculares (Gadelha, Bezerra; 2019). Desta forma, os alimentos fermentados por BAL podem ser considerados uma alternativa viável para suprir as necessidades diárias de ingestão de algumas vitaminas, tendo em vista que, muitas dessas vitaminas são metabólitos produzidos durante o processo fermentativo, dentre elas podemos citar as vitaminas do grupo B (Flores-Félix et al, 2015).

Sendo assim, a prospecção de BAL de diferentes fontes é significativa na busca de diversidade de espécies, como produtos artesanais (lácteos e cárneos), fermentados não lácteos como bebidas vegetais, frutas e sucos (Siddiquee et al., 2012). Portanto, o objetivo do presente estudo foi identificar molecularmente isolados de bactérias ácido-láticas obtidos de diversas matrizes alimentares e avaliar a capacidade de produção de folato.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ISOLADOS DE BACTÉRIAS ÁCIDO-LÁTICAS

Os isolados de BAL avaliados no presente estudo, foram obtidos pelo nosso grupo de pesquisa procedentes de amostras de kefir, *levain* e filé de corvina. Foram caracterizados anteriormente, como Gram-positivos, catalase negativa e apresentaram segurança microbiológica quanto a atividade das enzimas (DNase, gelatinase, hemolisina) e suscetibilidade a antimicrobianos de uso clínico.

2.2 IDENTIFICAÇÃO MOLECULAR

A identificação genotípica foi realizada a partir da extração do DNA de 5 isolados de BAL conforme Green et al. (2012), posteriormente seguiu-se para o sequenciamento do gene 16S do rDNA, cujas amostras de DNA foram enviadas à ACTGene LUDWIG-Análises Moleculares. A ferramenta BLAST do *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) foi usada para comparar a similaridade do resultado com sequências depositadas no GenBank®

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS ISOLADOS QUANTO A CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE FOLATO

A capacidade de produção de folato seguiu a metodologia proposta por Laiño et al. (2012), com algumas modificações. O teste foi realizado com 6 isolados, porém 5 isolados (1 corvina -CO5, 2 *levain* -L111 e L23 e 2 kefir-KLM6 e KPP1) foram capazes de manter uma boa multiplicação em meio *Folic Acid Casei Medium* (FACM) (absorbância $\geq 0,2$ em 630 nm) e prosseguiram para a próxima etapa. Para a realização das lavagens os isolados cultivados em caldo *De Man Rogosa & Sharpe* (MRS) por 24 horas a 37 °C. Posteriormente foram aliquotados em *epENDORF* e centrifugados a 10000g por 5 minutos. O sobrenadante foi descartado e o pellet foi ressuspenso em solução salina 0,85%, essa última etapa foi repetida 3 vezes, e o cultivo foi inoculado em um volume de 4% em caldo FACM em incubado a 37 °C por 24 horas. Após, o processo de centrifugação e lavagens foi repetido por mais 7 vezes com uma concentração de 2% de cultivo inoculado entre uma lavagem e outra.

A análise procedeu ao longo de 7 lavagens para cada isolado, sendo que na terceira lavagem e na sétima lavagem foram coletadas frações para a quantificação do folato intracelular e extracelular. O meio de cultivo com multiplicação



celular foi aliquotado em *ependorfs* e posteriormente foi adicionado na proporção 1/1 v/v de solução tampão fosfato 0,1 M pH 6,6-6,8, após os mesmos foram centrifugados a 5.000 g por 5 minutos e o sobrenadante foi transferido para um novo *ependorf* (fração extracelular), os *ependorfs* que ficaram com o *pellet* tiveram o mesmo ressuspenso na solução tampão, com o mesmo volume adicionado antes da centrifugação. Posteriormente, as amostras foram aquecidas a 100 °C por 5 minutos e centrifugadas a 10.000 g por 6 minutos e congeladas a -70 °C.

A análise da presença de folato extracelular e intracelular foi realizado através de um método microbiológico (Horne, Petterson, 1988), onde *Lactocaseibacillus rhamnosus* ATCC 7469 foi utilizada como cepa indicadora da presença de folato. A cepa ATCC 7469 passou por uma ativação prévia e duas lavagens consecutivas em meio FACM (como descrito anteriormente), após a segunda lavagem foi inoculado uma alíquota (4% v/v) do caldo FACM com crescimento para um novo caldo com 2x FACM. Tanto a amostra extracelular como a intracelular foram descongeladas a temperatura ambiente e posteriormente 100 µL foram aliquotados em triplicata em uma placa de 96 poços, juntamente foi adicionado a cada poço com amostra 100 µL da cepa ATCC 7469 em 2x FACM. As placas de 96 poços foram incubadas a 37 °C por 48 horas, e as leituras foram realizadas nos tempos zero, 24 horas e 48 horas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A identificação molecular a partir do gene 16S do rDNA, possibilitou verificar que os isolados são pertencentes a 3 gêneros distintos procedentes de matrizes diferentes, conforme demonstrado na tabela 1.

Tabela 1 Resultados da identificação molecular dos isolados de bactérias ácido-láticas isoladas de diferentes matrizes alimentares

Matriz alimentar	Código do isolado	Identificação	Grau de similaridade (%)	Número de acesso
Corvina	CO5	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	98,17%	NZ_CP028221.1
Kefir	KLM6	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	97,21%	NZ_CP028251.1
Kefir	KPP1	<i>Pediococcus pentosaceus</i>	89,10%	NC_008525.1
Levain	L23	<i>Pediococcus pentosaceus</i>	94,84%	NC_008525.1
Levain	L111	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	96,28%	NZ_QWZQ01000080.1

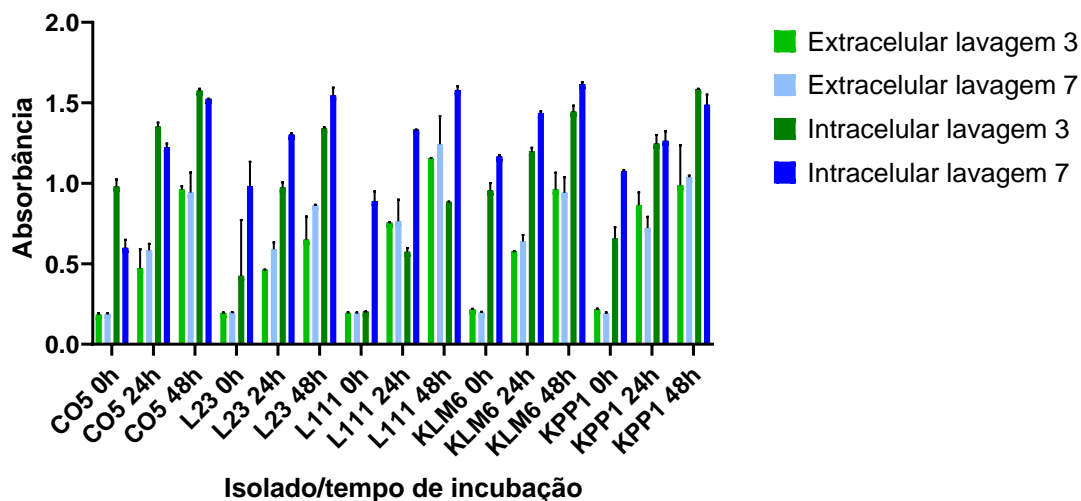
Diversos alimentos *in natura* ou artesanais apresentam entre as espécies de sua microbiota, bactérias do grupo de BAL (Weschenfelder et al., 2011). Em Alguns estudos como o de Simova *et al* (2002), foram isolados de kefir *Lactocaseibacillus casei* subsp. *pseudoplantarum*, e em produtos fermentados como polvilho foi observado a predominância de *Lactiplantibacillus plantarum* (Penido, 2013). Já Mathialagan *et al* (2018), isolaram 5 gêneros diferentes de BAL de mel: *Lactobacillus* sp. *Enterococcus* sp. *Lactococcus* sp. *Streptococcus* sp. *Leuconostoc* sp. Esses estudos exemplificam a ubiquidade de BAL em alimentos (Levit *et al.*, 2021), bem como as diversas matrizes que podem ser utilizadas para o isolamento das mesmas, corroborando para a diversidade de espécies de BAL encontradas no presente estudo.

Ao todo, os 5 isolados avaliados apresentaram uma produção de folato extracelular e intracelular satisfatória, levando em consideração que a cepa indicadora ATCC 7469 apresentou uma boa multiplicação celular em ambas as frações das lavagens 3 e 7 (Figura 1).

O isolado que se destacou quanto a sua capacidade de síntese de folato foi KLM6, pertencente ao gênero e espécie *Leuconostoc mesenteroides*, com absorvâncias de 1,615 e 0,941 para as frações intracelular e extracelular da lavagem 7, respectivamente. Também Sybesma *et al* (2003) reportaram esse gênero com capacidade de síntese de folato. Além disso, podemos destacar o L111 pertence ao gênero e espécie *Lactiplantibacillus plantarum* que amplamente reportado na literatura como produtor de folato (Greppi *et al.*, 2017; Masuda *et al.*, 2012; Sybesma *et al.*, 2003), que no presente estudo apresentou resultados de absorvâncias de 1,578 e 1,242 para as frações intracelular e extracelular da lavagem7, respectivamente.



Figura 1 Produção de folato extracelular e intracelular por isolados de bactérias ácido-láticas (BAL) isoladas de diferentes matrizes alimentares



Fonte: o autor

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados expostos nesse estudo, observou-se que é possível a prospecção de bactérias ácido-láticas de matrizes alimentares diversas, com potencial para síntese de compostos de interesse como o folato (vitamina B9) e pertencentes a diferentes espécies de BAL. Constatou-se que cada isolado produziu quantidades diferentes de folato, quando avaliados nas mesmas condições, com destaque para o isolado identificado como *Leuconostoc mesenteroides* KLM6. Entretanto, mais estudos acerca da quantificação dessa produção ainda precisam ser realizados, como a quantificação através de técnicas cromatográficas por HPLC.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

6 REFERÊNCIAS

- ALABURDA, J.; SHUNDO, L. Folic acid and food enrichment. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, n. 2, p. 95-102, 2007.
- BLANCQUAERT, D. et al. Present and future of folate biofortification of crop plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 4, p. 895–906, 18 fev. 2014.
- BRASIL, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA Resolução RDC n.640 de 10 de fevereiro de 2022, Estabelece os Requisitos para o Enriquecimento de Farinhas de Trigo e de Milho com Ferro e Ácido Fólico. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, fevereiro de 2022.
- CZEIZEL, A. et al. Folate Deficiency and Folic Acid Supplementation: The Prevention of Neural-Tube Defects and Congenital Heart Defects. **Nutrients**, v. 5, n. 11, p. 4760–4775, 21 nov. 2013.



- DAS SARMA, J. et al. Improved microbiological assay for folic acid based on microtiter plating with *Streptococcus faecalis*. **Journal of AOAC International**, v. 78, n. 5, p. 1173–1177, 1995.
- ENGEVIK, M. A.; VERSALOVIC, J. Biochemical features of beneficial microbes: foundations for therapeutic microbiology. **Microbiology spectrum**, v. 5, n. 5, 1 out. 2017.
- FLORES-FÉLIX, J. D. et al. Plants Probiotics as a Tool to Produce Highly Functional Fruits: The Case of Phyllobacterium and Vitamin C in Strawberries. **Plos One**, v. 10, n. 4, p. e0122281, 15 abr. 2015.
- GADELHA, C. J. M. U.; BEZERRA, A. N. Efeitos dos probióticos no perfil lipídico: revisão sistemática. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 18, 2019.
- GREEN, M. R. et al. Molecular cloning: a laboratory manual. **Molecular cloning: a laboratory manual**, p.1890-1898, 2012.
- GREPPI, A. et al. Ability of lactobacilli isolated from traditional cereal-based fermented food to produce folate in culture media under different growth conditions. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v. 86, p. 277–284, 1 dez. 2017.
- HORNE, D. W.; PATTERSON, D. *Lactobacillus casei* microbiological assay of folic acid derivatives in 96-well microtiter plates. **Clinical chemistry**, v. 34, n. 11, p. 2357-2359, 1988.
- LAIÑO, J. E. et al. Production of natural folates by lactic acid bacteria starter cultures isolated from artisanal Argentinean yogurts. **Canadian journal of microbiology**, v. 58, n. 5, p. 581-588, 2012.
- LEBLANC, J. G. et al. B-Group vitamin production by lactic acid bacteria - current knowledge and potential applications. **Journal of Applied Microbiology**, v. 111, n. 6, p. 1297–1309, 10 out. 2011.
- LEVIT, R. et al. Recent update on lactic acid bacteria producing riboflavin and folates: application for food fortification and treatment of intestinal inflammation. **Journal of Applied Microbiology**, v. 130, n. 5, p. 1412–1424, 30 set. 2020.
- LIMA, K. G. DE C. et al. Evaluation of culture media for enumeration of *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* and *Bifidobacterium animalis* in the presence of *Lactobacillus delbrueckii* subsp bulgaricus and *Streptococcus thermophilus*. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 2, p. 491–495, mar. 2009.
- LUCOCK, M. Folic Acid: Nutritional Biochemistry, Molecular Biology, and Role in Disease Processes. **Molecular Genetics and Metabolism**, v. 71, n. 1-2, p. 121–138, set. 2000.
- MASUDA, M. et al. Production Potency of Folate, Vitamin B12, and Thiamine by Lactic Acid Bacteria Isolated from Japanese Pickles. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry** v. 76, n. 11, p. 2061–2067, 23 nov. 2012.
- MENDE, S.; ROHM, H.; JAROS, D. **Lactic Acid Bacteria: Exopolysaccharides**, Encyclopedia of Dairy Sciences, 30th ed, Academic Press, p.160-167, 2022.
- MIRANDA, M. Z., EL-DASH, A. Farinha integral de trigo germinado. Características nutricionais e estabilidade ao armazenamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 3, p. 216-223, 2002.
- MORAES, F. P.; COLLA, L. M. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios à saúde. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 3, n. 2, p. 109-122, 2006.
- MOSKOWITZ, H. R. **Applied Sensory Analysis of Foods**. Boca Raton: CRC Press, v. 1, 1988. 259 p.
- NASCIMENTO, M. S.; SILVA, N.; CATANOZI, M. P. L. M. Emprego de sanitizantes na desinfecção de vegetais. **Higiene Alimentar**, v. 17, n. 112, p. 42-46, 2003.
- PENIDO, F. C. L. **Isolamento e identificação molecular da microbiota predominante na fermentação natural de mandioca: seleção de culturas iniciadoras para produção de polvilho azedo em escala piloto**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.
- SAUBADE, F. et al. Lactic acid fermentation as a tool for increasing the folate content of foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 18, p. 3894–3910, 28 jun. 2016.
- SERRANO-AMATRIAIN, C. et al. Folic Acid Production by Engineered *Ashbya gossypii*. **Metabolic Engineering**, v. 38, p. 473–482, nov. 2016.
- SIDDIQEE, M. H.; SARKER, H.; SHUROVI, K. M. Assessment of probiotic application of lactic acid bacteria (LAB) isolated from different food items. **Stamford Journal of Microbiology**, v. 2, n. 1, p. 10–14, 4 jun. 2013.
- SORNPLANG, P.; PIYADEATSOONTORN, S. Probiotic isolates from unconventional sources: a review. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 58, n. 1, 19 jul. 2016.
- STRICKLAND, K. C.; KRUPENKO, N. I.; KRUPENKO, S. A. Molecular mechanisms underlying the potentially adverse effects of folate. **Clinical Chemistry and Laboratory Medicine**, v. 51, n. 3, 1 jan. 2013.
- SYBESMA, W. et al. Effects of cultivation conditions on folate production by lactic acid bacteria. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 69, n. 8, p. 4542–4548, 1 ago. 2003.
- WESCHENFELDER, S. et al. Caracterização físico-química e sensorial de kefir tradicional e derivados. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, p. 473–480, 1 abr. 2011.



Área: Alimentos

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE ÓLEO DE ALHO (*Allium Sativum*) NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE SOLUBILIDADE DE FILMES DE GELATINA

Fernanda Machado de Oliveira^{1*}, Rafaela Pires Rodrigues Borges¹, Cesar Vinicius Toniclioli Riguetto², Daniela Dal Castel Krein³, Aline Dettmer¹

¹Universidade de Passo Fundo (UPF), Instituto de Tecnologia (ITec), Passo Fundo-RS, Brasil

²Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Centro de Ciências Rurais (CCR), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos (PPGCTA), Santa Maria-RS, Brasil

³Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPGEQ), Santa Maria-RS, Brasil

*E-mail: feoliveirafer@gmail.com

RESUMO - Este trabalho objetivou avaliar o impacto da adição de óleo de alho em diferentes concentrações nas propriedades mecânicas e de solubilidade de filmes de gelatina. Os filmes foram elaborados a partir de gelatina comercial tipo na concentração de 4% (m/v), com adição de 25% glicerol em relação à massa de gelatina, óleo de alho nas concentrações de 1%, 2% e 3% (v/v) e o emulsificante Tween 80 na proporção 2:1 em relação à adição de óleo de alho (v/v). Os filmes foram secos em estufa a 25 °C por 48h, armazenados em dessecador com UR=70% por 24h, e, posteriormente, caracterizados com relação à espessura, resistência à tração, alongação e solubilidade em água. Os dados foram tratados estatisticamente por comparação de médias pela Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Tukey com nível de confiança de 95%. Nos resultados, observou-se que houve um aumento significativo ($p < 0,05$) na espessura a partir de 3% de adição de óleo de alho. As propriedades mecânicas de resistência à tração e alongação apresentaram os melhores valores na concentração de 2% de óleo, 8,91 MPa e 159,17%, respectivamente. Para a solubilidade em água, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as concentrações de óleo adicionadas. Em geral, a concentração de 2% de óleo de alho (v/v) foi considerada a mais adequada, levando em conta todos os parâmetros avaliados. No entanto, a avaliação dos filmes para uso em matrizes alimentícias é fundamental para promover aplicações reais.

Palavras-chave: Biopolímero; Espessura; Tração; Alongação; Solubilidade.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a maioria das embalagens utilizadas são derivadas de fontes não renováveis, contribuindo para problemas significativos de acumulação de resíduos devido ao processo lento de degradação no ambiente. Em paralelo, a busca por produtos saudáveis e ecologicamente responsáveis, associada à crescente preocupação com a segurança alimentar e ambiental, tem estimulando pesquisas para o desenvolvimento de filmes produzidos a partir de polímeros biodegradáveis (NUNES et al., 2018).

De acordo com Ferreira et al. (2016) o alho, pertencente à família Liliaceae e identificado como *Allium sativum*, não só é reconhecido na culinária, mas também tem uma importante história na medicina alternativa. Essa planta, apresenta uma variedade de atividades antibacteriana, antimicótica, antiviral, antitumoral, antiflogística e fibrinolítica. Essas propriedades são atribuídas principalmente à presença de alicina (dialil-tiosulfonato), que constitui 70% dos compostos sulfatados e exerce uma função significativa na defesa contra microrganismos.

Dentro da vasta gama de materiais pesquisados para a elaboração de filmes comestíveis e/ou biodegradáveis, a gelatina surge como um composto de destaque, pois trata-se de uma proteína animal derivada do colágeno, obtida por meio de hidrólise ácida ou básica, com aplicações expressivas nas indústrias alimentícia e farmacêutica. No contexto brasileiro, a gelatina é produzida em larga escala, de maneira acessível e apresenta propriedades funcionais ideais para a fabricação de biofilmes (FAKHOURI et al., 2007).

Além disso, segundo Riguetto et al. (2024), outro ponto de importância a ser ponderado na preservação de alimentos é que a gelatina, quando utilizada como o único material na produção de filmes, não contém compostos com propriedades antimicrobianas e antioxidantes. No entanto, evidencia sua adaptabilidade a uma diversidade de compostos, abrangendo polissacarídeos, nanomateriais, extratos de plantas e óleos essenciais, possibilitando assim, a obtenção de filmes compósitos.

Dessa forma, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da adição de óleo de alho em diferentes concentrações nas propriedades mecânicas e de solubilidade em água de filmes de gelatina.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Para a elaboração dos filmes de gelatina foram utilizados os reagentes: gelatina tipo B (Dinâmica®, Brasil), óleo essencial de alho (Mundo dos Óleos, Brasil), glicerol (Dinâmica, Brasil) e Tween 80 (Dinâmica®, Brasil).

Os principais equipamentos utilizados foram uma balança analítica (ATX224, Shimadzu, Japão), chapa de aquecimento com agitação magnética, estufa com circulação de ar (SSDc-336 L, Solid Steel, Brasil), micrômetro externo digital (Digimess, 110.284 new), shaker com controle de agitação e temperatura (MA420, Marconi, Brasil) e texturômetro (TA.XTplus Texture Analyser, Reino Unido).

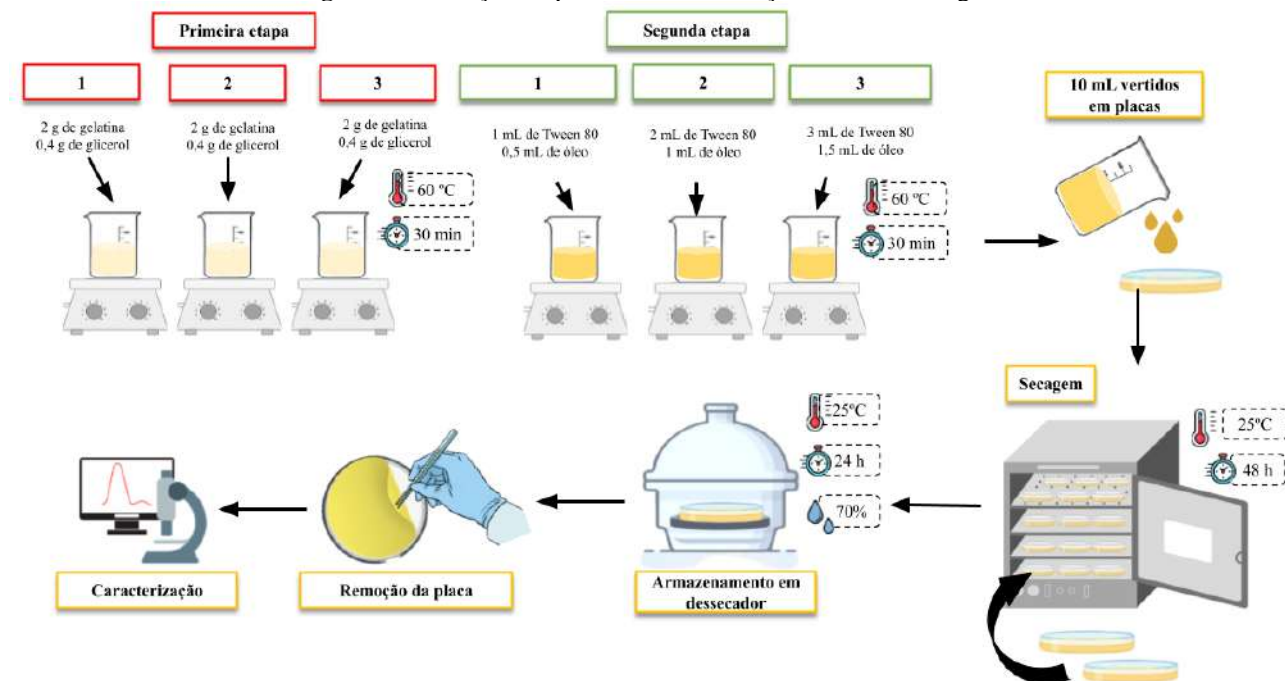
2.2 Elaboração dos filmes

Inicialmente, foram adicionados 50 mL de água destilada, 2 g de gelatina e 0,4 g de glicerol. Esses recipientes foram então colocados em uma chapa de aquecimento, mantida a uma temperatura de 60 °C, com agitação magnética por um período de 30 minutos.

Posteriormente, as soluções foram resfriadas até 30 °C, onde foram adicionadas diferentes concentrações de óleo de alho (1%, 2% e 3% v/v). O Tween 80 foi empregado como emulsificante, sendo adicionado juntamente com óleo, na proporção 2:1 v/v (Tween 80:Óleo). A solução foi mantida em agitação por mais 30 minutos.

A seguir, 10 mL das soluções foram vertidas em placas de polipropileno e colocadas em estufa com circulação de ar a 25 °C por um período de 48 horas. Após, os filmes foram acondicionados por 24 horas em ambiente com controle de umidade (70%, usando solução saturada de KBr). Por fim, os filmes foram removidos das placas e imediatamente submetidos à caracterização. Na Figura 1, pode-se observar uma ilustração de como foi realizada a elaboração dos filmes de gelatina.

Figura 1: Ilustração do processo de elaboração dos filmes de gelatina



Fonte: Autores (2024).



2.3 Caracterização dos filmes

2.3.1 Espessura

A espessura dos filmes foi avaliada com o auxílio de um micrômetro externo digital (Digimess, 110.284 new). A análise envolveu a medição de seis pontos distintos nos filmes, abrangendo áreas centrais e extremidades superiores e inferiores.

2.3.2 Resistência à tração e alongação

A resistência à tração e a porcentagem de alongação dos filmes foram analisadas empregando o texturômetro (TA.XTplus Texture Analyser). O equipamento operou com garras separadas por 40 mm e uma velocidade de teste de 10 mm/s. Os filmes foram padronizados no tamanho de 85 mm X 25 mm.

2.3.3 Solubilidade em água

A análise de solubilidade em água foi adaptada de Gómez-Estaca et al. (2019). As amostras foram inicialmente cortadas em dimensões de 2 cm x 2 cm e submetidas à secagem em estufa a 70 °C por 1 hora. Em seguida, foram imersas em 50 mL de água destilada, agitadas em uma mesa agitadora orbital de bancada com controle de temperatura a 25 °C e 100 rpm por 20 horas. Posteriormente, foram submetidas a um processo de filtração a vácuo utilizando papel filtro e novamente secas em estufa a 70 °C por 1 hora. A solubilidade em água foi calculada utilizando a Equação 1.

$$S = \frac{(W_0 - W_f)}{W_0} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: W0 = peso inicial do filme seco (g); Wf = peso do resíduo do filme após solubilidade em água (g).

2.4 Tratamento estatístico

Para o tratamento estatístico dos dados foi realizada a comparação de médias por Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Tukey, utilizando intervalo de confiança de 95% no Software Statistica 7.0 (StatSoft Inc., EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises de espessura, tração, alongação e solubilidade para os filmes de gelatina com diferentes adições de óleo de alho (OA).

Tabela 1 - Resultados das análises das propriedades mecânicas e de solubilidade de filmes de gelatina a 4% (m/v) com adições de 1%, 2% e 3% (v/v) de óleo de alho.

Caracterização	Filme de gelatina + 1% de óleo de alho	Filme de gelatina + 2% de óleo de alho	Filme de gelatina + 3% de óleo de alho
Espessura (mm)	0,075±0,031 ^a	0,092±0,040 ^{ab}	0,107±0,035 ^b
Tração (MPa)	9,07±0,60 ^a	8,91±1,06 ^a	3,40±0,25 ^b
Elongação (%)	132,2±32,95 ^a	159,17±1,85 ^b	128,10±9,09 ^a
Solubilidade (%)	66,99±4,99 ^a	73,16±1,43 ^a	76,79±4,61 ^a

* Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey (p>0,05).



A espessura é definida como a distância entre as superfícies do filme, que pode ser influenciada pelos parâmetros utilizados nas operações envolvidas na produção dos filmes, incluindo os aditivos que são adicionados à base de gelatina (RIGUETO et al., 2022). Na Tabela 1, nota-se que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) na espessura dos filmes nas concentrações de 1% e 2% de óleo, no entanto, a maior concentração de óleo adicionada, no caso, 3%, diferiu significativamente ($p < 0,05$) da espessura do filme com a menor concentração, no caso, 1%.

No estudo de Riguetto et al. (2024) a espessura dos filmes de gelatina aumentou significativamente ($p < 0,05$) com a adição de óleo essencial de tomilho e Tween 80 em relação aos filmes controle (apenas com gelatina), porém, não diferiram significativamente entre as diferentes formulações contendo óleo essencial. Os autores enfatizam que a adição de óleo essencial não tem sido um fator chave para aumento de espessura reportado em trabalhos similares, no entanto, a adição de emulsificantes pode exercer um efeito significativo para o aumento da espessura.

A resistência à tração indica a resistência máxima do filme à ruptura, enquanto o alongamento à ruptura é a porcentagem que o filme pode deformar até a ruptura (RIGUETO et al., 2022). Nota-se que a tração do filme com 1% e 2% de óleo não diferiram significativamente ($p > 0,05$). Porém, houve uma redução significativa ($p < 0,05$) deste parâmetro a partir da adição de 3% de óleo. Em estudo similar, Wu et al. (2017) observaram redução na resistência à tração devido a adição de óleo essencial de canela nas concentrações de 1% e 2%, com respectiva redução de 12,66 MPa para 8,65 MPa.

Conforme Li et al. (2022), esse comportamento pode ser explicado em virtude da interferência do óleo na estrutura da matriz da gelatina, que reduz a coesão e a força, reduzindo as interações moleculares na matriz da gelatina tornando os filmes mais suscetíveis à deformação, resultando na diminuição na resistência à tração.

Para os resultados de alongação, houve um aumento significativo ($p < 0,05$) com o aumento da concentração de 1% para 2% (132,2% para 159,17%), no entanto, com 3% de óleo na matriz polimérica, houve uma redução significativa ($p < 0,05$) da alongação (128,10%) em comparação à formulação de 2%, não diferindo significativamente da formulação de filmes com 1%. Wu et al. (2017) também notaram diminuição na alongação, com valores de 119,05% para 95,55% para adição de óleo de canela de 1% e 2%, respectivamente. Riguetto et al. (2024) evidenciaram que a adição de óleo essencial de tomilho exerceu um efeito plastificante, que se caracteriza por sua penetração na matriz polimérica e pelo aumento do volume de espaços vazios entre as cadeias das moléculas, tornando assim maior alongação nos filmes de gelatina.

A solubilidade em água de é um parâmetro que representa uma medida dos componentes solúveis em água presentes em uma amostra de filme (FALLAH et al., 2021). Na Tabela 1, nota-se que os valores de solubilidade variaram de 66,99% a 76,79%, porém, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) nas solubilidades dos filmes nas faixas de concentração de óleo de alho adicionadas aos filmes. Balan (2013) também observou que não houve diferença significativa em suas formulações de filmes de amido com adição de óleo essencial de orégano com valores de 31,02% a 29,67%. Silva (2019) também adicionou óleo essencial de orégano à formulação de filmes à base de quitosana, e não observou diferença significativa em relação à solubilidade, com valores variando de 24,86% a 23,74%. De acordo com o autor, possivelmente a quantidade de óleo adicionada no filme foi pequena para criar uma barreira impermeável.

4 CONCLUSÃO

A partir do exposto, conclui-se que a adição de óleo de alho nas concentrações de 1 a 3% (v/v) em filmes à base de gelatina influenciou significativamente nos parâmetros de espessura, tração e alongação. No entanto, a concentração de 2% de óleo de alho foi a mais adequada para ser adicionada à formulação dos filmes, tendo em vista os maiores valores de resistência à tração e alongação.

A fim de potencializar as aplicações dos filmes biodegradáveis, como sugestões para próximos estudos, sugere-se a avaliação dos filmes com relação à propriedades antimicrobianas e antioxidantes, além de seu uso em matrizes alimentícias, incluindo o acompanhamento de *shelflife*.

6 REFERÊNCIAS

BALAN, G.C. **Elaboração e aplicação de filme a base de amido na conservação de queijo tipo mussarela**. 2013. 79 f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Londrina, 2013.

FAKHOURI, F.M.; FONTES, L.C.B.; GONÇALVES, P.V.M. et al. Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. **Food Science and Technology**, v. 27, n. 2, p. 369–375, 2007.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

FALLAH, M.; ROUHI, M.; SOLTANI, M. et al. Physico-mechanical, antimicrobial, and antioxidant properties of gelatin edible films incorporated with olibanum essential oil and sodium hexametaphosphate on the rainbow trout fillet under refrigerated conditions. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 29, n. 7, p. 2174–2184, 2021.

FERREIRA, J.A.; FERREIRA, D.N.; LIMA, C.L.B. et al. Eficiência da ação antimicrobiana do óleo essencial de alho (*Allium sativum*). **Sinapse Múltipla**, v 5, n. 2, p. 102, 2016.

GÓMEZ-ESTACA, J.; MONTERO P.; FERNÁNDEZ-MARTÍN, F. et al. Propriedades físico-químicas e formadoras de filme da gelatina de couro bovino e pele de atum: um estudo comparativo. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 4, p. 480–486, 2009.

LI, X.; TU, Z.C.; SHA, X.M. et al. Flavor, antimicrobial activity and physical properties of gelatin film incorporated with of ginger essential oil. **Journal of Food Science and Technology**, v. 59, p. 815–824, 2022.

NUNES, J.; MELO, P.T.S.; AOUADA, F.A. et al. Influência da nanoemulsão de óleo essencial de limão em filmes à base de gelatina. **Química Nova**, 2018.

RIGUETO, C.V.T.; VASCONCELOS, G.; ROSSETO M. et al. Composite films from steam-exploded gelatin and thyme essential oil: Production, characterization and application as coatings. **Journal of Polymers and The Environment**, 2024.

RIGUETO, C.V.T.; ROSSETO, M.; ALESSANDRETI, I. et al. Gelatin films from wastes: A review of production, characterization, and application trends in food preservation and agriculture. **Food Research International**, v. 162, n. 112114, p. 112114, 2022.

SILVA, E.E.A.N **Aplicação de filmes e coberturas comestíveis no aumento da vida útil do tomate**. Dissertação de Mestrado. IFGoiano: Rio Verde, 2019. 72 f.

WU, J.; SUN X.; GUO X. et al. Physicochemical properties, antimicrobial activity and oil release of fish gelatin films incorporated with cinnamon essential oil. **Aquaculture and Fisheries**, v. 2, n. 4, p. 185–192, 2017.



Área: Bioprocessos

POTENCIALIZANDO POLIFENÓIS EM ALIMENTOS ATRAVÉS DA FERMENTAÇÃO BACTERIANA: UMA REVISÃO

Eron Paulo Borges Filho*, Alisson Santa Catarina, Johanna Bassi Kleer, Luciane Maria Colla

Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Curso de Mestrado, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS
**E-mail: 128448@upf.br*

RESUMO – A fim de melhorar a qualidade e disponibilidade de polifenóis, o objetivo deste trabalho foi a avaliação do aumento do teor de compostos fenólicos em alimentos, a adequação de resíduos como substrato para processos fermentativos, assim como, a avaliação da influência da fermentação láctica para obtenção de compostos fenólicos a partir desses substratos. As matérias primas foram bem abrangentes, desde sucos até resíduos e subprodutos. Este trabalho revisou diversas fontes de fermentação, as principais características dos polifenóis, fontes de fermentação e propriedades funcionais, aplicações na área alimentícia, além de os aspectos sociais, ambientais e econômicos, desafios e próximos passos. As bactérias mais estudadas nos artigos foram as *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei* e *Lactobacillus rhamnosus*. Foi constatado que, em quase todos os casos, a fermentação por bactérias de ácido láctico aumentou a biodisponibilidade dos compostos após a fermentação, conferindo propriedades antioxidantes e antimicrobianas aos produtos finais, o que evidencia a potencial utilização para melhora das propriedades funcionais nos alimentos.

Palavras-chave: Polifenóis. Fermentação. Bactérias de ácido láctico. Propriedades funcionais.

1 INTRODUÇÃO

A fermentação por bactérias de ácido láctico já está bem estabelecida como um método potencial biotecnológico para preservar os alimentos e aumentar o teor de conteúdo funcional (Chen *et al.*, 2023). Entre os alimentos funcionais no mercado, as comidas e bebidas probióticas são as que têm maior aceitação pelos consumidores (Zhang *et al.*, 2022). Esses alimentos não são só produzidos a partir de matérias primas nobres, como também podem ser enriquecidos com resíduos de frutas ou subprodutos que contenham alto teor de polifenóis. Os alimentos fermentados contêm altos níveis de bactérias ácido lácticas que desempenham um papel substancial no desenvolvimento de características organolépticas (Becila *et al.*, 2022). Contribuindo não só para o desenvolvimento de propriedades sensoriais desejáveis no produto final, mas também para sua segurança microbiológica (Dias *et al.*, 2018), como em (Bartkiene *et al.*, 2019) que aumentou a vida de prateleira de pão utilizando a fermentação com bactérias de ácido láctico.

A investigação da fermentação se revela crucial, visto que a interação entre polifenóis e proteínas durante o processo pode tanto inibir a liberação desses compostos, formando complexos indesejáveis com as proteínas, quanto promover benefícios ao catalisar reações que alteram e potencializam suas estruturas e funções bioativas, as quais, sem a fermentação, permaneceriam inexploradas (Tlais *et al.*, 2023). Os polifenóis, além de possuírem atividade antioxidante, têm efeito anticarcinogênico, antiviral, antibacteriano, cardioprotetor e antimutagênica (Bartkiene *et al.*, 2019).

As reações metabólicas no organismo humano são em sua maioria realizadas em meio aeróbio, levando à geração de moléculas reativas ao oxigênio. Estas contribuem para o estresse oxidativo, uma das principais causas de doenças crônicas, como doenças hepáticas, neurodegenerativas e cardiovasculares (Liu *et al.*, 2019). Normalmente o organismo controla esse desequilíbrio de moléculas, aumentando a produção de enzimas que fazem a catálise desses radicais livres. A redução desse estresse pode ser realizada também por vitaminas, minerais, antioxidantes, flavonoides e compostos fenólicos que podem ajudar a preveni-lo. Segundo Wang *et al.* (2013), a semente de uva é rica em compostos fenólicos que possuem esta atuação antioxidante, antifadiga e anti-inflamatória, e tem sido aplicado em tratamentos de doenças com resultados positivos para a prevenção metabólicas e degenerativas.

Nesse sentido, este estudo foi uma revisão que buscou investigar a capacidade de lactobacilos selecionados, através do processo de fermentação, de aumentar as propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias em diversas fontes alimentícias.

2 MATERIAL E MÉTODOS



A pesquisa dos artigos foi feita procurando certos termos no banco de dados da Scopus. Os termos inseridos foram (“POLYPHENOLS” OR “PHENOLIC COMPOUNDS”) AND “PRODUCTION” AND “BACTERIA” AND “ACID LACTIC” no campo “All Fields” e limitando a busca para apenas artigos, resultando em 76 artigos.

O período de busca não foi fixado devido à quantidade de artigos publicados, sendo que na amostragem encontrada os documentos datam desde 2012 até o ano de 2023. Os artigos das buscas do Scopus foram analisados pelo “Abstract” para eliminar artigos em que o conteúdo não se enquadra no objetivo de estudo, sendo que nesta análise foram excluídos 41 documentos, resultando em um total de 35 artigos que foram lidos de forma mais aprofundada.

Os artigos obtidos na busca preliminar foram explorados utilizando a ferramenta “Bibliometrix” do programa RStudio® versão 4.2.3, de forma a sintetizar os conteúdos, e demonstrar as aplicações da produção de polifenóis como uma fonte de base alimentar com propriedades antioxidantes.

3 PROPRIEDADES FUNCIONAIS

Propriedades funcionais são substâncias que estão presentes nos alimentos e que possuem capacidade de promover saúde, prevenir doenças e fornecer nutrientes básicos. As propriedades funcionais variam de acordo com o tipo de alimento, podendo ser, por exemplo, antioxidantes, fibras dietéticas e probióticos. Tais propriedades podem ser mais facilmente disponibilizadas nos alimentos através de processos como a fermentação. Segundo Song *et al.* (2017), a fermentação em estado sólido tradicional (SSF) gera alimentos fermentados com alto valor nutricional e benefícios para a saúde devido ao envolvimento de múltiplos microrganismos e reações bioquímicas.

A inflamação é uma resposta imune natural na qual o sistema imunológico reage a estímulos externos, como patógenos. Atualmente temos uma variedade de esteróides e anti-inflamatórios, como azatioprina e aspirina, usados para tratar essas doenças agudas e crônicas, mas o uso prolongado desses medicamentos tem efeitos adversos na saúde humana (Zheng *et al.*, 2023). Segundo Cerdeira *et al.* (2020), é possível uma interação entre alimentos ricos em antioxidantes e antibióticos sendo suas propriedades de ação modificadas, tendo impacto nos resultados dos tratamentos.

A acidificação com fermentos selecionados melhora a extração de fenóis totais, o que explica a maior atividade antioxidante em massas fermentadas com cepas selecionadas, o uso de bactérias ácido lácticas aumentou também a concentração total de aminoácidos livres, devido a atividade proteolítica do fermento selecionado (Pontonio *et al.*, 2015).

As propriedades funcionais dos alimentos também podem ser obtidas através do uso de resíduos do processamento de alimentos como por exemplo a maçã. Segundo Bartkiene *et al.* (2019), o processamento de frutas como a maçã geram grandes quantidades de resíduos alimentares, os subprodutos desse processamento possuem propriedades antioxidantes potentes devido a presença de compostos fenólicos benéficos. A polpa de maçã possui propriedades funcionais versáteis, como por exemplo o índice de retardo da difusão da glicose, atividade emulsificante, capacidade de retenção de água/óleo e atividade antimicrobiana.

Alimentos funcionais que misturam cepas bacterianas probióticas e extratos naturais são soluções reais devido aos benefícios para a saúde do sistema imunológico, microbiota intestinal e cérebro através da conexão intestino-cérebro (De Giani *et al.*, 2023). Uma alternativa são os polifenóis, que têm sido associados a diversos benefícios para a saúde, como atividade antioxidante, anti-inflamatória e potencial de prevenção de doenças. Segundo Zheng *et al.* (2023), o desenvolvimento de agentes anti-inflamatórios naturais mais potentes e minimamente tóxicos tem recebido atenção crescente. Além disso, compostos fenólicos são conhecidos por possuir capacidade antimicrobiana, o que torna importante entender os efeitos dos polifenóis na microbiota intestinal (Wang *et al.*, 2013).

4 POLIFENÓIS

Os polifenóis são compostos bioativos com propriedades antioxidantes e benefícios potenciais à saúde. Ao estudar o enriquecimento de polifenóis por fermentação, é possível aumentar a concentração desses compostos em alimentos e bebidas, contribuindo para uma maior qualidade nutricional dos produtos.

As frutas são os alimentos de principal fonte de compostos fenólicos e desempenham um papel importante nas propriedades organolépticas e efeitos benéficos à saúde (Liu *et al.*, 2019). Suas propriedades antioxidantes naturais se devem à presença de flavonoides, antocianinas, ácido ascórbico e dos próprios polifenóis (Gao *et al.*, 2022). Além disso, os polifenóis conferem atividades antimicrobianas nessas frutas, protegendo-as de patógenos indesejáveis e beneficiando a saúde humana (Bartkiene *et al.*, 2019).

Em altas concentrações, esses compostos eliminam os radicais livres cancerígenos, reduzem o colesterol e a pressão arterial – fatores de risco para doenças cardiovasculares –, estabilizam as complicações relacionadas ao diabetes, desintoxicam o fígado, fortalecem o sistema imunológico e melhoram a função gastrointestinal (Osiripun, 2021).



Os compostos fenólicos possuem duas formas: livremente solúveis e insolúveis ligados. As substâncias solúveis são a principal forma de compostos presentes em frutas, enquanto a maioria dos compostos fenólicos em cereais são formas insolúveis ligadas, que podem ser liberadas por catálise microbiana durante a fermentação por ação microbiana (Zhao *et al.*, 2018).

Lai *et al.* (2023) descobriu que a fermentação do feijão preto com *Aspergillus awamori* aumenta a quantidade de antocianinas extraíveis. Păcularu-Burada *et al.* (2022), conseguiu obter enriquecimento da composição pós-biótica (ácidos orgânicos, flavonoides e compostos polifenólicos) com propriedades antioxidantes e antifúngicas através de fermentações controladas de farinhas sem glúten com culturas artesanais de grãos de kefir.

A maceração a frio (Cryomaceration) favorece a extração de compostos presentes na parte sólida do fruto (compostos fenólicos, sobretudo compostos de antocianinas) sendo por isso muito utilizada na vinificação antes da fermentação do álcool etílico, utilizada na indústria alimentícia para melhorar a qualidade do vinho: a cor, cheiro e sabor do produto (Tangler *et al.*, 2022).

Espera-se que a demanda por alimentos mais nutritivos e seguros continue crescendo (Zhang *et al.*, 2021), apesar de já ter tido um grande aumento na procura de alimentos mais naturais e saudáveis (Souza *et al.*, 2019). Essa busca por bebidas funcionais prontas está levando a indústria alimentícia a desenvolver produtos novos e alternativos.

A fermentação láctica é uma proposta para reciclar os resíduos alimentares e transformá-los em um produto rico e de valor agregado. Os lactobacilos (BAL) representam um grande portfólio de enzimas que visam uma variedade de precursores bioativos, incluindo compostos fenólicos que geram uma variedade de derivados durante a fermentação de alimentos vegetais. A atividade proteolítica das BAL é outro importante metabolismo que ocorre durante a fermentação dos alimentos, contribuindo para a digestão de proteínas (Tlais *et al.*, 2023).

5 FERMENTAÇÃO

A fermentação é um método antigo de produção de alimentos e preservação na qual o crescimento microbiano é usado para transformar componentes alimentares significativos e menores (Gao *et al.*, 2022). Recentemente, a fermentação por bactérias de ácido láctico vem sendo estudada para agregar, manter e aumentar a atividade polifenólica nos alimentos e suas propriedades antifúngicas e antioxidantes relacionadas melhorando as propriedades organolépticas.

A fermentação pode ser realizada inoculando-se a bactéria diretamente no "suco" do alimento, exemplificada por estudos como o de Chen *et al.* (2023), que avaliou cor e atividade antioxidante em suco de morango fermentado; Zangminan (2023), que investigou a fermentação do suco de cupuaçu; e Zhang *et al.* (2022), que monitorou características do suco de jujuba fermentado. Alternativamente, pode-se aproveitar os lactobacilos naturalmente presentes na matéria-prima, como demonstrado por Riolo *et al.* (2023) na fermentação de drupas de azeitona por bactérias oriundas do azeite, ou por Gao *et al.* (2022), que explorou a fermentação espontânea da amora negra.

A bactéria de ácido láctico produz enzimas esterases, as quais hidrolisam ésteres hidroxicinâmicos e hidroxibenzóicos, aumentando assim a sua biodisponibilidade (Pham *et al.*, 2023), aumentando, portanto, as atividades antioxidantes e antimicrobianas. Outra enzima produzida pelos lactobacilos é a hidrolase β -glucosidase (Chen *et al.* 2023 e Pham *et al.*, 2023). Alguns ácidos hidroxicinâmicos geralmente existem na forma de ésteres e diésteres do ácido tartárico, como ácido cafeoil tartárico, ácido p-cumaroil tartárico e ácido feruloyl tartárico (Chen *et al.* 2023). Muitas bactérias de ácido láctico metabolizam ácidos fenólicos com redutases e/ou descarboxilases (Pham *et al.*, 2023).

Compostos hidroxicinâmicos se encontram no farelo de canola, como estudado em Pham *et al.* (2023), onde verificou que certas bactérias reduziram os ácidos hidroxicinâmicos para derivados de dihidro, 4-vinil e 4-etil. Também é encontrado nas "rowanberries" (Bartkiene *et al.*, 2019) e na maçã (Osiripun, Apisittiwong, 2021), que também tiveram seu conteúdo antimicrobiano maior após a fermentação.

É reportado que bactérias de ácido láctico são capazes de quebrar antocianinas em ácido cafeico, ácido siríngico, ácido gálico, ácido protocatecuico. O ácido cafeico pode passar por reações químicas adicionais, como metoxilação, desidroxilação e extensão ou encurtamento da cadeia de carbono, convertendo-se em uma variedade de ácidos hidroxicinâmicos (ácido vanílico, ácido p-cumárico e seus derivados) ou ácidos aromáticos de cadeia curta (ácido fenilacético, ácido hidroxibenzóico e seus derivados) (Chen *et al.*, 2023). A concentração de produtos de degradação relacionados às antocianinas foi detectada no estudo de Chen *et al.* (2023).

A fermentação pelas bactérias de ácido láctico gera enzimas que hidrolisam certos compostos, quebrando suas ligações éster ou glicosídicas e liberando as agliconas fenólicas, permitindo que as bactérias utilizem esses compostos como fonte de energia ou como substrato para reações metabólicas adicionais. Por consequência, os compostos ficam com uma maior biodisponibilidade após a fermentação.

A Tabela 1 mostra as diferentes matérias primas passíveis de serem usadas na fermentação de ácido láctico e seus resultados. Dos 15 artigos referenciados na Tabela 1 percebe-se que a matéria prima utilizada em cada um deles é diferente



dos outros o que confirma a abrangência da possibilidade de fermentações com ácido láctico. As enzimas liberadas pelos lactobacilos na fermentação conseguem ativar diversos compostos em diversas matrizes, sendo que, nas matérias primas utilizadas nos artigos estudados, a maior parte teve melhora nas propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Alguns estudos focaram na utilização de subprodutos/resíduos, como em Dias *et al.* (2018) que suplementou o suco de uva com bagaço. O bagaço de uva também foi estudado por Filippi *et al.* (2022) para produção de extratos ricos em polifenóis, apesar de não utilizar bactérias de ácido láctico. Um lactobacilo bastante utilizado nos estudos foi o *Lactobacillus plantarum*, aparecendo em seis artigos da Tabela 1, sendo interessante notar que em todos os artigos estudados com esse lactobacilo tiveram efeito positivo no final da fermentação. Outros lactobacilos utilizados foram o *Lactobacillus casei* e o *Lactobacillus rhamnosus*, os quais algumas cepas são utilizadas industrialmente para a produção de ácido láctico (Quitmann *et al.* 2013).

É interessante notar que em alguns dos artigos, como em Liao *et al.* (2016) que fermentou suco de manga, o teor total de polifenóis após a fermentação foi menor que o inicial, mas a atividade antioxidante foi maior. Isso pode se dar porque a fermentação gera metabólitos e libera compostos que normalmente estão crípticos na matriz crua, além de liberar compostos de flavonóides, apesar do conteúdo total de polifenóis permanecer igual ou reduzir (Filannino *et al.*, 2016).

Tabela 1 - Comparação entre matérias-primas e resultados

Artigo	Matéria prima	Cepa da bactéria	Resultados e observações
Piolo et al. 2023	Azeitona	Do próprio azeite	A fermentação produziu ácido láctico, inúmeros ácidos fenólicos e compostos voláteis orgânicos, que conferiram atividade antifúngica
Chen et al. 2023	Suco de morango	<i>Lactobacillus plantarum</i> (BNCC182567) <i>Lactobacillus acidophilus</i> (BNCC185344)	O conteúdo fenólico total foi maior em comparação com o grupo de controle, enquanto que a antocianina e flavonóides reduziu. Aumentou a atividade antifúngica
Zagmignan et al. 2023	Suco de cupuaçu	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> (ATCC 9595)	Ocorreu a biotransformação e aprimoramento de compostos. O suco fermentado teve melhores resultados em reduzir choque séptico em ratos.
Pham et al. 2023	Farelo de canola	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> (TMW 1460)	Aumentou a atividade antimicrobiana dos ácidos fenólicos contra <i>Salmonella</i> e <i>Campylobacter</i>
Zheng et al. 2023	Folha de moringa	<i>Lactobacillus plantarum</i> LA-1	Aumentou a atividade antiinflamatória e o conteúdo de fenóis e flavonóides
Zhang et al. 2022	Suco de jujuba	<i>Lactobacillus plantarum</i> (CICC 20022)	Aumentou o teor total dos polifenóis e flavonóides
Gao et al. 2023	Amora negra	Fermentação espontânea	Aumentou as propriedades antioxidantes devido ao aumento no conteúdo de polifenóis, flavonóides e ácidos orgânicos
Osiripun, 2021	Kombucha de chá preto, chá verde e chá oolong com suco de abacaxi, maçã e	SCOBY local	Todas as bebidas tiveram aumento na atividade antioxidante e nos conteúdos de polifenóis e ácidos orgânicos com o avançar da fermentação.
Bartkiene et al. 2019	Subprodutos de framboesa, groselha, maçã e bagas de sorva	13 cepas	As bactérias de ácido láctico, em sua maioria, tiveram efeitos antimicrobianos na maior parte dos 15 patógenos testados
Filannino et al. 2016	Cladódio de Cactus	13 cepas	A fermentação dos cladódios com diversas bactérias de ácido láctico tiveram efeitos positivos na habilidade de remover radicais livres (provavelmente pelos derivados de flavonóides kaempferol e isorhamnetin), porém a concentração total de fenóis não foi alterada com a fermentação. A fermentação fez a função de preservação do teor de vitamina C e carotenóides.
Dias et al. 2018	Suco de uva suplementado com bagaço	<i>Lactobacillus casei</i> subsp. <i>casei</i> ATCC 393 <i>Lactobacillus casei</i> subsp. <i>rhamnosus</i> ATCC 7469 <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>delbrueckii</i> ATCC 9649	A bebida fermentada com o bagaço de uva apresentou maior estabilidade no armazenamento e uma ação bacteriostática contra patógenos.
Lai et al. 2023	Pão de massa azeda de arroz preto	<i>Levilactobacillus brevis</i> LUC 247	O uso da bactéria ao fazer o pão, melhora a atividade antioxidante e os ingredientes bioativos da farinha
Souza et al. 2020	Farinha de aratuta	Kefir	A fermentação com o kefir reduziu a concentração dos carboidratos e produziu compostos orgânicos e fenólicos. Também foi observado aumento na capacidade antioxidante e no valor nutritivo.
Tlais et al. 2023	Smoothies a base de frutas e soro de leite de ovelha	Diversos lactobacilos derivados do soro de leite	A fermentação aumentou a atividade antioxidante, melhorou a digestibilidade, aumentou os compostos fenólicos com ênfase nas antocianinas, que aumentaram a atividade antioxidante e preservaram as propriedades organolépticas
Liao et al. 2016	Suco de manga	<i>Leuc.mesenteroides</i> MPL18 <i>Leuc.mesenteroides</i> MPL39	O suco de manga fermentado teve uma atividade antioxidante maior. O teor total de polifenóis foi menor no final da fermentação, mas a atividade antioxidante aumentou porque outros compostos fenólicos gerados tem histórico de apresentar efeitos antioxidantes.

6 DESAFIO E PRÓXIMOS PASSOS

Embora as mudanças nas condições de fermentação possam otimizar as diferentes composições de polifenóis, antioxidante e ácido orgânico, potencializando os benefícios das bebidas, aumentando a imunidade para pessoas em todo o mundo (Osiripun, 2021).

Isto é observado nos estudos empregados para verificar a melhora de propriedades, embora todos feitos em escala laboratorial, pouco mencionando a produção desses alimentos de forma em grande escala. Por um lado, isso demonstra que as pessoas poderiam fazer artesanalmente o enriquecimento desses alimentos.

Por outro lado, não conseguirem adquirir esses itens produzidos para consumirem em seu dia a dia, em viagens ou em compromissos, muito potencial da fermentação com bactérias de ácido láctico se perderá.

Além disso, como produto comercial, é difícil de dimensionar os requisitos individuais, devido aos fatores de crescimento que podem afetar o processo de fermentação. As condições ótimas para cultivares, parâmetros de variação, precisam de mais pesquisas (Osiripun, 2021).

Uma das frentes também exploradas pelos autores foi a utilização de recursos renováveis, incluindo a reciclagem de resíduos e subprodutos industriais, como uma alternativa promissora para reduzir o impacto ambiental e os custos. Os



estudos de Martí-Quijal *et al.* (2020) mostram a fermentação como uma ferramenta útil para valorizar os subprodutos de pescado, conferindo-lhes valor econômico acrescentado e reduzindo o seu impacto ambiental.

Com o benefício da fermentação comprovado, resta estudar meios de produção industrial, seja pelos métodos já consolidados ou por formas inovadoras.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo mostrou que a complexa diversidade metabólica de microrganismos pode melhorar as propriedades técnicas e funcionais de produtos fermentados em várias aplicações. Além disso, a fermentação sob condições controladas tem um efeito positivo na redução de fatores antinutricionais, aumentando a biodisponibilidade mineral e a concentração de polifenóis.

A abrangência dos estudos nos mostra que a fermentação de ácido láctico não está encerrada nos tradicionais produtos como queijo e iogurtes, mas estende-se para muito tipos de produtos e subprodutos, mostrando que no futuro poderemos ter muito mais influência da fermentação na produção dos alimentos. E isso vem com a vantagem de a população ter mais acesso aos compostos que trazem os benefícios antioxidantes, anticarcinogênicos e antimicrobianos.

Além dos benefícios à saúde, vemos também o potencial da preservação dos alimentos, pois, por possuírem atividade antimicrobiana mais elevada que a sua matéria prima, gera, por consequência, uma maior vida de prateleira.

5 REFERÊNCIAS

- BARTKIENE, Elena; BARTKEVICS, Vadims; LELE, Vita; PUGAJEVA, Iveta; ZAVISTANAVICIUTE, Paulina; ZADEIKE, Daiva; JUODEIKIENE, Grazina. Application of Antifungal Lactobacilli in Combination with Coatings Based on Apple Processing By-Products as a Bio-Preservative in Wheat Bread Production. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 6, p. 2989-3000, 2019.
- BARTKIENE, Elena; LELE, Vita; SAKIENE, Vytaute; ZAVISTANAVICIUTE, Paulina; RUZAUSKAS, Modestas; BERNATONIENE, Jurga; JAKSTAS, Valdas; VISKELIS, Pranas; ZADEIKE, Daiva; JUODEIKIENE, Grazina. Improvement of the Antimicrobial Activity of Lactic Acid Bacteria in Combination with Berries/Fruits and Dairy Industry By-products. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 8, p. 3992-4002, 2019.
- BÉCILA, Fatima Zohra; BOUASLA, Abdallah; TURCHIULI, Christelle; BOUSSEKINE, Rania; BEKHOCHE, Farida; WÓJTOWICZ, Agnieszka. Biochemical and Microbiological Changes Associated with Fermentation of Durum Wheat for Lemzeïet Processing, a Traditional Algerian Fermented Food. **Processes**, v. 10, n. 11, 2022.
- CERDEIRA, Cláudio Daniel; DA SILVA, Jeferson J.; NETTO, Manoel F. R.; BORIOLLO, Marcelo F. G.; MORAES, Gabriel O. I.; SANTOS, Gérsika B.; DOS REIS, Luis F. C.; BRIGAGÃO, Maísa R. P. L. Talinum paniculatum: a plant with antifungal potential mitigates fluconazole-induced oxidative damage-mediated growth inhibition of Candida albicans. **Revista Colombiana de Ciências Químico-Farmacéuticas**, v. 49, n. 2, 2020.
- CHEN, Wending; XIE, Caiyun; HE, Qianqian; SUN, Jianxia; BAI, Weibin. Improvement in Color Expression and Antioxidant Activity of Strawberry Juice Fermented with Lactic Acid Bacteria: A Phenolic-Based Research. **Food Chemistry**: X, v. 17, 2023.
- DE GIANI, Alessandra; OLDANI, Monica; FORCELLA, Matilde; LASAGNI, Marina; FUSI, Paola; DI GENNARO, Patrizia. Synergistic Antioxidant Effect of Prebiotic Ginseng Berries Extract and Probiotic Strains on Healthy and Tumoral Colorectal Cell Lines. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 1, 2022.
- DIAS, Juliana Furtado; SIMBRAS, Beatriz Duarte; BERES, Carolina; DOS SANTOS, Karina Olbrich; CABRAL, Lourdes Maria Correa; MIGUEL, Marco Antônio Lemos. Acid Lactic Bacteria as a Bio-Preservant for Grape Pomace Beverage. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 2, 2018.
- FILANNINO, Pasquale; CAVOSKI, Ivana; THLIEN, Nadia; VINCENTINI, Olimpia; DE ANGELIS, Maria; SILANO, Marco; GOBBETTI, Marco; DI CAGNO, Raffaella. Lactic Acid Fermentation of Cactus Cladodes (Opuntia Ficus-Indica L.) Generates Flavonoid Derivatives with Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties. **PLOS ONE**, v.11, n.3, 2016
- FILIPPI, Katiana; PAPAPOSTOULOU, Harris; ALEXANDRI, Maria; VLYSIDIS, Anestis; MYRTSI, Eleni D.; LADAKIS, Dimitrios; PATERAKI, Chrysanthi; HAROUTOUNIAN, Serkos A.; KOUTINAS, Apostolis. Integrated Biorefinery Development Using Winery Waste Streams for the Production of Bacterial Cellulose, Succinic Acid and Value-Added Fractions. **Bioresource Technology**, v. 343, 2022.
- GAO, Qingchao; SONG, Yangbo; LIANG, Ying; LI, Yahui; CHANG, Yingjiu; MA, Rong; CAO, Xiaohai; WANG, Shulin. Dynamics of Physicochemical Properties, Functional Compounds and Antioxidant Capacity during Spontaneous Fermentation of Lycium Ruthenicum Murr. (Qinghai-Tibet Plateau) Natural Vinegar. **Foods**, v. 11, n. 9, 2022.



- LAI, Syue-Fong; CHEN, Yi-Wen; LEE, Shin-Mei; HUANG, Hsin-Yu; HUANG, Yu-Hsin; LU, Ying-Chen; CHEN, Chih-Wei. Development and Optimization of Black Rice (*Oryza Sativa* L.) Sourdough Fermented by *Levilactobacillus Brevis* LUC 247 for Physicochemical Characteristics and Antioxidant Capacity. **Foods**, v. 12, n. 7, 2023.
- LIAO, Xue-Yi; GUO, Li-Qiong; YE, Zhi-Wei; QIU, Ling-Yan; GU, Feng-Wei; LIN, Jun-Fang. Use of Autochthonous Lactic Acid Bacteria Starters to Ferment Mango Juice for Promoting Its Probiotic Roles. **Preparative Biochemistry & Biotechnology**, v. 46, n. 4, p. 399-405, 2016.
- LIU, Qing; TANG, Guo-Yi; ZHAO, Cai-Ning; GAN, Ren-You; LI, Hua-Bin. Antioxidant Activities, Phenolic Profiles, and Organic Acid Contents of Fruit Vinegars. **Antioxidants**, v. 8, n. 4, art. 78, 2019.
- MARTI-QUIJAL, Francisco J.; TORNOS, Adrián; PRÍNCEP, Andrea; LUZ, Carlos; MECA, Giuseppe; TEDESCHI, Paola; RUIZ, María-José; BARBA, Francisco J. Impact of Fermentation on the Recovery of Antioxidant Bioactive Compounds from Sea Bass Byproducts. **Antioxidants**, v. 9, n. 3, art. 239, 2020.
- PĂCULARU-BURADA, Bogdan; CEOROMILA, Alina-Mihaela (CANTARAGIU); VASILE, Mihaela Aida; BAH RIM, Gabriela-Elena. Novel Insights into Different Kefir Grains Usefulness as Valuable Multiple Starter Cultures to Achieve Bioactive Gluten-Free Sourdoughs. **LWT**, v. 165, 2022.
- PHAM, Vi D.; KORVER, Douglas R.; GÄNZLE, Michael G. Conversion of Phenolic Acids in Canola Fermentation: Impact on Antimicrobial Activity against *Salmonella* Enterica and *Campylobacter* Jejuni. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, n. 4, p. 2059-2069, 2023.
- PONTONIO, Erica; NIONELLI, Luana; CURIEL, José Antonio; SADEGHI, Alireza; DI CAGNO, Raffaella; GOBBETTI, Marco; RIZZELLO, Carlo Giuseppe. Iranian Wheat Flours from Rural and Industrial Mills: Exploitation of the Chemical and Technology Features, and Selection of Autochthonous Sourdough Starters for Making Breads. **Food Microbiology**, v. 47, 2015.
- QUITMANN, Hendrich; FAN, Rong; CZERMAK, Peter. Acidic Organic Compounds in Beverage, Food, and Feed Production. **Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology**, v. 143, p. 91-141, 2013.
- RIOLO, Mario; LUZ, Carlos; SANTILLI, Elena; MECA, Giuseppe; CACCIOLA, Santa Olga. Antifungal Activity of Selected Lactic Acid Bacteria from Olive Drupes. **Food Bioscience**, v. 52, 2023.
- SONG, Zhewei; DU, Hai; ZHANG, Yan; XU, Yan. Unraveling Core Functional Microbiota in Traditional Solid-State Fermentation High-Throughput Amplicons and Metatranscriptomics Sequencing. **Frontiers Microbiology**, v.8, 2017.
- SOUZA, Victor Gomes Lauriano; RODRIGUES, Carolina; FERREIRA, Luana; PIRES, João Ricardo Afonso; DUARTE, Maria Paula; COELHO, Isabel; FERNANDO, Ana Luisa. In Vitro Bioactivity of Novel Chitosan Bionanocomposites Incorporated with Different Essential Oils. **Industrial Crops and Products**, v. 140, 2019.
- TANGULER, Hasan; SENER, Selin. Production of Naturally Flavoured and Carbonated Beverages Using *Williopsis* Saturnus Yeast and Cold Fermentation Process. **Food Bioscience**, v. 48, 2022.
- TLAIS, Ali Zein Alabiden; TROSSOLO, Elisabetta; TONINI, Stefano; FILANNINO, Pasquale; GOBBETTI, Marco; DI CAGNO, Raffaella. Fermented Whey Ewe's Milk-Based Fruit Smoothies: Bio-Recycling and Enrichment of Phenolic Compounds and Improvement of Protein Digestibility and Antioxidant Activity. **Antioxidants**, v. 12, n. 5, 2023.
- OSIRIPUN, Vanida. Polyphenol and antioxidant activities of Kombucha fermented from different teas and fruit juices. **Journal of Current Science and Technology**, v. 11, 2021.
- WANG, Dongjie; WILLIAMS, Barbara A; FERRUZZI, Mario G; D'ARCY, Bruce R. Different Concentrations of Grape Seed Extract Affect in Vitro Starch Fermentation by Porcine Small and Large Intestinal Inocula: Grape Seed Extract Affect in Vitro Starch Fermentation by Porcine Intestinal Microbiota. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 2, p. 276-283, 2013.
- WANG, Xueshan; DU, Hai; ZHANG, Yan; XU, Yan. Environmental Microbiota Drives Microbial Succession and Metabolic Profiles during Chinese Liquor Fermentation. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 84, n. 4, 2018.
- ZHANG, Lihua; ZHA, Mengmeng; LI, Shunfeng; ZONG, Wei. Changes on Some Quality Characteristics of Jujube Juice with Enzymatic Hydrolysis Prior to *Lactobacillus Plantarum* Fermentation. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 16, n. 4, p. 3196-3207, 2022.
- ZHANG, Liya; SAID, Laila Ben; DIARRA, Moussa Sory; FLISS, Ismail. Inhibitory Activity of Natural Synergetic Antimicrobial Consortia Against *Salmonella enterica* Broiler Chicken Carcasses. **Frontiers Microbiology**, v.12, 2021.
- ZHAO, Chaoya; XIA, Ting; DU, Peng; DUAN, Wenhui; ZHANG, Bo; ZHANG, Jin; ZHU, Shenghu; ZHENG, Yu; WANG, Min; YU, Yongjian. Chemical Composition and Antioxidant Characteristic of Traditional and Industrial Zhenjiang Aromatic Vinegars during the Aging Process. **Molecules**, v. 23, n. 11, 2018.
- ZHENG, Long; LU, Xuli; YANG, Shengtao; ZOU, Ying; ZENG, Fanke; XIONG, Shaohao; CAO, Yupu; ZHOU, Wei. The anti-inflammatory activity of GABA-enriched *Moringa oleifera* leaves produced by fermentation with *Lactobacillus plantarum* LK-1. **Frontiers in Nutrition**, v. 10, 2023.



Área: Bioprocessos

**AVALIAÇÃO DO pH DE IMOBILIZAÇÃO DA ENZIMA
β-GALACTOSIDASE EM SUPORTE DE SÍLICA E QUITOSANA COM
ADIÇÃO DE GLUTARALDEÍDO**

Giovana Marchezi*, Brenda Isadora Soares Damin, Janaína Fischer, Aline Dettmer, Jeferson Steffanello Piccin

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: 173887@upf.br*

RESUMO – O presente trabalho teve como objetivo avaliar o pH de imobilização da enzima β-galactosidase em suportes de sílica e quitosana, reticulados com glutaraldeído. Os materiais foram produzidos com diferentes razões estequiométricas de agente reticulante, denominados como xerogéis, sendo eles, XE 1:0, XE 1:1 e XE 1:2. Esses, foram caracterizados frente as cargas nas superfícies dos materiais, através do pH_{pcz} . A enzima β-galactosidase foi imobilizada nos xerogéis em diferentes valores de pH e os resultados avaliados foram a eficiência de imobilização e o índice de inativação da enzima. Sendo assim, para os materiais XE 1:0, XE 1:1 e XE 1:2, o valor do pH_{pcz} ficou próximo ao pH 6,0. A enzima imobilizada no material XE 1:0 apresentou pH ideal no valor de 6,0, com 41% de eficiência de imobilização enquanto para os materiais XE 1:1 e XE 1:2 o valor ideal de pH foi de 6,8, com eficiências de imobilização de 23% e 17%, respectivamente.

Palavras-chave: adsorção, biocatalisador, biopolímero, ligações cruzadas.

1 INTRODUÇÃO

A enzima β-galactosidase é utilizada na hidrólise da lactose para a produção de alimentos adequados à alimentação de pessoas intolerantes a este açúcar. Estima-se que aproximadamente 75% das pessoas apresentam alguma diminuição da enzima β-galactosidase na idade adulta (De Freitas *et al.*, 2020). As enzimas imobilizadas podem ser utilizadas na indústria de laticínios como alternativa devido às vantagens sobre as enzimas em sua forma livre (Xavier; Ramana; Sharma, 2018). Através da imobilização da enzima β-galactosidase, o processo pode ser realizado continuamente, além de reduzir os efeitos de inibição pelo substrato e produto, conferir maior estabilidade operacional, possibilitar a reutilização da enzima e garantir a ausência deste biocatalisador no produto final (Xavier; Ramana; Sharma, 2018; Guidini *et al.*, 2010). O pH é um dos parâmetros de maior importância no processo de imobilização de enzimas, pois a concentração de hidrogênio no meio pode afetar a estrutura da enzima e o grau de ionização de substratos e produtos (Xavier; Ramana; Sharma, 2018). Além disso, o pH também pode influenciar a estabilidade do suporte e a interação entre a enzima e o material de imobilização.

A quitosana, um resíduo pesqueiro obtido da casca de camarão, destaca-se entre os materiais alternativos utilizados como suportes para imobilização de enzimas através da adsorção (Mendes *et al.*, 2011). Além disso, a utilização da técnica sol-gel com precursores de sílica para síntese de suportes, permite a produção de materiais com várias composições estruturais, alto grau de pureza e elevada homogeneidade (Braga *et al.*, 2014). Assim, a adsorção física promove pouca perturbação sobre a estrutura da enzima. Porém, apresenta desvantagens como a dessorção da enzima durante sua utilização (Jesionowski; Zdarta; Krajewska, 2014). A aplicação de um agente como o glutaraldeído, para criação de ligações cruzadas adicionais, tem o intuito de aumentar a estabilidade da enzima sobre o suporte e diminuir a dessorção durante o processo (Letca *et al.*, 2004). Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito do pH frente a eficiência de imobilização e índice de inativação da enzima β-galactosidase em suportes com sílica e quitosana com adição de glutaraldeído.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Síntese do suporte



A quitosana foi derivada de cascas de camarão utilizando o método descrito por Weska *et al.* (2007) e adaptado por Moura *et al.* (2015). O processo envolveu as etapas de desmineralização, desproteínização, desodorização, secagem da quitina, desacetilação da quitina e purificação da quitosana. O grau de desacetilação obtido foi de 80%.

Os suportes com sílica e quitosana foram obtidos através da técnica sol-gel de acordo com a patente de invenção nº BR1020210031360 (Machado *et al.*, 2021). Resumidamente, 10 mL do precursor de sílica tetraetoxissilano (TEOS) foram misturados com 12 mL de álcool etílico e 1 mL de solução de HCl 0,05 mol/L, mantida sob agitação de 150 rpm durante 2 h a 35 °C. Essa etapa é considerada como pré-hidrólise do TEOS. Em paralelo, foi preparada 100 mL de uma solução aquosa contendo 1% de quitosana (m/v) em ácido acético 2% (m/v) e mantida sob agitação até a completa solubilização da quitosana. Em seguida, essas duas soluções foram misturadas a temperatura ambiente sob agitação de 100 rpm por 1 h, completando a hidrólise da solução.

Em seguida, a solução de glutaraldeído 25% foi adicionada sob constante agitação mecânica por 1 h, conforme volumes apresentados na Tabela 1. As proporções de glutaraldeído foram baseadas nos estudos de Machado *et al.* (2022) compreendendo razões estequiométricas de 1:0 a 1:2 unidades de D-glucosamina de quitosana por molécula de glutaraldeído.

Tabela 1 - Volume de glutaraldeído 25% para produção dos suportes

Amostra	Proporção (unidades de D-glucosamina:glutaraldeído)	Volume de glutaraldeído para 1 g de quitosana (mL)
XE 1:0	1:0	0,00
XE 1:1	1:1	1,92
XE 1:2	1:2	3,84

Legenda: XE: Xerogel.

Para a policondensação da sílica, foi utilizada uma razão volumétrica de 1:5 (para 10 mL de TEOS na solução de pré-hidrólise), sendo que a mistura obtida na etapa anterior foi adicionada a 12,21 mL de hidróxido de amônio e 73,20 mL de álcool etílico e mantidas sob agitação mecânica por 5 min. Posteriormente, o suporte foi envelhecido em estufa a 35°C. Após as primeiras 24 h de envelhecimento, o excesso de solução foi removido do sistema para acelerar a secagem. A completa secagem ocorreu em torno de 5 dias.

Em seguida a completa secagem, o suporte foi lavado em um extrator Soxhlet com acetona por 2 h, para extração dos resíduos de síntese, adaptado de Shan *et al.* (2019). Depois disso, o material foi mantido em dessecador a vácuo, a temperatura ambiente, até completa secagem (entre 2 ou 3 dias).

2.2 Caracterização dos suportes desenvolvidos

Os materiais desenvolvidos foram caracterizados quanto à química superficial através da análise de Ponto de Carga Zero (pH_{pzc}). Para determinação do pH_{pzc} dos materiais foi utilizada a metodologia proposta por Newcombe, Hayes e Drikas (1993), com adaptações. Inicialmente, 25 mg dos materiais foram adicionados em 25 mL de solução de NaCl 0,05 mol/L com valores de pH variando de 2,0 a 10,0, sendo ajustados com NaOH e HCl 0,1 mol/L. Em seguida, a mistura foi mantida a 25°C sob agitação de 100 rpm. Depois de 24 horas de experimento, o valor do pH final foi medido, sendo que o pH_{pzc} corresponde ao valor em que não houve alteração no pH inicial.

2.3 Imobilização da enzima β -galactosidase e avaliação do pH

A imobilização da enzima β -galactosidase foi realizada utilizando o método proposto por Guidini *et al.* (2010), com adaptações. Foram adicionados 10 mL de solução enzimática com concentração de 5 mL/L em tampão fosfato de potássio 0,1 mol/L em 0,5 g de suporte, sendo incubados a 25 °C durante 1 hora sob agitação de 50 rpm. Os valores de pH da solução de fosfato de potássio foram variados em 4,0, 5,0, 6,0, 6,8, 7,0 e 8,0. Após o processo de imobilização, o suporte foi separado da solução residual e lavado com 30 mL da solução tampão de pH analisado.

Após o processo de imobilização, a atividade enzimática foi determinada a partir da reação de hidrólise da lactose em glicose, sendo que foram realizadas para a enzima imobilizada, solução residual, solução de lavagem e enzima livre. As reações de hidrólise da lactose por β -galactosidase foram realizadas em reatores com um volume de 100 mL de solução de lactose 50 g/L, na temperatura de $37 \pm 1^\circ\text{C}$. Após 30 minutos de reação, as amostras foram retiradas do meio reacional e foram colocadas imediatamente em um banho de água em ebulição para inativar a enzima. Em seguida, os tubos de ensaio foram resfriados até a temperatura ambiente.



A glicose formada foi determinada pelo método glicose-oxidase (Raba; Mottola, 1995). A concentração de glicose foi determinada por espectrofotometria a 505 nm, conforme a curva padrão ($[Glicose] = 3.5024 \cdot \text{absorbância}$, $R^2 > 0,99$). Para todos os ensaios foi determinado o índice de inativação e a eficiência de imobilização conforme a Equação 1 e Equação 2, respectivamente.

$$II = \frac{A_{EL} - (A_{EI} + A_{SR} + A_{SL})}{A_{EL}} \quad (1)$$

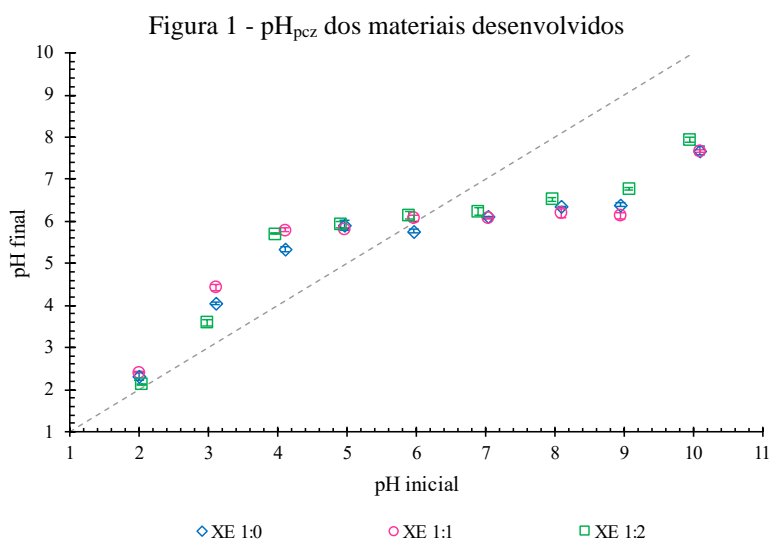
$$EI = \frac{A_{EI}}{A_{EL}} \quad (2)$$

sendo, II o índice de inativação (%), A_{EL} a atividade residual da enzima livre (%), A_{EI} a atividade residual da enzima imobilizada (%), A_{SR} a atividade residual da solução residual (%), A_{SL} a atividade residual da solução de lavagem (%) e EI a eficiência de imobilização (%).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos suportes desenvolvidos

A influência do pH sobre o material está relacionada com sua carga superficial. O ponto de carga zero (pH_{pcz}) é o valor no qual os componentes da carga superficial tornam-se iguais a zero sob determinadas condições de temperatura e pressão em relação a composição da solução aquosa (Bakatula *et al.*, 2018). Assim, os valores de pH_{pcz} podem ajudar na otimização do processo de adsorção e no entendimento dos mecanismos envolvidos no processo de imobilização da enzima. A Figura 1 apresenta o pH_{pcz} dos materiais XE 1:0, XE 1:1 e XE 1:2.



Sabe-se que a superfície do composto estará carregada negativamente em pH acima de pH_{pcz} e positivamente carregada em pH abaixo de pH_{pcz} . Através da Figura 1, pode-se perceber que para os materiais XE 1:0, XE 1:1 e XE 1:2, o valor de pH_{pcz} ficou próximo ao pH 6,0 para todos os materiais estudados. Assim, em valores abaixo do pH_{pcz} , a superfície estará carregada positivamente e os grupos NH_2 da quitosana estarão protonados, além da reatividade do grupo $C=O$ do glutaraldeído ser aumentada por protonação (Machado *et al.*, 2022). Já, em valores de pH acima do pH_{pcz} , sua superfície torna-se carregada negativamente, de modo que repele as espécies aniônicas e ocasiona um aumento da força nucleofílica do grupamento $C=O$ do aldeído (Neto *et al.*, 2013).

3.2 Avaliação do pH de imobilização da enzima β -galactosidase

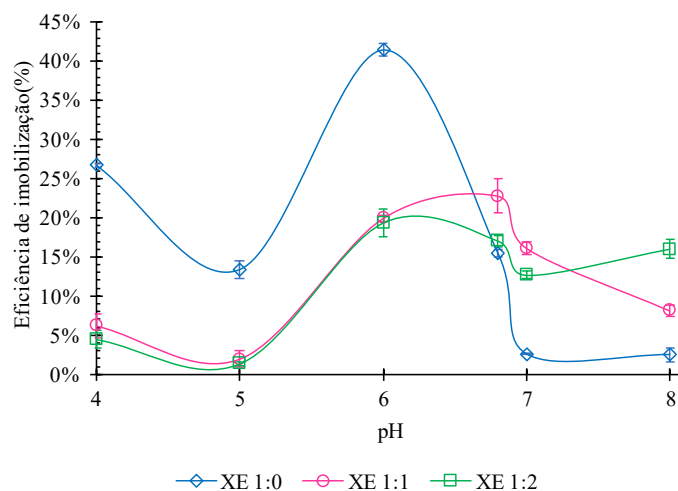


Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

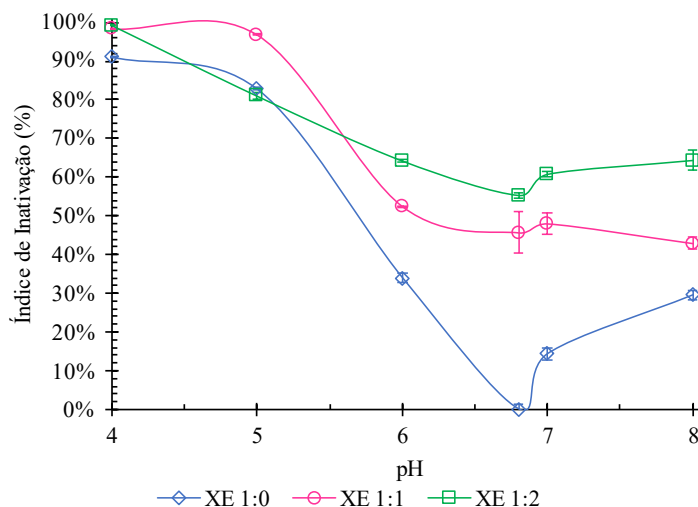
Dado os efeitos causados pela mudança no pH, o valor ideal para o processo de imobilização é aquele que resulta na maior capacidade de conversão de glicose pela enzima β -galactosidase, juntamente com a avaliação da eficiência da imobilização (Damin *et al.*, 2021). A Figura 2 apresenta a eficiência de imobilização e o índice de inativação da enzima β -galactosidase com relação a variação do pH para os materiais XE 1:0, XE 1:1 e XE 1:2.

Figura 2 - Efeito do pH no processo de imobilização da enzima β -galactosidase nos xerogéis desenvolvidos, com relação a: a) Eficiência de imobilização e b) Índice de inativação

a)



b)



Através da Figura 2 (a), pode-se observar que em pH 4,0, a eficiência de imobilização da enzima foi superior em comparação com o pH 5,0, para todos os materiais. Esse comportamento, pode ser devido a quitosana apresentar grupos protonados em pH ácido (entre 3,0 e 4,0), que favorecem o processo de adsorção (Machado *et al.*, 2022).

Para o material XE 1:0, com o aumento de pH para 7 e 8, a eficiência de imobilização diminuiu até 3%. Por outro lado, em pH 6,0, a eficiência de imobilização foi satisfatória, sendo de 41%. O índice de inativação da enzima para esse material, apresentado na Figura 2 (b), foi menor em pH 6,0, 6,8 e 7, sendo de 34%, 0% e 14%, respectivamente. O material XE 1:1, apresentou máxima eficiência de imobilização da enzima de 23% em pH 6,8. O índice de inativação enzimática foi de 46%, sendo próximo aos valores obtidos em pH 7,0 e 8,0. Para o material XE 1:2, a eficiência de imobilização da enzima apresentou seu valor máximo em pH 6,0, porém analisando os dados de conversão de glicose na reação de hidrólise da lactose, o pH 6,8 foi selecionado como ótimo, uma vez que a quantidade de gramas de glicose foi superior. Essa diferença pode ocorrer devido a eficiência de imobilização considerar o valor da enzima livre. Então, quando a enzima em sua forma livre apresentar maior conversão de glicose em determinado valor de pH, a eficiência de



imobilização será menor, mesmo com maior conversão de glicose pela enzima imobilizada. Assim, a eficiência de imobilização foi de 17% em pH 6,8, e o índice de inativação da enzima de 55%, sendo o menor em comparação com os outros valores de pH.

Além disso, pode-se observar através da Figura 2 (b), que para todos os materiais, o índice de inativação foi menor em pH 6,8, isso pode ter ocorrido devido a enzima em sua forma livre apresentar maior atividade nesse valor de pH (Guidini *et al.*, 2010). Assim, como o índice de inativação da enzima considera atividade residual das soluções de lavagem e residual, o valor de pH 6,8 apresentou menor índice de inativação em comparação com os outros valores de pH analisados.

Através da análise do comportamento do grau de reticulação dos materiais frente ao pH da solução, pode-se perceber que quanto maior o grau de reticulação, menor tende a ser a eficiência de imobilização da enzima. Resultados similares foram obtidos no estudo de Vieira (2009), em que foi verificada a influência do pH e da concentração de glutaraldeído na imobilização da enzima β -galactosidase em suportes orgânicos de quitosana e agarose, sendo que nas maiores concentrações de glutaraldeído o rendimento de imobilização da enzima foi inferior em comparação com as menores concentrações do agente reticulante, nos valores de pH estudados. Além disso, através dos dados apresentados na Figura 2 (b), em geral, os materiais com maior quantidade de glutaraldeído em sua formulação apresentam maior índice de inativação da enzima. Também, pode-se perceber que o material XE 1:0 foi o único que apresentou índice de inativação nulo, esse sendo observado em pH 6,8. Assim, sabe-se que o glutaraldeído é utilizado na imobilização de enzimas para formação de ligações cruzadas adicionais, aumentando a estabilidade da enzima e diminuindo a dessorção durante o processo. Porém, a reação da enzima com o agente reticulante pode promover reações colaterais indesejáveis acarretando em distorção do centro ativo e inativação da enzima (Letca *et al.*, 2004).

Em suma, os valores de pH ideais para o processo de imobilização da enzima β -galactosidase foram de 6,0 para o XE 1:0 e de 6,8 para o XE 1:1 e XE 1:2. Assim, através do pH da solução enzimática e do pH_{pcz} da superfície do material, pode-se determinar a carga da superfície da enzima (Liu *et al.*, 2021). Como já mencionado anteriormente no item 3.1, o valor de pH_{pcz} para todos os materiais foi de 6,0. Dessa forma, pode-se dizer que a superfície do material está carregada negativamente na condição ideal de imobilização de enzima e, conseqüentemente, a superfície da enzima está carregada positivamente.

4 CONCLUSÃO

A caracterização dos materiais, assim como a avaliação do pH de imobilização da enzima, permitiram compreender mecanismos envolvidos no processo de imobilização. Além de evidenciar que o aumento da quantidade de glutaraldeído na composição do material causou um aumento no índice de inativação da enzima β -galactosidase. Dessa forma, os valores de pH ideais para o processo de imobilização da enzima β -galactosidase foram de 6,0 para o XE 1:0 e de 6,8 para o XE 1:1 e XE 1:2.

5 AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Código de Financiamento 001), pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do RS (Edital FAPREGS 07/2021 – Programa Pesquisador Gaúcho - PqG, 21/2551-0002165-9) e pela Universidade de Passo Fundo (UPF).

6 REFERÊNCIAS

BAKATULA, E.N.; RICHARD, D.; NECULITA, C. M.; ZAGURY, G. J. Determination of point of zero charge of natural organic materials. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 7823-7833, 2018.

BRAGA, A. N. S.; DUARTE-NETO, J. F.; MENEZES, R. R.; LIRA, H. L.; NEVES, G. A. Síntese de mulita pelo processo sol-gel: Uma revisão da literatura. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 9, n. 2, p. 60-73, 2014.

DAMIN, B. I. S.; KOVALSKI, F. C.; FISCHER, J.; PICCIN, J. S.; DETTMER, A. Challenges and perspectives of the β -galactosidase enzyme. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 105, n. 13, p. 5281-5298, 2021.

DE FREITAS, M. F. M.; HORTÊNCIO, L. C.; ALBUQUERQUE, T. L.; ROCHA, M. V. P.; GONÇALVES, L. R. B. Simultaneous hydrolysis of cheese whey and lactulose production catalyzed by β -galactosidase from *Kluyveromyces lactis* NRRL Y1564. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 43, p. 711-722, 2020.



GUIDINI, C. Z.; FISCHER, J.; SANTANA, L. N. S.; CARDOSO, V. L.; RIBEIRO, E. J. Immobilization of *Aspergillus oryzae* β -galactosidase in ion exchange resins by combined ionic-binding method and cross-linking. **Biochemical Engineering Journal**, v. 52, p. 137-143, 2010.

JESIONOWSKI, T.; ZDARTA, J.; KRAJEWSKA, B. Enzyme immobilization by adsorption: a review. **Adsorption**, v. 20, p. 801-821, 2014.

LETCA, D.; HEMMERLING, C.; WALTER, M.; WULLBRANDT, D.; BUCHHOLZ, K. Immobilization of Recombinant Inulase II from a Genetically Modified *Escherichia coli* Strain. **Roumanian Society of Biological Sciences**, v. 9, p. 1879-1886, 2004.

LIU, S.; BILAL, M.; RIZWAM, K.; GUL, I.; RASHEED, T.; IQBAL, H. M. N. Smart chemistry of enzyme immobilization using various support matrices - A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 190, p. 396-408, 2021.

MACHADO, T. S.; CRESTANI, L.; MARCHEZI, G.; MELARA, F.; MELLO, J. R.; DOTTO, G. L.; PICCIN, J. S. Synthesis of glutaraldehyde-modified silica/chitosan composites for the removal of water-soluble diclofenac sodium. **Carbohydrate Polymers**, p. 118868, 2022.

MACHADO, T. S.; MELLO, J. R.; PICCIN, J. S. **Método de produção de compósitos adsorventes à base de sílica e quitosana com glutaraldeído e aplicação do mesmo**. Depositante: Fundação Universidade de Passo Fundo. BR nº 10 2021 003136 0. Depósito: 19 fev. 2021.

MENDES, A. A.; OLIVEIRA, P. C.; CASTRO, H. F.; GIORDANO R. L. C. Application of chitosan as support for immobilization of enzymes of industrial interest. **Química Nova**, v. 34, p. 831-840, 2011.

MOURA, J. M.; FARIAS, B. S.; RODRIGUES, D. A. S.; MOURA, C. M.; DOTTO, G. L.; PINTO, L. A. A. Preparation of Chitosan with Different Characteristics and Its Application for Biofilms Production. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 23, p. 470-477, 2015.

NETO, J. O. M.; BELLATO, C. R.; MILAGRES, J. L.; PESSOA K. D.; ALVARENGA, E. S. Preparation and evaluation of chitosan beads immobilized with Iron (III) for the removal of As (III) and As (V) from water. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 24, p. 121-132, 2013

NEWCOMBE, G.; HAYES, R.; DRIKAS, M. Granular activated carbon: importance of surface properties in the adsorption of naturally occurring organics. **Colloids and Surfaces**, v. 74, p. 275-286, 1993.

RABA, J.; MOTTOLA, H.A. Glucose Oxidase as an Analytical Reagent. **Critical reviews in Analytical chemistry**, v. 25, n. 1, p. 1-42, 1995.

SHAN, W.; ZHANG, D.; WANG, X.; WANG D. XING Z.; XIONG Y.; FAN, Y.; YANG, Y. One-pot synthesis of mesoporous chitosan-silica composite from sodium silicate for application in Rhenium (VII) adsorption. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 278, p. 44-53, 2019.

VIEIRA, C. D. **Imobilização da enzima β -galactosidase de *Kluyveromyces fragilis* em agarose e quitosana utilizando diferentes protocolos de ativação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

WESKA, R. F.; MOURA, J. M.; BATISTA, L. M.; RIZZI, J.; PINTO, L. A. A. Optimization of deacetylation in the production of chitosan from shrimp wastes: Use of response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 749-753, 2007.

XAVIER, J. R.; RAMANA, K. V.; SHARMA R. K. β -Galactosidase: Biotechnological applications in food processing. **Journal of Food Biochemistry**, v. 42, 2018.



Área: Bioprocessos

EXTRACTION OF NATURAL DYE FROM GUABIROBA POMACE

Samarah Graciola^{a*}, Lára Franco dos Santos^b, Daniela Raber Wohlmuth^a, Aline Dettmer^a

^a *Institute of Technology, University of Passo Fundo, Brazil.*

^b *School of Agricultural Sciences, Innovation and Business, University of Passo Fundo, Brazil.*

*E-mail: 178902@upf.br

ABSTRACT – The reutilization of agroindustrial by-products stems from their inherent functional properties, necessitating a thorough exploration of the extraction and enhancement processes for their bioactive substances. Therefore, the primary aim of this investigation was to scrutinize the extraction of natural dye from guabiroba pomace, emphasizing its functional attributes. The extraction procedure employed an ultrasonic bath, with the study evaluating the impact of varying time durations (10, 30, 60, 90, and 120 minutes) and concentrations (50%, 80%, and 95%) of different solvents (acetone, ethanol, and water) on the extraction efficiency from guabiroba pomace. Quantification was conducted for total phenolic compounds, antioxidant activity. Results revealed that ethanol and acetone exhibited superior efficacy in extracting phenolic compounds, with ethanol particularly. Furthermore, time emerged as a critical variable influencing the extraction of bioactive compounds, as prolonged durations correlated positively with increased antioxidant activity quantification. The guabiroba extract, characterized by its richness in carotenoids, holds promise as a natural dye source. However, it is imperative to acknowledge the necessity for additional analyses to complement this study's findings.

Keywords: Antioxidant activity; Carotenoids; Polyphenols.

1 INTRODUCTION

The handling and processing of fruits and vegetables generate significant agricultural by-products, comprising cake, pomace, peels, seeds, leaves, discarded fruits, and stones. These by-products pose a substantial waste disposal challenge for the industry. However, embracing an integrated approach to utilize food waste represents a progressive direction toward resource conservation (Umair *et al.*, 2021).

Employing waste in production processes as secondary raw materials enables their transformation into novel products. Consequently, a paramount focus for the advancement of green chemical technologies is the exploration and production of organic compounds, such as plant extracts, from waste plant raw materials. Furthermore, research endeavors are directed towards comprehensively studying the component composition and physicochemical properties of the obtained extracts (Ojeda *et al.*, 2023)

The burgeoning interest in natural dyes stems from a heightened recognition of the environmental and health repercussions linked to the synthesis, processing, and utilization of synthetic dyes. Over the past decade, the utilization of natural dyes has surged, driven by escalating demand across various industries including food (Granados-Balbuena *et al.*, 2024), pharmaceuticals (Lou *et al.*, 2023; Sahiner, Sunol e Sahiner, 2024), cosmetics (Kovalenko, 2022), and textiles (Baaka *et al.*, 2017; Rahman, Koh e Hong, 2023).

Natural dyes are derived from either animal or vegetable sources (Kushwaha, Singh e Chaudhary, 2023). They contain bioactive compounds within their composition, which exhibit various functional properties including antioxidants, anti-inflammatory, and antibacterial effects (Kushwaha, Singh e Chaudhary, 2023). The extraction process of natural dyes holds significant importance, particularly when employing solvents and various techniques to obtain them (Kushwaha, Singh e Chaudhary, 2023; Sharma e Bhat, 2021).

One of the primary goals of an extraction process is to optimize the yield of the desired component while preserving its properties and minimizing the extraction of unwanted compounds (Barciela, Perez-Vazquez e Prieto, 2023; Lefebvre, Destandau e Lesellier, 2021). Extracting natural compounds from fruit pomace is particularly challenging due to the co-extraction of undesired by-products, oils, and waxes from the matrices (Nunes *et al.*, 2016). Utilizing ultrasound for extraction of unstable and thermolabile constituents has been demonstrated as the most effective alternative among various extraction techniques (Allameh e Orsat, 2024; Devi, Das e Badwaik, 2024; Viell *et al.*, 2020).

The extraction of components and compounds from alternative sources, such as agro-industrial waste, serves multiple purposes including environmental protection and fostering competition among industries to adopt more ecological, economical, and innovative practices (Huamán-Castilla *et al.*, 2023). In line with these objectives, the aim of this study was to explore the extraction of natural dye from guabiroba pomace, highlighting its functional properties.



2 METHODOLOGIES

2.1 Guabiroba pulping

The residue from guabiroba pulping, comprising peels, seeds, and pulp residues (referred to as bagasse), was sourced from two establishments: Encontro de Sabores, an agribusiness located in Sananduva, RS, and CETAP (Center for Popular Alternative Technologies) in Passo Fundo, RS. The guabiroba bagasse underwent drying in an oven at 40 ± 2 °C for a duration of 24 hours, after which it was vacuum-packaged and stored at 4 ± 2 °C.

2.2 Production of Guabiroba Pomace Extract

The extraction process was conducted using an ultrasonic bath (Model 5.9/40^a, Ultronique, Brazil) operating at a frequency of 40 kHz and a temperature of 30 °C. Initially, an investigation was carried out to assess the impact of extraction time (10, 30, 60, 90, and 120 minutes) and solvent type (acetone, ethanol, and water) on the extraction of guabiroba pomace. Acetone and ethanol solvents were evaluated at concentrations of 50%, 80%, and 95%, with a solvent-to-water ratio (v/v) of 20% and a bagasse-to-solvent ratio (m/m) of 20%. Subsequently, the resulting extracts underwent filtration and centrifugation (Model 22331, Hamburg, USA) at 3640 rpm for 15 minutes at a temperature of 24°C.

2.3 Total Phenolic Compounds

The quantification of total phenolic compounds in the extracts was determined using spectrophotometry, following the method outlined by Correia et al. (2004), with modifications as proposed by Sousa e Correia (2012). Gallic acid was utilized as the standard curve, and the results were expressed in mg/mL. All analyses were conducted in triplicate to ensure accuracy and reliability.

2.4 Antioxidant Activity

The total antioxidant activity was determined using the ABTS method (2,2-azinobis(3-ethylbenzothiazolin)-6-sulfonic acid), as described by Re et al. (1999), which involves capturing the ABTS⁺ free radical. Trolox was utilized to generate the standard curve, and the results were expressed in $\mu\text{mol/L}$ of Trolox equivalents. All analyses were conducted in triplicate to ensure precision and reproducibility.

2.5 Statistical Analysis

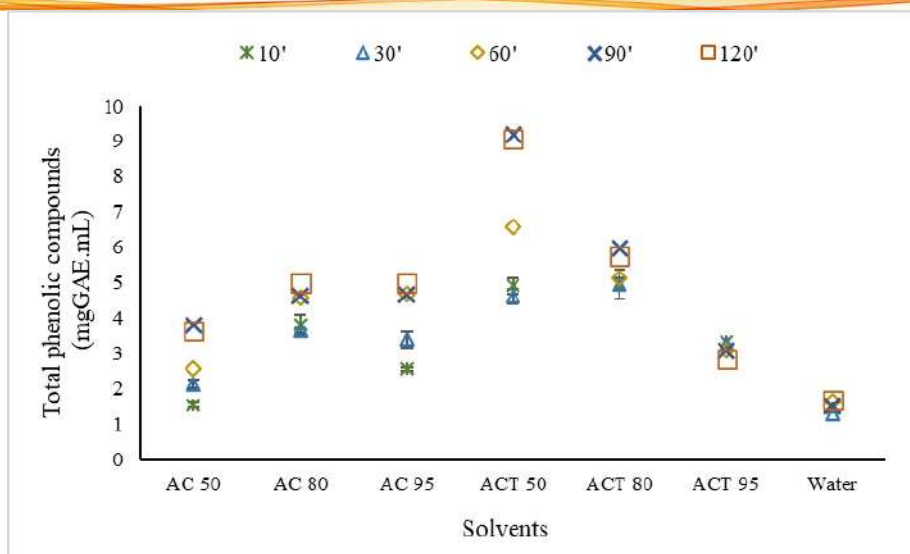
Samples were analyzed in triplicate, and the obtained results were subjected to statistical analysis using Statistica software version 7.0. The means of the results were compared using Analysis of Variance (ANOVA) followed by the Tukey test, with a significance level of 5% ($p < 0.05$). This approach allows for robust comparison and identification of significant differences among the experimental groups.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Influence of Extraction Conditions on the Properties of Guabiroba Extract

Figure 1 depicts the influence of extraction parameters including time, solvent type, and solvent concentration on the extraction of phenolic compounds from guabiroba pomace extract. Given the diverse chemical and physical properties of natural compounds, there is no standardized extraction procedure. Moreover, the solubility of phenolic compounds in the extraction solvent significantly impacts their recovery from plant matrices (Silva *et al.*, 2014).

Figure 1 – Illustrates the impact of extraction time, solvent type, and solvent concentration on the extraction of total phenolic compounds (expressed in mg/mL of gallic acid equivalent, GAE) from guabiroba pomace.



Caption: EAG: equivalent to gallic acid. AC: alcohol. ACT: acetone.

Source: Authors, 2024.

The variability observed in the values of total phenolic compounds (Figure 2) underscores the significant role of solvent type and polarity in phenolic solubility, thereby influencing the extraction yield of bioactive compounds (Kumar, Srivastav e Sharanagat, 2021). Other factors such as concentration in mass/volume ratio, solvent concentration and time can also influence the extraction of these compounds (Carmagnani, 2020; Oliveira Brandão, de *et al.*, 2019; Pereira *et al.*, 2018).

The prolonged sonication time showed an increase in the yield of phenolic compounds using the solvent ethanol at 50% concentration. The increase in contact time between the solvent and the sample provides greater penetration of the solvent, favoring extraction (Codevilla *et al.*, 2018). As sonication time increases, the cavitation effect of ultrasound increases swelling, hydration, fragmentation and pore formation of the plant tissue matrix from which the solute will be extracted. All of these factors increase the exposure of the solute and extraction medium and aid in its release into the solvent (Kumar, Srivastav e Sharanagat, 2021). At concentrations of 80% and 95%, extending the extraction time from 60 to 120 minutes did not lead to a significant increase in the extraction of these compounds.

Time emerged as a crucial variable when utilizing acetone (50%) as the solvent, resulting in an escalation of phenolic compound concentration from 10 minutes (4.91 ± 0.13 mg/mL) to 120 minutes (9.06 ± 1.00 mg/mL). Conversely, at concentrations of 80%, extraction reached a plateau over the examined times, while at the maximum concentration (95%), a decline in compound yield was observed with increasing extraction time. This decrease in compound concentration could be attributed to prolonged exposure to ultrasound, which may induce structural damage to the plant matrix, thereby reducing extraction efficiency. Additionally, over-suspended impurities might reduce solvent permeability to cell walls, impeding mass transfer and consequently diminishing extraction efficiency in certain instances (Chemat *et al.*, 2017; Codevilla *et al.*, 2018).

The variation in ethanol concentration from 50% to 80% resulted in an augmented extraction yield of phenolic compounds, likely attributable to the heightened solubility and diffusivity of these compounds. This phenomenon is a consequence of the decline in the dielectric constant of the solvent as ethanol concentration increases (Kumar, Srivastav e Sharanagat, 2021). Following the attainment of maximum ethanol concentration (95%), extraction reached a plateau between 60 to 120 minutes.

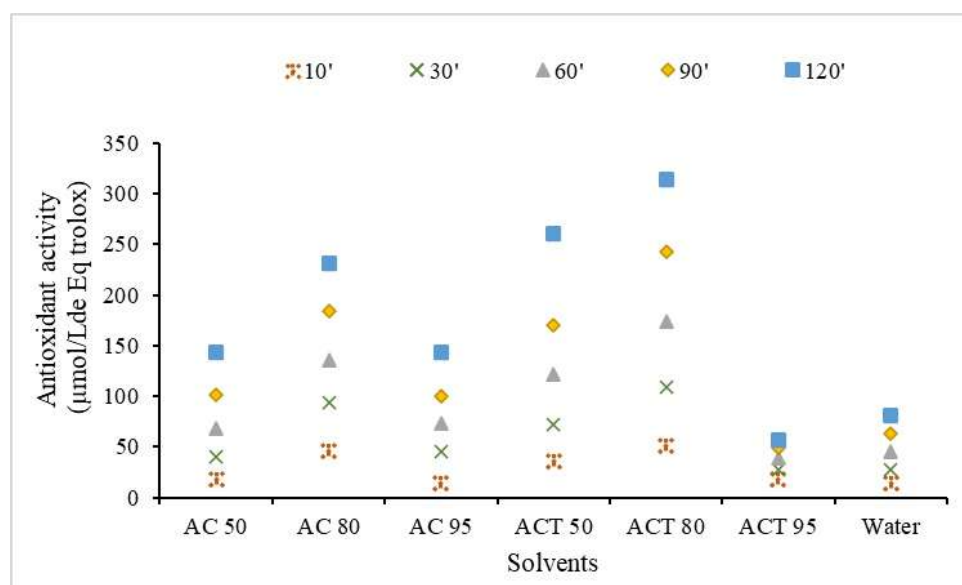
Water proved to be an ineffective solvent for the extraction of phenolic compounds across different time durations, exhibiting lower concentrations of phenolic compounds compared to other solvents tested. Phenolic compounds are known to be more soluble in less polar organic solvents than water, which likely accounts for the limited effectiveness of water as an extraction solvent in this context (Haminiuk *et al.*, 2014). The selection of an appropriate solvent for extraction is a critical decision, influenced by various factors including the intended application of the extracted compound. Moreover, the efficiency of extraction hinges on the solvent's capacity to absorb and transmit ultrasound energy effectively. Consequently, the physical properties of the solvent, such as surface tension, viscosity, and vapor pressure, exert a notable impact on the propagation and intensity of cavitation phenomena during ultrasound-assisted extraction processes (Shirsath, Sonawane e Gogate, 2012).



Commercial interest in utilizing non-toxic solvents derived from renewable sources for the extraction of target compounds has surged in recent years. While acetone (50%) demonstrates the highest extraction yield of phenolic compounds (9.06 ± 1.00 mg/mL over 120 minutes), ethanol emerges as a promising solvent option. Compared to other green solvents, ethanol is less toxic and authorized for use in food extracts (Brazil, 2021). Additionally, ethanol is cost-effective and sourced from renewable raw materials such as sugarcane, renowned for its efficiency in extracting phenolic compounds from fruit and vegetable waste (Chemat *et al.*, 2017). Therefore, ethanol at a concentration of 80% for 60 minutes was selected as the optimal condition to proceed with the study.

Figure 2 illustrates the influence of extraction parameters including time, solvent type, and solvent concentration on the extraction of phenolic compounds from guabiroba pomace extract.

Figure 2 - Illustrates the influence of extraction parameters such as time, solvent type, and solvent concentration on the extraction of antioxidant compounds from guabiroba pomace, expressed in $\mu\text{mol/L}$ of Trolox equivalents.



Caption: Eqtrolox: equivalent to trolox. AC: alcohol. ACT: acetone.
Source: Authors, 2024.

The extraction behavior of antioxidant compounds in relation to time is the same for all solvents, as time increases, there is an increase in antioxidant activity. The levels of phenolic compounds (Figure 1) are directly associated with the radical scavenging activity of any bioactive molecule, and this is mainly attributed to their hydroxyl groups. These polyphenols play an important role in stabilizing lipid oxidation based on their antioxidant activity (Awah *et al.*, 2012). The use of these extracts is related to the high demand from consumers for the use of natural pigments to be used in functional food formulations (Sharma *et al.*, 2022).

4 CONCLUSION

In this study, acetone and ethanol emerged as effective solvents for extracting phenolic compounds from guabiroba pomace. Moreover, the extraction process was significantly influenced by variables such as time and solvent concentration. Considering the non-toxic nature of ethanol, it presents as a promising solvent for further research within our group. The guabiroba pomace extract holds potential as a substitute for synthetic extracts in various applications. It can serve as an antioxidant and/or antibacterial additive in food products or as a natural colorant due to its richness in carotenoid pigments. Additionally, the extract may find applications in active and/or intelligent food packaging. In cosmetics, its antioxidant and anti-inflammatory properties offer promising prospects. Nonetheless, it's important to note that further analyses are warranted to complement this study, including investigations into the stability of the extract and its antibacterial and anti-inflammatory properties.



6 REFERENCES

- ALLAMEH, M.; ORSAT, V. Effects of time, ultrasonic treatment and pH during extraction on L-theanine and caffeine yields from white tea leaves. **Future Foods**, v. 9, 1 jun. 2024.
- AWAH, F. M. *et al.* Free radical scavenging activity, phenolic contents and cytotoxicity of selected Nigerian medicinal plants. **Food Chemistry**, v. 131, n. 4, p. 1279–1286, 15 abr. 2012.
- BAAKA, N. *et al.* Green dyeing process of modified cotton fibres using natural dyes extracted from Tamarix aphylla (L.) Karst. leaves. **Natural product research**, v. 31, n. 1, p. 22–31, 2017.
- BARCIELA, P.; PEREZ-VAZQUEZ, A.; PRIETO, M. A. Azo dyes in the food industry: Features, classification, toxicity, alternatives, and regulation. **Food and chemical toxicology**, v. 178, p. 113935–113935, 1 ago. 2023.
- CARMAGNANI, H. J. Otimização do processo extrativo de Phyllanthus niruri L. **Mundo da saúde (1995)**, v. 44, n. s/n, 1 jan. 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – Nº 466, de 10 de fevereiro de 2021. **Estabelece os coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso na produção de alimentos e ingredientes na função de solventes de extração e processamento**. Diário Oficial da União. Brasília, 17 de fev. 2021.
- CHEMAT, F. *et al.* Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 34, p. 540–560, 1 jan. 2017.
- CODEVILLA, C. F. *et al.* Citotoxicidade e atividade antioxidante de extratos de goldenberry obtidos com ultrassom de alta intensidade. **Ciencia Rural**, v. 48, n. 2, 2018.
- CORREIA, R. T. P. *et al.* Production of phenolic antioxidants by the solid-state bioconversion of pineapple waste mixed with soy flour using Rhizopus oligosporus. **Process Biochemistry**, v. 39, n. 12, p. 2167–2172, 29 out. 2004.
- DEVI, L. M.; DAS, A. B.; BADWAIK, L. S. Ultrasound-assisted extraction of anthocyanin from black rice bran and its encapsulation by complex coacervation. **Food Hydrocolloids for Health**, v. 5, 1 jun. 2024.
- GRANADOS-BALBUENA, S. Y. *et al.* Patented technologies in the extraction, preservation, and application of anthocyanins in food: A review. **Applied Food Research**, v. 4, n. 1, p. 100388, jun. 2024.
- HAMINIUK, C. W. I. *et al.* Extraction and quantification of phenolic acids and flavonols from Eugenia pyriformis using different solvents. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 10, p. 2862–2866, 1 out. 2014.
- HUAMÁN-CASTILLA, N. L. *et al.* Selective Recovery of Polyphenols from Discarded Blueberries (Vaccinium corymbosum L.) Using Hot Pressurized Liquid Extraction Combined with Isopropanol as an Environmentally Friendly Solvent. **Foods**, v. 12, n. 19, p. 3694–, 8 out. 2023.
- KOVALENKO, V. Investigation of the characteristics of Zn-Al layered double hydroxides, intercalated with natural dyes from spices, as a cosmetic pigments. **Eastern-European journal of enterprise technologies**, v. 3, n. 12 (117), p. 52–59, 30 jun. 2022.
- KUMAR, K.; SRIVASTAV, S.; SHARANAGAT, V. S. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 70, p. 105325, 1 jan. 2021.
- KUSHWAHA, A.; SINGH, S.; CHAUDHARY, K. Eco-friendly multifunctional dyeing of pineapple using Nyctanthes Arborescens dye and Acacia Nilotica bio-mordant. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 34, 1 set. 2023.
- LEFEBVRE, T.; DESTANDAU, E.; LESELLIER, E. Selective extraction of bioactive compounds from plants using recent extraction techniques: A review. **Journal of chromatography. A**, v. 1635, 4 jan. 2021.
- LOU, X. *et al.* Natural pigment zeaxanthin ameliorates Lipopolysaccharides induced acute lung inflammation in both in vitro and in vivo models. **Arabian Journal of Chemistry**, p. 105569, mar. 2023.
- NUNES, M. A. *et al.* Cardioprotective properties of grape seed proanthocyanidins: An update. **Trends in Food Science and Technology**, v. 57, p. 31–39, 1 nov. 2016.
- OJEDA, G. A. *et al.* Enhanced extraction of phenolic compounds from mango by-products using deep eutectic solvents. **Heliyon**, v. 9, n. 6, 1 jun. 2023.
- OLIVEIRA BRANDÃO, T. S. DE *et al.* Optimization of a technique to quantify the total phenolic compounds in jambolan (Syzygium cumini Lamark) pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019.
- PEREIRA, L. D. *et al.* Optimization of phenolic compounds extraction and a study of the edaphic effect on the physicochemical composition of freeze-dried jaboticaba peel. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 42, n. 4, p. 431–440, 1 jul. 2018.
- RAHMAN, M. M.; KOH, J.; HONG, K. H. Sustainable Chitosan Biomordant Dyeing and Functionalization of Cotton Fabrics Using Pomegranate Rind and Onion Peel Extracts. **Journal of Natural Fibers**, v. 21, n. 1, 2023.
- RE, R. *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free radical biology & medicine**, v. 26, n. 9–10, p. 1231–1237, maio 1999.
- SAHINER, M.; SUNOL, A. K.; SAHINER, N. Cell Staining Microgels Derived from a Natural Phenolic Dye: Hematoxylin Has Intriguing Biomedical Potential. **Pharmaceutics**, v. 16, n. 1, p. 147–, 22 jan. 2024.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- SHARMA, M. *et al.* Valorization of seabuckthorn pomace to obtain bioactive carotenoids: An innovative approach of using green extraction techniques (ultrasonic and microwave-assisted extractions) synergized with green solvents (edible oils). **Industrial Crops and Products**, v. 175, p. 114257, 1 jan. 2022.
- SHARMA, M.; BHAT, R. Extraction of Carotenoids from Pumpkin Peel and Pulp: Comparison between Innovative Green Extraction Technologies (Ultrasonic and Microwave-Assisted Extractions Using Corn Oil). **Foods 2021, Vol. 10, Page 787**, v. 10, n. 4, p. 787, 6 abr. 2021.
- SHIRSATH, S. R.; SONAWANE, S. H.; GOGATE, P. R. Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations—A review of current status. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 53, p. 10–23, 1 mar. 2012.
- SILVA, N. A. DA *et al.* Phenolic compounds and carotenoids from four fruits native from the Brazilian Atlantic forest. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 22, p. 5072–5084, 4 jun. 2014.
- SOUSA, B. A.; CORREIA, R. T. P. Phenolic content, antioxidant activity and anti-amylolytic activity of extracts obtained from bioprocessed pineapple and guava wastes. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 29, n. 1, p. 25–30, 2012.
- UMAIR, M. *et al.* Ultrasound-Assisted Extraction of Carotenoids from Carrot Pomace and Their Optimization through Response Surface Methodology. **Molecules**, v. 26, n. 22, 1 nov. 2021.
- VIELL, F. L. G. *et al.* Comparison between ultra-homogenisation and ultrasound for extraction of phenolic compounds from teff (*Eragrostis tef* (Zucc.)). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 7, p. 2700–2709, 1 jul. 2020.



Área: Bioprocessos

OBTENÇÃO DE QUITINA POR FERMENTAÇÃO SUBMERSA DO FUNGO *Aspergillus niger*

Giovana Marchezi*, Gustavo Concolato, Luciane Maria Colla, Jeferson Steffanello Piccin

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

*E-mail: 173887@upf.br

RESUMO – As condições de fermentação submersa do fungo *Aspergillus niger* utilizando meios de cultivos alternativos foram avaliadas, visando a obtenção da biomassa fúngica e a concentração intracelular de quitina. Um Planejamento Fatorial Completo 2⁴ foi conduzido para analisar a influência dos fatores fonte de carbono, fonte de nitrogênio, ausência ou presença de micronutrientes e tempo de cultivo. Os valores de biomassa fúngica obtidos variaram de 1,1±0,04 g/L a 14,22±1,45 g/L, e para quitina de 0,43±0,01 g/L a 7,52±1,26 g/L. A fonte de carbono, fonte de nitrogênio, tempo e a interação entre tempo e fonte de carbono apresentaram diferença significativa e efeito positivo sobre a obtenção de biomassa fúngica. Para a quitina, os fatores fonte de carbono, tempo e as interações entre tempo e fonte de carbono e micronutrientes e fonte de carbono apresentaram efeito significativo e positivo. Assim, a utilização de farelo de trigo 10% como fonte de carbono, extrato de levedura 1% como fonte de nitrogênio, micronutrientes e tempo de 10 dias de bioprocessos foram as condições ideais para uma maior produção de biomassa fúngica e de quitina.

Palavras-chave: biomassa fúngica, Planejamento Fatorial, quitosana.

1 INTRODUÇÃO

A quitina é um homopolímero de unidades β-(1, 4 e 6) de acetil D-glucosamina ligadas, com propriedades como biocompatibilidade, biodegradabilidade e não toxicidade, sendo encontrada em abundância na natureza (Kaur; Rahi, 2024). Esse biopolímero está presente em carapaças de crustáceos, exoesqueletos de insetos e na parede celular de fungos (Abo Elsoud; El Kady, 2019). A quitina, na maior parte das vezes, é obtida a partir de crustáceos por processo termoquímico, gerando uma grande quantidade de resíduos alcalinos concentrados e propriedades inconsistentes do produto, além disso tem-se a oferta sazonal e limitada de crustáceos (Moura *et al.*, 2015; Tayel *et al.*, 2010; Weska *et al.*, 2007). Devido a isso, pesquisas têm sido realizadas para a produção de quitina de fontes alternativas (Latha; Suresh; Ramesh 2013; Abdel-Gawad *et al.*, 2017; Machado *et al.*, 2020). O fungo *Aspergillus niger* é um dos microrganismos com maior quantidade de quitina em sua parede celular, sendo promissor para a produção de quitosana, o principal derivado da quitina (Cabrera-Barjas *et al.* 2020). A quitosana pode ser utilizada na indústria farmacêutica, alimentícia, no tratamento de águas, dentre outros (Tayel *et al.*, 2014).

O cultivo do microrganismo para obtenção de quitina pode ser realizado por fermentação submersa. A fermentação submersa envolve o cultivo de microrganismos em um meio líquido, no qual os nutrientes necessários são dissolvidos ou dispersos na forma líquida. Na maioria dos estudos, inicialmente, o fungo é cultivado em placas de petri com meio *potato dextrose agar* (PDA) e em seguida transferidos para a fermentação submersa em caldo batata dextrose (Abdel-Gawad *et al.*, 2017; Machado *et al.*, 2020). Porém, o cultivo do fungo *Aspergillus niger* também pode ser conduzido em meios não convencionais, buscando eficiência e sustentabilidade. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar as condições de fermentação submersa do fungo *Aspergillus niger* utilizando meios de cultivos alternativos visando a obtenção da biomassa fúngica e consequentemente da quitina.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Manutenção do microrganismo

O inóculo do microrganismo *Aspergillus niger* foi preparado conforme metodologia descrita por Machado *et al.* (2020). O fungo foi inoculado em placas de petri com o meio *potato dextrose agar* (PDA) com duas alçadas de esporos, e incubados a 30 °C durante 5 dias, tendo como objetivo a multiplicação das células para dar início ao processo fermentativo.



2.2 Avaliação do meio de cultivo para fermentação submersa

Para essa etapa do estudo foi utilizado um planejamento experimental 2^k , com $k=4$, sendo um planejamento de 2 níveis com 4 fatores, totalizando 16 experimentos. As variáveis do estudo foram fonte de nitrogênio, presença ou ausência de micronutrientes, fonte de carbono e tempo de cultivo sobre o rendimento da biomassa fúngica e a quantidade de quitina na parede celular do fungo.

Os meios de cultivo para a fermentação submersa foram preparados com 5% de casca de batata ou 10% de farelo de trigo, sendo que foram fervidos a 100 °C durante 30 min. Em seguida, os meios foram filtrados e o extrato de levedura ou o sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), ambos na concentração de 1%, foram adicionados, assim como 10% (v/v) de solução de salina foi adicionada nos experimentos com presença de micronutrientes.

A solução de micronutrientes foi composta por 2 g/L de fosfato de potássio (KH₂PO₄), 1 g/L de sulfato de magnésio (MgSO₄) e 10 mL/L de solução traço, composta por 0,63 mg/L de sulfato de ferro (FeSO₄.7H₂O), 0,01 mg/L de sulfato de manganês (MnSO₄) e 0,62 mg/L de sulfato de zinco (ZnSO₄) (Colla *et al.*, 2015).

Os experimentos foram realizados em erlenmeyers de 250 mL com 150 mL do meio estéril, sendo adicionados dois discos miceliais com 0,8 cm de diâmetro cortados das placas de petri que foram preparadas anteriormente contendo o inóculo. Em seguida, os frascos foram incubados a 30 °C em mesa agitadora com agitação de 150 rpm.

Após a fermentação submersa, os micélios fúngicos foram separados do meio de cultura através de filtração, lavados três vezes com água destilada, secos em estufa e moídos (Abdel-Gawad *et al.*, 2017). Em seguida, foi avaliado o rendimento da biomassa fúngica e determinada a quantidade de quitina na parede celular do fungo. O software *Statistica 7.0* foi utilizado para a análise de dados.

2.3 Determinação da quitina da biomassa fúngica

Para a determinação da quantidade de quitina da biomassa fúngica foi utilizada a metodologia descrita por Cabrera-Barjas *et al.* (2020) com adaptações. A biomassa fúngica foi colocada em contato com solução de NaOH 1 mol/L (1:30 m/v) sob a temperatura de 121 °C em autoclave por 30 min, com o objetivo de eliminar os contaminantes solúveis em álcalis (proteínas, lipídios e glucanos). O material sólido foi coletado por centrifugação, lavado com água destilada até pH neutro e seco. O rendimento foi determinado por meio da quantidade de quitina obtida com relação a quantidade de biomassa fúngica e de meio de cultivo utilizado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de planejamentos experimentais em processos permite um menor número de experimentos em comparação com alterar uma variável por vez, além da possibilidade de avaliar os efeitos das interações entre as variáveis estudadas (Kaushik *et al.*, 2006). A Tabela 1 apresenta os ensaios realizados durante a execução do experimento, na qual foram utilizados os valores de fonte de nitrogênio, micronutrientes, tempo de bioprocessamento e fonte de carbono na forma de variáveis codificadas (x_1 , x_2 , x_3 e x_4), frente as respostas de biomassa fúngica e quitina.

Tabela 1 – Matriz do Planejamento Fatorial 2^4 com níveis reais e codificados das variáveis fonte de nitrogênio, micronutrientes, tempo e fonte de carbono e as respostas observadas biomassa fúngica e quitina

Ensaio	Variáveis				Respostas	
	x_1 (Nitrogênio)	x_2 (Micronutrientes)	x_3 (Tempo)	x_4 (Carbono)	Biomassa (g/L) ^a	Quitina (g/L) ^a
1	-1 ((NH ₄) ₂ SO ₄)	-1 (Não contém)	-1 (5 dias)	-1 (CB)	1,3±0,06	0,43±0,01
2	+1 (EL)	-1 (Não contém)	-1 (5 dias)	-1 (CB)	3,79±1,44	0,64±0,11
3	-1 ((NH ₄) ₂ SO ₄)	+1 (Contém)	-1 (5 dias)	-1 (CB)	1,1±0,04	0,44±0,02
4	+1 (EL)	+1 (Contém)	-1 (5 dias)	-1 (CB)	4,71±0,88	1,53±0,18
5	-1 ((NH ₄) ₂ SO ₄)	-1 (Não contém)	+1 (10 dias)	-1 (CB)	1,81±0,11	0,6±0,07
6	+1 (EL)	-1 (Não contém)	+1 (10 dias)	-1 (CB)	5,57±1,31	3,68±1,05
7	-1 ((NH ₄) ₂ SO ₄)	+1 (Contém)	+1 (10 dias)	-1 (CB)	1,9±0,31	0,53±0,06
8	+1 (EL)	+1 (Contém)	+1 (10 dias)	-1 (CB)	4,32±1,69	1,23±0,36



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

9	-1 ((NH ₄) ₂ SO ₄)	-1 (Não contém)	-1 (5 dias)	+1 (FT)	6,87±0,1	1,35±0,28
10	+1 (EL)	-1 (Não contém)	-1 (5 dias)	+1 (FT)	7,67±0,49	1,79±0,01
11	-1 ((NH ₄) ₂ SO ₄)	+1 (Contém)	-1 (5 dias)	+1 (FT)	6,21±1,16	1,86±0,51
12	+1 (EL)	+1 (Contém)	-1 (5 dias)	+1 (FT)	7,62±0,55	1,99±0,05
13	-1 ((NH ₄) ₂ SO ₄)	-1 (Não contém)	+1 (10 dias)	+1 (FT)	8,12±1,07	4,44±0,69
14	+1 (EL)	-1 (Não contém)	+1 (10 dias)	+1 (FT)	11,62±1,83	3,36±1,39
15	-1 ((NH ₄) ₂ SO ₄)	+1 (Contém)	+1 (10 dias)	+1 (FT)	11,01±2,86	5,83±2,8
16	+1 (EL)	+1 (Contém)	+1 (10 dias)	+1 (FT)	14,22±1,45	7,52±1,26

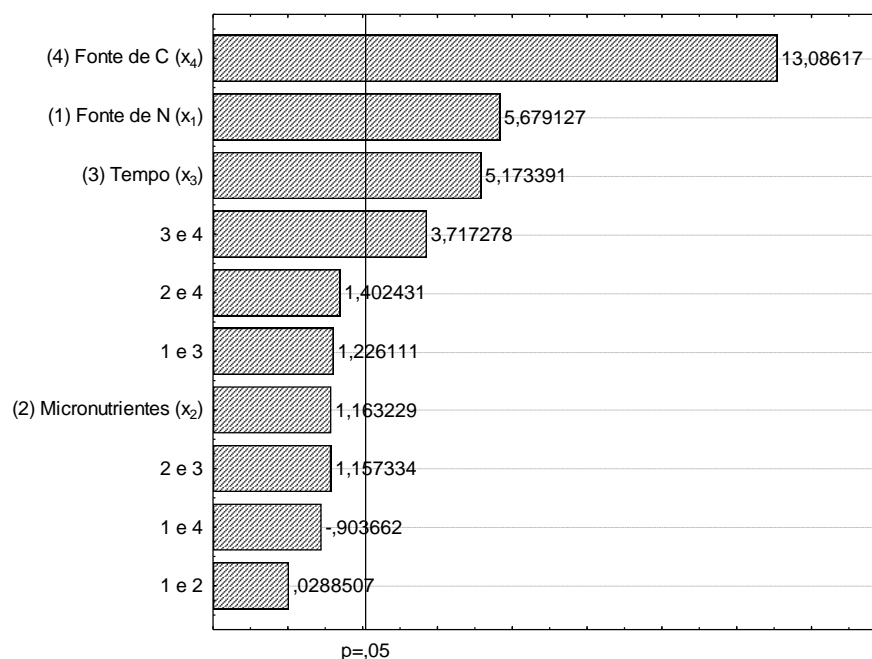
Legenda: ((NH₄)₂SO₄): sulfato de amônio; EL: extrato de levedura; CB: casca de batata; FT: farelo de trigo; * Média ± desvio padrão

Através da Tabela 1, pode-se observar que os valores de biomassa fúngica variaram de 1,1±0,04 g/L a 14,22±1,45 g/L, enquanto que para a quitina foram de 0,43±0,01 g/L a 7,52±1,26 g/L. Além disso, as porcentagens de quitina na biomassa fúngica variaram de 18,88% a 65,53%. Nos estudos realizados por Latha, Suresh e Ramesh (2013) foi avaliada a produção de quitosana fúngica a partir de quatro cepas de fungos, sendo elas *Mucor rouxii*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigatus* e *Penicillium sp.* Para a extração da quitina foi utilizado uma solução aquosa de KOH 60%, a 130 °C por 2 a 3 horas. O fungo *Aspergillus niger* apresentou 33% de quitina em comparação com o micélio fúngico seco. Já no estudo realizado por Cabrera-Barjas *et al.* (2020) os fungos *Aspergillus niger* e *Fusarium culmorum* foram selecionados para a produção de quitina e quitosana. Para a fermentação submersa o meio de cultivo consistiu em 400 g de batata, 40 g de sacarose, 5 g de nitrato de amônio (NH₄NO₃) e 1,6 g de fosfato monopotássico (KH₂PO₄), para 1,5 L de água destilada. A extração da quitina foi realizada com solução de NaOH 1 mol/L (1:30 m/v), a 121°C em autoclave por 30 min. Como resultado, o fungo *Aspergillus niger* foi o maior produtor de quitina e quitosana, com rendimentos de 39% e 9,26% respectivamente. Dessa forma, os rendimentos obtidos no presente estudo podem ser considerados satisfatórios, sendo que fica evidente a importância de um processo eficiente para extração da quitina e também, da avaliação e otimização das condições de fermentação submersa.

Assim, a fim de se avaliar a significância estatística e os efeitos das variáveis estudadas durante a fermentação submersa do fungo *Aspergillus niger* o Diagrama de Pareto é apresentado na Figura 1.

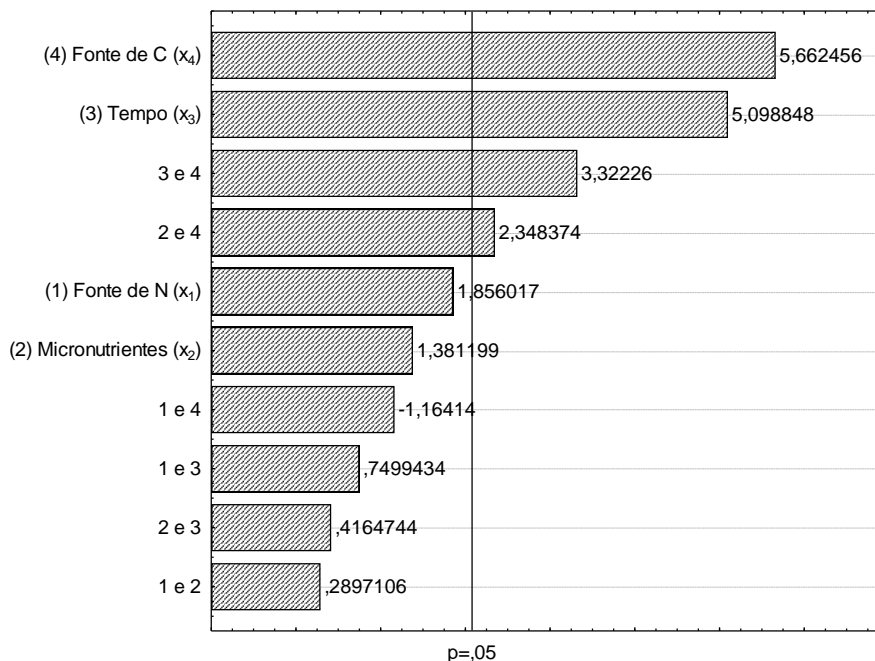
Figura 1 - Diagrama de Pareto com os fatores investigados, com relação a: a) Biomassa fúngica (g/L) e b) Quitina (g/L)

a)





b)



O nível de significância (p) indica se é possível rejeitar ou aceitar a hipótese de que existe ou não diferença significativa entre os valores (Espírito-Santo; Daniel, 2018). Para valores de $p > 0,05$ o efeito não apresenta diferença significativa, quando $p < 0,05$ o efeito apresenta diferença significativa entre as variáveis e respostas analisadas. Assim, um valor de p baixo sugere que mudanças na variável preditora estão associadas a mudanças na variável resposta.

Através do Diagrama de Pareto apresentado na Figura 1 (a), pode-se observar que as variáveis fonte de carbono, fonte de nitrogênio e tempo de bioprocessamento apresentaram diferença significativa, além da interação entre tempo e fonte de carbono. Além disso, todos os efeitos apresentaram efeito positivo frente a resposta. Na Figura 1 (b) as variáveis fonte de carbono, tempo de bioprocessamento e as interações entre tempo e fonte de carbono e micronutrientes e fonte de carbono apresentaram efeito significativo e positivo. O efeito positivo indica uma relação direta em que o aumento dos fatores analisados está associado a um aumento correspondente nas respostas. Dessa forma, pode-se dizer que a utilização de farelo de trigo 10% como fonte de carbono, extrato de levedura 1% como fonte de nitrogênio, micronutrientes e tempo de 10 dias, foram as condições ideais para uma maior quantidade de biomassa fúngica e de quitina.

O farelo de trigo é um dos subprodutos da moagem do trigo, sendo de interesse pois apresenta disponibilidade e baixo custo. O extrato de levedura também é considerado um subproduto, obtido a partir do processo de fermentação de leveduras em indústrias de alimentos fermentados e bebidas alcoólicas. Assim, ao explorar fontes alternativas de nutrientes é possível reduzir o custo de obtenção dos microrganismos além de minimizar o impacto ambiental.

4 CONCLUSÃO

Meios de cultivo alternativos foram utilizados para a fermentação submersa do fungo *Aspergillus niger* visando a obtenção de biomassa fúngica e consequentemente da quitina. Ao analisar o Planejamento Fatorial 2^4 a fonte de carbono, fonte de nitrogênio, tempo de bioprocessamento e interação entre tempo e fonte de carbono apresentaram diferença significativa e efeito positivo frente a biomassa fúngica. Para a quitina, os fatores fonte de carbono, tempo de bioprocessamento e as interações entre tempo e fonte de carbono e micronutrientes e fonte de carbono apresentaram efeito significativo e positivo. Assim, as condições ideais para maior quantidade de biomassa fúngica e quitina utilizando o fungo *Aspergillus niger*, podem ser obtidas utilizando farelo de trigo 10% como principal componente do meio de cultura, extrato de levedura 1% como fonte de nitrogênio, micronutrientes e 10 dias de fermentação submersa.

5 AGRADECIMENTOS



Este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Código de Financiamento 001), pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do RS (Edital FAPREGS 07/2021 – Programa Pesquisador Gaúcho - PqG, 21/2551-0002165-9) e pela Universidade de Passo Fundo (UPF).

6 REFERÊNCIAS

ABDEL-GAWAD, K. M.; HIFNEY, A. F.; FAWZY, M. A.; GOMMA, M. Technology optimization of chitosan production from *Aspergillus niger* biomass and its functional activities. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 593-601, 2017.

ABO ELSOUD, M. M.; EL KADY, E. M. Current trends in fungal biosynthesis of chitin and chitosan. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 43, n. 1, p. 1-12, 2019.

CABRERA-BARJAS, G.; GALLARDO, F.; NESIC, A.; TABOADA, E.; MARICAN, A.; MIRABAL-GALLARDO, Y.; AVILA-SALAS, F.; DELGADO, N.; ARMAS-RICARD, M.; VALDES, O. Utilization of industrial by-product fungal biomass from *Aspergillus niger* and *Fusarium culmorum* to obtain biosorbents for removal of pesticide and metal ions from aqueous solutions. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, p. 104355, 2020.

COLLA, L. M.; FICANHA, A. M. M.; RIZZARDI, J.; BERTOLIN, T. E., REINEHR, C. O.; COSTA, J. A. V. Production and characterization of lipases by two new isolates of *Aspergillus* through solid-state and submerged fermentation. **BioMed Research International**, v. 2015, p. 1-9, 2015.

ESPÍRITO-SANTO, H.; DANIEL, F. Calcular e apresentar tamanhos do efeito em trabalhos científicos (3): Guia para reportar os tamanhos do efeito para análises de regressão e ANOVAs. **Revista Portuguesa de Investigação Comportamental e Social**, v. 4, n. 1, p. 43-60, 2018.

LATHA, S.; SURESH, G.; RAMESH, B. Studies on chitosan production from different fungal mycelium. **International Journal of Current Biotechnology**, v. 1, p. 9-11, 2013.

KAUR, H.; RAHI, D. K. Response surface methodology-based optimisation of chitin production and its antioxidant activity from *Aspergillus niger*. **Heliyon**, 2024.

KAUSHIK, R.; SARAN, S.; ISAR, J.; SAXENA, R. K. Statistical optimization of medium components and growth conditions by response surface methodology to enhance lipase production by *Aspergillus carneus*. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 40, n. 3-4, p. 121-126, 2006.

MACHADO T. S.; MELARA, F.; DE MELLO, J. R.; CRESTANI, L.; ALESSANDRETI, I.; DAMINI, G.; DA SILVA; L. K.; COLLA, L. M.; PICCIN, J. S. Avaliação de processo alcalino para obtenção de quitosana fúngica. **Acta Brasiliensis**, v. 4, n. 3, p. 168-172, 2020.

TAYEL, A. A.; IBRAHIM, S. I. A.; AL-SAMAN, M. A.; MOUSSA, S. H. Production of fungal chitosan from date wastes and its application as a biopreservative for minced meat. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 69, p. 471-475, 2014.

TAYEL, A. A.; MOUSSA, S.; EL-TRAS, W. F.; KNITTEL, D.; OPWIS, K.; SCHOLLMAYER, E. Anticandidal action of fungal chitosan against *Candida albicans*. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 47, p. 454-457, 2010.



Área: Bioprocessos

PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE PINHÃO

Naiana Pereira Balbé*, Dannyele Fernanda Souza Oliveira, Lára Franco dos Santos, Ana Cláudia Freitas Margarites, Laura Beatriz Rodrigues.

Laboratório de Processos, Curso de Engenharia Química, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS; Programa de Pós Graduação em Bioexperimentação, Escola de Ciência Agrárias, Inovação e Negócios, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS;
**E-mail: 154481@upf.br*

RESUMO – Combustíveis de origens renováveis vem sendo pesquisados como alternativa potencial em relação à substituição ou diminuição do uso de combustíveis fósseis, já que estes são potenciais poluidores. Dentre as vantagens dos biocombustíveis é interessante destacar que se obtém de diversas fontes diferentes, e por isso são classificadas em várias gerações de biocombustível. O pinhão é semente da árvore *Araucaria angustifolia*, *Araucariaceae* apresenta quantidade significativa de amido, destacando-se como biomassa potencial para a produção de etanol. Atualmente a *Araucaria* se encontra como uma espécie ameaçada, com a potencial aplicação desse substrato em outros processos, com o intuito de gerar um incentivo para plantação dessa espécie de árvore, impactando na economia dos agricultores, bem como, a possibilidade dessa árvore sair da lista de espécies ameaçadas. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a produção de etanol a partir de uma matéria-prima característica da região Sul do Brasil, o pinhão. O pinhão passará por uma caracterização inicial, seguido de sacarificação, fermentação e por fim destilação. O pinhão se mostrou como uma biomassa potencial para a produção de etanol, pois em comparação com as matérias primas usuais que são a cana-de-açúcar e o milho, se manteve igual ou superior em relação a eficiência de sacarificação que foi aproximadamente 80% e conversão de substrato em produto no processo fermentativo 0,488 gramas de etanol por gramas de substrato. Portanto, a biomassa de pinhão apresenta potencial para a produção de novos biocombustíveis.

Palavras-chave: Fermentação; Sacarificação; Carboidratos

1 INTRODUÇÃO

Segundo a EPE no ano de 2018 a matriz energética Brasileira de oferta interna teve como principal fonte energética matrizes de origens fósseis, constando com aproximadamente 55% de representatividade, enquanto a renovável com 45%. Dentre as principais fontes, estão à energia proveniente do petróleo e seus respectivos subprodutos representando em seu total 35% da participação total e em segundo lugar há a biomassa de cana-de-açúcar representando 17,5% (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2019). Fonte fóssil é tida como não renovável, logo esgotável, e causa consequências ao meio ambiente, além de que com o aumento da população aumenta-se a demanda de energia e, por consequente, deixam-se oportunidades e incentivo para que novas tecnologias possam ser descobertas.

Os biocombustíveis, quando em comparação aos combustíveis de fonte fósseis, são menos prejudiciais ao meio ambiente, principalmente por serem de matriz renovável. Dentre as fontes de energia, em relação aos biocombustíveis, encontram-se os mais diversos tipos de matérias-primas, oleaginosas, biomassa lignocelulósicas, entre outras. O que é particularmente interessante é que podem ser derivadas desde cultivares até o que são considerados resíduos de outro processo. Os biocombustíveis também podem se apresentar de forma sólida, líquida ou gasosa, dependendo da sua síntese (RUAN et al, 2019).

Segundo dados da ANP, em 2022 o Brasil foi responsável pela produção de aproximadamente 30,7 bilhões de m³ de etanol, atingindo uma marca histórica. Em relação ao período de 2013-2022 obteve-se uma taxa média anual de crescimento em relação a produção de etanol de 1,1% (ANP, 2023).

Além das biomassas tradicionais de milho e cana-de-açúcar para conversão em etanol, é necessário abranger pesquisas e valorar os produtos regionais. Na região Sul do Brasil a produção de pinhão foi de aproximadamente 15 mil toneladas em 2022 (IBGE, 2023). O pinhão apresenta um alto teor de amido (CASTRILLON, 2023), logo apresenta-se como uma matéria-prima diferente das tradicionais para a produção de etanol. O pinhão é a semente da árvore *Araucaria angustifolia* que hoje está classificada como espécie ameaçada, portando a utilização de pinhão como substrato na produção de etanol pode vir a incentivar a produção do pinhão, girando a economia da região e valorizando um produto



regional, além de incentivar agricultores ao plantio dessa árvore, refletindo na sua classificação como espécie ameaçada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O pinhão foi adquirido em comércio na região de Passo Fundo no Rio Grande do Sul, foi cozido e mantido sobre refrigeração até o início dos ensaios. Demais materiais e reagentes de grau analítico foram fornecidos pela instituição de pesquisa.

2.1 Caracterização Físico-Química do Pinhão

O endosperma do pinhão, isento de casca, foi caracterizado quanto aos teores de cinzas, umidade, proteína, lipídios e carboidratos.

O teor de nitrogênio foi quantificado pelo método Kjeldahl e transformado em proteína pelo uso do fator de correção 6,25 (Instituto Adolfo Lutz, 2008). Os lipídeos foram extraídos em aparelho Soxhlet, com uso de hexano como solvente (Instituto Adolfo Lutz, 2008). O teor de cinzas, ou resíduo mineral fixo (ASTM D2617, 2015), foi determinado por incineração em mufla, a 550 °C e o teor de umidade foi determinado em estufa a 105 °C, até massa constante (ASTM D3790, 2017). O teor de carboidratos foi determinado por diferença.

2.2. Sacarificação do Amido

A partir dos resultados da caracterização do pinhão quanto ao teor de carboidratos, foi preparada uma solução de pinhão em água destilada com um teor de 12% de carboidratos (m/v). A solução foi aquecida a 100 °C por 1 hora para a gelatinização do amido. O processo foi feito em triplicata e os resultados obtidos através da média dos experimentos.

A sacarificação do amido se deu através de duas etapas. Na primeira etapa a solução de pinhão em água foi liquefeita pela adição da enzima α -amilase e posteriormente hidrolisado pela adição de amiloglicosidase. Ainda, foi realizada a adição de 2,5% (v/m de carboidratos) de enzima α -amilase comercial (Termamyl[®], Novozymes). Esta solução foi incubada a 85 °C, pH 6 por 2 horas.

Na segunda etapa, a solução foi resfriada e o pH da solução foi ajustado para 5 e então adicionou-se 2,5% (v/m de carboidratos) de enzima amiloglicosidase comercial (AMG[®], Novozymes), e a solução foi incubada, por mais 21 h a 55 °C, a fim de obter-se máxima hidrólise de amido. Após as 24 horas de processo, a mistura foi filtrada e o resíduo sólido descartado (PALMAROLA-ADRADOS et al, 2005; MARGARITES, 2014;).

A hidrólise do amido em açúcares fermentescíveis foi verificada através da determinação de açúcares redutores (AR), pelo método 3,5 DNS (MILLER, 1959), utilizando-se uma curva padrão, obtida a partir de solução estoque de glicose anidra. Além da determinação do teor de AR, o acompanhamento da hidrólise do amido foi realizado pela determinação de sólidos solúveis, expressa em °Brix, com a utilização de refratômetro digital. A eficiência da sacarificação foi determinada a partir da Equação 1 (REMPEL, 2018).

$$\varepsilon = \frac{AR}{\frac{mbiomassa \times CHO \times 1,1}{V}} \times 100$$

(1)

Sendo:

ε (%) = Eficiência da hidrólise;

AR (g/L) = Açúcares Redutores;

mbiomassa (g) = massa de pinhão;

CHO (%) = Teor de Carboidratos na biomassa de pinhão;

1,1 = Fator de conversão de amido em glicose;

V (L) = Volume do ensaio.



2.3 Fermentação Alcoólica

A levedura escolhida para ser utilizada no processo fermentativo foi *Saccharomyces cerevisiae*, cepa pertencente à coleção do Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos da UPF, sendo sua ativação realizada a 30 °C por 48 h em meio contendo (g.L⁻¹): glicose (20), extrato de levedura (10) e peptona (20) (BRINGHENTI e CABELLO, 2005).

Os inóculos foram preparados utilizando-se meio contendo (g.L⁻¹): carboidratos hidrolisados da biomassa (30), glicose (20), extrato de levedura (10) e peptona (20) (BRINGHENTI e CABELLO, 2005).

As fermentações alcoólicas foram iniciadas com concentração inicial de carboidratos de 12% (p/v). Foram adicionados ao mosto os nutrientes (g.L⁻¹): extrato de levedura (5); (NH₄)₂SO₄ (7,5); K₂HPO₄ (3,5); MgSO₄.7H₂O (0,75); CaCl₂.2H₂O (1). O pH do mosto foi ajustado entre 4,5 e 5,0 e posteriormente esterilizado e inoculado com 10% (v/v) de inóculo da levedura *S. cerevisiae*. Os ensaios foram realizados em erlenmeyers de 500 mL, com volume útil de 350 mL. O processo foi conduzido em estufa termostatizada a 30 °C e em condições anaeróbicas (MARGARITES, 2014;).

As amostras foram coletadas no tempo zero, 6 h, 12 h e 24 h de fermentação para a determinação da concentração de açúcares redutores (AR) e concentração de etanol.

2.4 Determinação da Concentração do Etanol

Para obtenção de misturas que contivessem apenas água e álcool, as amostras da fermentação alcoólica foram destiladas em um microdestilador de bancada da Tecnal modelo TE-012 após fermentação.

Foi determinada a concentração do etanol segundo método espectrofotométrico proposto por Salik e Povh (1993). Para tal, em 25 mL de mosto fermentado adiciona-se 50 mL de água destilada. Destilou-se esta amostra e recolhe-se 50 mL do destilado. Retirou-se 1 mL deste destilado e elevou-se a 50 mL com água destilada. Desta diluição, retirou-se 5 mL e coloca-se em tubo de ensaio, adicionando-se 2 mL de água destilada, 2 mL de solução de dicromato de potássio, e esta solução foi aquecida a 60 °C por 30 min. Após esfriar, determinou-se absorvância em espectrofotômetro a 600 nm.

A eficiência (η) na formação de etanol foi obtido através da Equação 2 (HANG; LEE; WOODAMS, 1981).

$$\eta(\%) = \frac{\Delta E}{0,511 \times (S_0 - S)} \times 100 \quad (2)$$

Sendo,

ΔE = Variação da concentração de etanol (g.L⁻¹);

S_0 = Concentração de açúcares redutores totais no início da fermentação (g.L⁻¹);

S = Concentração de açúcares redutores totais no final da fermentação (g.L⁻¹).

2.5 Determinação de Parâmetros cinéticos

Foram determinados os parâmetros fator de conversão de substrato em produto ($Y_{P/S}$) (Equação 3) e produtividade em etanol (P_{etanol}) (Equação 4) (SCHMIDELL et al., 2001).

$$Y_{P/S} \left(\frac{\text{g}_{\text{produto}} \cdot \text{g}_{\text{substrato}}^{-1}}{\text{g}_{\text{substrato}}} \right) = \frac{\Delta P}{-\Delta S} \quad (3)$$

Sendo,

ΔP = Variação da concentração de etanol (g.L⁻¹);

ΔS = Variação da concentração de substrato (g.L⁻¹).



$$P_{\text{etanol}}(\text{g}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}) = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (4)$$

Sendo,

ΔE = Variação da concentração de etanol ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$);

Δt = Variação do tempo de fermentação (h).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do Pinhão

Os resultados apresentados na Tabela 1 são respectivos às análises de caracterização do pinhão.

Tabela 1: Análise da composição percentual da semente de pinhão

	Umidade	Cinzas	Lipídios	Proteínas	Carboidratos
Base Úmida	54,435	1,635	1,285	2,126	40,519
Base Seca	-	3,588	2,820	4,666	88,926

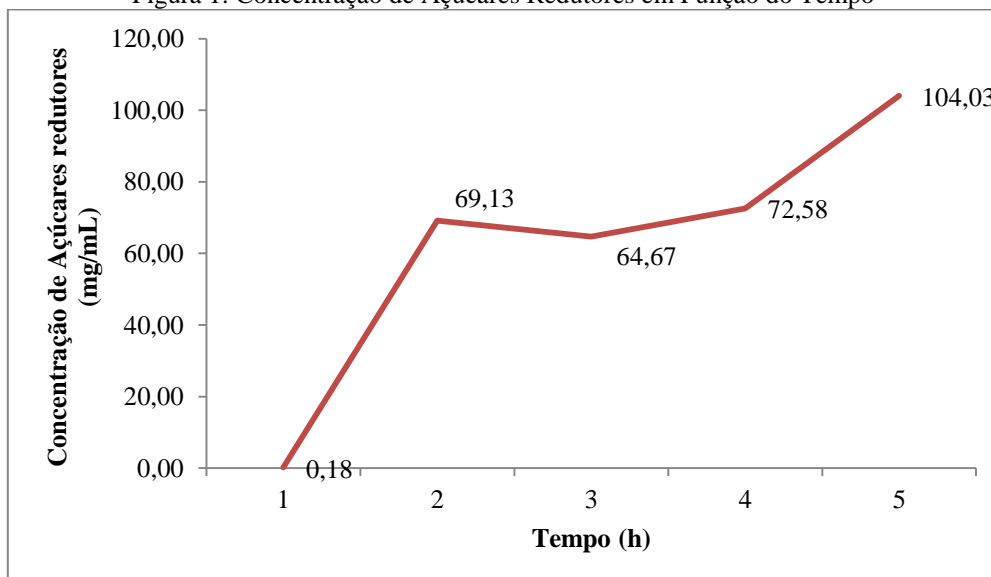
Fonte: Autor, 2024.

O pinhão, apresentando 40,5% de carboidratos se destaca e tem seu uso como promissor na produção de etanol quando comparamos com outras fontes. Segundo Taco (2011) o milho verde cru apresenta 28,6 % de carboidratos em base úmida e, segundo IBGE (2011), a cana de açúcar 11,75 % de carboidrato, e açúcares total de 8,37 gramas então quando tomamos como base de comparação a quantidade de carboidratos destas biomassas.

3.2 Sacarificação do pinhão

O resultado da sacarificação do amido ao longo do tempo é apresentado na Figura 1, em que se relaciona a concentração de açúcares redutores com o tempo.

Figura 1: Concentração de Açúcares Redutores em Função do Tempo



Fonte: Autor, 2024.

Após as 24 h de sacarificação foi calculada a eficiência do processo, que ficou em torno de 80%. O milho é uma biomassa bastante usada para produção de bioetanol, e por não ser diretamente fermentescível também precisa



passar por pré-tratamentos. Szambelan (2018) comparou diferentes cultivares de milho em relação à sacarificação simultânea ou não a fermentação, e o melhor resultado de sacarificação que o autor obteve no trabalho foi de 78,64% em 72 horas utilizando a sacarificação como etapa anterior a fermentação. O pinhão além de se ter obtido uma eficiência média maior, levou cerca de um terço de tempo que o processo de sacarificação descrito por Szambelan (2018), logo seria interessante aumentar ainda mais o tempo de sacarificação da biomassa de pinhão para analisar a variação da eficiência do processo.

3.3 Fermentação Alcoólica

A Tabela 2 apresenta os resultados da fermentação alcoólica de biomassa de pinhão, que foi realizada em duplicata.

Tabela 2: Concentração de AR, Etanol, Sólidos Solúveis e Produtividade em etanol obtidos no processo de Fermentação alcoólica de Biomassa de Pinhão.

T (h)	AR (g/L)	Etanol (%)	Etanol g/L	°Brix	Produtividade do Etanol (g/Lh)
0	104,22±6,83	ND	ND	16,6	ND
6	87,43±4,11	0,335627663	2,64810226	15	0,441350377
12	72,68±5,48	2,633235005	20,7762242	10,233	1,731352016

ND: Não detectado

Fonte: Autor, 2024.

O açúcar redutor e teor de sólidos solúveis diminuindo em relação ao tempo indica que os microrganismos estão consumindo o substrato e o estão transformando em etanol, que corrobora com o aumento do teor de etanol em relação ao tempo transcorrido da fermentação. A produtividade na formação em etanol em relação ao tempo foi crescente até às 12 horas e depois de transcorridas 24 horas de fermentação continuou praticamente a mesma, o que indica que em relação à produtividade a fermentação poderia ter sido encerrada após 12 horas de processo fermentativo. A eficiência do processo de conversão de biomassa de pinhão em etanol foi de 95,6%, o que é considerada um fator de conversão alto.

A conversão de substrato em produto foi de 0,488 gramas de etanol por gramas de substrato. Em comparação a conversão de substrato de cana-de-açúcar, os valores ficaram parecidos com os resultados obtidos por Thammasittirong (2017), sendo que este autor verificou uma conversão máxima de 0,46 gramas de produto em relação a gramas de substrato. No mesmo trabalho de Thammasittirong (2017) também é possível perceber que a concentração de etanol (g/L) após 36 horas de fermentação apresentou valores entre 9,11 e 10,36, com uma conversão máxima de 90% de biomassa de cana-de-açúcar. Já no presente trabalho, a biomassa de pinhão, após 24 horas de fermentação, obteve-se 41,51 g/L de etanol, além de apresentar uma conversão de 95,6%. Quando comparado ao trabalho de Szambelan (2018) que obteve o etanol a partir da biomassa de diferentes cultivares de milho, a condição que obteve a maior conversão foi a de sacarificação e fermentação simultânea a partir de biomassa de diferentes cultivares de milho foi com 81,23% após 72 horas de fermentação.

O etanol de pinhão se mostrou viável em relação aos fatores estudados, pois em comparação as matérias-primas usuais se mostrou igual ou superior ao longo do trabalho. Os resultados em relação ao teor de carboidratos, além da eficiência da sacarificação e conversão de substrato em produto na fermentação representam o potencial dessa biomassa tão característica da região Sul do Brasil. Dito isso, o uso do pinhão como biomassa seria um mecanismo de potencializar e incentivar a plantação da *Araucária* e gerando assim mais ganhos no aspecto econômico para os agricultores que vendem o pinhão, resultado esse que poderia incentivar sua plantação e por consequência, não ser mais classificada como espécie ameaçada, além de um aspecto social, através da cultura pela valorização de uma biomassa regional.



4 CONCLUSÃO

A caracterização química do pinhão foi essencial para a compreensão do teor de carboidratos a ser usado na etapa de sacarificação, sendo o pinhão composto por 40,52 % de carboidratos. Em relação a hidrólise ou sacarificação do pinhão, etapa prévia à fermentação alcoólica indispensável para a conversão de açúcares não fermentescíveis em fermentescíveis, a eficiência do processo foi 80%, superior ao do milho em um terço de tempo de processo.

O processo fermentativo teve um fator de conversão de biomassa de pinhão em etanol (95,6%) conversão essa maior do que quando comparada com as biomassas mais utilizadas na produção comercial de etanol que é a cana-de-açúcar e milho.

Portanto, a biomassa de pinhão é um potencial para a produção de novos biocombustíveis, o que pode vir a incentivar a produção do pinhão, girando a economia da região e valorando um produto regional, além de incentivar agricultores ao plantio dessa árvore, refletindo na sua classificação como espécie ameaçada.

5 REFERÊNCIAS

- ANP. ANUÁRIO ESTATÍSTICO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS 2023. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2023/anuario-2023.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- ASTM. D2617: Standard Test Method for Total Ash in Leather: 2015.
- ASTM. D3790: Standard Test Method for Volatile Matter (Moisture) of Leather by Oven Drying: 2017.
- BRINGHENTI, L.; CABELLO, C. Qualidade do álcool produzido de resíduos amiláceos da agroindustrialização da mandioca. **Energia na Agricultura**, v. 20, n.2, p.36-52, 2005.
- CASTRILLON, Rafaela Grazielle; HELM, Cristiane Vieira; MATHIAS, Alvaro Luiz. Araucaria angustifolia and the pinhão seed: Starch, bioactive compounds and functional activity-a bibliometric review. **Ciência Rural**, v. 53, 2023.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. (Org.). **Balanco Energético Nacional**. S.i: S.i, 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- IBGE, Produção da Extração Vegetal e Silvicultura 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Acesso em: 20 fev. 2024.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos. 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008. 1020 p.
- HANG, Y.D.; LEE, C.Y.; WOODAMS, E.E. Production of alcohol from apple pomace. **Applied and Environmental Microbiology**, v.42, n.6, p.1128-1129, 1981.
- IBGE. Tabelas de Composição Nutricional dos Alimentos consumidos no Brasil. Rio de Janeiro: Ibge, 2011. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv50002.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- MARGARITES, A. C. F.. Síntese de carboidratos por microalgas e produção de bioetanol. 2014.
- MILLER, G. L. Use of de dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Anal. Chem.**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- PALMAROLA-ADRADOS, B. et al. Ethanol production from non-starch carbohydrates of wheat bran. **Bioresource technology**, v. 96, n. 7, p. 843-850, 2005.
- SCHMIDELL, W. et al. Biotecnologia industrial: Engenharia Bioquímica. São Paulo: Edgard Blücher, v. 2, p. 1-541, 2001
- SZAMBELAN, Katarzyna et al. Separate hydrolysis and fermentation and simultaneous saccharification and fermentation methods in bioethanol production and formation of volatile by-products from selected corn cultivars. **Industrial Crops and Products**, v. 118, p. 355-361, 2018.
- TACO. Tabela brasileira de composição de alimentos / NEPA – UNICAMP.- 4. ed. rev. e ampl.. -- Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161 p
- THAMMASITTIRONG, S. N. et al. Evaluation of ethanol production from sugar and lignocellulosic part of energy cane. **Industrial crops and products**, v. 108, p. 598-603, 2017.



Área: Bioprocessos

PRODUÇÃO DE BIOSURFACTANTES A PARTIR DE *Bacillus* spp: UMA ABORDAGEM PROMISSORA PARA O CONTROLE DE DOENÇAS DE RAIZ EM SISTEMAS HIDROPÔNICOS

Leticia Eduarda Bender*, Jaqueline Huzar Novakowski, Luciane Maria Colla

Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos, Curso Pós-Graduação em Agronomia, Escola de Ciências Agrárias, Inovação e Negócios, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

*E-mail: leticiabender@gmail.com

RESUMO – Devido à limitação de produtos de controle de patógenos para hidroponia, a demanda por controle biológico tem crescido. Embora os biossurfactantes tenham sido eficazes em outras áreas agronômicas, há uma lacuna quanto à sua utilização em hidroponia. O estudo objetivou a produção de biossurfactantes de quatro cepas da bactéria *Bacillus* spp. para futura aplicação em plantas hidropônicas. Inicialmente, foram elaboradas curvas de crescimento microbiano e de concentração de células para as bactérias, para auxiliar nas análises de concentração de células durante fermentação submersa. Como meio de fermentação, foi utilizado soro de leite pré-tratado com adição de nutrientes. A fermentação ocorreu por 10 dias e foram realizadas análises de concentração celular e tensão superficial durante esse período. As curvas de crescimento e curvas-padrão obtidas foram utilizadas para obtenção da concentração de células durante a fermentação submersa. O soro de leite demonstrou ser um substrato eficaz para as bactérias, ocorrendo a produção do biossurfactante e crescimento celular durante a fermentação submersa, sendo evidenciado pela redução da tensão superficial. As cepas *B. velezensis* UPF-1 e UPF 2, e *B. amyloliquefaciens*, apresentaram redução entre 33,06 e 34,74% da tensão superficial, obtendo tensão final abaixo de 28,17 mN/m, sendo a produção de biossurfactantes é confirmada com valores finais de tensão superficial abaixo de 35 mN/m. Portanto, as bactérias estudadas mostraram-se produtoras eficientes de biossurfactante, indicando possível aplicação em sistemas hidropônicos. No entanto, é necessário submeter os biossurfactantes produzidos a testes para determinar sua eficácia como agentes de controle de fitopatógenos em plantas hidropônicas.

Palavras-chave: biossurfactante bacteriano, *Bacillus velezensis*, biocontrole, doenças de hidroponia.

1 INTRODUÇÃO

A incidência de doenças em plantas cultivadas em sistema hidropônico pode resultar em crescimento lento, folhas amareladas ou murchas, menor desenvolvimento do sistema radicial e morte da planta, os quais podem afetar a produtividade e a qualidade do produto (Hultberg; Holmkvist; Alsanius, 2011). As doenças relacionadas às raízes de plantas em sistema hidropônico, são de maior ocorrência, se espalhando muito rapidamente e podendo levar à morte das plantas. Entre os principais microrganismos que podem afetar as raízes em sistemas hidropônicos estão os oomicetos, como *Pythium* e *Phytophthora*, fungos, como *Fusarium* e *Rhizoctonia*, e bactérias, como *Pseudomonas* (Marian *et al.*, 2022; Paulitz, 1997).

O uso restrito de agroquímicos e o aumento na demanda por culturas orgânicas abriram caminho para o desenvolvimento de produtos biológicos para auxiliar no controle de doenças. O controle biológico tem se mostrado uma ferramenta promissora, e pode ser realizado através da adição de culturas vivas de microrganismos, ou de seus produtos (Akladiou; Gomaa; El-Mahdy, 2019). Os biossurfactantes são uma classe de compostos naturais, que podem ser utilizados em diversos setores industriais, podendo ser gerados extracelularmente ou como parte integrante da membrana celular de microrganismos (Machado *et al.*, 2020).

Entre os microrganismos mais utilizados na produção de biossurfactantes estão os pertencentes ao gênero *Bacillus* spp. (Decesaro *et al.*, 2013; Jumpathong *et al.*, 2022), *Pseudomonas* spp. (Hultberg; Holmkvist; Alsanius, 2011), *Candida utilis* (Camarate *et al.*, 2022; Ribeiro *et al.*, 2020), dentre outros. Esses bioprodutos possuem atividade antimicrobiana vastamente comprovada pela literatura e poderiam ser aplicados para utilização como controle biológico em plantas de hidroponia.

Entretanto, é importante salientar que o controle biológico frequentemente requer uma abordagem integrada com outras práticas de manejo, sendo necessária pesquisa constante para obtenção e identificação de novos microrganismos com capacidade de controle de doenças de plantas. Diante do exposto, o trabalho teve por objetivo a produção de biossurfactantes de origem bacteriana através de quatro cepas de *Bacillus* spp., para futura avaliação como biocontrole de patógenos de raízes de plantas de hidroponia.



2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Produção de biossurfactantes por cepas de *Bacillus*

Foram produzidos biossurfactantes a partir de quatro cepas de bactérias pertencentes ao banco de cepas do Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos da Universidade de Passo Fundo: duas cepas de *Bacillus velezensis* isoladas de resíduos de frutas, nomeadas UPF-1 e UPF-2, *Bacillus methylotrophicus* isolado de solo contaminado com óleo diesel, e *Bacillus amyloliquefaciens*.

Inicialmente, foi preparada uma curva de crescimento para cada um dos microrganismos em meio *Plate Count* (PC) composto por triptona (5 g/L), extrato de levedura (2,5 g/L) e glicose (1 g/L), para que a inoculação do microrganismo no meio de cultivo ocorresse na fase de crescimento. Foram inoculadas 2 alças de cada microrganismo, a partir de tubos contendo o microrganismo isolado em meio PCA (*Plate Count Ágar*).

O crescimento celular foi realizado até que as cepas atingiram a fase estacionária de crescimento, em mesa agitadora orbital na temperatura de 30 °C e agitação de 100 rpm. Alíquotas foram coletadas no tempo inicial, de 2 em 2 h até 20 h de crescimento, após esse período, amostras foram coletadas a cada 4 h até estabilização. O experimento foi realizado em Erlenmeyers de 250 mL com volume útil de 100 mL. As amostras foram lidas em espectrofotômetro ($\lambda = 610$ nm). Para as leituras, serão utilizadas cubetas de plástico. Para controle, os meios foram centrifugados (3600 g por 10 min) e o meio livre de células será considerado o controle.

Através dos resultados obtidos na curva de crescimento bacteriano, foram construídas curvas-padrão de células. Inicialmente, foram realizadas diluições das bactérias em fase exponencial (absorbância acima de 0,800 em comprimento de onda de 610nm). Foram realizadas 15 diluições em concentrações entre 1,25 e 100% de meio contendo o microrganismo em fase exponencial diluído em meio PC.

As diluições foram lidas em espectrofotômetro em comprimento de onda de 610 nm e foram filtradas em filtros Milipore® (0,45 μ m), previamente pesado para obtenção da massa de células. Após a filtração, os filtros Milipore® com as células retidas foram dispostos em estufa à 50 °C até peso constante. A partir dos resultados, é possível obter a concentração celular (g/L) em cada absorbância. A curva-padrão foi então obtida através da regressão linear dos dados.

2.2 Preparo do meio de cultivo

A produção dos biossurfactantes foi realizada através de fermentação submersa (SmF) utilizando o resíduo agroindustrial soro de leite como substrato, seguindo a metodologia proposta por Decesaro et al. (2021), com adaptações. O pré-inóculo foi preparado em meio PC, com finalidade de multiplicação de células. Para início do processo fermentativo, 50 mL de meio PC foram adicionados a um frasco Erlenmeyer de 250 mL, seguido de inoculação de duas alças de colônia, com posterior incubação em mesa agitadora orbital à 30°C e 100 rpm até que as bactérias atingiram a fase exponencial (absorbância acima de 0,800 em comprimento de onda de 610nm).

O soro de leite para compor o meio da fermentação submersa foi inicialmente submetido a um pré-tratamento para realizar a precipitação da proteína e melhorar a disponibilidade da lactose para os microrganismos. O pH do mesmo foi ajustado até pH 4,0 através da adição de HCl (1 mol/L) com posterior ebulição por 10 min. Após seu arrefecimento, o precipitado foi removido através de filtração utilizando algodão. Em seguida, o pH foi reajustado para 7,0, através da adição de NaOH (1 mol/L) e o sobrenadante autoclavado (121°C) (Joshi; Bharucha; Desai, 2008).

O meio para fermentação era composto por 50 mL de soro de leite após pré-tratamento, com adição de sulfato de amônio (1 %), solução de micronutrientes (0,5 %) e óleo de soja (2 %) para ação como indutor da produção dos biossurfactantes (Decesaro et al., 2021). A solução de micronutrientes foi composta por NaBr: 0,033 g/L, CuSO₄.5H₂O: 0,20 g/L, MgSO₄.7H₂O: 0,81 g/L, e ZnSO₄.7H₂O: 0,31 g/L (Decesaro et al., 2020; Praveesh et al., 2011). 10 % (V/V) do pré-inóculo foi adicionado ao meio, assim que a cultura obteve absorbância de 0,800 em comprimento de onda de 610 nm.

Os inóculos foram incubados em agitador orbital na temperatura de 30 °C e agitação de 100 rpm, e foram coletadas e avaliadas amostras de 25 mL no tempo de 0, 2, 5, 7 e 10 dias. Foram realizadas análises de concentração celular e tensão superficial para cada tempo e microrganismo. A determinação da concentração celular foi efetuada por meio da leitura em um espectrofotômetro a 600 nm, seguida da correlação com as curvas-padrão obtidas previamente neste estudo. Posteriormente, os meios de cultura foram centrifugados para a leitura da absorbância dos meios livres de células, a fim de obter os controles. Para calcular a concentração celular, os valores de crescimento nos meios contendo os microrganismos foram subtraídos dos valores de absorbância nos meios sem microrganismos.

Para determinação da tensão superficial, as amostras foram centrifugadas 10 min a 3600 g (CENTEC-5000) para quantificação do percentual de redução da tensão superficial. A tensão superficial foi quantificada de acordo com o método Du-Nuoy's ring, utilizando tensiômetro (Sigma - 702). A amostra foi colocada em um recipiente com o anel inicialmente submerso, o anel subiu e rompeu a ligação com a água. A força exercida sobre o anel quando a lâmina do



líquido se rompeu, resultou na medida da tensão superficial. O percentual de redução de tensão foi calculado através da Equação 1.

$$\text{Percentual de redução (\%)} = \frac{\text{Tensão inicial} - \text{Tensão final}}{\text{Tensão inicial}} \quad (1)$$

Ao finalizar o processo de fermentação, o biossurfactante foi recuperado através do método de Dubey e Juwarkar (2001). O caldo livre de células foi acidificado a pH 2 através da adição de HCl (1 mol/L), seguido por incubação durante 24 h a 4 °C com posterior centrifugação a 3600 g durante 10 min (CENTEC-5000). Após a precipitação, foi realizada a liofilização (TERRONI) dos biossurfactantes através da desidratação das amostras a frio sob vácuo, com acondicionamento a -40 °C até a utilização.

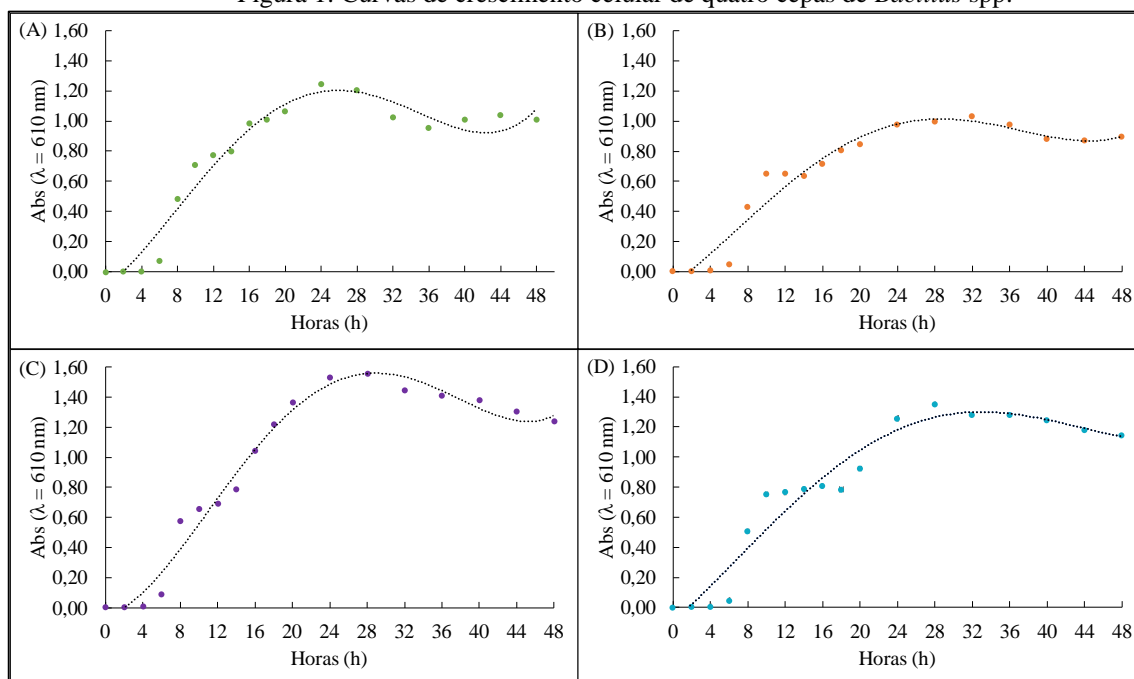
2.3 Análise Estatística

Os dados foram analisados através de análise de variância (ANOVA) no nível de 95% de confiança seguida do teste de Tukey para comparação de médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foi construída a curva de crescimento das bactérias com o objetivo de verificação das fases de crescimento do microrganismo, para obtermos uma previsão de em quanto tempo as bactérias atingiam a fase exponencial de crescimento. O crescimento das quatro cepas de *Bacillus* spp pode ser observado na Figura 1. Enquanto as curvas-padrão dos quatro microrganismos está apresentada na Figura 2.

Figura 1: Curvas de crescimento celular de quatro cepas de *Bacillus* spp.



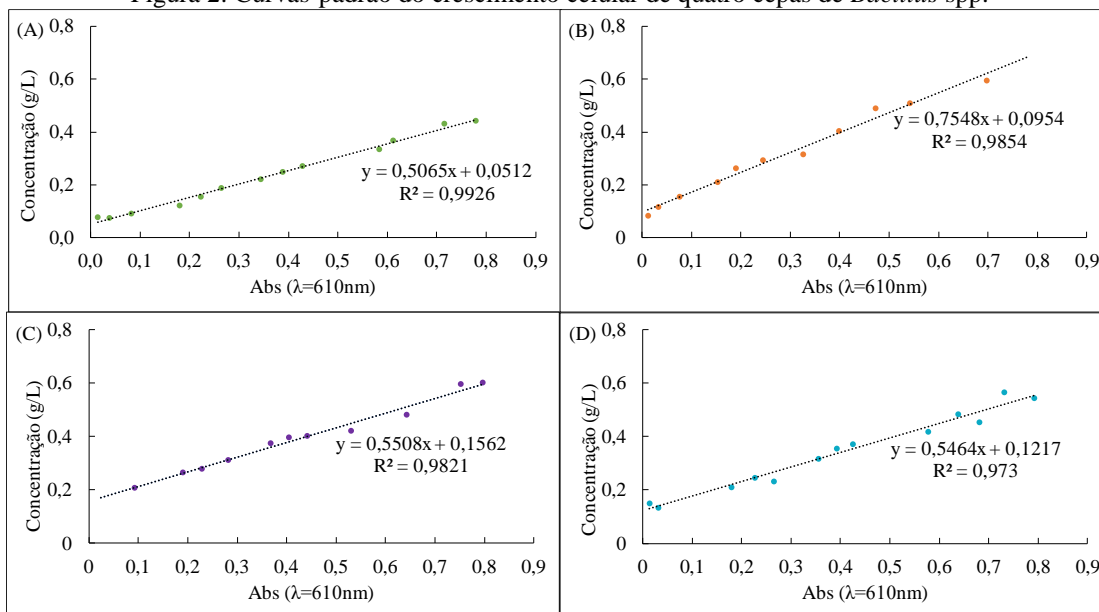
Onde: (A) Curva de crescimento da cepa *Bacillus velezensis* UPF-1; (B) Curva de crescimento da cepa *Bacillus velezensis* UPF-2; (C) Curva de crescimento da cepa *Bacillus methylotrophicus*; (D) Curva de crescimento da cepa *Bacillus amyloliquefacens*.

A partir da análise da Figura 1, verifica-se que os quatro microrganismos permaneceram em fase exponencial em período semelhante, entre 8 e 24 horas, seguindo após esse tempo para a fase estacionária. A bactéria *B. velezensis* UPF-1, Figura 1 (A), requer pelo menos 14 horas para atingir a absorvância de 0,800 ($\lambda= 610\text{nm}$), necessária para a confecção da curva-padrão. O microrganismo *B. velezensis* UPF-2, Figura 1 (B), demandou 18 horas para atingir a absorvância de 0,800. Quanto ao *B. methylotrophicus* (Figura 1 ; C) necessita entre 14 e 16 horas para atingir 0,800 de absorvância. Por fim, a bactéria *B. amyloliquefacens* (Figura 1; D) requer 16 horas para atingir a absorvância desejada.

Após a obtenção da curva de crescimento e identificação das fases, foi elaborada a curva-padrão para cada uma das bactérias. A partir dessas curvas, obtivemos a relação entre as absorvâncias observadas no espectrofotômetro e o peso

de células (Figura 2). Com esses resultados, durante a fermentação podemos relacionar o peso da bactéria presente com a absorbância apresentada pelo meio de fermentação em cada um dos dias que serão analisados.

Figura 2: Curvas-padrão do crescimento celular de quatro cepas de *Bacillus* spp.

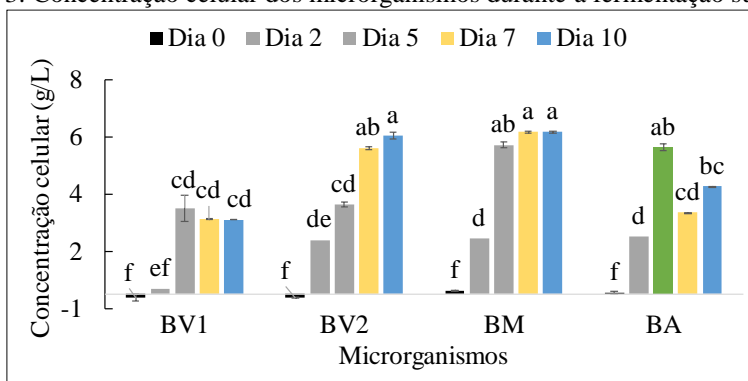


Onde: (A) Curva de crescimento da cepa *Bacillus velezensis* UPF-1; (B) Curva de crescimento da cepa *Bacillus velezensis* UPF-2; (C) Curva de crescimento da cepa *Bacillus methylotrophicus*; (D) Curva de crescimento da cepa *Bacillus amyloliquefacens*.

Conforme análise da Figura 2, os coeficientes de determinação obtidos para as curvas-padrão de todos os microrganismos foi acima de 0,9730 sendo assim apresenta de forma confiável o comportamento entre absorbâncias e peso de células. Desta forma, foi iniciada a etapa de fermentação submersa.

Conforme a literatura, o soro de leite é principalmente composto por água, seguido de lactose (5 g/100g) e proteínas (1,2 g/100g) (Decesaro *et al.*, 2021). A composição desse resíduo agroindustrial é indicada para utilização em processos fermentativos, na produção de produtos de alto valor agregado como os biossurfactantes. Os microrganismos utilizam majoritariamente o açúcar para a transformação em bioproduto. Com esse objetivo, o soro de leite foi pré-tratado para a quebra da lactose em glicose e galactose e melhorar a disponibilização para as bactérias, que não tem característica de utilizarem a lactose como um substrato principal. O consumo desses nutrientes foi evidenciado através do crescimento celular e redução da tensão superficial, como pode ser observado nas Figuras 3 e 4.

Figura 3: Concentração celular dos microrganismos durante a fermentação submersa.

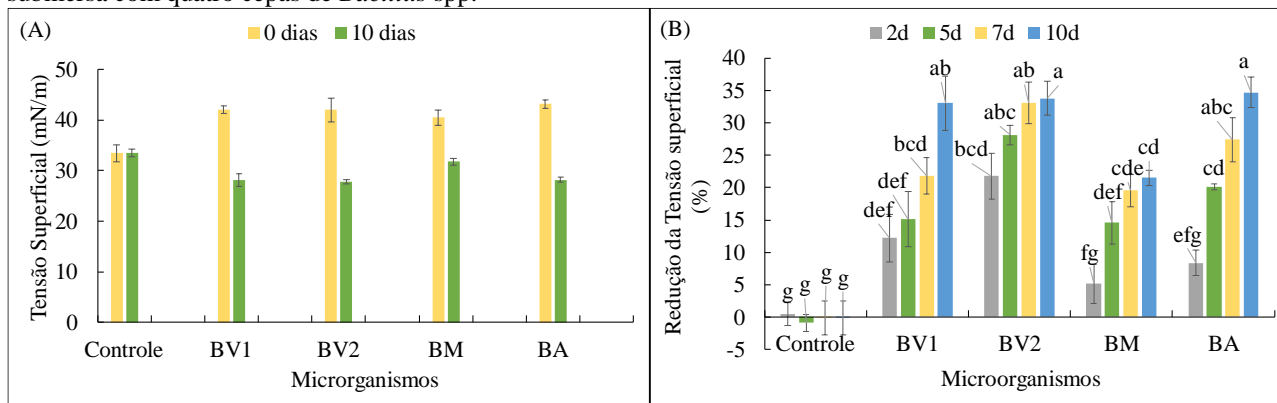


Onde: BV1: *Bacillus velezensis* UPF-2; BV2: *Bacillus velezensis* UPF-2; BM: *Bacillus methylotrophicus*; e BA: *Bacillus amyloliquefacens*.

A partir da Figura 3, é possível observar que os microrganismos *B. velezensis* UPF-1 e UPF-2 e *B. methylotrophicus* apresentaram crescimento linear ao longo dos dias de análise. No entanto, o microrganismo *Bacillus amyloliquefacens* apareceu um crescimento atípico no quinto dia de análise, possivelmente devido a uma não

homogeneidade de amostra, pois a concentração celular foi reduzida e permaneceu constante nos dias 7 e 10 de fermentação. As bactérias *B. velezensis* UPF-2 e *B. methylotrophicus* apresentaram maiores concentrações de células em comparação com as outras cepas $5,54 \pm 0,11$ e $5,67 \pm 0,04$ g/L, respectivamente. Ademais, os microrganismos não apresentaram diferença estatística entre os dias 7 e 10 de fermentação submersa. Desta forma, é possível afirmar que, a partir da concentração celular, a fermentação poderia ser interrompida a partir de 7 dias de ativação.

Figura 4: Redução de tensão superficial e obtidos na produção de biossurfactantes durante 10 dias de fermentação submersa com quatro cepas de *Bacillus* spp.



Onde: Controle foi a amostra sem adição de microrganismo; BV1: *Bacillus velezensis* UPF-2; BV2: *Bacillus velezensis* UPF-2; BM: *Bacillus methylotrophicus*; e BA: *Bacillus amyloliquefaciens*.

A tensão superficial inicial e final e as porcentagens de redução de tensão durante a fermentação estão apresentadas na Figura 4 (A) e (B), respectivamente. Para comparação, foram realizadas análises sem a incubação dos microrganismos (controle). A partir da análise da Figura 4, em comparação com a Figura 3, o crescimento celular e a redução da tensão superficial não possuem relação direta.

Na Figura 4 (A), estão apresentados os valores brutos de tensão superficial. Todos os microrganismos tiveram reduções significativas, indicando a produção de biossurfactantes. A maior redução foi obtida pela bactéria *B. amyloliquefaciens* (15,01 mN/m), seguido por *B. velezensis* UPF-2 e UPF-1 (14,24 e 13,92 mN/m, respectivamente), e a menor redução foi observada para *B. methylotrophicus* (8,72 mN/m). O controle permaneceu com a tensão superficial constante durante a fermentação. Durante os dias de fermentação, Figura 4 (B), todos os microrganismos tiveram uma redução contante de tensão superficial. Os microrganismos *B. velezensis* UPF-1, UPF-2 e *B. amyloliquefaciens* obtiveram porcentagem de redução superficial igual significativamente ($p > 0,05$), obtendo reduções de tensão de $33,07 \pm 4,20$, $33,83 \pm 2,64$ e $34,74 \pm 2,37$, respectivamente.

Para um microrganismo ser considerado eficiente na produção de surfactantes, é necessário que o valor de tensão superficial final, seja inferior a 35 mN/m (Cooper; Paddock, 1983). Nesse sentido, todos os microrganismos foram eficientes na produção do biossurfactante. Entretanto, sugere-se para trabalhos futuros uma investigação aprofundada das cepas *B. amyloliquefaciens* e *B. velezensis* UPF-2, já que esses foram os microrganismos com maior eficiência na produção desse bioproduto. Ademais, há uma demanda por mais estudos apontando a cepa *B. velezensis* como produtora de biossurfactantes, o que demanda uma investigação mais detalhada de sua aplicação.

Os avanços tecnológicos, em concomitância com o uso de resíduos agroindustriais para substituição de substratos de custo elevado, tornam possível uma maior aplicação de produtos de origem biológica e redução de produtos de origem química nos meios agrônômicos. Por outro lado, os bioprodutos, derivados de vias naturais, são geralmente mais bem aceitos do que seus análogos sintéticos, resultantes de processos químicos. Apesar das evidências da literatura comprovando a ação antimicrobiana de biossurfactantes, é necessário realizar um estudo aprofundado de inibição de fitopatógenos presentes nas culturas de hidroponia.

4 CONCLUSÃO

Diante dos resultados, este estudo apresentou a relevância da produção de biossurfactantes a partir de quatro cepas de *Bacillus* spp. As curvas de crescimento e concentração favoreceram para sabermos o momento exato de adicionar o microrganismo. Além disso, a utilização do soro de leite como substrato para fermentação e produção desses compostos foi bem-sucedida, contribuindo para tornar o processo mais economicamente viável e ambientalmente sustentável. A eficiência de produtividade foi evidenciada pela redução significativa da tensão superficial, demonstrando seu potencial para aplicações práticas. No entanto, é importante ressaltar a necessidade de pesquisas adicionais, especialmente para investigar mais profundamente as cepas mais eficientes, como *B. amyloliquefaciens* e *B. velezensis* UPF-2, bem como



explorar totalmente o potencial dos biossurfactantes produzidos por *B. velezensis* para atuação como agente de controle em sistemas hidropônicos.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Universidade de Passo Fundo pelo apoio financeiro.

6 REFERÊNCIAS

- AKLADIOUS, S.A.; GOMAA, E.Z.; EL-MAHDY, O.M. Efficiency of bacterial biosurfactant for biocontrol of *Rhizoctonia solani* (AG - 4) causing root rot in faba bean (*Vicia faba*) plants. **European Journal of Plant Pathology**, [s. l.], v. 153, n. 1, p. 15–35, 2019.
- CAMARATE, Marcelo Carneiro *et al.* Selective bioflocculation of ultrafine hematite particles from quartz using a biosurfactant extracted from *Candida stellata* yeast. **Separation Science and Technology**, [s. l.], v. 57, n. 1, p. 36–47, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01496395.2021.1881972>.
- COOPER, David G.; PADDOCK, David A. *Torulopsis petrophilum* and Surface Activity. **Applied and Environmental Microbiology**, [s. l.], v. 46, n. 6, p. 1426–1429, 1983.
- DECESARO, Andressa *et al.* Bacterial biosurfactant increases ex situ biodiesel bioremediation in clayey soil. **Biodegradation**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 389–401, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10532-021-09944-z>.
- DECESARO, Andressa *et al.* Biosurfactants Production Using Permeate from Whey Ultrafiltration and Bioproduct Recovery by Membrane Separation Process. **Journal of Surfactants and Detergents**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 539–551, 2020.
- DECESARO, Andressa *et al.* Produção de biossurfactantes por microrganismos isolados de solo contaminado com óleo diesel. **Química Nova**, [s. l.], v. 36, n. 7, p. 947–954, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000700005&lng=pt&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 27 jun. 2023.
- DUBEY, Kirti; JUWARKAR, Asha. Distillery and curd whey wastes as viable alternative sources for biosurfactant production. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 61–69, 2001.
- HULTBERG, Malin; HOLMKVIST, Anna; ALSANIUS, Beatrix. Strategies for administration of biosurfactant-producing pseudomonads for biocontrol in closed hydroponic systems. **Crop Protection**, [s. l.], v. 30, n. 8, p. 995 – 999, 2011. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79957540677&doi=10.1016%2fj.cropro.2011.04.012&partnerID=40&md5=c3217621af17e848ccf6c152ef96710e>.
- JOSHI, Sanket; BHARUCHA, Chirag; DESAI, Anjana J. Production of biosurfactant and antifungal compound by fermented food isolate *Bacillus subtilis* 20B. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 99, n. 11, p. 4603–4608, 2008.
- JUMPATHONG, Wathanachai *et al.* Biosurfactant-Producing *Bacillus velezensis* PW192 as an Anti-Fungal Biocontrol Agent against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Colletotrichum musae*. **Microorganisms**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 1017, 2022.
- MACHADO, Thaís Strieder *et al.* Effects of homemade biosurfactant from *Bacillus methylotrophicus* on bioremediation efficiency of a clay soil contaminated with diesel oil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s. l.], v. 201, p. 110798, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651320306370>.
- MARIAN, Malek *et al.* Biocontrol of *Pythium* root rot on lisianthus using a new dark septate endophytic fungus *Hyaloscypha variabilis* J1PC1. **European Journal of Plant Pathology**, [s. l.], v. 163, n. 1, p. 97–112, 2022.
- PAULITZ, T C. Biological control of root pathogens in soilless and hydroponic systems. **HortScience**, [s. l.], v. 32, n. 2, p. 193 – 196, 1997. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0030768220&doi=10.21273%2fhortsci.32.2.193&partnerID=40&md5=df06518de7052f0fa7f245382946771c>.
- PRAVEESH, B. V. *et al.* Biosurfactant production by *Pseudomonas* sp. from soil using whey as carbon source. **New York Science Journal**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 99–103, 2011.
- RIBEIRO, Beatriz Galdino *et al.* Biosurfactant produced by *Candida utilis* UFPEDA1009 with potential application in cookie formulation. **Electronic Journal of Biotechnology**, [s. l.], v. 46, p. 14–21, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0717345820300208>.



Área: Bioprocessos

ISOLAMENTO DE MICRORGANISMOS A PARTIR DE RESÍDUOS DE FRUTAS E VEGETAIS E TRIAGEM DE CEPAS AMILOLÍTICAS

Raíssa Vieira Da Silva*, Katia Bitencourt Sartor, Luciane Maria Colla

*Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos,
Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS
E-mail: 166370@upf.br

RESUMO – As enzimas são catalisadores biológicos e sua principal função é diminuir a energia de ativação acelerando a velocidade das reações químicas. Essas moléculas possuem uma ampla aplicação em diversos segmentos industriais como o de fármacos, ração animal, alimentos, cervejaria, combustíveis, indústria têxtil, papel, entre outros. A crescente demanda por produtos alimentícios de alta qualidade, juntamente com a tendência por produtos naturais, contribuiu para esse crescimento. Considerando a vasta tendência desse mercado, é importante obter essas enzimas na forma mais ativa e com um menor custo. Desta forma, o uso de resíduos alimentares pode contribuir para diminuição do custo de produção das enzimas, contribuindo para a redução da quantidade de resíduos sólidos e sua valorização, o que é um aspecto importante a ser considerado no contexto da bioeconomia circular. Além disso, estes resíduos podem ser fonte de novas cepas de microrganismos que possam ter aplicação nos processos de produção de enzimas. Nesse contexto, objetivou-se fazer uma avaliação inicial se os microrganismos isolados a partir de resíduos de frutas e vegetais são capazes de produzir enzimas amilolíticas. A metodologia seguiu com o isolamento dos microrganismos de resíduos de frutas, posteriormente foi realizada a triagem das cepas com potencial amilolítico. A partir dos resíduos de frutas foram isoladas bactérias, fungos e levedura. A atividade amilolítica foi determinada pela formação de uma zona clara ao redor da colônia de crescimento fúngico. A triagem primária das cepas amilolíticas permitiu avaliar quais microrganismos podem ser destinados para a etapa seguinte de fermentação para produção das enzimas.

Palavras-chave: Isolamento de microrganismos. Resíduos de Frutas e Vegetais. Cepas amilolíticas.

1 INTRODUÇÃO

As enzimas são catalisadores biológicos e sua principal função é diminuir a energia de ativação acelerando a velocidade das reações químicas. As enzimas não alteraram o equilíbrio químico característico da reação preservando a relação entre reagentes e produtos que devem ser obtidos no final da reação. Em geral a utilização de enzimas proporciona vias sintéticas que geram menos resíduos e que são mais eficientes do que a síntese orgânica convencional. As enzimas são específicas, tanto para as reações que catalisam, como para a interação com os substratos. Na maioria das vezes, uma enzima catalisa apenas uma reação química, ou um conjunto de reações intimamente relacionadas (Marzzoco e Torres, 1999).

Essas moléculas possuem uma ampla aplicação em diversos segmentos industriais como o de fármacos, ração animal, alimentos, cervejaria, combustíveis, detergente, indústria têxtil, papel, entre outros (Vermelho et al., 2013). A utilização de enzimas como catalisadores em processos industriais mostra-se vantajosa, pois através delas pode-se melhorar a qualidade de um produto, tornar mais fácil a obtenção de compostos de interesse ou degradar substâncias indesejáveis. Além disso, são específicas, naturais, não possuem toxicidade e normalmente apresentam características desejáveis tanto pela indústria quanto para o meio ambiente (Souza et al., 2017).

Nas últimas décadas, a procura por enzimas para aplicações biotecnológicas tem aumentado significativamente. O mercado global de enzimas foi avaliado em US\$ 9,9 bilhões em 2019 e espera-se que se desenvolva entre 2020 e 2027 em uma taxa de crescimento anual de aproximadamente 7,1%. A crescente demanda por produtos alimentícios de alta qualidade, juntamente com a tendência por produtos naturais, contribuiu para o crescimento desse mercado na última década. (Grand view research, 2020).

As substâncias bioativas isoladas de microrganismos tem sido objeto de diversos estudos. Como exemplo entre as moléculas sintetizadas por fungos encontram-se as amilases, responsáveis pela hidrólise do amido em açúcares simples (glicose e dextrina). O amido encontra-se distribuído em diversas espécies vegetais sendo abundante em cereais (40% a 90% do peso seco), leguminosas (30% a 50% do peso seco), tubérculos (65% a 85% do peso seco) e frutas imaturas ou verdes (40% a 70% do peso seco) (Damodaran; Parkin; Fennema, 2010)



Nas últimas duas décadas, a valorização de resíduos alimentares tem ganhado atenção cada vez maior, já que esses alimentos são ricos em nutrientes e tem a capacidade de converter materiais e combustíveis de base biológica para criar uma economia sustentável (Ushani et al., 2020). A composição dos resíduos alimentares geralmente é composta de matéria orgânica, carboidratos, proteínas, gorduras, com uma fração de componentes inorgânicos, como açúcares, aminoácidos e ácidos graxos. As abordagens sustentáveis da reutilização de resíduos alimentares como substratos industriais para a produção de bioprodutos de alto valor agregado tem resultado nas diversas aplicações por meio de enzimas industriais, prebióticos biocombustíveis, plásticos biodegradáveis, compostos bioativos, aumento da demanda do mercado e seu impacto na sustentabilidade da produção de alimentos (Ng et al., 2020).

Os resíduos alimentares são de grande interesse devido ao seu baixo custo e sua grande disponibilidade, sendo que são estudados em processos fermentativos e em isolamento de novas cepas de microrganismos (De La Rosa et al., 2019). O desenvolvimento de processos de valor agregado a partir de resíduos alimentares se torna um método de gestão de resíduos ecologicamente corretos, além de reduzir os impactos ambientais, contribuindo para aprimorar a aplicação tecnológica enzimática na indústria (Girelli; Astolfi; Scuto, 2020).

Este trabalho tem como objetivo avaliar se os microrganismos isolados a partir de resíduos de frutas e vegetais são capazes de produzir enzimas amilolíticas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATÉRIAS PRIMAS

Foram utilizados resíduos alimentares provenientes de feiras agroindustriais da cidade de Passo Fundo - RS, dos quais foram isolados microrganismos. As frutas coletadas foram morango, pêssego, manga e também o bagaço de cana-de-açúcar.

2.2 ISOLAMENTO DE MICRORGANISMOS

As matérias primas em estado de amadurecimento avançado, contendo aspecto de deterioração, foram utilizadas para o isolamento dos microrganismos. Para isolamento dos microrganismos foi utilizada a metodologia proposta por Ribeiro e Soares (2000). Primeiramente foram realizadas diluições seriadas até 10^{-7} , seguido de inoculação (0,1 mL) de cada diluição na superfície de meios sólidos, em placa de Petri. O meio utilizado para o isolamento de bactérias foi o (Plate Count Agar – PCA). As placas de Petri foram incubadas em estufa durante o período de 48 h, a 35 °C. As colônias individuais que cresceram foram repicadas para meio PCA até a obtenção de colônias puras. Para identificar os microrganismos isolados, foram realizadas caracterizações macroscópicas de formato da colônia e cor.

2.3 TRIAGEM DAS CEPAS AMILOLÍTICAS

Para a triagem de cepas amilolíticas as cepas dos microrganismos isolados foram semeadas em meio amido-ágar contendo 1,0% de amido solúvel, 0,2% de extrato de levedura, 0,5% de peptona, 0,1% de NaCl, 0,1% de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ e 0,02% de $CaCl_2 \cdot 2H_2O$. Em seguida foram incubadas durante 75 h por 35 °C. A produção das enzimas amilolíticas foi determinada pela adição de 2% (v/v) de solução de KI e 1% (v/v) de I₂ nas placas, seguida da visualização da formação das zonas claras (Afrisham et al., 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ISOLAMENTO DE MICRORGANISMOS

A partir dos resíduos de frutas (casca de abacaxi, cenoura, mix de frutas composto por morango, pêssego, manga e bagaço de cana-de-açúcar), foram isoladas 11 bactérias (4 provenientes do abacaxi, 3 provenientes de cenoura, 2 provenientes de um mix de frutas e 2 provenientes do bagaço de cana-de-açúcar), 2 fungos (1 provenientes de abacaxi e 1 proveniente do bagaço de cana-de-açúcar) e 1 levedura do abacaxi. Posteriormente foi realizada a triagem dos microrganismos para verificar o potencial de produção de enzimas amilases.

3.2 E TRIAGEM DAS CEPAS AMILOLÍTICAS



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

A atividade amilolítica foi determinada pela formação de uma zona clara ao redor da colônia de crescimento fúngico, indica hidrólise do amido pela cepa produtora de enzima, por outro lado, a ausência desta zona foi revelada pela presença de cor azul ao redor da colônia de crescimento indica resultado negativo. As experiências foram realizadas em triplicata para cada microrganismo isolado. Através da seleção primária em ágar amido, figura 1, foi possível detectar a formação de halos de hidrólise (zona mais clara ao redor das colônias), sendo selecionadas as cepas de bactérias de bagaço de cana-de-açúcar e mix de frutas as quais foram denominadas isolado 1 e isolado 2 respectivamente, sendo que essas podem ser submetidas a uma etapa posterior de processo fermentativo.

Figura 1 – Cepas selecionadas pela revelação do halo de hidrólise em ágar amido



Fonte: Autor (2021)

Os resultados dessa seleção primária permitiram verificar que o diâmetro do halo de hidrólise permite prever o rendimento da enzima como um auxílio para o processo de seleção dos microrganismos capazes de degradar polissacarídeos. Tal seleção, também conhecida por screening, indica a presença de determinada substância pela detecção de alguma atividade específica, tal como a detecção de uma atividade enzimática via reação colorimétrica ou fluorimétrica (ZHANG et al., 2006).

Abouamama et al. (2023) estudaram a atividade amilolítica de alguns fungos filamentosos isolados da rizosfera de plantas cultivadas na região de Tamanghasset. Foram isoladas 11 cepas puras pertencentes aos diferentes gêneros fúngicos *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Fusarium*, *Mucor* e *Penicillium*. O resultado positivo da atividade amilolítica foi revelado em todas as cepas isoladas, com importantes zonas de hidrólise de $54,33 \pm 1,15$ mm, $54,00 \pm 3,61$ mm, $52,00 \pm 6,08$ mm e $51,33 \pm 15,01$ mm para *Aspergillus* sp.1, *Curvularia* sp., *Fusarium* sp. 2 e *Mucor* sp. Respectivamente.

Parameswaran, Soumya, Nampoothiri (2023) identificaram uma cultura como *Streptococcus lutetiensis* com significativa atividade sacarificante de amido. Juntamente com considerável propriedade amilolítica ($\sim 2,71$ U/mL), a cultura exibiu produção significativa de exopolissacarídeo (EPS) em meio de amido. Curiosamente, a atividade da glicosil transferase que é essencial na biossíntese do polissacarídeo também é detectada na cultura e após triagem e otimização do processo.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho possibilitou explorar as possibilidades de utilização de resíduos de frutas e vegetais para isolamento de microrganismos produtores de amilases. A triagem primária das cepas amilolíticas permitiu avaliar quais microrganismos podem ser destinados para a etapa seguinte de fermentação para produção das enzimas. Portanto, as substâncias bioativas desses microrganismos devem ser submetidas a novas pesquisas quanto à sua possível utilização em diversas aplicações.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecimento em especial ao CNPq pelos recursos que possibilitou a realização do projeto intitulado como: Valoração de resíduos alimentares através da produção de enzimas e bioetanol no conceito de bioeconomia circular.



Número do processo: 403786/2021-5. Também agradeço ao laboratório de Bioquímica e Bioprocessos e a Universidade de Passo Fundo.

6 REFERÊNCIAS

- ABOUAMAMA, Sidaoui et al. Amylolytic and antibacterial activity of filamentous fungi isolated from the rhizosphere of different plants grown in the Tamanghasset region. **Heliyon**, v. 9, n. 3, 2023.
- AFRISHAM, S.; BADOEI-DALFARD, A.; NAMAKI-SHOUSHTARI, A.; KARAMI, Z. Characterization of a thermostable, CaCl₂-activated and raw-starch hydrolyzing alpha-amylase from *Bacillus licheniformis* AT70: Production under solid state fermentation by utilizing agricultural wastes. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 132, p. 98-106, 2016.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema (4a. ed.)**. [s.l.] Grupo A - Artmed, 2010.
- DE LA ROSA, Orlando, et al. Fructooligosaccharides production from agro-wastes as alternative low-cost source. **Trends in Food Science & Technology**, 2019, 91: 139-146.
- GIRELLI, Anna Maria; ASTOLFI, Maria Luisa; SCUTO, Francesca Romana. Agro-industrial wastes as potential carriers for enzyme immobilization: **A review. Chemosphere**, 2020, 244: 125368.
- GRAND VIEW RESEARCH. Enzymes Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Industrial Enzymes, Specialty Enzymes), By Product (Carbohydrase, Proteases, Lipases), By Source, By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027 2020. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/enzymes-industry> >. Acesso em: 11set. 2020.
- HII, S. L. et al. Pullulanase: Role in Starch Hydrolysis and Potential Industrial Applications. **Enzyme Research**, v. 2012, p. 1-14, 2012.
- MARZZOCO, A.; TORRES, B. B. **Bioquímica Básica**. 2. ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999.
- NG, Hui Suan, et al. Recent advances on the sustainable approaches for conversion and reutilization of food wastes to valuable bioproducts. **Bioresource technology**, 2020, 302: 122889.
- PAMESWARAN, Reeba; SOUMYA, M. P.; NAMPOOTHIRI, K. Madhavan. Direct Utilization and Conversion of raw Starch to Exopolysaccharides by a newly isolated Amylolytic Streptococcus sp. **Journal of Biotechnology**, 2023.
- RIBEIRO, M.C.; SOARES, M.M. **Microbiologia Prática: Roteiro e Manual, Bactérias e Fungos**. 1 Ed., 112 p., Rio de Janeiro: Atheneu, 2000.
- SOUZA, Livia TA et al. Imobilização enzimática: princípios fundamentais e tipos de suporte. 2017.
- USHANI, U., et al. Enzymes/biocatalysts and bioreactors for valorization of food wastes. In: Food Waste to Valuable Resources. **Academic Press**, 2020. p. 211-233.
- VERMELHO, Alane Beatriz et al. Diversity and biotechnological applications of prokaryotic enzymes. **Rosenberg E et al, The Prokaryotes: Applied Bacteriology and Biotechnology. Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg**, p. 213-240, 2013.
- ZHANG, Y.H.P.; HIMMEL, M.E.; MIELENZ, J.R. Outlook for cellulase improvement: Screening and selection strategies. **Biotechnology Advances**, v. 24, n.5, p. 452-481, 2006.



Área: Bioprocessos

**PRODUÇÃO DE AMILASES POR ISOLADOS DE BACTÉRIAS
ATRAVÉS DE FERMENTAÇÃO SUBMERSA**

Raíssa Vieira Da Silva*, Katia Bitencourt Sartor, Luciane Maria Colla

*Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos,
Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS
E-mail: 166370@upf.br

RESUMO – As enzimas podem ser extraídas de tecidos animais, vegetais ou microrganismos. A obtenção desses biocatalizadores se dá por processos fermentativos utilizando microrganismos. Os principais fatores a serem considerados para o substrato da fermentação é a seleção de meios de cultivo adequados. A reutilização de resíduos alimentares como substratos industriais para a produção de bioprodutos de alto valor agregado tem resultado nas diversas aplicações por meio de enzimas industriais. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo principal produzir enzimas amilolíticas por microrganismos isolados e avaliar a atividade enzimática. A metodologia seguiu com o delineamento experimental dos microrganismos para o processo fermentativo para obtenção das melhores condições de produção de enzimas. O tempo de fermentação mais adequado para produção de amilases pelos isolados 1 e 2 foi de 96 horas, sendo este escolhido para dar prosseguimentos as análises estatísticas das variáveis. Os ensaios utilizando farelo de trigo e suco de fruta (4 e 8) apresentaram as melhores condições para produção de amilases com valores 1,88 U e 1,72 U para o isolado 1 e de 0,42 U e 0,44 U para isolado 2 isso ocorre, pois, os resíduos de fruta são uma fonte rica em açúcares solúveis fermentáveis e uma excelente fonte de biomassa, juntamente com o farelo de trigo que possui uma ampla fonte de carbono, nitrogênio e aminoácidos. Conclui-se que as melhores condições para a produção de enzimas amilases sob fermentação submersa é utilizando os substratos de baixo custo farelo de trigo e suco de fruta em 96 horas.

Palavras-chave: Enzimas. Fermentação Submersa. Resíduos alimentares.

1 INTRODUÇÃO

As enzimas podem ser extraídas de tecidos animais, vegetais ou produzidas por microrganismos. Industrialmente a obtenção desses biocatalizadores se dá por processos fermentativos utilizando microrganismos como fungos ou bactérias, por possuírem facilidade de manuseio e ter alta taxa de multiplicação. Os mais utilizados são os microrganismos que pertencem à categoria reconhecida como segura (GRAS). (Monteiro e Nascimento, 2009). Considerando a vasta tendência de crescimento das enzimas no mercado, é importante obter essas enzimas na sua forma mais ativa e com um menor custo.

A fermentação utilizando microrganismos com capacidade de produzir enzimas pode ser aplicada no desenvolvimento de bioprocessos reduzindo os custos, o que amplia a possibilidade de sua aceitação pelas indústrias (Rai et al, 2017). Os principais fatores a serem considerados para o substrato da fermentação é a seleção de meios de cultivo adequados, disponibilidade e custos, pois esses irão desempenhar papel importante na produção de enzimas (Naik et al., 2019).

Nas últimas duas décadas, a valorização de resíduos alimentares tem ganhado atenção cada vez maior, já que esses alimentos são ricos em nutrientes e tem a capacidade de converter materiais e combustíveis de base biológica para criar uma economia sustentável (Ushani et al., 2020). A composição dos resíduos alimentares geralmente é composta de matéria orgânica, carboidratos, proteínas, gorduras, com uma fração de componentes inorgânicos, como açúcares, aminoácidos e ácidos graxos. As abordagens sustentáveis da reutilização de resíduos alimentares como substratos industriais para a produção de bioprodutos de alto valor agregado tem resultado nas diversas aplicações por meio de enzimas industriais, prébióticos biocombustíveis, plásticos biodegradáveis, compostos bioativos, aumento da demanda do mercado e seu impacto na sustentabilidade da produção de alimentos (Ng et al., 2020).

Sendo assim, devido à utilização e funções das enzimas em processos industriais e diante da importância relatada sobre o reaproveitamento de resíduos alimentares e seu potencial na produção destes compostos, o presente trabalho teve como objetivo principal produzir enzimas amilolíticas por microrganismos isolados e avaliar a atividade enzimática das enzimas produzidas.



2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL PARA PRODUÇÃO DE ENZIMAS

As enzimas amilases foram produzidas por fermentação submersa utilizando microrganismos isolados a partir de resíduos de hortifruti. A tabela 1 apresenta o delineamento fatorial completo 2^3 com três pontos centrais variando as concentrações de casca de batata/farelo de trigo, suco de fruta (manga e banana) e pH.

2.2 FERMENTAÇÃO SUBMERSA

O pré inóculo foi realizado em meio PC (Plate Count), composto por triptona (5 g/L), extrato de levedura (2,5 g/L) e glicose (1g/L), a partir de tubos contendo o microrganismo isolado em meio PCA (Plate Count Agar). Em erlenmeyers de 250 mL foram adicionados 50 mL do meio PC, o qual foi inoculado com 2 alças de colônias com posterior incubação em agitador orbital por 48 h a 30 °C.

O meio de cultivo foi preparado com 100 g de casca batata ou farelo de trigo em 1 L de água, o qual foi deixado em repouso por 2 h, após foi realizado o cozimento (100 °C por 30 min) dos materiais amiláceos. Em seguida foi filtrado em filtro de tecido para remoção dos sólidos, seguindo o delineamento fatorial foi adicionado proporções do suco de fruta no meio, o qual preparado utilizando 50 g de manga e banana na mesma proporção e 50 ml de água e homogeneizado em liquidificador, posteriormente o pH do meio foi ajustado conforme o delineamento. O meio foi esterilizado a 121 °C durante 20 minutos (Colla et al., 2010). Seguidamente foi realizado a inoculação em uma razão de inoculação de 10% com uma suspensão de microrganismos com absorvância 0.8 a 610 nm, oriundo dos pré-inóculos. Os erlenmeyers foram incubados a 30 °C com agitação orbital (100 rpm por 96h), para determinação da cinética da produção de enzimas pelos microrganismos. Os extratos obtidos foram filtrados em algodão e empregados para a determinação da atividade enzimática.

2.3 DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ENZIMÁTICA

A atividade amilolítica foi determinada utilizando amido como substrato, baseado na produção de açúcares redutores (Miller, 1959). A partir dos extratos foram realizadas as determinações de atividade amilolítica inoculando 1 mL de extrato enzimático em 4 mL de solução de amido 1 % preparado em tampão fosfato 0,5 M e pH 7,0. A mistura foi incubada por 30 min a 50°C. Os açúcares redutores foram determinados pelo método do ácido dinitrosalicílico (DNS), que consiste na adição de 1mL de extrato enzimático, 1mL de NaOH 1N e 1 mL de DNS em tubo de ensaio, seguido de banho a 100 °C por 5 min e posterior banho de gelo. A mistura foi avolumada até volume de 10 mL e a leitura da absorvância foi realizada em 546 nm.

Uma unidade de atividade enzimática (U) corresponde à quantidade de enzima capaz de liberar 1 μ mol de glicose por minuto nas condições do método proposto (Alva et al., 2007). As atividades enzimáticas foram calculadas utilizando as Equações 1 e 2.

$$[AR] = ((0,1981 \times ABS) + (0,0026)) \times 100 \quad (1)$$

$$AA = \frac{AR}{30} \times \frac{1000}{180} \quad (2)$$

Sendo:

[AR]: Concentração de açúcares redutores (mg/mL);

ABS: Absorvância em 546 nm;

AA: Atividade amilolítica U (μ molAR/ml.min)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PRODUÇÃO DE ENZIMAS VIA FERMENTAÇÃO SUBMERSA

A maior atividade enzimática para a maioria dos ensaios dentre os dois isolados foi verificada no tempo de 96 horas. Isso pode-se ser explicado, uma vez que, a formação dos metabólitos está frequentemente ligada ao crescimento



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

celular. Sendo assim, no crescimento máximo do microrganismo, há a tendência de maior produção de metabólitos, sugerindo que a produção de enzimas é dependente do crescimento do microrganismo (Abdullah et al, 2014).

Os resultados da atividade enzimática (U) em 96 horas de fermentação dos isolados 1 e 2 estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1: Delineamento experimental e valores da determinação da atividade enzimática (U) em 96 horas de fermentação

Ensaio	X ₁ (%Batata/Fa relo)	X ₂ (%Suco v/v)	X ₃ (pH)	Atividade enzimática (U) em 96 h	
				Isolado 1	Isolado 2
1	-1 (0/100)	-1 (0)	-1 (5)	0,187 ± 0,001	0,061 ± 0,001
2	+1 (100/0)	-1 (0)	-1 (5)	1,362 ± 0,014	0,259 ± 0,005
3	-1 (0/100)	+1 (10)	-1 (5)	0,573 ± 0,015	0,136 ± 0,020
4	+1 (100/0)	+1 (10)	-1 (5)	1,880 ± 0,093	0,428 ± 0,011
5	-1 (0/100)	-1 (0)	+1 (7)	0,248 ± 0,001	0,047 ± 0,004
6	+1 (100/0)	-1 (0)	+1 (7)	1,323 ± 0,051	0,218 ± 0,015
7	-1 (0/100)	+1 (10)	+1 (7)	0,577 ± 0,003	0,023 ± 0,020
8	+1 (100/0)	+1 (10)	+1 (7)	1,729 ± 0,022	0,444 ± 0,034
9	0 (50/50)	0 (5)	0 (6)	0,877 ± 0,010	0,130 ± 0,003
10	0 (50/50)	0 (5)	0 (6)	0,854 ± 0,003	0,126 ± 0,002
11	0 (50/50)	0 (5)	0 (6)	0,827 ± 0,004	0,133 ± 0,002

Fonte: Autor (2021)

Verifica-se na Tabela 1 que os valores de atividade enzimática do isolado 1 são superiores ao do isolado 2, demonstrando que em condições iguais de fermentação o isolado 1 tem melhores resultados que o isolado 2, sendo assim o mais adequado. Em relação ao substrato que apresentou os melhores resultados de atividade enzimática durante todo o processo de fermentação foi o farelo de trigo com adição do suco de frutas na proporção de 10% (ensaios 4 e 8). Isso pode ser devido a presença de açúcares simples presentes nos sucos das frutas, que auxiliam no desenvolvimento e crescimento do microrganismo na fase inicial.

Os resultados alcançados divergem da maioria dos descritos na literatura, no qual, atividade enzimática máxima é atingida em menores tempos de fermentação. *Bacillus amyloliquefaciens* KCP2 foi estudado para a produção de amilase usando resíduos de cozinha como substrato de baixo custo, a produção máxima de amilase foi obtida a 37 ° C, após 72 h de fermentação, a produção máxima de amilase segundou o autor dependeu da taxa de crescimento bacteriano (Bhatt, et al., 2020). Desta forma, pode-se concluir que o tempo de fermentação mais adequado para produção de amilases pelos isolados 1 e 2 foi de 96 horas, sendo este escolhido para dar prosseguimento as análises estatísticas das variáveis.

A análise estatística dos resultados da atividade enzimática do tempo de 96 horas de fermentação obtidos através da metodologia de superfície de resposta para o Planejamento Fatorial Completo 2³ permitiu verificar quais dos fatores estudados (pH, concentração de farelo de trigo/casca de batata e concentração de suco de fruta) influenciaram na atividade enzimática dos das fermentações com ambas bactérias, além de possibilitar a verificação de efeitos de interação entres esses fatores.

Ao comparar os resultados de atividade enzimática dos isolados 1 e 2 em relação as variáveis, verificou-se que o pH não apresentou diferença significativa para nenhum dos microrganismos a 0,05% de significância. A variável farelo de trigo/casca de batata apresentou influência significativa sobre a atividade enzimática dos extratos dos isolados 1 e 2 com efeitos positivos de 1,177340 e 0,270318, respectivamente, a um nível de confiança de 95%. Os ensaios 4 e 8 apresentaram os maiores valores de atividade enzimática (Tabela 1), já que esses apresentavam as maiores concentrações de farelo de trigo.



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

A variável suco de fruta (%) também apresentou efeito significativo positivo para os isolados 1 (0,410038) e isolado 2 (0,111688) a 0,05% de significância. Os melhores valores de atividade enzimática também foram nos ensaios 4 e 8 já que estes obtinham maiores concentrações de suco.

As Tabelas 2 e 3 apresentam a análise de variância do modelo de regressão, no qual verifica-se que ambos modelos foram validados, com valor de F superior a F crítico, sendo possível a apresentação das superfícies de resposta.

Tabela 2: Análise de variância do modelo de regressão para validação das superfícies de resposta do isolado 1.

	SS	df	MS	F	F crítico
Fontes de variação	6,255412	6	1,042569	170,2153	2,790465
Error	0,091876	15	0,006125		
Total SS	6,347288	21			

Fonte: Autor (2021)

Tabela 3: Análise de variância do modelo de regressão para validação das superfícies de resposta do isolado 2.

	SS	df	MS	F	F crítico
Fontes de variação	0,380743	6	0,063457	32,37611	2,790465
Error	0,029396	15	0,00196		
Total SS	0,410139	21			

Fonte: Autor (2021)

A Tabela 4 apresenta os efeitos das variáveis sobre a atividade enzimática (U) de extratos de bactérias.

Tabela 2 - Estimativa de efeitos do pH, farelo de trigo/casca de batata e suco de fruta na atividade enzimática dos extratos de bactérias, com 90% de nível de confiança

Fator	Efeitos	
		p
	Isolado 1	
Farelo/Batata (%) X ₁	1,177340	<0,05
Suco de Frutas (%) X ₂	0,410038	<0,05
pH (%) X ₃	-0,030874	0,442410
X ₁ .X ₂	0,052531	0,199426
X ₁ .X ₃	-0,063818	0,123733
X ₂ .X ₃	-0,042512	0,294454
	Isolado 2	
Farelo/Batata (%) X ₁	0,270318	<0,05
Suco de Frutas (%) X ₂	0,111688	0,000145
pH (%) X ₃	-0,037971	0,106836
X ₁ .X ₂	0,086206	0,001437
X ₁ .X ₃	0,025548	0,266473
X ₂ .X ₃	-0,010673	0,636627

Fonte: Autor (2021)

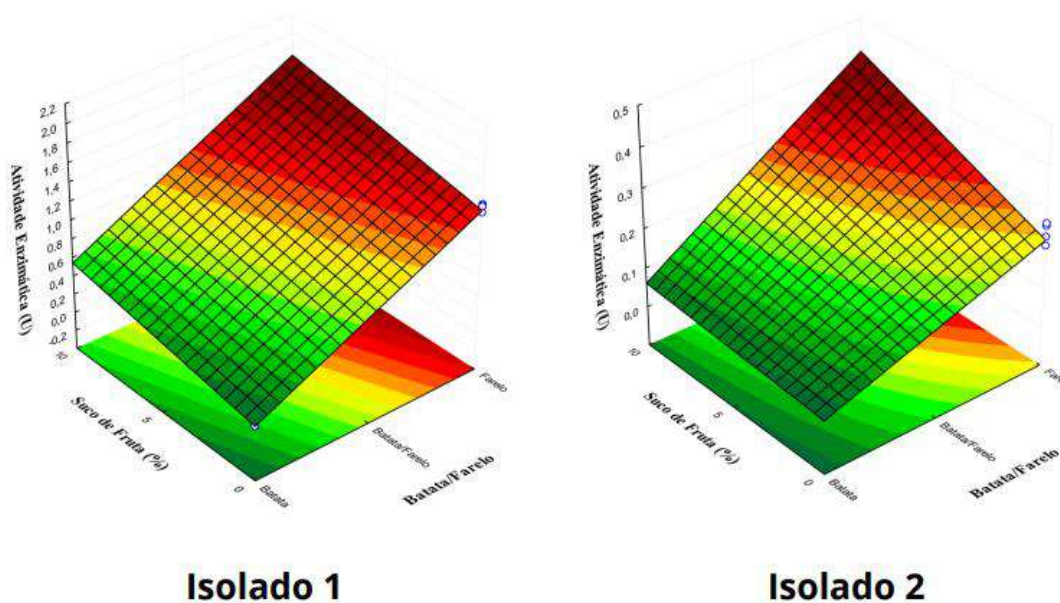
A variável farelo de trigo/casca de batata apresentou diferença significativa na produção de enzimas dos isolados 1 e 2, mas indicou que os melhores resultados de atividade enzimática foram utilizando farelo de trigo como meio de



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

cultivo. Além disso, a interação das duas variáveis foi significativa em um intervalo de confiança de 95%, demonstrando que para o isolado 2 houve um sinergismo na interação das suas variáveis.

Figura 1 e 2 - Superfícies de Resposta para atividade enzimática (U) da isolado 1 e 2 em relação a concentração de batata/farelo e suco de fruta (%).



Fonte: Autor (2021)

Muitos estudos destacam o farelo de trigo como um excelente substrato para a produção de diversas enzimas, isso pode ser explicado, pois o farelo de trigo contém uma quantidade adequada de nutrientes como proteínas 1,32%, carboidratos 69%, gorduras 1,9%, fibra 2,6%, cinzas 1,8%, Ca 0,05%, Mg 0,17%, Po 35%, K 0,45%, S 0,12%, vários aminoácidos e porosidade para fornecimento de oxigênio. Todos esses nutrientes são necessários para a produção de enzimas, bem como formação de biomassa (Gomathi et al., 2012).

Os resíduos de frutas são uma fonte rica de açúcares solúveis fermentáveis, incluindo glicose, frutose e sacarose, juntamente com celulose e hemicelulose. As composições de nutrientes e a disponibilidade abundante tornam os resíduos de frutas uma excelente fonte de biomassa para produção de diversos subprodutos. A utilização desses resíduos ajuda a reduzir o desperdício das frutas, além de projetar uma produção de enzima simples, econômica e menos intensiva nos processos. No presente estudo, o resultado indica que o substrato do meio é o principal fator de influência na produção de amilases. Portanto, o farelo de trigo e a utilização do suco de fruta é um substrato conveniente para produzir amilases por diferentes isolados de resíduos alimentares.

Em um estudo realizado uma nova abordagem sobre a produção de xilanase e protease alcalina usando *Bacillus licheniformis*, utilizando diferentes resíduos agrícolas entre os quais farelo de trigo foi considerado o substrato otimizado com maior taxa de produção. (Limkar; Pawar; Rathod, 2019). Em uma pesquisa, o farelo de trigo e cascas de batata foram considerados o melhor substrato para alto rendimento de amilase com uma atividade enzimática específica de 1,2 U/ μ g e 1,1 U/ μ g respectivamente (Mojumdar; Deka, 2019). Esse resultado obtido foi semelhante ao encontrado no presente estudo que foi de 1,96 U e 1,78 U para os ensaios 4 e 8 do isolado 1.

Sharma e Bajaj (2005) também encontraram as melhores produções de enzimas em 96 h de fermentação, utilizando farelo de trigo como a melhor fonte de carbono para a produção de xilanase por *Streptomyces sp.* Almanaa et al. (2020), realizou um estudo em que a maior produção de amilases (640 U/g) a partir de *Bacillus subtilis* D19 foi utilizando farelo de trigo como substrato, além disso, foi utilizado outros substratos para aumentar a produção de amilases como casca de laranja e casca de banana. Segundo a morfologia e o crescimento das colônias em meio PCA pode-se deduzir no presente estudo que os isolados 1 e 2 são bactérias, mas não foi possível fazer uma detecção exata da espécie do microrganismo, seria necessário um estudo posterior mais avançado para identificar com clareza o gênero e espécie dos microrganismos.



4 CONCLUSÃO

No estudo atual foi possível identificar a melhor combinação de resíduos para produção de enzimas amilases. Pode-se concluir que utilizando substratos de baixo custo como farelo de trigo e resíduos de fruta, podemos sintetizar a enzima amilase. Conclui-se também que o tempo de fermentação mais adequado para produção de amilases pelos isolados 1 e 2 foi de 96 horas, sendo este escolhido para dar prosseguimentos as análises estatísticas das variáveis. A partir deste estudo observou-se que através da utilização dos resíduos agroindustriais podemos produzir amilases que possui grande número de aplicações na indústria. Assim, desta forma, não só contribuimos para a valorização dos resíduos, mas também para produzirmos enzimas industrialmente importantes através de métodos de baixo custo.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecimento em especial ao CNPq pelos recursos que possibilitou a realização do projeto intitulado como: Valoração de resíduos alimentares através da produção de enzimas e bioetanol no conceito de bioeconomia circular. Número do processo: 403786/2021-5. Também agradeço ao laboratório de Bioquímica e Bioprocessos e a Universidade de Passo Fundo.

6 REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, Roheena et al. Optimization of cultural conditions for the production of alpha amylase by *Aspergillus Niger* (BTM-26) in solid state fermentation. **Pakistan Journal of Botany**, v. 46, n. 3, p. 1071-1078, 2014.
- ALMANAA, Taghreed N. et al. Solid state fermentation of amylase production from *Bacillus subtilis* D19 using agro-residues. **Journal of King Saud University-Science**, v. 32, n. 2, p. 1555-1561, 2020.
- ALVA, S.; ANUPAMA, J.; SAVLA, J.; CHIU, Y. Y.; VYSHALI, P.; SHRUTI, M.; YOGEEETHA, B. S.; BHAVYA, D.; PURVI, J.; RUCHI, K.; KUMUDI, B. S.; VARALAKSHMI, K. N. Production and characterization of fungal amylase enzyme isolated from *Aspergillus sp.* JGI 12 in solid state culture. **African Journal of Biotechnology**, v. 6, n.5, p. 576-581, 2007.
- BHATT, Kandarp, et al. Bioconversion of agriculture wastes to produce α -amylase from *Bacillus velezensis* KB 2216: Purification and characterization. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 2020, 28: 101703.
- COLLA, L.M.; RIZZARDI, J.; PINTO, M.H.; REINEHR, C.O.; BERTOLIN, T.E.; COSTA, J.A.V. Simultaneous production of lipases and biosurfactants by submerged and solid-state bioprocess. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 8308-8314, 2010.
- GOMATHI, D. et al. Submerged fermentation of wheat bran by *Aspergillus flavus* for production and characterization of carboxy methyl cellulase. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 2, n. 1, p. S67-S73, 2012.
- LIMKAR, Mahadeo B.; PAWAR, Shweta V.; RATHOD, Virendra K. Statistical optimization of xylanase and alkaline protease co-production by *Bacillus spp* using Box-Behnken Design under submerged fermentation using wheat bran as a substrate. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 17, p. 455-464, 2019.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Washington**, v.31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- MOJUMDAR, Aditya; DEKA, Jashmini. Recycling agro-industrial waste to produce amylase and characterizing amylase-gold nanoparticle composite. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 8, n. 1, p. 263-269, 2019.
- MONTEIRO, Valdirene Neves; DO NASCIMENTO SILVA, Roberto. Aplicações industriais da biotecnologia enzimática. **Revista processos químicos**, v. 3, n. 5, p. 9-23, 2009.
- NAIK, Bindu, et al. Screening of agro-industrial waste and physical factors for the optimum production of pullulanase in solid-state fermentation from endophytic *Aspergillus sp.* **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 2019, 22: 101423.
- NG, Hui Suan, et al. Recent advances on the sustainable approaches for conversion and reutilization of food wastes to valuable bioproducts. **Bioresource technology**, 2020, 302: 122889.
- SHARMA, Pankaj; BAJAJ, Bijender K. Production and partial characterization of alkali-tolerant xylanase from an alkalophilic *Streptomyces sp.* CD3. 2005.
- RAI, A. K.; SANJUKTA, S.; CHOURASIA, R.; BHAT, I.; BHARDWAJ, P. K.; SAHOO, D.; Production of bioactive hydrolysate using protease, β -glucosidase and α -amylase of *Bacillus spp.* isolated from kinema. **Bioresource Technology**, v. 235, p. 358-365, 2017.
- USHANI, U., et al. Enzymes/biocatalysts and bioreactors for valorization of food wastes. In: Food Waste to Valuable Resources. **Academic Press**, 2020. p. 211-233.



Área: Bioprocessos

VALORAÇÃO DE RESÍDUOS ALIMENTARES ATRAVÉS DA PRODUÇÃO DE ENZIMAS E BIOETANOL NO CONCEITO DE BIOECONOMIA CIRCULAR

Gabrielle Fusiger Berwian*, Ana Luisa Gayger, Gabriel Lanza Colvero, Luciane Maria Colla

Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos, Programa de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Departamento de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: gabiberwian@gmail.com*

RESUMO – O objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial das enzimas do malte de cevada na conversão de açúcares fermentáveis do próprio grão. Para tanto, a hidrólise enzimática foi realizada utilizando diferentes padrões de pHs (5,0; 5,5 e 6,0), temperatura (60, 65 e 70 °C) e concentrações de sólidos (10, 15 e 20%), determinando as concentrações de açúcares redutores do meio a cada hora. Todos os tratamentos apresentaram resultados satisfatórios, contudo, a temperatura de 65°C utilizada nos tratamentos T9, T10 e T11 que se revelou como a mais adequada, promovendo aceleração na reação sem prejudicar sua estabilidade ao longo do tempo. A conclusão do artigo sugere que a hidrólise enzimática utilizando apenas as enzimas do grão do malte de cevada é uma estratégia promissora e pode contribuir significativamente para a sustentabilidade e eficiência da indústria de bioetanol.

Palavras-chave: Cerveja; amido; amilases; bioetanol.

1 INTRODUÇÃO

A indústria cervejeira é um setor importante do mercado de bebidas, sendo responsável pela produção de uma das bebidas mais populares e consumidas em todo o mundo: a cerveja. Com uma rica história que remonta há milhares de anos, a cerveja é produzida a partir de uma mistura de ingredientes que incluem principalmente malte, lúpulo, água e levedura, e é fermentada para produzir uma grande variedade de estilos e sabores (Laus *et al.*, 2022). A produção de cervejas envolve diversas etapas, sendo a malteação e o processo de *mashing* (hidrólise), as etapas cruciais para a produção da bebida.

A maltagem é realizada com o intuito de liberar as enzimas presentes no grão de cevada para que essas possam ser utilizadas posteriormente. Nesse processo, a estrutura física do grão de cevada é modificada e diversas enzimas como amilases, xilanases e proteases são sintetizadas e ativadas. Existe uma grande variedade de amilases presentes no malte, mas as principais encontradas neste cereal são α -amilase, β -amilase, α -glicosidase e dextrinase limite (Da Luz *et al.*, 2021). Assim como as enzimas comerciais, as enzimas do grão também atuam em faixas ótimas de temperatura, a α amilase, enzima dominante presente no malte atua em uma faixa entre 70 e 75 °C, a β -amilases entre 55 e 61 °C, já as dextrinas atuam na faixa de 55 e 60 °C (Laus *et al.*, 2022).

Durante esse processo, as enzimas presentes no malte de cevada desempenham um papel fundamental na liquefação e sacarificação do amido, resultando na produção de açúcares fermentáveis utilizando apenas o potencial natural do grão (De Schepper *et al.*, 2022). O uso dessas enzimas pode ser uma alternativa promissora, não apenas para a produção de cerveja, mas sim na geração de produtos de alto valor agregado, como bioetanol, que em sua maioria faz uso de enzimas comerciais que apresentam alto custo de aquisição.

Neste contexto, surge uma questão fundamental que direciona o foco desta pesquisa: "Qual é a eficácia das enzimas do grão de cevada maltado na conversão de amido em açúcares fermentáveis?" O objetivo é investigar o potencial dessas enzimas naturais na hidrólise do grão de cevada maltado, visando entender sua capacidade de transformar o amido em açúcares fermentáveis, verificando a possibilitando de uso da matéria prima na produção de bioetanol. Além de avaliar a eficiência dessas enzimas nesse processo específico, o estudo também busca determinar como essa abordagem pode otimizar a produção de bioetanol, contribuindo assim para uma produção mais sustentável e eficiente.

2 MATERIAL E MÉTODOS



A biomassa utilizada no estudo foi o malte proveniente de uma indústria cervejeira localizada em Passo Fundo, RS. O grão foi moído em moinho de facas (MA090/CFT, Marconi, Brasil), com temperatura controlada a 16 °C com banho de circulação externa (SL-152, Solab, Brasil), passando por uma peneira de 10 mesh para obtenção de um tamanho de partícula padrão.

2.1 Composição centesimal

As amostras foram caracterizadas a partir do método de espectroscopia no infravermelho próximo (NIRSTM, DS2500, Foss, Brasil), no qual as amostras foram escaneadas expressando os resultados de umidade, amido, proteínas, lipídios, fibra bruta e cinzas. Os resultados foram expressos em porcentagem após a análise dos grãos em triplicata.

2.2 Estudo de sacarificação enzimática

Para avaliar a possibilidade de uso do grão maltado para a produção de etanol foi realizado o estudo da influência de temperatura, pH e carga de sólidos sobre a sacarificação do amido do grão em açúcares livres ao longo do tempo. A hidrólise foi realizada em erlenmeyer de 250 mL com 50 mL de meio inicial e a sacarificação ocorreu conforme mencionado na Tabela 1, com tempo necessário para estabilização de açúcares redutores liberados.

Tabela 1 – Planejamento Fatorial Completo 2³ com pontos centrais, para estudo da influência do pH, temperatura e Carga de Sólidos (CS) sobre a atividade amilolítica total de grãos maltados

Tratamentos	Temperatura (°C)	pH	Concentração de sólidos (%)
T1	60	5,0	10
T2	70	5,0	10
T3	60	6,0	10
T4	70	6,0	10
T5	60	5,0	20
T6	70	5,0	20
T7	60	6,0	20
T8	70	6,0	20
T9	65	5,5	15
T10	65	5,5	15
T11	65	5,5	15

Durante o período de hidrólise foram retiradas alíquotas a cada hora para determinação de açúcares redutores pelo método de 3,5-DNS, que seguiu sendo feita pelo tempo necessário para estabilização da quantidade de açúcar redutor na amostra (Miller, 1959). A unidade de atividade enzimática (U) corresponde a quantidade de enzima necessária para liberar 1 μmol de AR (glicose) por minuto de reação e a atividade das enzimas foi calculada utilizando a Equação 1.

$$AE = \frac{[AR]}{t} \times \frac{1 \text{ mmol de glicose}}{180 \mu\text{mol}} \times \frac{1000 \mu\text{mol}}{1 \text{ mmol}} \quad (1)$$

Sendo:

AE: atividade enzimática (U/mL de enzima diluída)

AR: concentração de açúcares redutores (mg/mL)

t: tempo de reação (min)

1000: troca de unidade de mg para μg

180: peso molecular da glicose utilizada para curva padrão (μmol)

2.3 Análise estatística

Os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e as diferenças entre os tratamentos avaliados pelo teste de Tukey, a 5% de significância, com auxílio do software Excel e Statistica 7.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição centesimal do malte

A Tabela 2 apresenta a caracterização do malte utilizado no estudo. Essas informações são importantes para o estudo, pois a qualidade do malte pode influenciar a eficiência da hidrólise enzimática.

Caracterização	g/100g
Umidade	10,09 ± 0,02
Amido	54,78 ± 0,05
Proteína	10,13 ± 0,08
Lipídios	1,30 ± 0,01
Fibra bruta	3,25 ± 0,08
Cinzas	2,24 ± 0,01

Resultados de médias ± desvio padrão

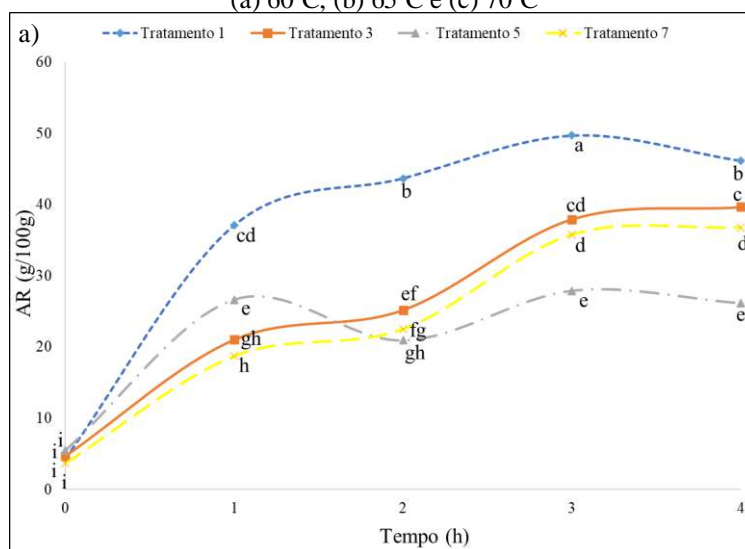
Dentre todos os componentes se destaca a concentração de amido (54,78%), o que é um fator positivo para produção de etanol. O amido é a principal fonte de carboidrato para a fermentação, pois é hidrolisado pelas enzimas presentes no malte para produção de açúcares fermentáveis, principalmente a maltose.

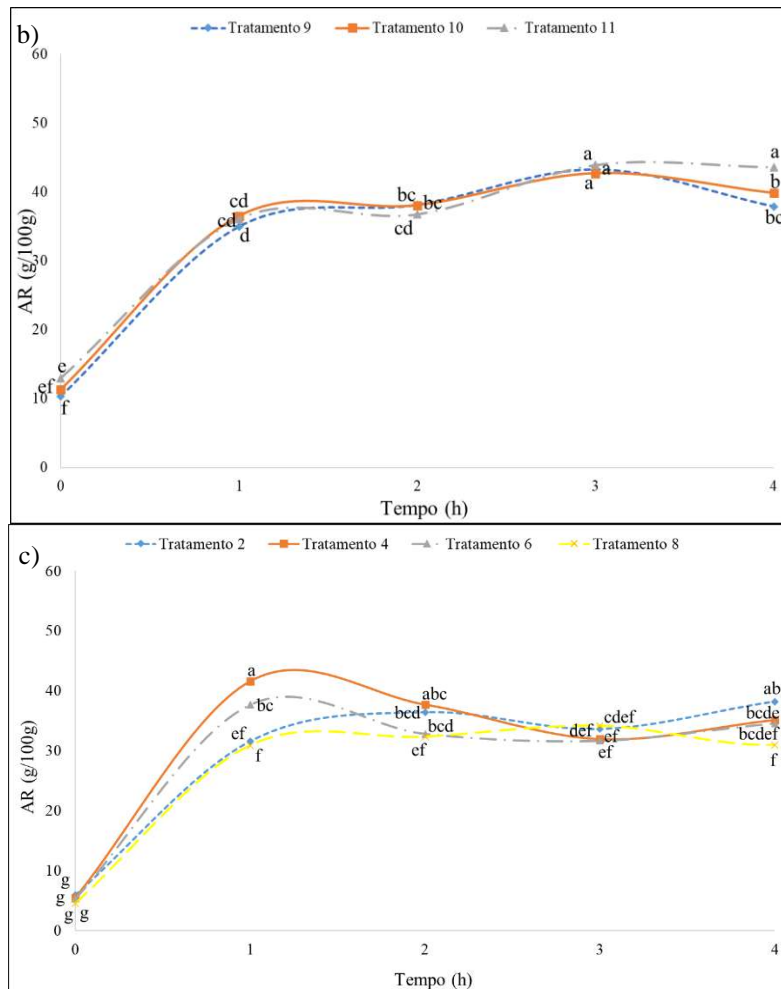
Sendo assim, a utilização de malte com altas concentrações de amido pode aumentar a eficiência do processo de hidrólise do amido, o que pode influenciar diretamente na produtividade e qualidade do etanol produzido (Xu *et al.*, 2023). Uma alta concentração de amido significa que uma grande quantidade de açúcares fermentáveis pode ser produzida durante a hidrólise, o que conseqüentemente aumenta a quantidade de etanol que pode ser produzido durante a fermentação. Essa é uma das razões pelas quais o malte é um ingrediente amplamente utilizado na indústria de produção de etanol.

3.2 Hidrólise natural de amostras do grão

Este estudo explora a dinâmica da hidrólise em função da temperatura, pH e carga de sólidos, com um foco particular na relação entre a taxa de hidrólise e o tempo de reação até quatro horas. As análises foram conduzidas em três temperaturas distintas: 60°C (Figura a), 65°C (Figura b) e 70°C (Figura c), permitindo uma comparação direta do efeito da temperatura sobre a eficácia da hidrólise.

Figura 2 – Concentração de açúcares redutores (AR) liberados ao longo do tempo para diferentes temperaturas, sendo: (a) 60°C, (b) 65°C e (c) 70°C





* As determinações foram realizadas em duplicata, e foram avaliadas conforme análise de variância seguida por comparação de médias Tukey ($p > 0,05$), letras iguais de cada amostra individual não diferem entre si.

Em todas as temperaturas testadas, observamos que a taxa de hidrólise atingiu seu pico dentro da primeira hora. Esse fenômeno é mais notável na Figura c, a 70°C, onde o Tratamento 2 mostrou um aumento rápido até um pico de atividade seguido por uma diminuição acentuada, sugerindo que a condição ótima de hidrólise foi rapidamente ultrapassada, possivelmente devido à desestabilização térmica. Este padrão de "pico e declínio" indica que, embora temperaturas elevadas possam acelerar a reação de hidrólise, elas também podem levar a uma subsequente diminuição da eficiência, seja por degradação do produto ou inativação enzimática.

A 60°C e 65°C, as Figuras a e b também demonstram um pico de atividade hidrolítica dentro da primeira hora, após o qual a taxa de hidrólise estabiliza ou declina moderadamente. O Tratamento 5, por exemplo, atingiu um alto nível de hidrólise rapidamente e manteve um desempenho estável posteriormente, diferentemente dos Tratamentos 3 e 7, que mostraram uma ascensão mais gradual e um platô subsequente.

Estas observações indicam que, para maximizar a eficiência da hidrólise, pode ser benéfico operar a uma temperatura que promova uma rápida taxa inicial de reação sem ultrapassar o ponto de estabilidade térmica do sistema. A escolha da temperatura de 65°C parece fornecer um compromisso ideal entre a aceleração da reação e a manutenção da estabilidade ao longo do tempo, como evidenciado pela sobreposição dos perfis cinéticos dos Tratamentos 9, 10 e 11.

A análise estatística dos dados, indicada pelas letras sobrepostas aos pontos, revelou diferenças significativas entre os tratamentos em cada temperatura. Essas diferenças sugerem que, embora a temperatura possa geralmente aumentar a taxa de hidrólise, o efeito específico depende das condições do tratamento e da natureza do substrato sendo hidrolisado.



Os resultados coletivamente indicam que a temperatura exerce uma influência significativa na taxa de hidrólise, com temperaturas mais altas tendendo a acelerar a reação até um ponto ótimo, após o qual podem ocorrer efeitos adversos, como a desnaturação de enzimas ou a degradação do produto. Portanto, a seleção da temperatura adequada é crítica para otimizar as condições de hidrólise, equilibrando as taxas de reação desejadas com a estabilidade do sistema.

4 CONCLUSÃO

Por sua vez, conclui-se que a hidrólise enzimática utilizando apenas as enzimas do grão do malte de cevada é uma estratégia promissora. Esse método permite alcançar elevadas concentrações de açúcares livres em um curto espaço de tempo e não apresenta necessidade de acréscimo de enzimas comerciais no processo. Este estudo fornece uma base sólida para futuras pesquisas sobre a otimização de processos enzimáticos e pode contribuir significativamente para a sustentabilidade e eficiência da indústria de bioetanol.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto universal 403786/2021-5 e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) - processo número 21/2551-000223-7, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela fonte de financiamento 001, essenciais para este trabalho com período de vigência entre 01/03/2023 - 28/02/2025. Agradecemos também à Universidade de Passo Fundo (UPF) pela infraestrutura e aos colegas do Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos (Labio) pela colaboração.

6 REFERÊNCIAS

- DA LUZ, F. S. et al. Enzymatic Hydrolysis of Cassava Starch Using Barley Malt Amylases. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, v. 13, n. 3, 6 jul. 2021.
- DE SCHEPPER, C. F. et al. A kinetic study on the thermal inactivation of barley malt α -amylase and β -amylase during the mashing process. **Food Research International**, v. 157, p. 111201, jul. 2022.
- LAUS, A. et al. Isothermal Mashing of Barley Malt: New Insights into Wort Composition and Enzyme Temperature Ranges. **Food and Bioprocess Technology**, v. 15, n. 10, p. 2294–2312, 26 out. 2022.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426–428, 1959.
- XU, N. et al. Impacts of malt protein removal on yeast fermentation efficiency. **Journal of Texture Studies**, v. 54, n. 1, p. 146–152, 7 fev. 2023.



Área: Bioprocessos

Um Estudo Bibliométrico sobre a Produção de Bioetanol

Ana Luisa Gayger*, Gabrielle Fusiger Berwian, Luciane Maria Colla

Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Departamento de Agronomia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

*E-mail: anagayger@outlook.com

RESUMO – Este estudo apresenta uma revisão bibliográfica focada na urgência de adotar práticas energéticas sustentáveis diante das crescentes preocupações ambientais e da dependência global em combustíveis fósseis, que constituem 80% do consumo de energia e são os maiores emissores de gases de efeito estufa. Destacamos os biocombustíveis como alternativas renováveis promissoras, capazes de mitigar impactos ambientais e prevenir crises energéticas futuras. Através de análise bibliométrica, o trabalho mapeia a evolução e o estado atual da pesquisa sobre biocombustíveis, ressaltando a necessidade de transição para fontes de energia mais limpas e a importância de fomentar uma economia circular. A revisão explora desde as primeiras até as mais recentes gerações de biocombustíveis, apontando suas potencialidades e desafios remanescentes. Ressalta-se a importância de pesquisas contínuas para integrar os biocombustíveis de maneira eficiente na matriz energética global, enfatizando sua relevância para a sustentabilidade ambiental e a segurança energética.

Palavras-chave: Biocombustíveis, geração de biocombustíveis, matéria prima, sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, observou-se um crescimento exponencial na demanda global por energia, impulsionado pelo desenvolvimento econômico e pelo rápido aumento da população mundial. Esse aumento na demanda está vinculado à elevação dos padrões de vida, resultando em um consumo energético maior em vários setores, como transporte, agricultura, comércio, indústria e residencial (Neupane, 2022). Atualmente, os combustíveis fósseis são responsáveis por aproximadamente 80% da demanda energética global, contribuindo significativamente para o aquecimento global, com cerca de 89% das emissões totais de gases de efeito estufa em 2020 (Deora *et al.*, 2022). A crescente dependência do petróleo levanta preocupações sobre uma potencial escassez desses recursos entre 2070 e 2080 (Seabra; Caldeira-Pires, 2020). Frente a este cenário, os biocombustíveis surgem como alternativas sustentáveis promissoras para mitigar os impactos climáticos adversos e prevenir uma crise energética futura (Gupta; Verma, 2015). Eles são reconhecidos por sua capacidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover o manejo eficiente de resíduos, representando um avanço crucial na diversificação das fontes de energia renováveis e no suporte à economia circular (Liu *et al.*, 2019).

A produção de bioetanol, especificamente, varia globalmente de acordo com a disponibilidade de substratos e a maturidade das tecnologias de produção. Bioetanol é classificado em quatro gerações, baseadas no tipo de matéria-prima utilizada. A primeira geração (1G) utiliza matérias-primas alimentares, levantando questões sobre o conflito potencial entre a produção de alimentos e combustíveis. A segunda geração (2G) utiliza substratos não alimentícios, incluindo resíduos de culturas alimentícias ou biomassa lignocelulósica. A terceira geração (3G) emprega algas, e a quarta geração (4G) utiliza culturas modificadas que capturam dióxido de carbono para o crescimento e conversão em combustível (Cavelius *et al.*, 2022). A pesquisa continua em busca de tecnologias mais sustentáveis e econômicas para converter biomassa em etanol.

Esta revisão aplica uma metodologia bibliométrica para analisar sistematicamente a literatura científica sobre a produção de bioetanol de diferentes gerações. O objetivo é mapear o estado da arte, avaliar os avanços tecnológicos, identificar os principais atores e redes de colaboração, além de destacar as tendências e lacunas na pesquisa atual. Apesar dos progressos, desafios significativos ainda persistem, limitando a viabilidade técnica e econômica dos biocombustíveis, como a eficiência dos processos de conversão. A revisão também aborda a produção de etanol e as diversas tecnologias empregadas na produção a partir de diferentes matérias-primas. Além disso, como os avanços nas ferramentas biotecnológicas, como a engenharia genética e a evolução adaptativa, essenciais neste campo.

2 MATERIAL E MÉTODOS



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

um papel central na produção de biocombustíveis, funcionando como uma fonte primária renovável que pode ser transformada em várias formas de energia secundária.

A versatilidade da biomassa como recurso para a produção de energia é amplamente explorada, com tecnologias de conversão variadas, incluindo digestão anaeróbica, combustão direta e fermentação. Wang *et al.* (2021) destacam essa diversidade, enfatizando o potencial sustentável da biomassa. No entanto, a expansão da indústria de biocombustíveis enfrenta desafios significativos, especialmente relacionados ao uso da terra e da água. Sharma *et al.* (2020) e Nazari *et al.* (2020) discutem as consequências do aumento da produção de biocombustíveis, apontando os riscos para a segurança alimentar. Essas preocupações são reforçadas por Watanabe *et al.* (2022), que destacam a necessidade de políticas de sustentabilidade eficazes para mitigar os impactos negativos da produção de biocombustíveis.

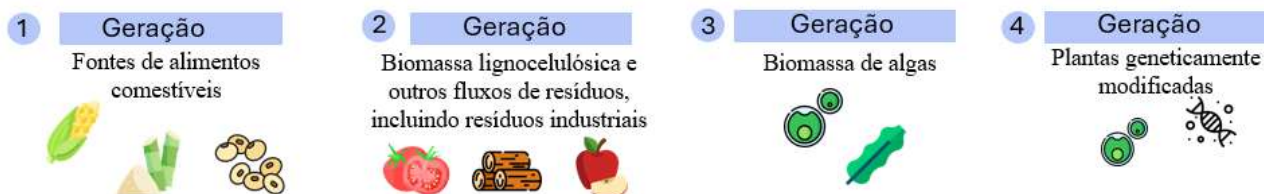
No Brasil, a implementação da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) é um exemplo proeminente de esforços para promover o uso sustentável de biocombustíveis, visando práticas de produção mais sustentáveis e a redução dos impactos ambientais (Castro *et al.*, 2023). Essa política reflete o compromisso do Brasil com a sustentabilidade e com a diminuição da dependência de combustíveis fósseis. O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de etanol, utilizando principalmente a cana-de-açúcar como matéria-prima, o que contribui significativamente para o mercado global de biocombustíveis.

Nos Estados Unidos, a produção de etanol também desempenha um papel vital na estratégia energética nacional. Com uma estrutura robusta de incentivos e políticas de apoio, como a Lei de Política Energética e a Lei de Independência e Segurança Energética, os EUA têm fomentado a expansão da sua indústria de biocombustíveis. O país é o maior produtor de etanol do mundo, com uma produção significativa baseada principalmente no milho. Esses esforços refletem a importância atribuída aos biocombustíveis como uma alternativa para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, especialmente no setor de transportes (Nazari *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2022).

Apesar dos desafios, a produção global de etanol tem mostrado um crescimento constante, com um aumento de 3% desde fevereiro de 2020, alcançando cerca de 104 bilhões de litros. Este crescimento é impulsionado principalmente pelos EUA, União Europeia e China, com a produção diária de etanol atingiu 157,4 milhões de litros/dia em 2022 (IEA, 2023). Tanto o Brasil quanto os EUA são fundamentais nesse aumento, contribuindo com uma parcela significativa para a produção global de etanol, demonstrando o papel vital dos biocombustíveis na transição energética global e no combate às mudanças climáticas.

A era dos biocombustíveis começou com a introdução do bioetanol de primeira geração, que utiliza culturas alimentícias ricas em açúcar e amido, como cana-de-açúcar, milho e trigo, destacando-se em regiões como América do Sul, América do Norte e Europa. Este marco no desenvolvimento dos biocombustíveis é suportado pela eficácia de cepas microbianas como *Saccharomyces cerevisiae* na fermentação desses substratos em bioetanol, demonstrando a compatibilidade do bioetanol com as inovações tecnológicas e ampliando suas aplicações para além das fronteiras da primeira geração (Aro, 2015; Santos *et al.*, 2015) (Figura 2).

Figura 2 - Biocombustíveis da primeira à quarta geração



Fonte: Elaborado pelos autores (2024), criada usando recursos do Flaticon.com

O processo de produção de bioetanol de primeira geração segue etapas específicas, adaptadas conforme a matéria-prima. Para substratos à base de amido, como o milho, o processo inclui moagem, liquefação, hidrólise, fermentação e destilação, convertendo o amido em açúcares fermentáveis e, finalmente, em etanol. Nos Estados Unidos, a produção de bioetanol a partir do milho é dominada pelo processo de moagem a seco, que envolve a moagem do milho, adição de enzimas para a hidrólise do amido e fermentação dos açúcares resultantes (Szambelan *et al.* 2018; Ayodele *et al.*, 2020). No Brasil, a cana-de-açúcar é a base para a produção de bioetanol, utilizando um método que simplifica o processo ao extrair e fermentar diretamente o açúcar, sem a necessidade de liquefação e hidrólise (Szambelan *et al.*, 2018). Esta diferenciação nos métodos de produção reflete a adaptabilidade das tecnologias de produção de bioetanol às propriedades particulares das matérias-primas utilizadas.

Contudo, o desenvolvimento do bioetanol de primeira geração trouxe à tona questões críticas, particularmente em torno do debate "alimento versus combustível" e do impacto sobre o uso da terra. A crise alimentar de 2007/2008



ilustrou as consequências do redirecionamento de culturas alimentícias para a produção de biocombustíveis sobre os preços dos alimentos e a segurança alimentar, evidenciando um conflito entre a produção energética e a necessidade de preservar a sustentabilidade alimentar (Kumar *et al.*, 2020). Além disso, as preocupações sobre a demanda por terras para cultivo de biocombustíveis levantaram questões sobre a sustentabilidade dessa abordagem, desafiando a capacidade de atender à demanda energética crescente sem comprometer recursos naturais essenciais (Cavelius *et al.*, 2022). Esses desafios destacam a importância de prosseguir para gerações futuras de biocombustíveis que possam mitigar esses impactos, promovendo práticas energéticas sustentáveis e responsáveis.

A emergência dos biocombustíveis de segunda geração representa um passo significativo rumo a alternativas energéticas sustentáveis, endereçando críticas levantadas contra os biocombustíveis de primeira geração (Sharma *et al.*, 2020). Ao invés de utilizar culturas alimentícias, que competem diretamente com a cadeia alimentar, os biocombustíveis de segunda geração aproveitam a biomassa não alimentar, como resíduos agrícolas e florestais (Ritchie; Rosie; Rosado, 2020; Zhang *et al.*, 2022).

O processo de produção dos biocombustíveis de segunda geração envolve etapas tecnológicas avançadas, que começam com o pré-tratamento da biomassa. Esta fase é crucial para quebrar a estrutura complexa da biomassa lignocelulósica, aumentando a acessibilidade dos carboidratos poliméricos à subsequente hidrólise enzimática (Soltaniano *et al.*, 2020). A hidrólise enzimática, então, converte celulose e hemicelulose em açúcares fermentáveis, um processo que depende fortemente do desenvolvimento e da otimização de enzimas especializadas (Somerville *et al.*, 2010; Deora *et al.*, 2022). Após a hidrólise, os açúcares são fermentados em etanol ou outros biocombustíveis através de microrganismos específicos. Essas etapas não só permitem o uso de uma ampla gama de matérias-primas, mas também buscam melhorar a eficiência e a sustentabilidade da produção de biocombustíveis (Kumar *et al.*, 2020).

Apesar das vantagens ambientais e da flexibilidade de matéria-prima que os biocombustíveis de segunda geração oferecem, eles enfrentam desafios de eficiência de conversão e viabilidade econômica (de Souza *et al.*, 2022). A pesquisa contínua para o desenvolvimento de métodos de pré-tratamento mais eficazes e menos custosos, juntamente com a otimização dos processos enzimáticos e fermentativos, são essenciais para tornar os biocombustíveis de segunda geração uma opção energeticamente competitiva (Awad *et al.*, 2020; Nazari *et al.*, 2020; Cavelius *et al.*, 2022).

Os biocombustíveis de terceira geração surgem como uma evolução promissora na busca por fontes de energia renováveis, com um enfoque especial no cultivo de microalgas e cianobactérias. Esses organismos apresentam rápido crescimento em variadas condições ambientais, incluindo locais com águas residuais e solos não aráveis, e destacam-se pela sua habilidade em sequestrar carbono eficientemente durante a fotossíntese. A exploração de algas para a produção de biocombustíveis não somente supera os desafios relacionados à sustentabilidade e ao impacto ambiental encontrados nas gerações anteriores de biocombustíveis, mas também promete potenciais rendimentos de produção significativamente mais altos. Esse avanço abre caminho para superar as limitações de produção previamente existentes, oferecendo uma solução viável para os desafios energéticos atuais (Melcher *et al.*, 2021; De Souza *et al.*, 2022). No entanto, a viabilização comercial dos biocombustíveis de algas ainda enfrenta desafios técnicos e econômicos significativos, como os altos custos associados ao cultivo e à colheita das algas, além da necessidade de aprimorar os métodos de extração dos lipídios ou álcoois gerados (Melcher *et al.*, 2021).

O processo para a produção de bioetanol a partir de algas inicia-se com a seleção criteriosa da cepa, enfatizando a importância de escolher espécies com elevado conteúdo de carboidratos e baixo teor de lignina, capazes de tolerar condições ambientais adversas (Tiwari *et al.*, 2019). O cultivo dessas algas exige um ambiente controlado, otimizado para fatores como luz, temperatura, pH e disponibilidade de nutrientes, fazendo uso de sistemas abertos e fechados para maximizar a produtividade da biomassa. Segue-se o processo de colheita, que deve ser realizado de maneira a preservar a integridade celular, preparando o caminho para o pré-tratamento. Este visa a desintegração eficaz da parede celular e a liberação dos açúcares intracelulares, utilizando uma combinação de métodos que variam do físico ao biológico, adequados para a extração eficiente dos componentes desejados (Roselet *et al.*, 2019). A conclusão do processo envolve a hidrólise enzimática para quebrar celulose e amido em açúcares fermentáveis, seguida pela fermentação destes em bioetanol, ressaltando o potencial das algas como uma fonte de energia renovável e sustentável (Stephens *et al.*, 2010; Melcher *et al.*, 2021).

Para bioetanol de quarta geração técnica para alterar a composição estrutural do biomaterial ou do microrganismo em questão é aplicada, por meio da inserção ou remoção de genes específicos que são cruciais para otimizar o desempenho do processo. A engenharia genética pode trazer diversos benefícios, incluindo a eliminação da necessidade de pré-tratamento, o incremento na concentração de açúcares, a diminuição dos custos associados ao uso da enzima celulase e a habilidade de utilizar coletivamente diferentes açúcares por meio do emprego de microrganismos geneticamente alterados (Liu *et al.*, 2019). Embora a quarta geração de biocombustíveis apresente um potencial notável para revolucionar a produção de energia renovável, questões relacionadas a viabilidade econômica da produção em larga escala permanece incerta.



4 CONCLUSÃO

Os resultados indicam um crescente interesse na otimização dos processos de conversão de biomassa em biocombustíveis, visando a redução de custos e a melhoria dos rendimentos. Além disso, a liderança científica de países como Índia, China e Brasil evidencia o compromisso global com a pesquisa e desenvolvimento nesse setor. A exploração das diferentes gerações de biocombustíveis revela um progresso significativo em direção a fontes de energia mais sustentáveis e eficientes. Desde a primeira geração, que utiliza culturas alimentares para produção de etanol e biodiesel, até a quarta geração, que incorpora avanços em biotecnologia e engenharia genética, cada fase representa um passo em direção a uma matriz energética mais diversificada e ambientalmente responsável. No entanto, os desafios permanecem, especialmente em relação à viabilidade econômica, impactos ambientais e aceitação pública. É crucial continuar investindo em pesquisa e desenvolvimento, tanto em tecnologias de produção quanto em políticas de sustentabilidade, para garantir que os biocombustíveis desempenhem um papel significativo na transição para um futuro energético mais limpo e sustentável. Essa transição não apenas reduzirá as emissões de gases de efeito estufa, mas também promoverá a segurança energética global e estimulará o crescimento econômico através da inovação e do desenvolvimento de novas indústrias verdes.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de Passo Fundo (UPF) pela infraestrutura, aos colegas do Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos (LaBio), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto universal 403786/2021-5, a chamada CNPq Nº 68/2022 do Programa de Mestrado e Doutorado para Inovação MAI/DAI, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) - Processo número 21/2551-0002233-7 e à Gmax Genética pelo apoio financeiro.

6 REFERÊNCIAS

- ARO, E. M. *From first generation biofuels to advanced solar biofuels*. *Ambio*, v. 45, n. 1, p. 24–31, 2015.
- AWAD, D.; YOUNES, S.; GLEMSER, M.; WAGNER, F.; SCHENK, G.; MEHLMER, N. *Towards high-throughput optimization of microbial lipid production: from strain development to process monitoring*. *Sustain Energy Fuels*, v. 4, n. 12, p. 5958–5969, 2020.
- CAVELIUS, P.; ENGELHART-STRAUB, S.; HEIECK, K.; PILZ, M.; MELCHER, F.; BRÜCK, T. *Agricultural Biocatalysis: From Waste Stream to Food and Feed Additives*. *Agricultural Biocatalysis*, v. 1, p. 133–182, 2022.
- COBO, M. J.; LOPEZ-HERRERA, A. G.; HERRERA-VIEDMA, E.; HERRERA, F. Science mapping software tools: analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, v. 70, n. 8, p. 1680–1701, 2011.
- DEORA, P.S.; VERMA, Y.; MUHAL, R.A.; GOSWAMI, C.; SINGH, T. *Biofuels: An alternative to conventional fuel and energy source*. *Materialstoday: proceedings*, v. 48, n. 5, p. 1178–1184, 2022.
- DU, H.; LI, N.; BROWN, M. A.; PENG, Y.; SHUAI, Y. *A bibliographic analysis of recent solar energy literatures: the expansion and evolution of a research field*. *Renewable Energy*, v. 66, p. 696–706, 2014.
- GUPTA, A.; VERMA, J.P. *Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 41, p. 550–567, 2015.
- IEA. *Renewables 2021*. Paris: IEA, 2021.
- KUMAR, B.; BHARDWAJ, N.; AGRAWAL, K. *et al. Current perspective on pretreatment technologies using lignocellulosic biomass: an emerging biorefinery concept*. *Fuel Processing Technology*, v. 199, mar. 2020.
- LIU, X.; MIAO, R.; LINDBERG, P.; LINDBLAD, P. *Modular engineering for efficient photosynthetic biosynthesis of 1-butanol from CO₂ in cyanobacteria*. *Energ Environ Sci.*, v. 12, n. 9, p. 2765–2777, 2019.



- MALODE, S. J.; PRABHU, K. K.; MASCARENHAS, R. J.; SHETTI, N. P.; AMINABHAVI, T. M. *Recent advances and viability in biofuel production. Energy Conversion and Management*, v. 10, jun. 2021.
- NAZARI, M. T.; FREITAG, J. F.; CAVANHI, V. A. F.; COLLA, L. M. *Microalgae harvesting by fungal-assisted bioflocculation. Reviews in Environmental. Science and Biotechnology*, v. 19, p. 369–388, 2020.
- NAZARI, M. T.; MAZUTTI, J.; BASSO, L. G.; COLLA, L. M.; BRANDLI, L. *Biofuels and their connections with the sustainable development goals: a bibliometric and systematic review. Environ. Dev. Sustain.*, v. 23, n. 8, p. 11139–11156, 2021.
- NEUPANE, D. *Biofuels from Renewable Sources, a Potential Option for Biodiesel Production. Bioengineering*, v. 10, n. 1, 2022.
- OLIVIER, J., PETERS, J. *Trends in global CO2 and total greenhouse gas emissions. In: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency*, 21 dez. 2020. Disponível em: <<https://www.pbl.nl/en/publications/trends-in-global-co2-and-total-greenhouse-gas-emissions-2020-report>>. Acesso em: 9 dez. 2023.
- RITCHIE, H.; ROSER, M.; ROSADO, P. *CO2 and other greenhouse gas emissions*. 2020. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>>. Acesso em: 12 dez. 2023.
- ROSELET, F.; VANDAMME, D., MUYLAERT, K. *et al. Harvesting of Microalgae for Biomass Production. In: Wand, Z.; Alam, M. (ed.). Microalgae Biotechnology for Development of Biofuel and Wastewater Treatment*. Singapura: Springer, 2019, p. 211-243.
- SANTOS, A. C. A.; LOUREIRO, A. C. S.; SOUZA, A. L. B., SILVA, N. B.; MIRRE, R. C.; PESSOA, F. L. P. *Biobutanol as an Alternative and Sustainable Fuel: A Literature Review. J Bioeng Technol Health*, v. 5, n. 1, p. 65-70, 2022.
- SEABRA, D.; CALDEIRA-PIRES, A. *The thermodynamic rarity concept: a systematic review. Ecological Indicators*, v. 108, jan. 2020.
- SHARMA, S.; KUNDU, A.; BASU, S.; SHETTI, N. P., AMINABHAVI, T.M. *Sustainable environmental management and related biofuel technologies. J Environ Manage*, v. 273, n. 1, nov. 2020.
- SOUZA V.; BITTENCOURT, G. A.; VALLADARES-DIESTRA, K. K. *et al. Application of enzymes in microbial fermentation of biomass wastes for biofuels and biochemicals production. In: Tong YW, Zhang L, Zhang J, et al. (ed.) Biomass, biofuels, biochemicals*. Amsterdam: Elsevier, 2022, v. 1, pp. 283–316.
- SZAMBELAN, K.; NOWAK, J.; SZWENGIEL, A. *et al. Separate hydrolysis and fermentation and simultaneous saccharification and fermentation methods in bioethanol production and formation of volatile by-products from selected corn cultivars. Ind Crops Prod.*, v. 118, p. 355-361, 2018.
- TIWARI, A.; KIRAN, T.; PANDEY, A. *Chapter 14 - Algal cultivation for biofuel production. In: BASILE, A.; DALENA, F. (ed.). Second and Third Generation of Feedstocks*. Amsterdam: Elsevier, 2019, v. 1. p. 383–403.
- WATANABE, M. D. B.; CHERUBINI, F.; TISSERANT, A.; CAVALETT, O; REGIS, A. F. *Drop-in and hydrogen-based biofuels for maritime transport: Country-based assessment of climate change impacts in Europe up to 2050. Energy Conversion and Management*, v. 273, 2022.
- WANG Y.; WANG, P.; LUI, G.; ZHANG, Q.; YANG, J.; LU, T.; XIA, L.; PENG, Y. *Cascading of engineered bioenergy plants and fungi sustainable for low-cost bioethanol and high-value biomaterials under green-like biomass processing Renew. Sustain. Energy Rev.*, v. 137, 2021.
- ZHANG F.; YI, J.; PAN, W.; MEI, G. *A new process for the production of second-generation biodiesel from waste oils and fats. Biomass Conversion and Biorefinery*, jul. 2022.



Área: Bioprocessos

HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE BAGAÇO DE MAÇÃ COM ATUAÇÃO INDIVIDUAL DE ENZIMAS COMERCIAIS

Gabriel Lanza Colvero^{1*}, Lidiane Borges Dias de Moraes², Luciane Maria Colla¹

¹Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos, Curso de Engenharia Química, Instituto de Tecnologia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Vacaria, Vacaria, RS

*E-mail: 184091@upf.br

RESUMO – Com a busca por fontes de energia mais sustentáveis, o uso de resíduos para produção de biocombustíveis vem recebendo atenção. O bagaço de maçã é um subproduto de indústrias de sucos composto por carboidratos como pectina e amido, assim, pode ser utilizado para produzir bioetanol caso passe por um processo de hidrólise. Para realizar esta hidrólise, foram utilizadas as enzimas α -amilase, amiloglicosidase e pectinase, visando romper estes carboidratos, liberando açúcares fermentescíveis. Os meios para a hidrólise foram preparados com 5% (m/v) de carga de sólidos em pH 4,5 e passaram por gelatinização como pré-tratamento. Cada meio foi hidrolisado por enzimas atuando individualmente por 6 h, utilizando α -amilase, amiloglicosidase e pectinase. Os meios hidrolisados com a enzima α -amilase apresentaram as menores concentrações de açúcares, sendo a maior $31,99 \pm 0,44$ g/100g. A amiloglicosidase apresentou como maior valor $33,63 \pm 0,41$ g/100g. A pectinase foi a enzima que mais atuou nos carboidratos do bagaço, tendo como maior concentração $37,12 \pm 0,85$ g/100g. Com estes ensaios foi possível perceber a melhor atuação da pectinase quando comparada com as enzimas amilolíticas sobre o bagaço de maçã.

Palavras-chave: α -amilase, amiloglicosidase, pectinase, resíduos.

1 INTRODUÇÃO

Diante dos diversos problemas ambientais enfrentados atualmente, a busca por novas fontes mais sustentáveis de energia se tornou mais intensa. Uma das grandes questões é a alta demanda de combustíveis fósseis como fonte de energia. Estes emitem gases poluentes, como CO₂ e SO₂, durante sua queima, o que agrava o aquecimento global e causando, também, problemas de saúde (INCA, 2022). Com isso, ano após ano, conforme ocorre o aumento da temperatura em escala global, mais perceptíveis são as mudanças climáticas. Como por exemplo, o fato dos 6 últimos anos serem os mais quentes desde a era pré-industrial, que começou em 1850, sendo que no de 2020 a temperatura esteve 1,2 °C acima das temperaturas de tal período (WMO, 2021).

A produção de biocombustíveis a partir de resíduos alimentícios é uma possibilidade levantada por alguns autores (Patel et al., 2019; Saravanan et al., 2021). Um dos biocombustíveis considerados é o bioetanol. O bioetanol é obtido por meio de fermentação, quando leveduras consomem açúcares simples para produzir etanol e dióxido de carbono (Lin; Tanaka, 2005). Resíduos alimentícios normalmente possuem açúcares complexos, porém, as leveduras não conseguem utilizar os mesmos na fermentação, fazendo-se necessária uma etapa anterior: a hidrólise.

A hidrólise é um processo químico ou biológico, onde moléculas maiores são quebradas em unidades menores. Uma das maneiras que a hidrólise ocorre é por meio de enzimas, proteínas que catalisam reações químicas, atuando em substratos específicos de maneira específica (Punekar, 2018). Neste processo, são liberados açúcares redutores, que são fermentescíveis.

Um resíduo que pode ser utilizado para a produção de bioetanol é o bagaço de maçã. Este é obtido após o processamento de maçãs para produzir sucos, sendo considerado um subproduto da indústria (Fernandes et al., 2019). Por se tratar de um resíduo, não há competição com o setor alimentício por esse material, evitando conflitos éticos. Por possuir carboidratos como amido e pectina (Bhushan et al., 2008), é viável cogitar uma hidrólise enzimática deste material para posterior uso do mesmo em uma fermentação alcoólica. Sendo assim, foi considerado o uso de amilases e pectinase para a hidrólise deste resíduo.

Visando uma posterior utilização do bagaço de maçã em processos fermentativos, este trabalho objetivou comparar a atuação das enzimas α -amilase, amiloglicosidase e pectinase sobre o material, analisando a quantidade de açúcares redutores liberados no meio ao longo do processo de hidrólise.



2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Preparo dos meios

Os meios para hidrólise foram preparados contendo 5% (m/v) de carga de sólidos (bagaço de maçã seco e triturado). Os sólidos foram suspensos em 100 mL de tampão fosfato 0,2 mol/L com pH 4,5, conforme caracterização anterior das enzimas, em Erlenmeyers. Após a adição do tampão, o meio foi gelatinizado em banho termostático a 80 °C por 10 min.

2.2 Hidrólise

O meio gelatinizado e adicionado de enzimas foi hidrolisado por 6 h, em virtude de este ser o tempo ótimo de hidrólise segundo ensaios prévios. A temperatura utilizada no banho e a carga de enzimas adicionadas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Temperaturas e quantidades de enzima utilizadas nas hidrólises enzimáticas

Enzima utilizada	Temperatura	Carga de enzimas
α -amilase	90 °C	150 mL/m ³
Amiloglucosidase	55 °C	150 mL/m ³
Pectinase	55 °C	1000 mL/m ³

Fonte: Autores, 2024.

As enzimas utilizadas foram cedidas pela Novozymes Latin América. São estas a LpHera (α -amilase), Saczyme® Go 2X (amiloglucosidase) e Pectinex Ultra SP-L (pectinase).

Para atingir a concentração de 150 mL/m³, 1,5 mL de enzima foram diluídos com tampão fosfato 0,2 mol/L e pH 4,5 em balão volumétrico de 100 mL. Para a concentração de 1000 mL/m³, 1 mL de pectinase foi diluído em balão volumétrico de 10 mL com o mesmo tampão.

Para iniciar a hidrólise enzimática, 1 mL da enzima diluída foi adicionada ao meio gelatinizado. As enzimas foram utilizadas de maneira individual, ou seja, cada meio recebeu uma das enzimas.

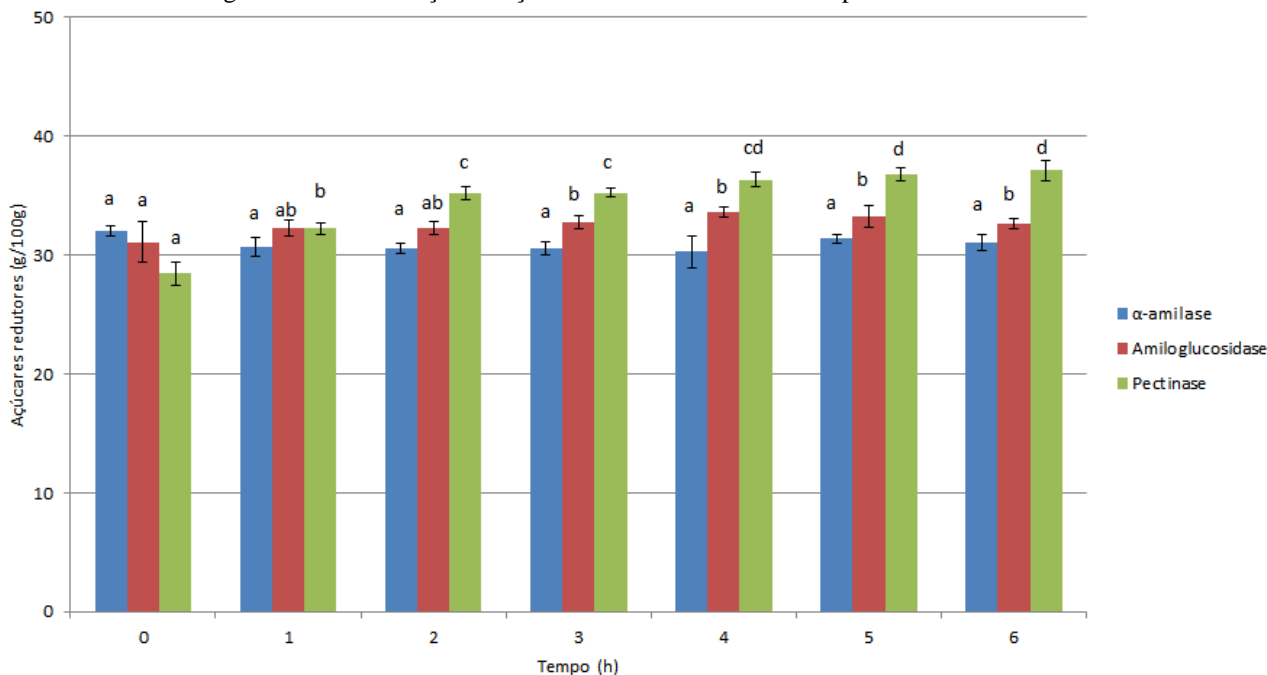
Amostras foram coletadas a cada hora após a adição da enzima, além de uma coleta anterior à adição da enzima, servindo como controle. Para inativação da enzima e precipitação das proteínas do extrato, adicionou-se soluções de Carrez I e Carrez II, avolumando em balão volumétrico e filtrou-se em papel filtro. 1 mL de conteúdo filtrado foi adicionado em um tubo de ensaio, com 1 mL de NaOH e 1 mL de reagente DNS. Essa mistura é aquecida em banho termostático a 100 °C por 5 min e, após, resfriada em banho de gelo também por 5 min. Após o resfriamento, são adicionados mais 7 mL de água. O conteúdo resultante é lido em espectrofotômetro em transmitância no comprimento de onda 546 nm e transformado em concentração de açúcares redutores pela lei de Lambert-Beer. A concentração de açúcares redutores é medida pelo método de DNS (Miller, 1959).



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados em gramas de açúcar redutor liberados por 100 gramas de bagaço de maçã (g/100g). Os resultados passaram por análise de variância (ANOVA). A Figura 1 apresenta as quantidades de açúcares nos meios em cada tempo analisado.

Figura 1 – Concentração de açúcares redutores em cada tempo e meio analisados



*As colunas azuis representam os meios hidrolisados com α -amilase, as vermelhas representam os meios hidrolisados com amiloglucosidase e as verdes representam os meios hidrolisados com pectinase.

Fonte: Autores, 2024.

Os resultados da hidrólise utilizando α -amilase não apresentaram diferença estatística entre si, com o maior resultado sendo o do tempo 0 h, com $31,99 \pm 0,44$ g/100g de açúcares redutores. Para a amiloglucosidase, a maior concentração de açúcares foi de $33,63 \pm 0,41$ g/100g no tempo 4 h. A pectinase foi a enzima que apresentou os maiores resultados de açúcar liberado, sendo o maior valor o do tempo 6 h, $37,12 \pm 0,85$ g/100g.

Esta diferença pode ser explicada por uma quantidade de pectina (de 3,50 g/100g a 14,32 g/100g) maior que a quantidade de amido (de 6,91 g/100g a 10,60 g/100g) no bagaço de maçã (Bhushan et al., 2008). Também deve ser ressaltado que, apesar de seco e triturado, o bagaço de maçã não é homogêneo, o que pode influenciar no preparo dos meios.

Uma possível explicação para os baixos resultados de hidrólise é a carga enzimática que pode estar baixa demais. Assim, com enzimas menos diluídas, a tendência é que ocorra maior liberação de açúcares.

4 CONCLUSÃO

Após os ensaios realizados, foi possível observar que a hidrólise utilizando pectinase apresentou maior liberação de açúcares do que a com enzimas amilolíticas (α -amilase e amiloglucosidase). Sendo assim, para utilizar este resíduo em eventuais processos fermentativos, a aplicação dessa enzima deve ser considerada.

A α -amilase não apresentou resultados satisfatórios, obtendo concentrações menores que a amiloglucosidase, que hidrolisou maiores quantias de amido. Portanto, não é recomendado uso da mesma em processos com o bagaço de maçã.



5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro, via bolsa de iniciação científica Pibic-CNPq e o financiamento do projeto universal intitulado “Valoração de resíduos alimentares através da produção de enzimas e bioetanol no conceito de bioeconomia circular” (Processo 403786/2021-5, de 03/02/2022 a 28/02/2025). Ainda, agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) - Processo 21/2551-0002233-7. Também agradecemos à Universidade de Passo Fundo (UPF) pela estrutura e à equipe do Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos – UPF (Labio) pela colaboração. Agradecimento ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) - Campus Vacaria, pela obtenção do bagaço de maçã utilizado neste trabalho.

6 REFERÊNCIAS

- BHUSHAN, S.; KALIA, K.; SHARMA, M.; SINGH, B.; AHUJA, P. S. Processing of apple pomace for bioactive molecules. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 28, n. 4, p. 285-296, 2008.
- FERNANDES, P.; FERREIRA, S. S.; BASTOS, R.; FERREIRA, I.; CRUZ, M. T.; PINTO, A.; COELHO, E.; PASSOS, C. P.; COIMBRA, M. A.; CARDOSO, S. M.; WESSEL, D. F. Apple Pomace Extract as a Sustainable Food Ingredient. **Antioxidants**, v. 8, n. 6, p. 189, 2019.
- INCA. Instituto Nacional de Câncer. **Fumaças de motores a diesel**. Rio de Janeiro: INCA, 2022. Disponível em: <<https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/poluentes/fumacas-de-motores-a-diesel>>. Acesso em: 21 fev. 2024.
- LIN, Y.; TANAKA, S. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 69, p. 627-642, 2006.
- MILLER, G. L. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- PATEL, A.; HRŮZOVÁ, K.; ROVA, U.; CHRISTAKOPOULOS, P.; MATSAKAS, L. Sustainable biorefinery concept for biofuel production through holistic valorization of food waste. **Bioresource Technology**, n. 294, v. 122247, 2019.
- PUNEKAR, N.S. **Enzyme Kinetic Practice and Measurements**. In: *Enzymes: Catalysis, Kinetics and Mechanisms*, p. 85-96, 2018.
- SARAVANAN, A.; KUMAR, P. S.; JEEVANANTHAM, S.; KARISHMA, S.; VO, D. V. N. **Recent advances and sustainable development of biofuels production from lignocellulosic biomass**. *Bioresource. Technology*. 344, 126203, 2021.
- WMO. World Meteorological Organization. **2020 was one of three warmest years on record**. Geneva: WMO, 2021. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/media/press-release/2020-was-one-of-three-warmest-years-record>>. Acesso em 21 fev. 2024.



Área: Bioprocessos

O uso de nanopartículas inorgânicas a partir de síntese verde como uma abordagem biotecnológica na produção e segurança de três grandes culturas agrícolas no sul do Brasil: milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine max* L.) e trigo (*Triticum* spp.)

Rudimar Risso de Oliveira Junior

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Curso de Ciências Biológicas, Sertão, RS
*E-mail: rudirisso45@gmail.com

RESUMO – Atualmente o rendimento agrícola está comprometido pelas mudanças do clima, que afetam a saúde da planta, e pelos diferentes agroquímicos, que ameaçam a biodiversidade e a fertilidade do solo. A insegurança alimentar e as perdas financeiras são consequências desses impactos. A nanotecnologia surge como uma ferramenta eficaz para substituir tais agroquímicos e também como uma potencial ferramenta para minimizar os impactos ambientais, além de beneficiar as culturas agrícolas em vários segmentos. Essa revisão bibliográfica reúne dados de pesquisas que abordam a nanotecnologia em seu método de síntese verde. Os resultados mostram que as nanopartículas inorgânicas, presentes em extratos de plantas, têm um forte potencial nas culturas de soja, trigo e milho. Dentre os benefícios, o crescimento vegetativo, o rendimento, a germinação de sementes, a produção de nanomateriais e de nanofertilizantes para a translocação direcionada de macro e micronutrientes e as atividades antifúngicas são os mais tendenciosos. Apesar de ser uma área recente no Brasil, a nanotecnologia mostra-se promissora em suportar os problemas de baixo rendimento e controlar doenças de plantas através da utilização de NPs biossintetizadas e outros metais menos tóxicos.

Palavras-chave: Bioprocessos; nanopartículas; síntese verde; segurança alimentar; produção agrícola.

1 INTRODUÇÃO

A produtividade agrícola é constantemente forçada a manter a estabilidade dos rendimentos para alimentar a população mundial em enorme crescimento. No entanto, a redução de nutrientes no solo e os estressores abióticos e bióticos em diferentes magnitudes colocam desafios adicionais à segurança alimentar global (Moulik et al., 2023).

As plantas enfrentam diferentes estresses abióticos que têm um impacto negativo no seu crescimento e desenvolvimento, levando a uma menor produtividade agrícola e, conseqüentemente, à insegurança alimentar e a perdas financeiras. Isso porque i. os impactos extremos das mudanças climáticas (ex. temperaturas extremas, escassez de água, alagamento, salinidade e deficiência de nutrientes no solo) são as mais notáveis dificuldades abióticas enfrentadas pelas culturas, e ii. a utilização de diferentes fertilizantes químicos, pesticidas e outros produtos agroquímicos para aumentar o rendimento das culturas têm efeitos adversos na biodiversidade, na fertilidade do solo e na dinâmica dos ecossistemas, sem contar a resistência de ervas daninhas (Hazarika et al., 2022).

A nanotecnologia agrícola está se tornando uma ferramenta poderosa ao melhoramento da produção agrícola no contexto de uma população mundial crescente (Santás-Miguel et al., 2023). As nanopartículas (NPs), como transportadoras ou ingredientes ativos, mostram-se promissoras na agricultura, já que foi relatado que o uso de tais partículas, na forma de nanofertilizantes ou de nanopesticidas, promove tolerância ao estresse, resistência a doenças e auxiliam no crescimento em várias plantas (Pokharel et al., 2024).

Conforme a Embrapa, a nanotecnologia beneficiará a agricultura de precisão, a rastreabilidade dos produtos, a embalagem e a certificação, a produção de biocombustíveis, a indústria de insumos e de medicamentos para uso veterinário e a indústria de alimentos. A síntese verde de NPs a partir de extratos vegetais tem recebido grande atenção de pesquisadores em todo o mundo através de diferentes espectros de sua aplicação, incluindo medicina, ciência de alimentos e agricultura (Najmaddin et al., 2023).

O milho (*Zea mays*) e a soja (*Glycine max* L.) constituem boa parte das grandes culturas da produção agrícola da região sul do Brasil. No caso da soja, a produção deve chegar a 148,2 milhões de toneladas, um aumento de 24,0% em comparação à quantidade obtida em 2022 (IBGE, 2023). Já o milho tem uma produção estimada em 122,8 milhões de toneladas, valor 11,5% maior que em 2022 (IBGE, 2023). No caso do trigo (*Triticum* spp.), a região Sul respondeu aproximadamente por 89,9% da produção em 2022.



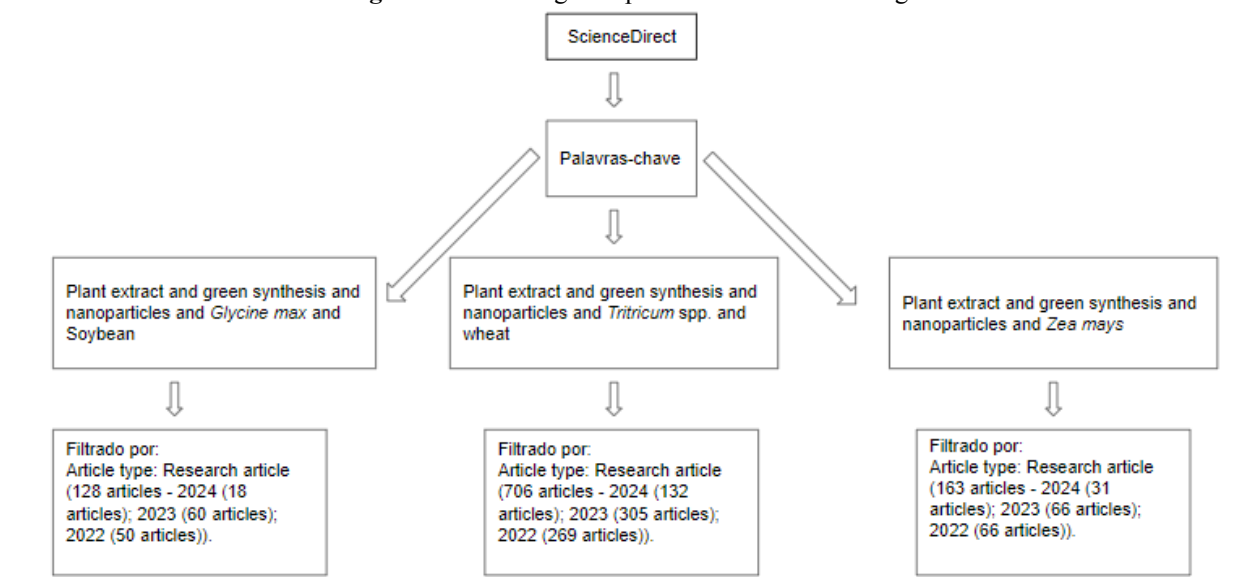
A grande produção dessas culturas envolve a dinâmica do ecossistema e as inovações biotecnológicas devem estar presentes para uma boa condução. Essa revisão reúne as NPs mais utilizadas nessas culturas com o objetivo de demonstrar os efeitos benéficos de novas perspectivas para a produção agrícola no setor da nanotecnologia.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo é constituído por uma revisão bibliográfica que segue alguns critérios. Os artigos foram obtidos na base de dados *ScienceDirect* com a combinação de palavras-chave detalhadas na **Imagem 1**. No total, seguindo nosso entendimento atual sobre bioprocessos, nanopartículas, síntese verde e produção agrícola, foram selecionados 18 artigos, considerando apenas os estudos de pesquisa da primeira página da base de dados que continham as palavras-chaves destacadas.

Este conjunto de dados seguiu 3 linhas: i) síntese verde de nanopartículas a partir de extrato de plantas e atividades em *Glycine max*; ii) síntese verde de nanopartículas a partir de extrato de plantas e atividades em *Triticum* spp.; iii) síntese verde de nanopartículas a partir de extrato de plantas e atividades em *Zea mays*.

Imagem 1: Metodologia de procura e inclusão de artigos.



Fonte: O autor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A síntese verde de NPs pode ser considerada um método proficiente ecologicamente porque segue os três seguintes fatores: i. a aplicação de solventes ambientalmente benignos, ii. agentes redutores potentes e iii. materiais estabilizadores não perigosos (Sarkar et al., 2020). Além disso, a utilização de várias partes de plantas, incluindo frutas, flores, folhas, sementes e raízes para a obtenção de extrato é um grande benefício (Sarraf et al., 2022). A água é o solvente comumente mais utilizado porque sendo um solvente polar pode extrair uma ampla gama de biomoléculas como fenólicos, flavonóides, terpenóides, proteínas que servem como agentes redutores e também podem ser aproveitados para outras aplicações dentro dos bioprocessos.

As NPs podem ser classificadas em formas orgânicas e inorgânicas. As orgânicas compreendem fulerenos, as inorgânicas são geralmente categorizadas como metais e óxidos metálicos (Iranbakhsh et al., 2021), e são as mais utilizadas dentre os processos nanotecnológicos. NPs metálicos (MNPs) incluem cobre (Cu), zinco (Zn), ouro (Au), prata (Ag), ferro (Fe), etc., enquanto NPs de óxido metálico (MONPs) são a forma modificada de seus respectivos MNPs, e incluem óxido de cobre (CuO), óxido de zinco (ZnO), óxido de ferro (Fe₂O₃), óxido de prata (AgO) e óxido de titânio (TiO₂) (Ealia e Saravanakumar, 2017).



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

A maioria dos estudos relatam as NPs inorgânicas como forte potencialidade de aplicações (**Tabela 1**). Nanopartículas como AgNPs, MgNPs, FeNPs e ZnNPs melhoram o crescimento vegetativo, o rendimento, a germinação de sementes (**Tabela 1**), além de serem usados como nanomateriais e os nanofertilizantes para a translocação direcionada de macro e micronutrientes e superar as deficiências de nutrientes nas plantas durante o crescimento e a produtividade (**Tabela 1**).

Tabela 01. Síntese verde de nanopartículas e suas aplicações em milho, trigo e soja.

NPs	Fonte biológica	Morfologia	Aplicações do estudo	Ações de NPs	Referências
<i>Milho</i>					
Ag	Folhas de <i>Moringa oleifera</i> (L.)	Esférica, com tamanho médio de 20-51 nm	Atividade química e biológica contra <i>Sitophilus oryzae</i> em sementes armazenadas	Capacidade entomotóxica contra <i>Sitophilus oryzae</i> ; Impacto nas características agromorfológicas de sementes de milho.	Srinivasan et al., 2023
Si	Extrato de folhas de <i>Chenopodium quinoa</i>	Variada entre 3–5 nm	Avaliar os efeitos na absorção de Pb e no crescimento do milho.	Mitigação dos efeitos tóxicos do Pb no milho; Ativação do sistema enzimático antioxidante; Redução do estresse oxidativo e aumento do teor da clorofila.	Maryam et al., 2024
ZnO	Folhas de <i>Fagonia indica</i>	Abaixo de 900 nm	Aumentar o crescimento geral da planta no contexto de acúmulo de cromo nos tecidos vegetais de milho	Melhoramento do crescimento das plantas sob estresse de Cr; Alívio do estresse oxidativo; Regular os atributos bioquímicos em plantas de milho causadas por Cr; Diminuição do teor de Cr nas plantas; Aumento da biomassa vegetal.	Ramzan et al., 2023
<i>Trigo</i>					
CeO ₂	Extrato de folha de <i>Chenopodium quinoa</i>	Redonda, com aglomerados, entre 7–10 nm	Efeito em doenças fúngicas de plantas de trigo	Potencial antifúngico significativo contra <i>Ustilago tritici</i> em duas variedades de trigo compostas por Arooj (V1) e Akber (V2)	Alotaibi et al., 2023
TiO ₂	Extrato de folhas de <i>Trianthema portulacastrum</i> e	-	Efeito em doenças fúngicas de plantas de trigo	NPs verdes calcinadas sintetizadas apresentam potencial antifúngico contra <i>Ustilago tritici</i>	Alabdallah et al., 2023



Chenopodium quinoa

Ag	Extrato de bulbo de <i>Allium sativum</i>	-	Efeito em doenças fúngicas de plantas de trigo	Minimização do estresse biótico; Diminuição da severidade de <i>Bipolaris sorokiniana</i> ; Melhoramento das características morfológicas, fisiológicas e bioquímicas do trigo.	Bibi et al., 2023
K	extrato de folha de <i>Morus alba</i>	21 a 30 nm	analisa o papel das nanopartículas de potássio na melhoria dos parâmetros morfológicos, bioquímicos e baseados no rendimento do trigo.	Aumento global do número de espiguetas por espiga, no número de espigas, no rendimento da colheita, no teor de proteína total e nos pigmentos fotossintéticos do trigo.	Sheoran et al., 2021

Soja

ZnO	Extrato de folha de <i>Melia azedarach</i>	30–40 nm com formato hexagonal	prevenção do crescimento de patógenos fúngicos transmitidos por sementes de soja	Eficácia no controle do crescimento de <i>Cladosporium cladosporioides</i> e <i>Fusarium oxysporum</i> .	Lakshmeesha et al., 2020
TiO ₂	Extrato de folha de <i>Aloe vera</i>	morfologia tetragonal com tamanho variando de 10 a 25 nm.	crescimento das plantas e especialmente na tolerância das plantas ao estresse salino	Tolerância ao sal na soja; Melhorando nas características de germinação; Eliminação de radicais livres DPPH; Redução dos conteúdos de H ₂ O ₂ e MDA.	Abdalla et al., 2022

Fonte: O autor.

As NPs inorgânicas destacadas neste estudo possuem um amplo espectro de atividades na melhora de germinação de sementes e no crescimento das plantas, nanopesticidas, nanofertilizantes, manejo de pragas, culturas e proteção de alimentos (agentes nanoantibacterianos, nanoantifúngicos e nanoantivirais).

4 CONCLUSÕES

No sector agrícola, o baixo rendimento, as doenças das culturas, a fisiologia de plantas, as mudanças do clima e outros fatores que impactam significativamente a vida do ecossistema como um todo são questões significativas que estão sendo consideradas porque envolvem a dinâmica de produção, qualidade e disponibilidade de alimentos.

A nanotecnologia no Brasil é uma área recente (investimentos de 2020-2023 de fundações e empresas como o CNPq, CAPES, FAPs, (FINEP), Embrapa, Sibratec) (Dias et al., 2021), e os estudos de abordagem sustentável, como o



de nanopartículas a partir de síntese verde, devem suportar os problemas de baixo rendimento e controlar doenças de plantas através da utilização de NPs biossintetizadas e outros metais menos tóxicos.

5 REFERÊNCIAS

ABDALLA, H. *et al.* Potencial de nanopartículas de dióxido de titânio sintetizadas verdes para melhorar a emergência de plântulas, índices de vigor e tolerância e eliminação de radicais livres DPPH em duas variedades de soja sob estresse salino. **BMC Biologia Vegetal**, v. 1, pág. 560, 2022.

ALABDALLAH, N., *et al.* Synthesis, characterization and antifungal potential of titanium dioxide nanoparticles against fungal disease (*Ustilago tritici*) of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental Research*, v. 228, p. 115852, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115852>.

ALOTAIBI, M., *et al.* Effect of green synthesized cerium oxide nanoparticles on fungal disease of wheat plants: A field study. **Chemosphere**, v. 339, p. 139731, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139731>.

MOULICK, D. *et al.* Selenium—An environmentally friendly micronutrient in agroecosystem in the modern era: An overview of 50-year findings. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 270, p. 115832, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115832>.

BIBI, S. *et al.* Biosynthesized silver nanoparticles enhanced wheat resistance to *Bipolaris sorokiniana*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 203, p. 108067, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108067>.

DIAS, B. de P. *et al.* . A NANOTECNOLOGIA NO BRASIL E O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS COM ATIVIDADE ANTIMICROBIANA. **Química Nova**, 44(8), 1084–1092, 2021. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170743>

EALIA, S. A. M.; SARAVANAKUMAR, M. P. A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. In: **IOP conference series: materials science and engineering**. IOP Publishing, 2017. p. 032019. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2017MS&E.263c2019E/doi:10.1088/1757-899X/263/3/032019

HAZARIKA, A. *et al.* An overview of the role of nanoparticles in sustainable agriculture. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 43, p. 102399, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102399>

IBGE. **Estimativa de maio prevê safra recorde de 305,4 milhões de toneladas em 2023**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37135-estimativa-de-maio-prev-e-safra-recorde-de-305-4-milhoes-de-toneladas-em-2023#:~:text=No%20caso%20da%20soja%2C%20a,5%25%20maior%20que%20em%202022>. Acesso em: 08 de março de 2024.

IRANBAKHSI, A.; ORAGHI ARDEBILI, Z.; ORAGHI ARDEBILI, N. Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles and their impact on plants. **Plant Responses to Nanomaterials: Recent Interventions, and Physiological and Biochemical Responses**, p. 33-93, 2021.

LAKSHMEESHA, T. R. *et al.* Biofabrication of zinc oxide nanoparticles from *Melia azedarach* and its potential in controlling soybean seed-borne phytopathogenic fungi. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, n. 8, p. 1923-1930, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.06.013>.

MAQSOOD, M. F. *et al.* Biogenic nanoparticles application in agriculture for ROS mitigation and abiotic stress tolerance: A review. **Plant Stress**, v. 10, p. 100281, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100281>.

MARYAM, H. *et al.* Preparation and characterization of green silicon nanoparticles and their effects on growth and lead (Pb) accumulation in maize (*Zea mays* L.). **Environmental Pollution**, p. 123691, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123691>.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

NAJMADDIN, S. A. & AMIN, Z. A. Adiantum capillus attained selenium nanoparticles (SeNPs) ameliorate resistive effects in rat model of gentamicin nephrotoxicity via regulation of Interlukin-1 β , tumor necrosis factor- α and engagement of Vimentin and Bcl-2 proteins. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 30, n. 2, p. 103550, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103550>

POKHAREL, B. *et al.* The update and transport of aluminum nanoparticles in plants and their biochemical and molecular phototoxicity on plant growth and development: A systematic review. **Environmental Pollution**, p. 122875, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122875>

RAMZAN, M., *et al.* Synthesis of phytostabilized zinc oxide nanoparticles and their effects on physiological and anti-oxidative responses of *Zea mays* (L.) under chromium stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 196, p. 130-138, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.01.015>

SANTÁS-MIGUEL, Vanesa *et al.* Use of metal nanoparticles in agriculture. A review on the effects on plant germination. **Environmental Pollution**, p. 122222, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122222>

SARKAR, S. *et al.* Green polymeric nanomaterials for the photocatalytic degradation of dyes: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, n. 5, p. 1569-1580, 2020.

SINDUSTRIGO. **IBGE: produção de trigo deve ser recorde de 8,879 milhões de t em 2022**. Disponível em: <https://www.sindustrigo.com.br/noticias-setorial-mercado/ibge-producao-de-trigo-deve-ser-recorde-de-8-879-milhoes-de-t-em-2022/13590/>. Acesso em; 10 de março de 2024.

SRINIVASAN, A *et al.* Impact of silver nanoparticles against stored product pest *Sitophilus oryzae* (L.) and effect on agromorphological characteristics of *Zea mays* (maize seeds). **Process Safety and Environmental Protection**, v. 177, p. 1336-1350, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.07.074>

SHEORAN, P., *et al.* Biogenic synthesis of potassium nanoparticles and their evaluation as a growth promoter in wheat. **Plant Gene**, v. 27, p. 100310, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2021.100310>



Área: Bioprocessos

MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMEROS DE POLIÁCIDO LÁTICO

Gabrielle Fusiger Berwian*, Gabriela Paula Dalmora, Dannyele Fernanda S. Oliveira, Luciane Maria Colla

Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos, Programa de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Departamento de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: gabiberwian@gmail.com*

RESUMO – Neste estudo, foi abordado o uso de biofilmes produzidos a partir de fontes renováveis como uma alternativa sustentável aos filmes sintéticos feitos a partir de fontes fósseis, que causam impactos ambientais negativos. O ácido lático tem sido amplamente estudado na produção de filmes biodegradáveis devido à sua total biodegradabilidade e boa resistência. O processo de produção envolve a obtenção do ácido lático a partir de fontes amiláceas ou açucaradas, seguida da fermentação para produção do LA por bactérias ou leveduras. A polimerização do ácido lático pode ocorrer por diferentes métodos, incluindo policondensação direta, policondensação azeotrópica e Polimerização por Abertura de Anel (ROP).

Palavras-chave: PLA, fermentação, microrganismos, polimerização, policondensação.

1 INTRODUÇÃO

Os polímeros sintéticos, obtidos através de fontes não renováveis, foram desenvolvidos no século XIX como uma alternativa aos polímeros naturais, como a borracha e o algodão. A descoberta deste tipo de material contribuiu para o avanço de diversos setores industriais, que passaram a produzir plásticos, fibras e resinas.

O uso indiscriminado dos polímeros sintéticos têm contribuído para geração de um série de problemas ambientais, principalmente por causa da sua baixa biodegradabilidade, fazendo com que estes materiais permaneçam no ambiente por centenas de anos (Han et al., 2022). Diante disto, fica evidente a necessidade de produção de polímeros através de fontes naturais, como plantas e microrganismos, que além de apresentar estrutura molecular e propriedades físicas semelhantes aos sintéticos, ainda sejam biodegradáveis.

Nesse sentido, os polímeros biodegradáveis têm se tornando cada vez mais requisitados, por serem uma opção mais sustentável e ecologicamente correta, em comparação aos polímeros sintéticos (Garcia-Garcia et al., 2020). Dentre os biopolímeros, o Poliácido Lático (PLA) tem se destacado, por suas excelentes características físicas e mecânicas (Saini; Arora; Kumar, 2016) e também por sua alta capacidade de biodegradação (Murariu; Dubois, 2016).

O monômero formador do PLA é o ácido lático, obtido principalmente pela fermentação de carboidratos, que após o processo de polimerização transforma-se no PLA. A polimerização pode ocorrer por métodos distintos, sendo eles por policondensação direta, policondensação azeotrópica e Polimerização por Abertura de Anel (ROP). Uma das vias mais comuns para obtenção do PLA é a polimerização por abertura de anel, onde ocorre a condensação do lactídeo na presença de catalisadores metálicos, seguida da liberação de uma molécula de água, a altas temperaturas (Arrieta et al., 2017).

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão sistemática utilizando a base de dados *Scopus* para investigar as últimas pesquisas sobre os métodos de produção de biopolímeros de poliácido lático a partir de fontes renováveis, como plantas e microrganismos, levando em consideração a obtenção do ácido lático a partir de fontes amiláceas ou açucaradas, a fermentação para produção do LA por bactérias ou leveduras, e a polimerização do ácido lático por diferentes métodos, incluindo policondensação direta, policondensação azeotrópica e polimerização por abertura de anel.



2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão sistemática utilizando a base de dados *Scopus*, que é amplamente reconhecida por sua abrangência e relevância na literatura científica. Os artigos foram selecionados por meio de uma busca estruturada utilizando os termos “POLY” and “LATIC” and “ACID” and “PRODUCTIONS” and “MICROORGANISM”, e os artigos contendo esses termos no título, resumo e palavras-chave foram selecionados. A pesquisa foi limitada aos documentos publicados entre 2013 e 2023, com o objetivo de abranger as pesquisas mais recentes. A análise considerou apenas artigos em inglês, visando garantir a consistência e qualidade dos resultados obtidos.

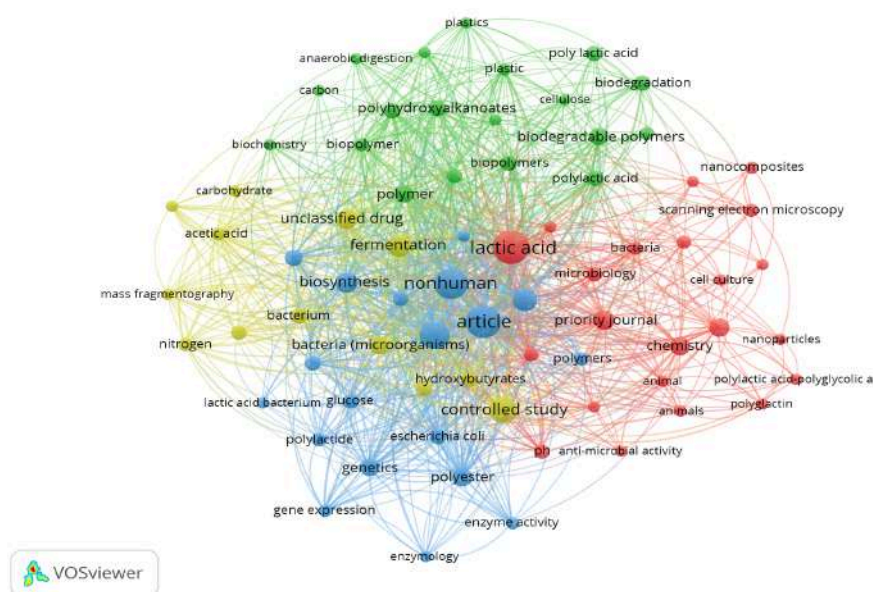
Os documentos obtidos foram exportados da base de dados, e foram utilizados para gerar a nuvem de palavras no software VOSviewer, nos permitindo visualizar as principais áreas de foco e conexões entre os temas investigados. Os artigos selecionados passaram por nova seleção, para que fossem mantidos apenas artigos que se enquadrem no escopo da pesquisa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição dos documentos incluiu 65 artigos de pesquisa, que foram avaliados utilizando a plataforma *Scopus*. Por meio dessas, foi possível observar que o maior número de publicações ocorreu em 2021, totalizando 11 artigos. A revista científica com maior número de publicação entre 2013-2023 foi a *Biochemistry, Genetics and Molecular Biology* (31 documentos), seguido da *Chemical Engineering* (25 documentos) e da *Chemistry* (19 documentos). Suas maiores produções foram localizadas em primeiro lugar na China (16 documentos), seguido pela Índia (13 documentos) e United States (7 documentos).

Posterior a análise, a nuvem de palavras foi gerada, assim como ilustrado na Figura 1. As principais palavras utilizadas pelos autores estão divididas em 4 clusters principais. O maior cluster é representado pela cor vermelha, com 22 itens que apresentam termos como atividade microbiana, bactérias e cultura de células. Seguido pelo cluster representado pela cor verde, contendo 19 itens que apresenta termos como digestão anaeróbica, bioquímica e polímeros biodegradáveis. O terceiro cluster é representado pela cor azul e assim como o cluster anterior contém 19 itens que apresentam termos como crescimento bacteriano, estirpe bacteriana e atividade enzimática. O último cluster é representado pela cor amarela, contendo 13 itens que apresentam termos como ácido acético, fermentação e hidroxibutiratos.

Figura 1 - Rede de coocorrência de palavras-chave



Fonte: autores (2024)



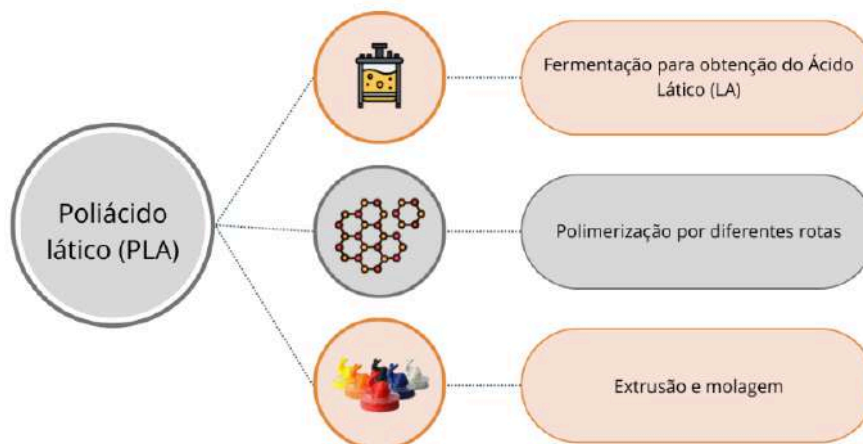
Foram analisados 65 artigos previamente em relação aos títulos e resumos. Os documentos que não estavam de acordo com o objetivo da pesquisa foram excluídos, resultando em 13 artigos para serem usados no estudo. Além desses, foram utilizados também artigos de fora da bibliometria para auxiliar na conclusão da pesquisa.

3.1 Políácido láctico

Os biopolímeros são predominantemente derivados de fontes renováveis, como plantas, algas, microrganismos e resíduos orgânicos, sendo considerados polímeros naturais. São reconhecidos como materiais ecologicamente corretos, com diversas vantagens, especialmente no aspecto ambiental, uma vez que podem ser facilmente decompostos em condições naturais pela ação de microrganismos. Dentre os polímeros mais estudados por sua semelhança com os polímeros sintéticos estão o Políácido Láctico (PLA), polihidroxialcanoato (PHA), polibutadieno succinato (PBS), poliésteres alifáticos (APE) e celulose bacteriana (CB) (Frattari et al., 2017).

Dentre esses, o PLA possui excelentes propriedades físicas e mecânicas, além de índices de processamento ideais, tornando-se o bioplástico com maior potencial de comercialização. Sendo amplamente utilizado em diversos setores industriais, onde podemos ressaltar a área médica, na forma de implantes e suturas, na indústria têxtil com a produção de fibras para tecidos. Também em remediações ambientais, agricultura e na produção de embalagens (Bustamante et al., 2019). É importante ressaltar que, em torno de 50% do PLA produzido é destinado a produção de embalagens, pois além de suas características mecânicas favoráveis, apresenta transparência, facilidade em seu processamento e produção (Frattari et al., 2017). Para obtenção desse, 3 estágios principais são seguidos, iniciando pela obtenção do LA pela fermentação, seguida da polimerização, e posteriormente etapas de extrusão e moldagem, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Produção de polímeros de base biológica



Fonte: autores (2024)

O ácido láctico é obtido por meio da fermentação em batelada de matérias-primas ricas em amido ou açúcar (Shahab et al., 2018). Durante essa etapa, a matéria-prima escolhida passa por fermentação, realizada por bactérias ou leveduras. As bactérias mais comuns usadas são do gênero *Lactobacillus*, responsáveis por converter carboidratos em ácido láctico. Durante esse processo, o ácido pirúvico se transforma em ácido láctico e o NADH é oxidado em NAD⁺ (Ahmad et al., 2024). Essa transformação acontece no citoplasma das células bacterianas, sem a necessidade de oxigênio, ou seja, de forma anaeróbica.

Em relação às bactérias, as leveduras são menos utilizadas, pois sua eficiência na produção do LA é menor. Algumas leveduras, como as do gênero *Rhizopus* e *Rhizomucor*, podem ser utilizadas para produzir ácido láctico a partir de carboidratos ou amido. Isso ocorre por uma via de fermentação conhecida como fermentação láctica desigual. Nesses processos, as leveduras podem produzir ácido láctico através da fermentação do açúcar com a ajuda de enzimas como a lactato desidrogenase e a lactato oxidase. No entanto, a produção de ácido láctico pela fermentação com leveduras é menos utilizada e menos eficiente que a produzida por bactérias ácido-lácticas (Ahmad et al., 2024).



Posterior a obtenção do LA, essa passa por processo de polimerização, que pode ser realizada por três métodos distintos, como: policondensação direta, polimerização de desidratação azeotrópica e por polimerização de abertura de anel.

A policondensação direta do LA é definida pela união de monômeros, esse método é conhecido como uma rota alternativa para a produção do PLA, que vem acompanhada da produção de subprodutos como água e álcoois que por ventura dificultam o processo produtivo do PLA (Hu et al., 2016). Esse método é teoricamente simples, mas traz consigo diversas desvantagens como a dificuldade de aumentar a massa molecular desses polímeros afetando as propriedades mecânicas e térmicas que vem gerando produtos de baixa qualidade, quebradiços e inutilizáveis (Peng et al., 2021).

Na policondensação azeotrópica, assim como na policondensação direta, ocorre a formação de água durante a reação. A principal diferença desse método está na utilização de solventes azeotrópicos que removem a maior parte da água presente, porém, a desvantagem é a remoção do solvente. Esse método resulta em um PLA de alto peso molecular sem que seja necessária a utilização de uma corrente alongadora (Yu et al., 2023).

Até o momento, a técnica predominante para a fabricação de PLA é a Policondensação por abertura de anel (ROP) com o uso de catalisadores organometálicos. No entanto, existem outros catalisadores utilizados, como ROP catiônico, aniônico, orgânico e enzimático (Yu et al., 2023; Ahmad et al., 2022). Ao utilizar esse método, faz-se necessária a utilização de purificações ao longo do processo para remover impurezas e garantir a qualidade final do polímero. Além disso, é importante controlar as condições de reação, como temperatura, pressão e tempo de reação, para obter um produto com propriedades desejadas (Hu et al., 2016; Lasprilla et al., 2012).

Após a obtenção do PLA pelos métodos descritos acima, o composto é submetido a um processo de extrusão e moldagem para alcançar o produto desejado. Tanto os biopolímeros quanto os polímeros sintéticos são classificados como termoplásticos e termorrígidos, sendo o PLA um polímero termoplástico. Devido a essa característica, ao ser aquecido acima de seu ponto de fusão, que varia entre 150 e 160 °C, o material se torna líquido e pode ser moldado na forma do produto final desejado (Frattari et al., 2017).

4 CONCLUSÃO

Considerando o conteúdo apresentado neste estudo, fica claro a necessidade de buscar alternativas sustentáveis na produção de materiais, principalmente nos setores industriais. O uso de fontes renováveis, como o foco em biopolímeros como o PLA, que possuem propriedades físicas e mecânicas semelhantes aos polímeros sintéticos, mas são biodegradáveis, mostram-se como opções ecologicamente corretas. Portanto, a pesquisa e o desenvolvimento de métodos mais eficientes e sustentáveis na produção de materiais são de extrema importância para a construção de um futuro mais sustentável e a preservação do meio ambiente.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de Passo Fundo (UPF) pela infraestrutura, aos colegas do Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos (Labio), ao CNPq.

6 REFERÊNCIAS

- AHMAD, A. et al. An overview of biodegradable poly (lactic acid) production from fermentative lactic acid for biomedical and bioplastic applications. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 14, n. 3, p. 3057–3076, 22 fev. 2024.
- ARRIETA, M. et al. On the Use of PLA-PHB Blends for Sustainable Food Packaging Applications. **Materials**, v. 10, n. 9, p. 1008, 29 ago. 2017.
- BUSTAMANTE, D. et al. Production of D-Lactic Acid by the Fermentation of Orange Peel Waste Hydrolysate by Lactic Acid Bacteria. **Fermentation**, v. 6, n. 1, p. 1, 18 dez. 2019.
- FRATTARI, S. et al. Equilibrium condition and stabilization kinetics of lactic acid oligomers in aqueous solutions. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 95, n. 5, p. 863–870, 12 maio 2017.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- GARCIA-GARCIA, D. et al. Improvement of PLA film ductility by plasticization with epoxidized karanja oil. **Polymer Degradation and Stability**, v. 179, p. 109259, set. 2020.
- HAN, X. et al. Microbial cell factories for bio-based biodegradable plastics production. **iScience**, v. 25, n. 11, p. 105462, nov. 2022.
- HU, Y. et al. Newly Developed Techniques on Polycondensation, Ring-Opening Polymerization and Polymer Modification: Focus on Poly(Lactic Acid). **Materials**, v. 9, n. 3, p. 133, 26 fev. 2016.
- LASPRILLA, A. J. R. et al. Poly-lactic acid synthesis for application in biomedical devices — A review. **Biotechnology Advances**, v. 30, n. 1, p. 321–328, jan. 2012.
- MURARIU, M.; DUBOIS, P. PLA composites: From production to properties. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 107, p. 17–46, dez. 2016.
- PENG, Q. et al. Direct polycondensation of l-lactic acid in hydrophobic bis(trifluoromethanesulfonyl)imide-anionic ionic liquids: A kinetic study. **European Polymer Journal**, v. 158, p. 110692, set. 2021.
- SAINI, P.; ARORA, M.; KUMAR, M. N. V. R. Poly(lactic acid) blends in biomedical applications. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 107, p. 47–59, dez. 2016.
- SHAHAB, R. L. et al. Consolidated bioprocessing of lignocellulosic biomass to lactic acid by a synthetic fungal-bacterial consortium. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 115, n. 5, p. 1207–1215, maio 2018.
- YU, J. et al. PLA bioplastic production: From monomer to the polymer. **European Polymer Journal**, v. 193, p. 112076, jul. 2023.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Área: Bioprocessos

FERMENTAÇÃO DO MOLHO DE SOJA: TENDÊNCIAS NAS TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO E MODIFICAÇÕES DO PROCESSO

Cinthia da Costa Berwanger*, Lúcia Gabriela Cavalet, Raíssa Vieira da Silva,
Luciane Maria Colla

*Laboratório de Bioquímica e Processos, Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos,
Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS
E-mail: 138340@upf.br

RESUMO – O molho de soja, elemento essencial na culinária asiática, é apreciado como tempero e ingrediente culinário. Originário da China antiga, seu processo tradicional de produção envolve duas etapas de fermentação: *koji* e *moromi*. No entanto, a indústria enfrenta desafios, como o tempo prolongado de fermentação e os altos teores de sal. Pesquisas e avanços tecnológicos buscam superar essas limitações e melhorar a eficácia e a saúde do processo de produção. Esta revisão explora os tipos de molho de soja, o processo de beneficiamento tradicional e a complexa comunidade microbiana envolvida. São analisadas as tendências emergentes nas tecnologias de produção e as modificações no processo, incluindo a transição do molho de soja de condimento para alimento funcional. Com um entendimento mais profundo dos processos de produção e das potenciais aplicações, antevê-se um futuro promissor. Tanto como condimento, enriquecendo pratos diversos, quanto como alimento funcional, contribuindo para uma dieta equilibrada, o molho de soja pode desempenhar um papel significativo na culinária contemporânea e na promoção da saúde.

Palavras-Chave: molho de soja, culinária asiática, processo de produção, fermentação, avanços tecnológicos

1 INTRODUÇÃO

O molho de soja é um condimento tradicional e amplamente popular em todo o mundo, com origem na China há mais de 3.000 anos (Zhou *et al.*, 2022). Reconhecido por suas características únicas de sabor e aroma, tornou-se um elemento essencial na culinária de países como China, Coreia e Japão (Yu *et al.*, 2023).

O processo de fabricação do molho de soja envolve, tradicionalmente, a fermentação microbiana de soja e trigo. Ele pode ser classificado em tipos chinês e japonês, com base na proporção de trigo, na cultura inicial e no ambiente de fermentação (Devanthi; Gkatzionis, 2019).

O molho de soja se destaca pela sua cor, aroma agradável e sabor distintos. A qualidade e o sabor do produto final são determinados pela formação de compostos ativos de aroma e sabor, influenciados por diversos fatores como tipo e quantidade de matéria-prima, cepas microbianas, teor de sal e condições de produção. Além de seu sabor característico, os molhos de soja são valorizados por seu alto teor nutricional, incluindo aminoácidos, proteínas solúveis, açúcares e ácidos orgânicos (Diez-Simon *et al.*, 2021).

O objetivo deste estudo foi trazer as tendências nas tecnologias de produção e modificações do processo de molhos de soja fermentado, seus tipos de fermentação, microrganismos responsáveis e impactos desses fatores nos aspectos sensoriais e de saudabilidade. A compreensão desses aspectos é essencial para garantir inovações tecnológicas na produção de molho de soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os artigos utilizados para a fundamentação teórica desta revisão foram localizados inserindo os termos “*soy sauce*” OR “*shoyu*” AND “*fermentat**” na base de dados Scopus, entre título, resumo e palavra-chave. O período da pesquisa foi limitado aos anos de 2019 a 2023, e os tipos de documentos a artigos e capítulos de livros. Os resultados das pesquisas preliminares da Scopus foram analisados para eliminar artigos com conteúdo sobreposto e excluir artigos que não se enquadram no escopo desta pesquisa.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA



3.1 Tipos de molho de soja

O molho de soja tradicional da China e o molho de soja tradicional do Japão diferem nos processos de produção, matérias-primas e condições de fermentação, resultando em perfis de sabores e aroma distintos. Tanto no Japão quanto na China, o molho de soja é preparado utilizando uma mistura fermentada de soja, farinha de trigo e grãos de trigo. Na China, o molho de soja é feito com proporções iguais de soja e trigo, enquanto no Japão, a ênfase está na soja, com menos trigo (proporções de 4:1 ou 7:3 de soja para trigo), sendo mais popular no Sudeste Asiático (Yu *et al.*, 2023).

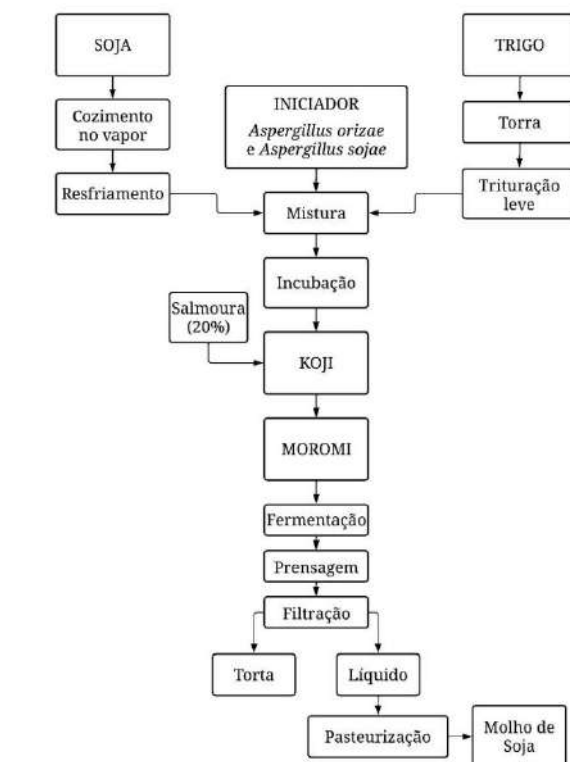
Na China, o molho de soja é classificado em molho fermentado em estado sólido com baixo teor de sal e molho de soja fermentado em estado líquido com alto teor de sal, ambos feitos fermentando o *koji* em salmoura. O molho fermentado em estado sólido com baixo teor de sal tem uma fermentação curta (15 a 30 dias), reduzindo o custo de produção em comparação com molho fermentado em estado líquido com alto teor de sal, mas este último é de melhor qualidade devido aos seus sabores mais desenvolvidos (Lin *et al.*, 2016).

Por outro lado, o molho de soja japonês (*shoyu*) é dividido em cinco classes com base no teor de soja e trigo utilizado: sendo eles: *Koikuchi*, *Usukuchi*, *Tamari*, *Shiro* e *Saishikomi*. Cada tipo tem características distintas de cor, aroma e composição de matérias-primas, o *Koikuchi* possui aroma forte e cor escura e é produzido com quantidades iguais de soja e trigo, o *Usukuchi* possui cor clara e *Saishikomi* é um fermentado duplo. O *Tamari* se caracteriza por sua viscosidade e aroma mais suave, possuindo uma cor mais escura e seu ingrediente principal é a soja, já o *Shiro* tem uma grande quantidade de trigo em relação à soja e possui uma cor amarelo claro (Fani, 2017).

3.2 Processo de produção do molho de soja

O molho de soja tradicional é produzido por meio da fermentação de uma mistura de soja, trigo, água e sal. Esse processo, apresentado na Figura 1, ocorre com a ação de microrganismos e enzimas sobre proteínas e matérias-primas à base de amido e compreende várias etapas, incluindo a fabricação de *koji*, a fermentação de *moromi*, a filtração e a pasteurização (Qiao *et al.*, 2022).

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção do molho de soja tradicional



Fonte: Qiao *et al.* (2023)



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Para a preparação do *koji* soja cozida a vapor e trigo torrado e moído são misturados. Após a inoculação dessa mistura com 0,1-0,2% da cultura de microrganismos, o *koji* é incubado por até 48 horas. O estágio *koji* é considerado o principal processo para a fabricação do molho de soja de alta qualidade, uma vez que é nessa fase que ocorre a secreção predominante de proteases por *Aspergillus oryzae* (Chen *et al.*, 2023).

Durante a fabricação do *koji*, as enzimas produzidas pelo fungo *Aspergillus* promovem a sacarificação do amido e a decomposição da proteína nas matérias-primas, criando condições propícias para o crescimento de leveduras e bactérias essenciais para a fermentação, garantindo o sabor característico do produto final (Jiang *et al.*, 2023).

Acredita-se que a produção de *koji* forneça uma base para a fermentação do *moromi*. A maioria dos metabólitos produzidos no estágio inicial da fermentação do *moromi* são derivados do *koji*, incluindo substâncias voláteis, ácidos graxos e lipídios, aldeídos, álcoois e ácidos graxos (Ding *et al.*, 2019).

O estágio *moromi*, palavra japonesa para purê de soja, envolve a mistura do *koji* resultante com uma solução de salmoura (15–25%) em um tanque de fermentação. Com a adição de salmoura inibe-se o crescimento de mofo e de microrganismos potencialmente patogênicos. A fermentação do *moromi* é conduzida principalmente por bactérias do ácido láctico e leveduras (Yu *et al.*, 2023). O período *moromi* é reconhecido como um período crítico para a protease funcionar como um degradador de proteínas, além de ser mais uma etapa determinante para a qualidade do molho de soja (Chen *et al.*, 2023).

Para finalizar o preparo do refino para se obter finalmente o molho de soja, ele passa pelas etapas de prensagem, filtração, pasteurização e embalagem. O *moromi* envelhecido é prensado para separar o molho de soja do resíduo. O filtrado obtido é aquecido a 70-80 °C para cessar a maioria das reações microbianas e enzimáticas. As principais alterações que ocorrem durante a pasteurização são a formação de uma coloração marrom, a separação das substâncias coaguladas pelo calor, o aumento da acidez, o escurecimento, a diminuição dos teores de aminoácidos e açúcares redutores e a evaporação dos compostos voláteis. Por fim, o molho de soja pode ser embalado em garrafas de vidros, latas ou garrafas de plástico (Devanthi; Gkatzionis, 2019).

3.3 Fermentação X Formulação

Atualmente, os consumidores têm sido atraídos por alimentos fermentados de soja devido às suas vantagens nutricionais e para a saúde, sendo amplamente estudados em todo o mundo. Foi relatado que o consumo de alimentos à base de soja fermentada traz múltiplos benefícios para a saúde, incluindo a redução do risco de câncer e prevenção do aparecimento de hipertensão e doenças cardiovasculares (Shin *et al.*, 2021; Song *et al.*, 2018; Zhong *et al.*, 2021).

O processo de fermentação altera as propriedades físico-químicas e enriquece as características organolépticas dos alimentos à base de soja. Além disso, a fermentação aumenta o valor nutricional e os benefícios funcionais desses produtos. Os microrganismos têm a capacidade de hidrolisar a matéria orgânica, melhorar a biodisponibilidade de nutrientes e promover a geração de componentes bioativos quando a soja é fermentada (Qiao *et al.*, 2022). Segundo Fani (2017), existem basicamente dois tipos de produção de shoyu: obtido por fermentação natural ou obtido por hidrólise química, sendo que ambos os produtos são tão diferentes quanto os processos para produzi-los.

3.4 Comunidade microbiana envolvida na produção de molho de soja

Os microrganismos desempenham um papel crucial na produção de molho de soja determinando os principais atributos de qualidade do produto, especialmente o sabor, e têm sido objeto de estudo por muitos anos. O processo de fermentação do molho de soja ocorre em um ambiente aberto, do início ao fim, o que proporciona uma vantagem para a grande variedade de microrganismos envolvidos. Os principais microrganismos utilizados e identificados nos processos de fabricação do molho de soja incluem bactérias, fungos e leveduras (Zhang *et al.*, 2023).

Durante a fabricação do *koji*, os principais gêneros de microrganismos identificados são *Weissella*, *Bacillus*, *Aspergillus* e *Trichosporon*. Especificamente, *Aspergillus oryzae* e *Aspergillus sojae* são conhecidos por sua poderosa atividade proteolítica e amilolítica na decomposição da soja, a principal matéria-prima do molho (Ito; Matsuyama, 2021). Durante o período *moromi*, as bactérias dominantes incluem *Weissella*, *Staphylococcus*, *Lactobacillus*, *Tetragenococcus* e *Bacillus*, enquanto os fungos prevalentes são *Aspergillus*, *Zygosaccharomyces*, *Candida* e *Wickerhamiella* (Devanthi; Gkatzionis, 2019).

Diversos estudos têm investigado a dinâmica da comunidade microbiana e seus efeitos sobre os perfis de metabólitos durante diferentes estágios da produção de molho de soja. Por exemplo, Zhang *et al.* (2023) descobriram que a bactéria ácido láctica *Leuconostoc* está correlacionada com a formação de substâncias voláteis que contribuem para o aroma único do *koji*. Qi *et al.* (2021) identificaram várias bactérias e leveduras envolvidas na produção de compostos voláteis e aminoácidos livres durante a fase *moromi*. Além disso, estudos como o de Sun *et al.* (2018) que examinaram a sucessão da comunidade bacteriana durante a fase *moromi*, descobriram que a bactéria não cultivada *Lactococcus* estava



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

positivamente correlacionada com os teores de nitrogênio dos aminoácidos, ácido piroglutâmico e ácido acético. E ainda, Tan *et al.* (2022) avaliaram e compararam a dinâmica da microbiota e os perfis de metabólitos da fermentação de *moromi* de molho de soja de estilo japonês e cantonês e encontraram diferenças significativas entre os genes envolvidos no metabolismo de carboidratos, aminoácidos e lipídeos.

Os principais microrganismos durante a fermentação do *koji* são o *Aspergillus oryzae* e *Aspergillus sojae*, que possuem poderosa atividade proteolítica e amilolítica para a decomposição da soja, principal matéria-prima do molho (Ito; Matsuyama, 2021). *Weissella*, *Staphylococcus*, *Lactobacillus*, *Tetragenococcus* e *Bacillus* foram identificados como as bactérias dominantes durante o estágio de fermentação do molho de soja *moromi*, e os fungos dominantes foram o *Aspergillus*, *Zygosaccharomyces*, *Candida* e *Wickerhamiella* (Devanthi; Gkatzionis, 2019).

3.5 Aspectos sensoriais

A aparência de um produto desempenha um papel fundamental na percepção de sua qualidade pelos consumidores. Entre todas as características visuais, a cor é particularmente crucial, pois influencia diretamente a aceitabilidade do produto. Quando a cor não é satisfatória, outras características sensoriais, como textura e sabor, podem ser prejudicadas. Além disso, características como doçura e frescor também estão relacionadas com o perfil de cor do alimento (Dadan; Nowacka, 2021).

O aroma é outro fator-chave na determinação da qualidade do molho de soja. Ácidos orgânicos, aminoácidos livres e compostos voláteis são responsáveis pelos atributos sensoriais de sabor e aroma do molho de soja. Esses compostos são formados ao longo do processo de fermentação, envelhecimento e pasteurização (Diez-Simon *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2023).

O sabor do molho de soja resulta da interação de vários ácidos orgânicos. Uma proporção mais elevada de lactato para ácido acético resulta em um sabor mais suave do molho de soja (Chen *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023). A adição de proteases exógenas neutras durante o processamento do molho de soja pode melhorar a expressão do sabor do produto, aumentando a formação de pequenas moléculas, como os peptídeos de Maillard, e alterando a proporção de ácido láctico para ácido acético (Chen *et al.*, 2023).

Os principais constituintes do sabor do molho de soja são derivados do metabolismo da microbiota presente durante o estágio de fermentação. Portanto, a composição da microbiota é fundamental para a melhoria da qualidade do molho de soja. Embora os extratos de levedura sejam frequentemente adicionados ao molho de soja final para realçar seu sabor, a adição excessiva pode introduzir um "gosto de fermento" indesejado. Uma alternativa melhor pode ser o uso de aminoácidos específicos derivados de extratos de levedura como reguladores da microbiota de fermentação, melhorando naturalmente o sabor do molho de soja (Zhou *et al.*, 2022).

A seleção de culturas iniciadoras pré-definidas é uma estratégia promissora para aprimorar a formação do sabor do molho de soja (Sassi *et al.*, 2021). Estudos têm investigado os efeitos da adição de microrganismos nos constituintes do molho de soja, e a co-inoculação de *Tetragenococcus halophilus* e *Zygosaccharomyces rouxii* durante a fermentação do *moromi* tem demonstrado resultados positivos na produção de compostos voláteis de sabor (Devanthi *et al.*, 2018; Harada *et al.*, 2017).

Uma das limitações da produção de molho de soja é o longo período de fermentação e envelhecimento necessário para o desenvolvimento adequado do aroma e sabor. Portanto, acelerar esse processo é um objetivo importante para a indústria do molho de soja (Sassi *et al.*, 2021). Ding *et al.* (2019) investigaram a melhoria da qualidade do molho de soja reduzindo a atividade das enzimas celulase e pectinase secretadas por *Aspergillus oryzae*. Os resultados mostraram uma melhoria na cor, sabor e aroma do molho de soja com a redução da atividade dessas enzimas.

3.6 Aspectos de saudabilidade

Os alimentos fermentados tradicionais à base de soja apresentam alto valor nutricional e atividades promotoras de saúde. É crucial compreender os componentes ativos que contribuem para as propriedades funcionais do molho de soja e explorar maneiras de aumentar esses conteúdos otimizando as condições de processo (Qiao *et al.*, 2022).

Com o aumento das preocupações relacionadas ao consumo excessivo de sal e seus riscos para a saúde, a busca por alimentos com teor reduzido de sal tem crescido. No entanto, reduzir o sal em alimentos fermentados de soja líquidos apresenta desafios, uma vez que o sal desempenha um papel crucial na regulação das propriedades organolépticas, como textura e aroma, e na prevenção da deterioração e do crescimento de microrganismos patogênicos (Hu *et al.*, 2023).

A redução de sal no molho de soja pode ser alcançada por meio de três métodos principais: dessalinização após a fermentação, substituição de sódio por potássio ou cálcio, ou fermentação com sal reduzido (Devanthi *et al.*, 2018). No entanto, cada método apresenta suas próprias limitações. A dessalinização pode levar à perda de sabor volátil, enquanto a substituição de sódio pode resultar em um sabor amargo indesejável (Wongthahan; Sae-Eaw; Prinyawiwatkul, 2020).



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

A redução de sal em alimentos fermentados pode promover o crescimento de microrganismos deteriorantes e inibir o crescimento de bactérias benéficas. Muitas vezes, a adição de conservantes se faz necessária, e a fermentação com sal reduzido pode afetar significativamente o aroma dos alimentos devido à perda de compostos voláteis e ao desequilíbrio na microflora (Chun *et al.*, 2020).

Estudos também têm investigado as propriedades antioxidantes de alimentos fermentados à base de soja. A fermentação pode aumentar os teores de fenóis totais, flavonoides totais e isoflavonas, conferindo maior potencial antioxidante aos produtos fermentados (Cai *et al.*, 2021). Componentes como polifenóis, melanoidinas, aminoácidos livres e peptídeos de baixo peso molecular desempenham papéis importantes na redução do dano oxidativo ao eliminar os radicais livres e espécies reativas de oxigênio (Qiao *et al.*, 2022).

O uso de ingredientes funcionais, como a casca de frutas cítricas, na fabricação de *kofu* tem mostrado potencial para aumentar o potencial antioxidante do molho de soja. Além disso, a substituição da soja crua pela soja germinada também demonstrou aumentar a atividade antioxidante e a biodisponibilidade de isoflavonas no molho de soja (Peng *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2021).

4 CONCLUSÕES

Em conclusão, este artigo abordou as tendências emergentes nas tecnologias de produção e as modificações do processo de fermentação do molho de soja. Ficou claro que o desenvolvimento contínuo dessas tecnologias e processos é fundamental para atender às demandas crescentes dos consumidores por produtos alimentícios mais saudáveis, nutritivos e com sabores aprimorados.

As pesquisas destacaram a importância de encontrar soluções para os desafios enfrentados pela indústria, como o prolongado tempo de fermentação e os altos teores de sal, que podem impactar tanto a eficiência do processo quanto a qualidade final do produto. A redução do teor de sal sem comprometer o sabor e a textura do molho de soja emergiu como uma área-chave de interesse, juntamente com a busca por culturas iniciadoras que possam otimizar a fermentação e melhorar as propriedades sensoriais do produto.

Além disso, os avanços na biotecnologia e na engenharia genética oferecem oportunidades promissoras para a introdução de novas culturas iniciadoras e aprimoramento dos processos de produção. Essas tecnologias permitem uma abordagem mais precisa e controlada da fermentação, possibilitando a personalização dos produtos de acordo com as preferências do consumidor.

Em suma, as tendências nas tecnologias de produção e modificações do processo de fermentação do molho de soja estão evoluindo rapidamente, impulsionadas pela demanda por alimentos mais saudáveis e pela inovação na indústria alimentícia. O futuro promissor dessa área depende do contínuo investimento em pesquisa e desenvolvimento, visando aprimorar a qualidade, a eficiência e a sustentabilidade da produção de molho de soja.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade de Passo Fundo. Além disso, os autores estendem o agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

6 REFERÊNCIAS

- CAI, Jia-Shen *et al.* An update on the nutritional, functional, sensory characteristics of soy products, and applications of new processing strategies. **Trends in Food Science & Technology**, v. 112, p. 676-689, 2021.
- CHUN, Byung Hee *et al.* The effect of salt concentrations on the fermentation of doenjang, a traditional Korean fermented soybean paste. **Food Microbiology**, v. 86, p. 103329, 2020.
- DADAN, M., NOWACKA, M. 'The assessment of the possibility of using ethanol and ultrasound to design the properties of dried carrot tissue', **Applied Sciences** (Switzerland), 11(2), pp. 1-19, 2021.
- DEVANTHI, Putu Virgina Partha *et al.* Effects of co-inoculation and sequential inoculation of *Tetragenococcus halophilus* and *Zygosaccharomyces rouxii* on soy sauce fermentation. **Food Chemistry**, v. 240, p. 1-8, 2018.
- DEVANTHI, Putu Virgina Partha *et al.* Water-in-oil-in-water double emulsion for the delivery of starter cultures in reduced-salt *moromi* fermentation of soy sauce. **Food chemistry**, v. 257, p. 243-251, 2018.
- DEVANTHI, Putu Virgina Partha; GKATZIONIS, Konstantinos. Soy sauce fermentation: Microorganisms, aroma formation, and process modification. **Food Research International**, v. 120, p. 364-374, 2019.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- DIEZ-SIMON, Carmen *et al.* Stir bar sorptive extraction of aroma compounds in soy sauce: Revealing the chemical diversity. **Food Research International**, v. 144, p. 110348, 2021.
- DING, Chengfang *et al.* Improvement of the quality of soy sauce by reducing enzyme activity in *Aspergillus oryzae*. **Food chemistry**, v. 292, p. 81-89, 2019.
- FANI, M. (2017) 'Shoyu: Da origem à industrialização', **Aditivos e Ingredientes**, pp. 40-47.
- HARADA, Risa *et al.* Influence of yeast and lactic acid bacterium on the constituent profile of soy sauce during fermentation. **Journal of bioscience and bioengineering**, v. 123, n. 2, p. 203-208, 2017.
- HU, Guangyao *et al.* *Moromi* mash dysbiosis triggered by salt reduction is relevant to quality and aroma changes of soy sauce. **Food Chemistry**, v. 406, p. 135064, 2023.
- ITO, Kotaro; MATSUYAMA, Asahi. *Koji* molds for Japanese soy sauce brewing: Characteristics and key enzymes. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 8, p. 658, 2021.
- JIANG, Xuewei *et al.* Characteristics of microbial community, taste, aroma of high-salt liquid-state secondary fermented soy sauce. **LWT**, v. 182, p. 114792, 2023.
- LIN, Weimin *et al.* Relationship between extracellular cellulase, pectinase and xylanase activity of isolated *Aspergillus oryzae* strains grown on *Koji* and the umami-tasting amino acid content of soy sauce. **Food Biotechnology**, v. 30, n. 4, p. 278-291, 2016.
- PENG, Mingye *et al.* Effect of citrus peel on phenolic compounds, organic acids and antioxidant activity of soy sauce. **LWT**, v. 90, p. 627-635, 2018.
- QI, Qi *et al.* Abating biogenic amines and improving the flavor profile of Cantonese soy sauce via co-culturing *Tetragenococcus halophilus* and *Zygosaccharomyces rouxii*. **Food Microbiology**, v. 106, p. 104056, 2022.
- QIAO, Yali *et al.* Fermented soybean foods: A review of their functional components, mechanism of action and factors influencing their health benefits. **Food Research International**, v. 158, p. 111575, 2022.
- SASSI, Soumaya *et al.* Recent progress and advances in soy sauce production technologies: A review. **Journal of Food processing and Preservation**, v. 45, n. 10, p. e15799, 2021.
- SHIN, Kwang-Soon *et al.* Polysaccharide isolated from Korean-style soy sauce activates macrophages via the MAPK and NK- κ B pathways. **Food Science and Technology**, v. 41, p. 817-824, 2021.
- SONG, Jia-Le *et al.* Fermented ganjangs (soy sauce and sesame sauce) attenuates colonic carcinogenesis in azoxymethane/dextran sodium sulfate-treated C57BL/6J mice. **Journal of medicinal food**, v. 21, n. 9, p. 905-914, 2018.
- SUN, Xiaodong *et al.* Analyses of microbial community of naturally homemade soybean pastes in Liaoning Province of China by Illumina Miseq Sequencing. **Food research international**, v. 111, p. 50-57, 2018.
- TAN, G. *et al.* 'Comparative evaluation of the microbial diversity and metabolite profiles of Japanese-style and Cantonese-style soy sauce fermentation', **Frontiers in Microbiology**, 13, pp. 1-16, 2022.
- WANG, Peipei *et al.* Characterization of the key aroma compounds in soy sauce by gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry, headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry, odor activity value, and aroma recombination and omission analysis. **Food Chemistry**, v. 419, p. 135995, 2023.
- WONGTHAHAN, Peerapong; SAE-EAW, Amporn; PRINYAWIWATKUL, Witoon. Sensory lexicon and relationships among brown colour, saltiness perception and sensory liking evaluated by regular users and culinary chefs: a case of soy sauces. **International journal of food science & technology**, v. 55, n. 7, p. 2841-2850, 2020.
- XU, Lu; DU, Bin; XU, Baojun. A systematic, comparative study on the beneficial health components and antioxidant activities of commercially fermented soy products marketed in China. **Food Chemistry**, v. 174, p. 202-213, 2015.
- YU, Yangyang *et al.* Comparison of flavor profiles of Cantonese soy sauces obtained at different fermentation stages. **Process Biochemistry**, v. 130, p. 569-576, 2023.
- ZHANG, Linli *et al.* Effects of microbial succession on the dynamics of flavor metabolites and physicochemical properties during soy sauce *koji* making. **Food Bioscience**, v. 53, p. 102636, 2023.
- ZHAO, Guozhong *et al.* Effect of *Hericium erinaceus* on bacterial diversity and volatile flavor changes of soy sauce. **LWT**, v. 139, p. 110543, 2021.
- ZHONG, Bao *et al.* Chinese traditional fermented soy sauce exerts protective effects against high-fat and high-salt diet-induced hypertension in sprague-dawley rats by improving adipogenesis and renin-angiotensin-aldosterone system activity. **Fermentation**, v. 7, n. 2, p. 52, 2021.
- ZHOU, Xinyun *et al.* Effects of amino acid composition of yeast extract on the microbiota and aroma quality of fermented soy sauce. **Food Chemistry**, v. 393, p. 133289, 2022.



Área: Bioprocessos

MANDIOCA (*Manihot esculenta*) - PROPOSTA PARA BIOTRANSFORMAÇÃO NA SÍNTESE ORGÂNICA

Daniela Troian dos Santos*¹, Marcelo Vieira Migliorini¹, Rosângela Assis Jacques²

¹Laboratório de Catálise e Tecnologia Enzimática, Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Santa Cruz do Sul, RS

²Laboratório de Química Analítica Ambiental e Óleoquímica, Instituto de Química Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS

*E-mail: daniela-santos01@uergs.edu.br

RESUMO – A biotransformação é o resultado da modificação de moléculas através de meios reacionais enzimáticos ou a partir de células íntegras. Resíduos agroindustriais são importantes fontes de materiais biológicos dentre os quais destacam-se os catalisadores de processos redutivos, neste sentido a escolha deles se faz necessária em todo contexto global na redução de agravos ao meio ambiente. Resíduos de mandioca (*Manihot esculenta*), apesar de serem usados na alimentação animal, apresentam um potencial catalítico de interesse para utilização em procedimentos químicos. Tendo por bases os princípios da Química Verde que visa a diminuição ou eliminação de substâncias nocivas à saúde humana e ao meio ambiente bem como uma redução geral da poluição. A metodologia empregada foi apoiada em condições brandas de temperatura e pressão. Os reagentes utilizados foram 4-hidroxibenzaldeído, 1,2-dihidroxibenzeno, ácido dimetoxi benzóico, cafeína anidra, ácido síringico e vanilina. As análises realizadas em GC/MS e FT-IR, mostraram os resultados de redução para o composto ácido dimetoxibenzoico confirmada pela corrida cromatográfica, enquanto a vanilina, apesar de indicativos de oxidação no FT-IR, teve o material de partida predominante, não podendo ser conclusivo devido, principalmente, ao impedimento estereoquímico. Como conclusão e perspectivas futuras, as análises fornecidas são promissoras, visto que para um melhor entendimento enzimático é necessário a utilização de outras moléculas.

Palavras-chave: Biotransformação. Biocatálise. *Manihot esculenta*. Resíduos Agroindustriais.

1 INTRODUÇÃO

A biotransformação tem por bases biotecnológicas a fermentação, que ao longo de séculos foi usada para conservar e processar alimentos e bebidas (BRAR, DHILLON e SOCCOL, 2014). Atualmente, a estratégia para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, é a utilização de resíduos como substrato para formação de novos produtos relevantes por meio de bioprocessos (WOICIECHOWSKI *et al.*, 2014).

Nas últimas décadas, uma nova tecnologia ganhou força para atender à crescente demanda de produtos químicos sustentáveis e verdes (SHELDON e PELT, 2013). A biocatálise apresenta crescimento na síntese orgânica viabilizado pelo incremento comercial em larga escala de um número maior de enzimas e sua diversidade, bem como apresentasse como uma alternativa ambientalmente sustentável a utilização de substâncias químicas em diversas etapas reacionais, podendo evitar assim a necessidade etapas de proteção e desproteção de grupos funcionais, bem como a necessidade de reações de purificação entre estas etapas (FABER, FESSNER e TURNER, 2015). A catálise enzimática desempenha um papel importante ao viabilizar processos oxidativos de forma mais eficiente (BJERRE *et al.*, 2008). Com isto, uma opção alternativa para a oxidação catalítica é o uso da biocatálise (WAHART *et al.*, 2022).

As enzimas são altamente específicas e podem catalisar várias reações químicas, tornando-as biocatalisadoras proficientes em muitas aplicações (KUO *et al.*, 2022). As enzimas têm estruturas específicas que determinam sua função e especificidade em relação a certos substratos (HENEHAN *et al.*, 2023). As enzimas têm sido cada vez mais empregadas na síntese orgânica, sendo atraentes para processos catalíticos devido à sua especificidade e capacidade de trabalhar em temperatura ambiente em soluções aquosas (KUO *et al.*, 2022).

No que tange às vantagens da biocatálise, estão os procedimentos com temperatura e pressão mais brandas sendo muito próximas a ambiente, eliminação de catalisadores de metais pesados, solventes orgânicos no meio reacional e biodegradabilidade de células e enzimas, contribuindo para uma abordagem mais próxima dos princípios da Química Verde (TIMSON, 2019).



A utilização de enzimas como catalisadores em biotransformações permite a obtenção eficiente de produtos químicos desejados, minimizando a formação de resíduos e reduzindo o consumo de energia. Além disso, elas também podem atuar fora do ambiente biológico, *in vitro* (CORTEZ, CASTRO e ANDRADE, 2017). Todavia, a seletividade oferecida pelas enzimas evita a formação de subprodutos indesejados, tornando as biotransformações uma estratégia atrativa na síntese orgânica sustentável.

A mandioca, *Manihot esculenta*, é uma planta da família *Euphorbiaceae* (TOMICH *et al.*, 2008). Estima-se que cerca de 14 milhões de toneladas de subprodutos (cascas, cepos, tubérculos lenhosos e subdimensionados), eliminados como resíduos, são gerados a partir da transformação da mandioca (*Manihot esculenta*), sendo a casca o principal subproduto (ADESEHINWA *et al.*, 2019).

Comumente, os restos de mandioca são integrados à alimentação de animais, contudo, ocasionam impasses ambientais (SOUTO *et al.*, 2017). Conforme Adesehinwa *et al.* (2019), a introdução da casca de mandioca na dieta de suínos e outros animais resulta na produção de glicosídeos cianogênicos, elevada concentração de fitatos, baixa proporção de proteínas brutas associada a um perfil deficiente de aminoácidos. Além disso, um teor comparativamente alto de fibras e uma rápida deterioração, se não for processada, especialmente durante o período de chuvas.

Souto *et al.* (2017) já apontava a existência de poucos relatos sobre a reutilização da casca de mandioca, além da alimentação animal. Portanto, avaliar a capacidade destes resíduos tanto para processos fermentativos como para processos de transformação pode trazer novas perspectivas para uma destinação mais limpa para este subproduto, podendo contribuir para uma economia mais circular e sustentável, bem como apresentar uma alternativa biotecnológica, pois permite o aproveitamento de subprodutos e resíduos agrícolas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As cascas de mandioca foram obtidas por doação de um produtor local em Vera Cruz/RS e os experimentos foram conduzidos no laboratório de Química da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, em Santa Cruz do Sul. Os reagentes foram fornecidos em colaboração com o Laboratório de Catálise e Tecnologia Enzimática (LACATE) da UERGS - Unidade Santa Cruz do Sul e o Laboratório de Química Analítica Ambiental e Óleoquímica do Instituto de Química da UFRGS.

A metodologia baseou-se em técnicas descritas por Ferreira *et al.* (2011).

As cascas de mandioca foram trituradas em um processador elétrico estéril (160 watts) até atingirem aproximadamente 5mm. Em três béqueres, foram colocadas alíquotas de 20g de cascas e 80mL de água destilada. A cada béquer foi adicionado cerca de 0,2g de compostos diferentes (4-hidroxibenzaldeído, 1,2-dihidroxibenzeno e dimetoxi ácido benzóico). As misturas foram agitadas magneticamente à temperatura ambiente por 48 horas. Outros três compostos (caféina anidra, ácido síngico e vanilina) foram utilizados em procedimentos semelhantes, com agitação por 72 horas. As amostras foram filtradas e a fase orgânica foi extraída três vezes utilizando acetato de etila, em seguida o solvente foi removido em evaporador rotativo. As fases orgânicas foram coletadas e transferidas para tubos falcon de 15mL e solubilizadas em Diclorometano (DCM). Esses tubos foram encaminhados para análises por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC/MS) no Laboratório de Química Analítica Ambiental e Óleoquímica da UFRGS e para análises em infravermelho (FT-IR) na Unidade Central da UERGS. O método de identificação cromatográfica foi baseado na biblioteca NIST08, com espectros de similaridade acima de 80%, enquanto a análise por FT-IR marca Perkin Elmer, modelo *Frontier dual range* com a faixa do médio, de 450 à 4000 e 32 scans no modo transmitância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste resumo, apresentamos os resultados mais relevantes, acompanhados das figuras geradas pelas análises. Para os demais compostos, os resultados obtidos foram os seguintes:

1,2-dihidroxibenzeno

Apesar da ausência de grupos carbonílicos para a ocorrência de redução, era esperada uma oxidação, conforme indicado pelo FT-IR. No entanto, essa expectativa foi refutada pela análise GC/MS, que revelou um sinal cromatográfico correspondente ao material de partida.



4-hidroxibenzaldeído

No FT-IR, observam-se duas bandas principais no produto da reação: uma correspondente à formação de carbonila e outra às ligações de hidrogênio intermoleculares, relacionadas ao estiramento O-H. No entanto, no GC-MS, o produto da reação não foi detectado.

Cafeína

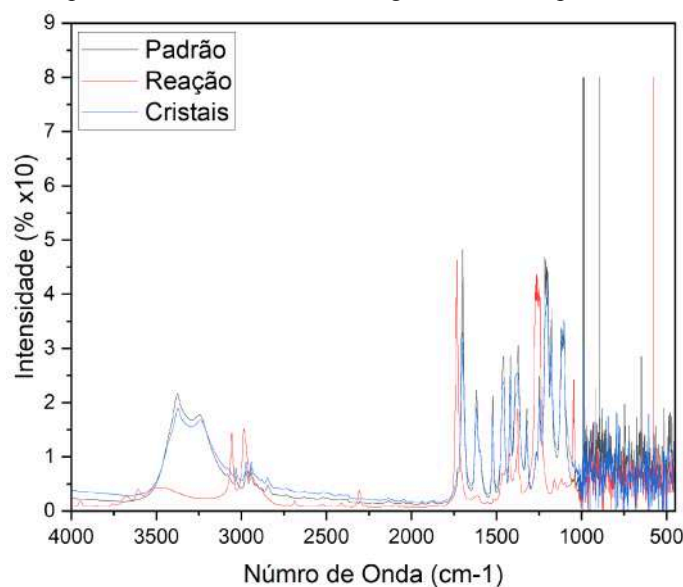
Por ser a única sem anel aromático, esta molécula ofereceu a oportunidade de verificar a flexibilidade do sítio ativo no complexo enzimático. No entanto, a análise no FT-IR revelou um alto impedimento estereoquímico, juntamente com a manutenção da banda de deformação axial da ligação C=O. Além disso, na análise via GC/MS, não foi possível identificar o produto reacional.

Ácido Siríngico

Dentre os 6 compostos estudados neste trabalho, o ácido siríngico foi o único que apresentou formação de cristais brancos em formato de agulha, após a evaporação do acetato de etila e lavagem com DCM com estruturas diferentes ao material de partida.

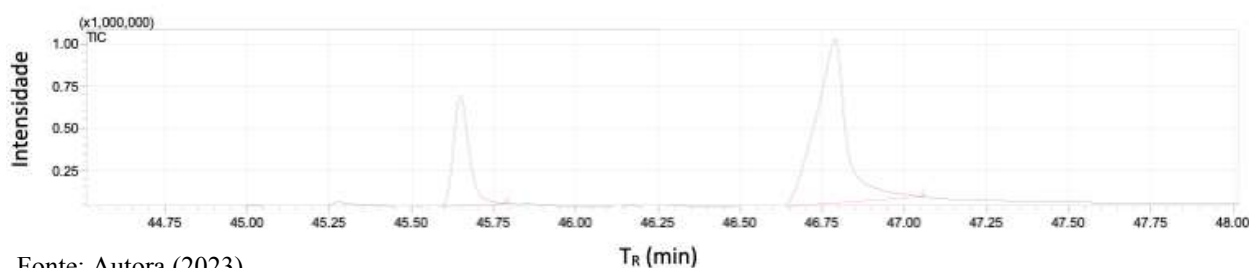
Na análise de FT-IR os cristais formados apresentaram espectro sobreponível ao composto padrão. Observa-se uma diminuição significativa da banda entre 3500 e 3100 cm^{-1} , indicativa da redução da ligação O-H, e a persistência da banda entre 1800 e 1600 cm^{-1} sugere a presença contínua do grupo carbonila, sugerindo que o meio reacional não reduziu este grupo carbonílico, devido a diminuição da banda da região de O-H há um indicativo de que pode ter havido a remoção de um grupo hidroxila (figura 1). A análise via GC/MS demonstra a produção de um composto e via identificação tentativa, levanta-se a possibilidade de se ter o produto esperado para a reação (figura 2).

Figura 1 - Espectro de FT-IR do ácido siríngico e dos seus produtos de reação.



Fonte: Autora (2023).

Figura 2 - Cromatograma GC/MS do ácido siríngico



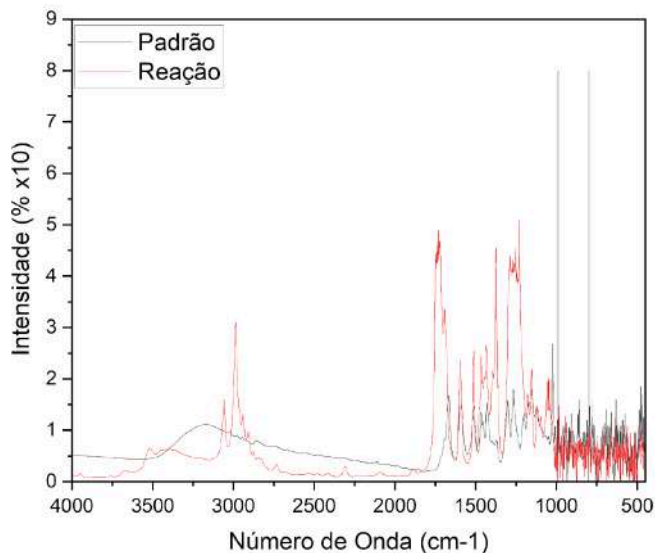
Fonte: Autora (2023).



Vanilina

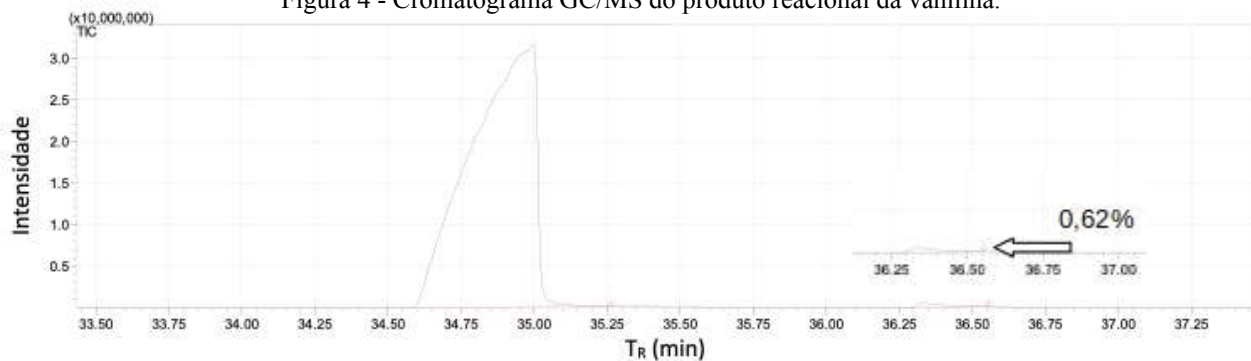
No FT-IR é observado a manutenção do grupo carbonílico e ligações de hidrogênio intermoleculares, podendo ser resultado da formação da molécula reduzida ou da molécula original. No GC-MS há predomínio do material de partida (99,38%), no entanto uma fração de 0,62% dá conta do produto esperado (figuras 3 e 4).

Figura 3 - Espectro de FT-IR da vanilina e dos seus produtos de reação.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4 - Cromatograma GC/MS do produto reacional da vanilina.



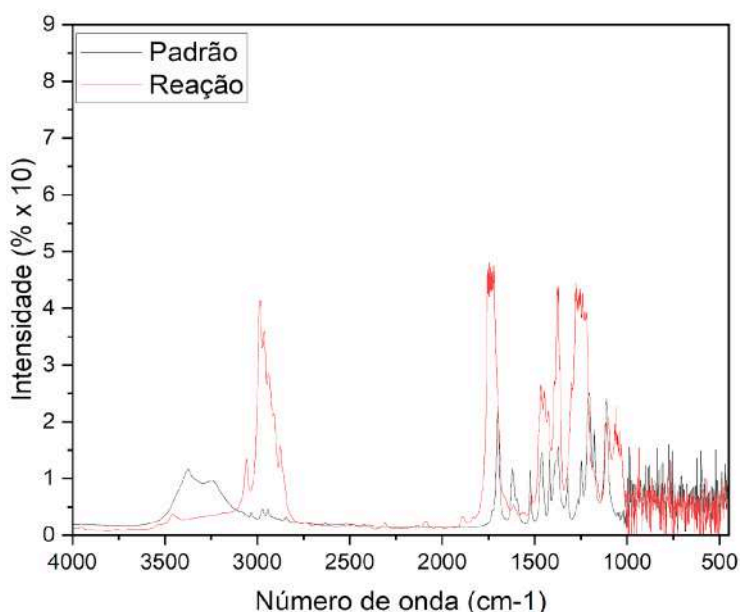
Fonte: Autora (2023).

Ácido 3,4-dimetoxibenzoico

No FT-IR destaca-se bandas características de deformação axial do grupo carbonila, sendo sugestivo que não houve redução carbonílica. No GC-MS tem-se 87,57% referente ao produto da reação e o restante sendo material de partida, demonstrando eficiência na redução de compostos ácidos (Figuras 5 e 6).

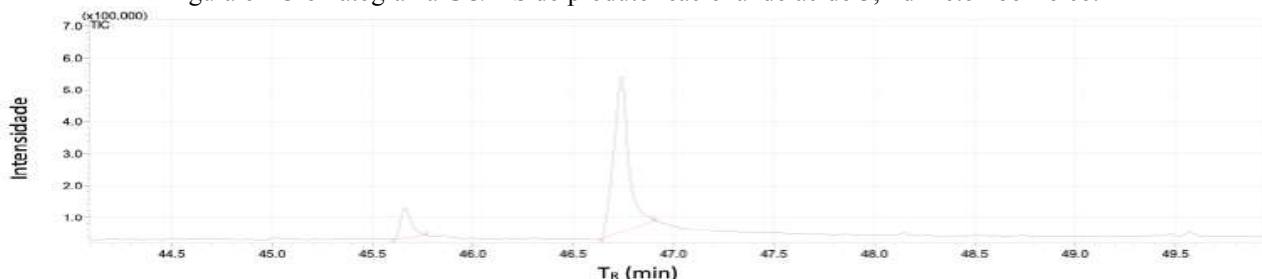


Figura 5- Espectro de FT-IR do ácido 3,4-dimetoxibenzoico e do seu produto de reação.



Fonte: Autora (2023).

Figura 6 - Cromatograma GC/MS do produto reacional do ácido 3,4-dimetoxibenzoico.



Fonte: Autora (2023).

4 CONCLUSÃO

A utilização do complexo enzimático da casca de mandioca para biorreduções de substratos carbonílicos resultou em resultados contrastantes. A redução do ácido 3,4-dimetoxibenzoico foi confirmada pela corrida cromatográfica, enquanto a vanilina, apesar de indicativos de oxidação no FT-IR, permaneceu predominantemente como material inicial, já o ácido síringico houve formação de cristais que apresentaram espectro sobreponível ao composto padrão.

Os resultados mostraram maior eficácia para compostos com grupos retiradores de elétrons. Nos demais compostos, as reações de redução foram dificultadas principalmente devido à interferência estereoquímica. Esses resultados são promissores para o entendimento enzimático e sugerem a necessidade de explorar outras moléculas e também outras metodologias.

A metodologia utilizada mostrou-se viável e compatível com os princípios da Química Verde. A utilização de outros resíduos agroindustriais pode ser interessante tanto ambiental quanto economicamente. Como perspectivas futuras, a continuidade deste trabalho pode envolver a exploração de análises complementares, como técnicas de fluorescência para identificação de compostos específicos, determinação da estrutura molecular, entre outros. Investigar outras moléculas pode aprofundar o entendimento do potencial e mecanismo enzimático. A expansão de estudos em biotransformação e biocatálise é uma tendência para o desenvolvimento de produtos ambientalmente sustentáveis.



5 AGRADECIMENTOS

Campus Central - UERGS

Laboratório de Química Analítica Ambiental e Óleoquímica - LAAO - UFRGS.

6 REFERÊNCIAS

- ADESEHINWA, A. O. K.; AMOLE, T. A.; AJAYI, E.; MAKANJUOLA, B. A.; OKIKE, I. High quality cassava peel® production and its utilization in pig production: A review. **Nig. J. Anim. Prod.**, v. 46, n. 3, p. 205 - 218, 2019. DOI:[10.51791/njap.v46i3.973](https://doi.org/10.51791/njap.v46i3.973)
- BJERRE, J. *et al.* Artificial enzymes, “Chemzymes”: current state and perspectives. **Microbiol Biotechnol**, v. 81, p. 1–11, 2008. DOI: [10.1007/s00253-008-1653-5](https://doi.org/10.1007/s00253-008-1653-5)
- BRAR, S.K., DHILLON, G.S, SOCCOL, C.R. *Biotransformation of Waste Biomass into High Value Biochemicals*. Springer, 2014.
- BRASIL. CONAB. Mandioca Análise Mensal março 2023. Acesso em: 07/05/2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca/item/20455-mandioca-analise-mensal-marco-2023>
- CORTEZ, D.V.; CASTRO, H. F.; ANDRADE, G. S. S. Potencial catalítico de lipases ligadas ao micélio de fungos filamentosos em processos de biotransformação. **Quím. Nova**, v. 40, n. 1, p. 85-96, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20160163>
- FABER, K.; FESSNER, W.D.; TURNER, N. J. *Biocatalysis in Organic Synthesis: Carbonyl Reduction*. 2. ed. **Thieme**, 2015. DOI:10.1055/sos-sd-215-00243
- FERNÁNDEZ-ÁLVARO, E.; DE MARÍA, P. D. Reductases: From Natural Diversity to Established Biocatalysis and to Emerging Enzymatic Activities. **Synthetic Methods for Biologically Active Molecules**, 27–47, 2013. DOI: 10.1002/9783527665785.ch02
- GONÇALVES, C.C.S.; FONSECA, F.S.A. Reações de oxidação catalisadas por enzimas. **Rev. Virtual Quim.**, v. 10, n. 4, p. 778-797, 2018. <https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v10n4a04.pdf>
- HENEHAN, G.T.M, *et al.* Editorial: Green chemistry biocatalysis. **Front. Bioeng. Biotechnol**, v.11, p. 1-3,, 2023. DOI: 10.3389/fbioe.2023.1158275
- KUO, C.H.; HUANG, C.Y.; SHIEH, C.J.; DONG, C.D. Enzymes and Biocatalysis. **Catalysts**, v. 12, n. 9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/catal12090993>
- SHELDON, R.A.; SANDER, PELT, S.V. Enzyme immobilization in biocatalysis: why, what and how. **Chem. Soc. Rev.**, v. 42, p. 6223-35, 2013. DOI: 10.1039/C3CS60075K
- SOUTO, L.R.F; CALIARI, M.; SOARES JR., M.S.; FIORDA, F.A., GARCIA, M.C. Utilization of residue from cassava starch processing for production of fermentable sugar by enzymatic hydrolysis. **Food Science and Technology**, v. 37, n.1, p. 19-24, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.0023>
- TIMSON, D.J. Four Challenges for Better Biocatalysts. **Fermentation**, v. 5, n. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation5020039>
- TOMICH, R.G.P. *et al.* **Etnovarietades de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivadas em assentamentos rurais, MS**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2008. 27 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/ Embrapa Pantanal, ISSN 1981-7215; 78).
- WAHART, A.J.C. *et al.* Oxidase enzymes as sustainable oxidation catalysts. **R. Soc. Open Sci**, v. 9: 211572, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.211572>
- WOICIECHOWSKI, A.L. *et al.* Pretreatment Strategies to Enhance Value Addition of Agro-industrial Wastes. In: BRAR, S.; DHILLON, G.; SOCCOL, C. (eds). *Biotransformation of Waste Biomass into High Value Biochemicals*. Springer, New York, NY, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8005-1_2



Área: Bioinsumos Agrícolas

BIOESTIMULANTES MELHORAM A QUALIDADE DE MORANGOS

Arthur Pegoraro Klein*, Thiago Tondo Cirino, Manuela Görgen, Rudinei Fante, Emanuele Dal Pizzol, Matheus Welter, José Luís Trevizan Chiomento

Laboratório de Olericultura, Curso de Agronomia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

*E-mail: 79722@upf.br

RESUMO – A produção de morangos de forma sustentável é uma resposta à demanda de consumidores que buscam por alimentos saudáveis e menos agressivos ao meio ambiente. Assim, bioestimulantes são utilizados para incrementar as características produtivas e qualitativas de culturas agrícolas, com baixo impacto ambiental. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi investigar se fungos micorrízicos arbusculares (FMA), *Ascophyllum nodosum* (AN), *Trichoderma harzianum* (TH) e suas combinações interferem na qualidade de frutos de morangueiro. O trabalho foi desenvolvido no Setor de Horticultura da Universidade de Passo Fundo (UPF), em Passo Fundo, Rio Grande do Sul (RS), Brasil, de junho a dezembro de 2023. Os oito tratamentos testados serão a ausência e a presença de bioestimulantes (FMA, AN, TH, FMA + AN, FMA + TH, AN + TH e FMA + AN + TH), dispostos no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Foi avaliada a qualidade de frutos. Frutos mais saborosos foram produzidos por plantas tratadas com FMA + TH e aqueles menos palatáveis foram colhidos de plantas cultivadas sem bioestimulantes e daquelas tratadas com FMA + AN + TH. Conclui-se que o uso de inoculantes à base de FMA interfere na qualidade química de morangos.

Palavras-chave: *Fragaria X ananassa* Duch., micorriza, *Trichoderma harzianum*, *Ascophyllum nodosum*.

1 INTRODUÇÃO

O morangueiro (*Fragaria X ananassa* Duch.) é um dos frutos vermelhos mais consumidos e produzidos no mundo. Sua produção é destinada tanto para o consumo *in natura* como para industrialização (MUSA et al., 2015). O cultivo suspenso em ambiente protegido evita o contato da planta e dos frutos com o solo, facilita o controle de pragas, doenças, manejo da temperatura, nutrição e irrigação (TRENTIN et al., 2022). Outra ferramenta que pode ser associada ao cultivo em substrato é o uso de bioestimulantes, dentre os quais estão os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), *Trichoderma* spp. e macroalga *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis.

Os FMA são simbiontes obrigatórios que estabelecem associação com 90% das espécies de plantas em quase todos os ecossistemas terrestres (VAN DER HEIJDEN et al., 2015). A colonização das raízes de morangueiro por FMA aumenta a produção de frutos (ROBINSON-BOYER et al., 2016), melhora sua qualidade fitoquímica (CHIOMENTO et al., 2022) e modifica a morfologia radicial das plantas (CHIOMENTO et al., 2021).

O rizofungo *Trichoderma harzianum* pode atuar como bioestimulante do crescimento de plantas. Um grande ponto positivo de *T. harzianum* é sua capacidade de se associar às raízes de plantas e essa simbiose ocorre por mecanismos similares aos FMA (BENÍTEZ et al., 2004). *T. harzianum* podem ser eficientes promotores de crescimento para o desenvolvimento das plantas e tornam os nutrientes solubilizáveis e disponíveis à absorção das raízes, o que reduz a necessidades de altas adubações (ALTOMARE et al., 1999).

Macroalgas também são utilizadas na agricultura para melhorar a taxa de germinação de sementes, crescimento do sistema radicial, produção de flores, frutificação, indução de resistência a pragas e doenças e também estimulam as respostas às condições de estresse, principalmente o hídrico. Seu extrato possui a propriedade de estimular o crescimento vegetal devido à sua composição rica em macro e micronutrientes, carboidratos, aminoácidos e hormônios vegetais próprios da alga.

O objetivo do trabalho foi investigar se FMA, *A. nodosum*, *T. harzianum* e suas combinações interferem na qualidade de frutos de morangueiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Mudas de morangueiro de raiz nua, da cultivar San Andreas (classificada como de dias neutros quanto ao florescimento), foram provenientes do viveiro Llahuén, Chile (33° 50' 15,41" S; 70° 40' 03,06" W) e constituíram o material vegetal do estudo. O trabalho foi desenvolvido no município de Passo Fundo (28° 15' 41" S; 52° 24' 45" W),



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Rio Grande do Sul (RS), Brasil, de junho a dezembro de 2023 em uma estufa (430 m²) com teto semicircular, instalada no sentido noroeste-sudeste. A estrutura de aço galvanizado é coberta com filme de polietileno de baixa densidade (espessura de 150 micra), com aditivo antiultravioleta.

Os oito tratamentos estudados foram a ausência e a presença de bioestimulantes [FMA, *A. nodosum* (AN), *T. harzianum* (TH), FMA + AN, FMA + TH, AN + TH e FMA + AN + TH], dispostos no delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela foi constituída por seis plantas.

O bioestimulante à base de FMA foi representado por inoculante *on-farm* multiespecífico, escolhido com base no levantamento de FMA em solo cultivado com morangueiro, composto por oito espécies (REDECKER et al., 2013): *Acaulospora koskei* Blaszk., *Acaulospora rehmi* Sieverding & Toro, *Claroideoglossum aff. luteum*, *Claroideoglossum claroideum* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler, *Claroideoglossum etunicatum* (W.N. Becker & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler, *Funneliformis aff. mosseae*, *Glomus aff. versiforme* e *Glomus sp.* (caesaris like).

O bioestimulante à base de *A. nodosum* foi representado pelo produto comercial Acadian® (Koppert®, <https://www.koppert.com.br/acadian/>), registro MAPA SP 002821-5.000004, constituído por algas marinhas colhidas nas águas do Atlântico Norte, na Nova Scotia, Canadá.

O bioestimulante à base de *T. harzianum* foi representado pelo produto comercial Trichodermil® (Koppert®, <https://www.koppert.com.br/trichodermil/>), registro MAPA 2007, constituído por *T. harzianum* (CEPA ESALQ 1306).

As mudas foram transplantadas em junho de 2023 em recipientes com dimensões de 1 m de comprimento x 0,5 m de largura, preenchidos com o substrato Dallemole®.

Para os tratamentos inoculados com FMA foram adicionados, mensalmente, 5 gramas de inoculante *on-farm*, no berço de plantio das mudas (junho) na ocasião do transplante e, após, no entorno da coroa das plantas (julho, agosto e setembro). A quantidade total de inoculante *on-farm* usado, aplicado de junho a setembro, foi de 20 gramas.

Para os tratamentos que receberam *A. nodosum* e *T. harzianum*, mensalmente (de junho a setembro), foi preparada uma solução de 2,5 mL/L H₂O (Acadian®) e 1,5 mL/L H₂O (Trichodermil®), respectivamente. Essas doses foram baseadas nas especificações de cada produto. Posteriormente, 10 mL da solução de Acadian® e 10 mL da solução de Trichodermil® foram aplicadas em cada planta na base da coroa visando seu escurrimto para o substrato, com auxílio de micropipeta. A quantidade total usada de Acadian® e Trichodermil®, aplicados de junho a setembro, foi de 40 mL por planta para cada um dos bioestimulantes.

A irrigação usada no experimento foi localizada (fitas gotejadoras), no sistema automatizado, com vazão de 1,41 L/h por gotejador. O regime de irrigação foi acionado cinco vezes ao dia, com molhamento total de 10 minutos. As soluções nutritivas fornecidas às plantas, semanalmente, foram feitas conforme Furlani e Fernandes Júnior (2004), porém com redução de 50% do fornecimento de fósforo (DE NARDI et al., 2024).

Para verificar a capacidade infectiva dos FMA, em dezembro de 2023, porções de raízes das plantas foram preparadas de acordo com Phillips e Hayman (1970) e sua porcentagem de colonização micorrízica (CM) foi determinada conforme Trouvelot et al. (1986).

A análise da qualidade foi feita em outubro de 2023. Foram avaliadas as características químicas dos frutos referentes ao teor de sólidos solúveis totais (SST, %) e acidez total titulável (ATT, % de ácido cítrico), a partir de 20 frutos de cada tratamento para cada repetição. O teor de SST foi determinado em refratômetro analógico, enquanto que a ATT foi realizada de acordo com as normas do Instituto Adolfo Lutz (ZENEBON et al., 2008). Para avaliar o sabor dos frutos foram determinadas a relação SST/ATT.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Anova) e, quando houve significância, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro, com auxílio do programa Costat®.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se efeito significativo dos bioestimulantes quanto à colonização micorrízica. Plantas inoculadas com a comunidade fúngica tiveram colonização micorrízica superior a 94% (Figura 1). Não foi observada contaminação nas plantas cultivadas sem FMA (Figura 1). As estruturas de FMA observadas nas raízes foram hifas, vesículas e arbuscúlos (Figura 2).



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Figura 1. Colonização micorrízica de morangueiro cultivado na ausência e presença de bioestimulantes. FMA: fungos micorrízicos arbusculares; AN: *Ascophyllum nodosum*; TH: *Trichoderma harzianum*.

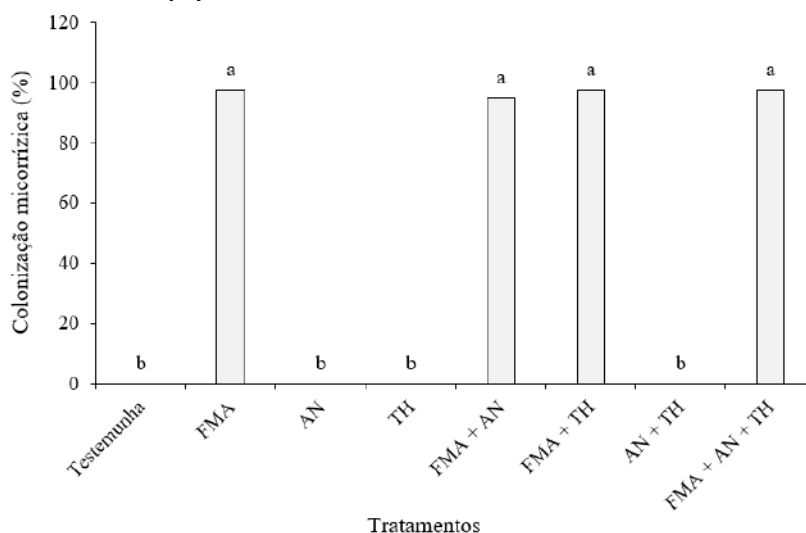
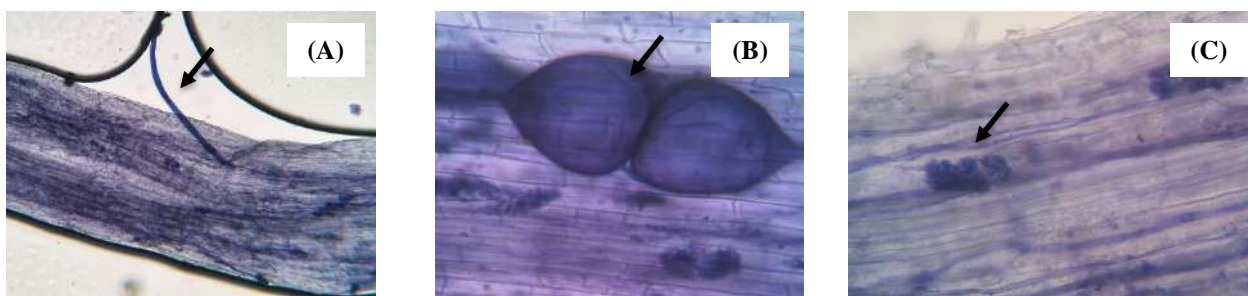


Figura 2. Estruturas de FMA visualizadas em raízes de morangueiro, cultivar San Andreas, referentes a hifas (A), vesículas (B) e arbúsculos (C). Observação em microscópio óptico, com aumento de 400x.



Em relação à pós-colheita de frutos, observou-se efeito significativo dos bioestimulantes quanto ao atributo SST/ATT. Frutos mais saborosos foram produzidos por plantas tratadas com FMA + TH e aqueles menos palatáveis foram colhidos de plantas cultivadas sem bioestimulantes e daquelas tratadas com FMA + AN + TH (Tabela 1).

Tabela 1. Bioestimulantes na pós-colheita de morangos, cultivar San Andreas. Passo Fundo - RS, 2023

Bioestimulantes ¹	SST/ATT ²
Testemunha	7,60 b
FMA	8,07 ab
AN	7,92 ab
TH	8,20 ab
FMA + AN	8,58 ab
FMA + TH	10,12 a
AN + TH	7,89 ab
FMA + AN + TH	7,74 b
Média	8,26
CV (%) ³	11,99

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

¹FMA: fungos micorrízicos arbusculares; AN: *Ascophyllum nodosum*; TH: *Trichoderma harzianum*.

²SST/ATT: sabor de frutos.

³CV: coeficiente de variação.



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

O desafio da agricultura do novo século é adequar as práticas agrônômicas às exigências dos consumidores. Uma alternativa ao controle químico para melhorar ainda mais o sabor e a produtividade do morangueiro de forma sustentável é o controle biológico com o uso de bioestimulantes. A maioria das plantas formam associações simbióticas mutualistas com micorrizas. Sabe-se que a colonização das raízes de morangueiro por FMA aumenta a produção de frutos (ROBINSON-BOYER et al., 2016), melhora sua qualidade fitoquímica (CHIOMENTO et al., 2022) e modifica a morfologia radicular das plantas (CHIOMENTO et al., 2021).

Da mesma forma, espécies de *Trichoderma* são usados na promoção de enraizamento (FORTES et al., 2007) e também produzem compostos capazes de inibir o crescimento de uma série de fungos. No controle de diversas doenças de plantas pode-se usar somente uma espécie de *Trichoderma* como, a exemplo de *Trichoderma harzianum*, ou em combinação com outras espécies do mesmo gênero. Isolados de *T. harzianum*, *T. viride* e *T. hamatum* (3×10^7 esporos/mL) aumentaram o teor de fenois totais, de clorofila e também o rendimento de morangueiro (AHMED; EL-FIKI, 2017).

Os bioestimulantes à base de extratos de algas marinhas têm sido descritos em diferentes estudos efeitos no aumento do desenvolvimento do sistema radicular, aumento do crescimento vegetativo e aumento da taxa de floração e frutificação (DANTAS et al., 2012). Observou-se que a associação FMA + AN apresentou resultado considerável quanto ao sabor dos frutos em comparação com FMA + AN + TH ao produzir frutos menos palatáveis (Tabela 1).

A utilização de bioestimulantes na agricultura mostra-se uma biotecnologia de alto potencial no aumento da produtividade das culturas (ROUPHAEL et al., 2015). Essas substâncias/microrganismos provocam mudanças no metabolismo vegetal, o que influencia nos processos de germinação, enraizamento, florescimento e frutificação. Esses microrganismos correspondem a uma classe de potencializadores metabólicos, não considerados fertilizantes, utilizados para aumentar a resistência das culturas a fitopatógenos (JANNIN et al., 2013). Portanto, devido aos benefícios dos bioestimulantes na agricultura, os interesses científicos e agrônômicos se intensificam.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que o uso de bioestimulantes interfere na qualidade química de morangos. Plantas cultivadas com FMA juntamente com *T. harzianum* produzem frutos mais saborosos em relação às plantas cultivadas sem bioestimulantes (testemunha) e àquelas cultivadas com a associação de FMA + *T. harzianum* + *A. nodosum*.

5 AGRADECIMENTOS

À Koppert® (São Paulo, São Paulo, Brasil) e à Bioagro Comercial Agropecuária® Ltda. (Araucária, Paraná, Brasil).

6 REFERÊNCIAS

- AHMED, M. F. A.; EL-FIKI, I. A. I. Effect of biological control of root rot diseases of strawberry using *Trichoderma* spp. **Middle East Journal of Applied Sciences**, v.7, n. 3, p. 482-492, 2017.
- ALTOMARE, C.; NORVELL, W. A.; BORKMAN, T.; HARMAN, G. E. Solubilization of phosphates and micronutrientes by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 65, p. 2926-1933, 1999.
- BENÍTEZ, T.; RINCÓN, A.M.; LIMÓN, M.C.; CODÓN, A.C. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. **International Microbiology**, v.7, p. 249-260, 2004.
- CHIOMENTO, J. L. T.; DE NARDI, F. S.; FILIPPI, D.; TRENTIN, T. S.; DORNELLES, A. G.; FORNARI, M.; NIENOW, A. A.; CALVETE, E. O. Morpho-horticultural performance of strawberry cultivated on substrate with arbuscular mycorrhizal fungi and biochar. **Scientia Horticulturae**, v. 282, e-110053, 2021.
- CHIOMENTO, J. L. T.; DE NARDI, F. S.; FILIPPI, D.; TRENTIN, T. S.; ANZOLIN, A. P.; BERTOL, C. D.; NIENOW, A. A.; CALVETE, E. O. Mycorrhization of strawberry plantlets potentiates the synthesis of phytochemicals during ex vitro acclimatization. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 44, e-55682, 2022.
- DE NARDI, F. S.; TRENTIN, T. S.; TRENTIN, N. S.; COSTA, R. C.; CALVETE, E. O.; PALENCIA, P.; CHIOMENTO, J. L. T. Mycorrhizal biotechnology reduce phosphorus in the nutrient solution of strawberry soilless cultivation systems. **Agronomy**, v. 14, e-355, 2024.
- FORTES, F. O.; SILVA, A. C. F.; ALMANÇA, M. A. K.; TEDESCO, S. B. Promoção de enraizamento de microestacas de um clone de Eucalyptus por *Trichoderma* 110G. **Revista Árvore**, v 31, n. 2, 2007.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- FURLANI, P. R.; FERNANDES JÚNIOR, F. Cultivo hidropônico de morango em ambiente protegido. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO MORANGO & ENCONTRO DE PEQUENAS FRUTAS E FRUTAS NATIVAS DO MERCOSUL, 2., 2004, Pelotas. **Anais...** Curitiba: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 102-115.
- JANNIN, L.; ARKOUN, M.; ETIENNE, P.; LAÍNÉ, P.; GOUX, D.; GARNICA, M. *Brassica napus* growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L). Le Jol. seaweed extract: Microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 32, p. 31-52, 2013.
- PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 55, p. 158-161, 1970.
- REDECKER, D.; SCHUBLER, A.; STOCKINGER, H.; STÜRMER, S. L.; MORTON, J. B.; WALKER, C. An evidence based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). **Mycorrhiza**, v. 23, p. 515-531, 2013.
- ROBINSON-BOYER, L.; FENG, W.; GULBIS, N.; HAJDU, K.; HARRISON, R. J.; JEFFRIES, P.; XU, X. The use of arbuscular mycorrhizal fungi to improve strawberry production in coir substrate. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, e-1237, 2016.
- TRENTIN, T. S.; DORNELLES, A. G.; TRENTIN, N. S.; HUZAR-NOVAKOWISKI, J.; CALVETE, E. O.; CHIOMENTO, J. L. T. Addition of arbuscular mycorrhizal fungi and biochar in the cultivation substrate benefits macronutrient contents in strawberry plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, p. 2980-2991, 2022.
- TROUVELOT, A.; KOUGH, J. L.; GIANINAZZI-PEARSON, V. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire: recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In: GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. (Eds.). **Physiological and genetic aspects of mycorrhizae**. Paris: INRA Press, 1986. p. 217-221.
- VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; MARTIN, F. M.; SELOSSE, M. A.; SANDERS, I. R. Mycorrhizal ecology and evolution: The past, the present, and the future. **New Phytologist**, v. 205, n. 4, p. 1406-1423, 2015.
- ZENEBON, O., PASCUET, N. S., TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.



Área: Bioinsumos Agrícolas

Contaminação em bioinsumos: o papel do Controle de Qualidade na agrobiologia.

Emanuelle Barbosa de Quadros*, Andriele Pavani Ribeiro, Lisandra Tainá Spohr, Bianca Zandoná, Terimar Ruoso.

Laboratório de Microbiologia, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Palmeira das Missões
**E-mail: emanubq@gmail.com*

RESUMO – A agricultura desempenha um papel categórico na subsistência humana, entretanto o uso excessivo de fertilizantes químicos levanta preocupações sobre sua sustentabilidade. Sendo assim, os bioinsumos surgem como uma alternativa promissora, constituído a base de organismos vivos. Para tanto, objetivou analisar a presença de microrganismos contaminantes em amostras de bioinsumos. Foi realizado uma pesquisa experimental no Laboratório de Microbiologia (CEMICRO) da Universidade Federal de Santa Maria – Campus Palmeira das Missões, que utilizou amostras de uma biofábrica também localizada no norte gaúcho, revelou contaminação bacteriana em amostras de inoculantes, tanto biológicos quanto comerciais, destacando a presença de microrganismos patogênicos, como Salmonella, além de bactérias do gênero *Enterobacteriaceae*, que estão associadas a más condições de higiene. Essa contaminação representa sérios riscos para a saúde pública, exigindo protocolos rigorosos de controle de qualidade para garantir a segurança dos alimentos e o sucesso da agricultura sustentável. Assim, é crucial reconhecer a importância dos bioinsumos na agricultura contemporânea, bem como implementar medidas eficazes para garantir sua inocuidade.

Palavras-chave: Agricultura, insumos, biológicos, contaminação.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura desempenha papel multifacetado e crucial para o desenvolvimento da vida humana, fornecendo alimentos para a subsistência. Ainda, o uso exacerbado de fertilizantes químicos e sintéticos como forma de assegurar a produtividade é comum (REMPELOS, et al., 2023).

Com o crescimento populacional previsto para os próximos anos, será necessário dobrar ou triplicar a produção agrícola, necessitando de aumento de produtividade em áreas já existentes, levando em conta a preservação ambiental e a segurança alimentar da população (MOZZAQUATRO et al 2021).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), o Brasil encontra-se entre os países que mais utilizam agrotóxicos no mundo (FAOSTAT, 2021). Ainda, o Brasil é um grande produtor de alimentos, precisando buscar estratégias para tornar a agricultura com uso reduzido de insumos químicos, tornando-a mais sustentável (XAVIER, 2022).

Pensando em produção sustentável, os produtos sintéticos impactam na perda da biodiversidade, contaminação do solo e da água, ainda acarretando riscos aos consumidores. Além disso, o uso indiscriminado de insumos químicos pode acarretar problemas de saúde aos humanos, devido a presença de resíduos químicos em alimentos, toxicidade e diminuição da eficácia desses produtos devido a resistência a pragas (CAMPOS et al, 2019). Com isso, a produção agrícola vem buscando alternativas mais sustentáveis (ZANETTI, et al 2023).

Ainda, a agricultura sustentável deve ser capaz de recuperar o solo e reduzir a contaminação direta e indireta dos biomas. O manejo da terra usufruindo a sua microbiota natural tem sido muito utilizado, associando o seu uso com os insumos biológicos, visando garantir que o alimento tenha qualidade ao longo do tempo (CAMPOS et al., 2019).

Os insumos biológicos, também conhecidos por bioinsumos, são abordagens concentradas na utilização de produtos e organismos vivos, visando melhorar o crescimento das plantas, qualidade das culturas, e o desenvolvimento do agroecossistema como um todo (OLIVEIRA et al., 2023). Assim, são diversos os tipos e as finalidades de bioinsumos, tais como biofertilizantes, bioestimulantes, promotores de crescimento de plantas, substrato para nutrição de plantas e animais, substâncias bioativas, agentes biológicos de pragas e doenças, entre outros (MAPA, S.I).

Os bioinsumos microbiológicos, constituídos por fungos e bactérias agem no crescimento da parte aérea e radicular, disponibilizando nutrientes para as plantas, bem como a solubilização de fósforo e a fixação de nitrogênio. Para a sua produção, é resultado de uma sequência de etapas interligadas e monitoradas a fim de garantir a qualidade do material e a ausência de contaminantes (IWANICKI, et al., 2022).



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Portanto, é necessário garantir a inocuidade da produção de bioinsumos, sendo necessário manter o controle de qualidade de forma rígida, com esterilização de materiais, umidade e temperatura adequada e controlada (AMARAL, 2022). Porém, sabe-se que essa não é a realidade de todos os locais e propriedades que trabalham com o sistema *on farm*, acarretando problemas maiores como, a contaminação da produção, solos e água (SANTOS et al., 2020).

Com isso, fica evidente a relevância do tema e a importância do rigor no que se refere ao controle de qualidade de bioinsumos, já que estes influenciam na produção agrícola que, sob esta perspectiva, têm como produto uma produção mais sustentável. Dessa forma, neste trabalho objetivou-se analisar a presença de microrganismos contaminantes em amostras de bioinsumos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa experimental qualitativa de caráter exploratório em que foram realizadas análises microbiológicas no Laboratório de Microbiologia da Universidade Federal de Santa Maria - Campus Palmeira das Missões - CEMICRO.

2.1 Amostragem e transporte

As amostras foram coletadas de uma biofábrica no norte gaúcho, sendo elas inoculantes para o melhoramento na fertilização do solo. Após a coleta, imediatamente foram acondicionadas em caixa isotérmica com gelo reciclável e destinadas ao Laboratório de Microbiologia. Em se tratando da origem dos inoculantes, dois deles eram biológicos e outros dois eram comerciais.

2.2 Análise Microbiológica

As amostras foram analisadas de acordo com o método proposto por Silva et al. (2010). O recipiente contendo a amostra diluída em água peptonada foi submetido ao equipamento vórtex por um minuto, sendo 0,1mL da solução plaqueada pela técnica de *spread plate* em placas de Petry contendo, cada uma, 35 mL de Ágar XLD, Ágar VRBG e Ágar MacConkey, todas em duplicata. Após isso, as placas foram incubadas em estufa a $\pm 37^{\circ}\text{C}$ por 24 a 48h. A partir destes plaqueamentos, foi verificado se houve crescimento dos seguintes microrganismos: *Salmonella*, Enterobactérias e *Escherichia coli*, respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos referem-se a 4 amostras de bioinsumos, sendo duas inoculantes *on farm*, caracterizados por B1 e B2 e duas de inoculantes comerciais caracterizados por C1 e C2. As análises mostraram que as quatro amostras apresentaram contaminação bacteriana em 48h, ou seja, além dos microrganismos de interesse foram encontrados microrganismos patógenos para a saúde humana, conforme pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Presença e Ausência de contaminantes nas amostras

AMOSTRAS	CONTAMINANTES		
	<i>Enterobactérias</i>	<i>Salmonella</i>	<i>E.coli</i>
B1	Presença	Presença	Ausência
B2	Presença	Presença	Ausência
C1	Presença	Presença	Ausência
C2	Presença	Ausência	Ausência

Fonte: Autores (2024)

O processo de controle de qualidade dos biológicos é uma etapa fundamental, visto que visa garantir a inocuidade e garantir a qualidade do produto. Ademais, considerando a utilização de bioinsumos na produção de alimentos como verduras e hortaliças, a falta de rigor no controle de qualidade destes biofertilizantes tendem a resultar na presença de contaminantes, que podem chegar à mesa do consumidor pelo alimento.



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Analisando o Quadro 1, percebe-se que todas as amostras apresentaram contaminação por bactérias do gênero *Enterobacteriaceae*, que estão frequentemente presentes na microbiota intestinal de seres humanos e animais, e também estão amplamente distribuídos no ambiente (SENA et al., 2018).

Levando em consideração os resultados do presente estudo, a contaminação pelo gênero *Enterobacteriaceae* também pode estar associada com más condições de higiene, como falta de higienização das mãos na manipulação dos bioinsumos. No estudo de Lana et al. (2022), avaliou a qualidade microbiológica de inoculantes à base de *Bacillus* produzidos de forma *on farm*, de modo que a autora também constatou contaminação destas bactérias comumente encontradas na microbiota intestinal.

Diante disso, frequentemente é ressaltado em estudos a importância de tomar certas precauções para quem vai manusear os bioinsumos, como, o uso correto de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), além da higienização correta e frequente das mãos, medidas como estas são essenciais para a redução de contaminações microbianas do gênero *Enterobacteriaceae* (MOZZAQUATRO, et al 2021; DAMER et al., 2014).

Ainda, foi encontrado *Salmonella* em 3 das 4 amostras analisadas. Ressalta-se que a *Salmonella* é uma bactéria altamente patogênica, capaz de causar infecções graves nos seres humanos. Além disso, a bactéria apresenta grande resistência a diversos antibióticos (XAVIER, 2022).

A contaminação por *Salmonella* necessita de grande atenção, pois um bioinsumo contaminado aplicado na produção agrícola, conseqüentemente vai contaminar o seu produto, já que vai haver o crescimento e cultivo dessa planta em solo contaminado, para posteriormente ser vendida e até mesmo chegar à mesa do consumidor de forma crua, ou muitas vezes higienizada incorretamente.

Com isso, o estudo de Silva (2019) traz que a implementação de Boas Práticas Agrícolas no campo é importante para garantir a segurança da produção agrícola, tanto no pré quanto no pós cultivo. Ainda, é preciso ressaltar a importância da higienização adequada dos produtos agrícolas ao chegar no consumidor. A higienização correta dos alimentos vai assegurar que o indivíduo está consumindo um alimento seguro.

Ainda, alguns autores trazem sobre o uso de bioinsumos a base de resíduos animais, como a amostra de bioinsumos C1, já que podem propiciar contaminação microbiológica superior a produções cultivadas no sistema convencional, ainda há risco de ocorrer uma proliferação de espécies produtoras de toxinas sendo prejudiciais a saúde humana (OLIVEIRA et al., 2010; MAFFEI et al., 2013; CEUPPENS et al., 2014).

Evidentemente, os bioinsumos possuem uma grande relevância sustentável na agricultura, permitindo, principalmente, a redução do uso de agentes químicos. Mas ainda assim, é fundamental garantir um rigoroso controle de qualidade desses produtos para assegurar sua eficácia e segurança, tudo isso para garantir uma oferta de alimentos seguros ao consumidor.

Uma produção adequada e longe de contaminações é tão importante quanto soluções de base biológica e sustentável. Desta forma, é necessário que haja controle rigoroso de qualidade na produção agrícola, para reduzir os riscos potenciais que apresentam à saúde coletiva e biológica.

4 CONCLUSÃO

Em suma, tanto os inoculantes biológicos quanto os comerciais apresentaram contaminação ao longo de todo o processo de crescimento microbiano. Essa contaminação pode ser atribuída à falta de higienização e manutenção adequada das biofábricas, ou à negligência na implementação de um protocolo apropriado para o cultivo de bactérias de interesse agrícola. Tais contaminantes representam sérios riscos para a saúde humana, considerando que esses insumos biológicos serão utilizados no solo e nas plantações. Reconhecer a importância dos bioinsumos na agricultura é fundamental, assim como a necessidade de protocolos e controles de qualidade em conformidade com leis e políticas de boas práticas.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que contribuíram no experimento e na escrita, ao projeto UFSM-DETECTA pela oportunidade e a FATEC pelo financiamento.

6 REFERÊNCIAS

AMARAL, D. F. **Produção on farm de insumos biológicos no Brasil: benefícios, riscos e tendências**. 48 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Agronomia, Universidade de Brasília, 2022.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- CAMPOS, Estefânia VR et al. Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives. **Ecological indicators**, v. 105, p. 483-495, 2019.
- CEUPPENS, Siele et al. Microbiological quality and safety assessment of lettuce production in Brazil. **International Journal of Food Microbiology**, v. 181, p. 67-76, 2014.
- DAMER, J. R.; DILL, R. E.; GUSMÃO, A. de A.; MORESCO, T. R. CONTAMINAÇÃO DE CARNE BOVINA MOÍDA POR *Escherichia coli* e *Salmonella* sp. **Revista Contexto & Saúde**, [S. l.], v. 14, n. 26, p. 20–27, 2014. DOI: 10.21527/2176-7114.2014.26.20-27.
- IWANICKI, Natasha Sant et al. **Controle de qualidade de produtos microbiológicos**. Bioinsumos na cultura da soja. **Embrapa Soja**. 2022.
- LANA, U. G. D. P. et al. Avaliação da qualidade de inoculantes à base de *Bacillus* para promoção de crescimento de plantas produzidos em sistema on farm. **Embrapa Milho e Sorgo**. Sete Lagoas, p. 27. 2022. (ISSN 1679-0154).
- MAFFEI, Daniele Fernanda; DE ARRUDA SILVEIRA, Neliane Ferraz; CATANOZI, Maria da Penha Longo Mortatti. Microbiological quality of organic and conventional vegetables sold in Brazil. **Food Control**, v. 29, n. 1, p. 226-230, 2013.
- MOZZAQUATRO, L. B., et al. Custo-benefício da Substituição de Insumo Químico por Biológico no Cultivo da Soja. **Congresso USP de Iniciação Científica em Contabilidade**; 18º; 2021; São Paulo-RS: USP, 2021.
- OLIVEIRA, M. et al. Microbiological quality of fresh lettuce from organic and conventional production. **Food Microbiology**, v. 27, n. 5, p. 679-684, 2010.
- OLIVEIRA, Vanuze Costa de et al. Bioinputs and organic production in Brazil: a study based on the Embrapa's Bioinsumos application. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 53, p. e76326, 2023.
- REMPELOS, L et al. Effect of climatic conditions, and agronomic practices used in organic and conventional crop production on yield and nutritional composition parameters in potato, cabbage, lettuce and onion; results from the long-term NFSC-trials. **Agronomy**, v. 13, n. 5, p. 1225, 2023.
- SENA, Adenilson Soares et al. Avaliação microbiológica de presunto fatiado comercializado no município de Pau Brasil-BA. **Saúde em Revista**, v. 18, n. 50, p. 31-39
- SILVA, Neusely. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. Varela, 2007.
- XAVIER, V.L. **Programa Nacional de Bioinsumos: proposição de um sistema de monitoramento de biofábricas**. Dissertação – Escola Nacional de Administração Pública. Brasília. 2022.
- ZANETTI, W. A. L., et al. Desenvolvimento agrícola com a introdução dos bioinsumos. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 7, n.5, 2023.



Área: BIOINSUMO AGRÍCOLA

VALORAÇÃO DE DIGESTATOS LÍQUIDOS NA AGRICULTURA

Aline Rubert*, Marcelo Hemkemeier, Jorge Alberto Costa, Luciane Maria Colla

Programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: arubert21@gmail.com*

RESUMO – A valoração dos digestatos líquidos (DLs) na agricultura é uma estratégia fundamental para a sustentabilidade agrícola e a gestão eficiente de resíduos. Os DLs são originados durante a digestão anaeróbia (DA), uma tecnologia versátil capaz de tratar diversos tipos de resíduos. Em meio ao contínuo crescimento populacional global, a agricultura enfrenta o desafio de manter e aumentar a produtividade agrícola. Nesse cenário, a crescente dependência de fertilizantes minerais tem desencadeado complicações ambientais e impactos negativos na qualidade do solo. Em contrapartida os DLs, surgem como uma solução sustentável, promovendo o fechamento do ciclo de nutrientes, contribuindo para a economia circular e para descarbonização ambiental. Uma análise exploratória na base de dados Scopus, com a busca por "liquid digestate and agriculture" entre 2019-2024, proporcionou um portfólio bibliográfico com 65 artigos de pesquisa. As aplicações dos DLs na agricultura foram amplamente abordadas, destacando-se suas aplicações em diversas frentes. Além disso, a análise também apontou lacunas significativas, especialmente no uso de DLs no tratamento de sementes e em sistemas hidropônicos. Essas lacunas representam oportunidades para futuras investigações, indicando a necessidade de uma abordagem mais abrangente por parte da comunidade científica. A valoração dos DLs na agricultura não apenas atende às demandas atuais, mas também sinaliza um caminho promissor para uma agricultura mais sustentável e eficaz.

Palavras-chave: digestão anaeróbia, resíduos, economia circular, sistemas agrícolas e sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

O aumento constante na demanda por alimentos, impulsionado pelo crescimento populacional, tem levado à dependência significativa de fertilizantes minerais para suprir as necessidades nutricionais das plantas (Knapp *et al.*, 2023; Ishfaq *et al.*, 2023). Contudo, o uso extensivo desses fertilizantes está associado a diversos problemas ambientais, como degradação da qualidade do solo e redução da fertilidade (Jin *et al.*, 2022; Knapp *et al.*, 2023). Além disso, a indústria de fertilizantes minerais enfrenta desafios relacionados aos aumentos nos preços do gás natural e à disponibilidade de matérias-primas (Mikula *et al.*, 2023; Soumare *et al.*, 2020; Vochozka *et al.*, 2020). Diante desse cenário, a busca por alternativas sustentáveis para atender às necessidades nutricionais das plantas e preservar a qualidade do solo torna-se crucial.

Deste modo, o aproveitamento de nutrientes de subprodutos oriundos de processos vigentes considerados resíduos é considerado uma alternativa promissora. Nesse contexto, a digestão anaeróbia (DA) destaca-se como uma tecnologia essencial para degradar a matéria orgânica de diversos resíduos (Kitessa *et al.*, 2022), proporcionando a reciclagem de nutrientes e contribuindo para a sustentabilidade ambiental. No processo de DA, a degradação da matéria orgânica gera biogás, uma fonte de energia renovável composta principalmente por dióxido de carbono e metano, enquanto o digestato, um resíduo degradado, é obtido como subproduto (Hagos *et al.*, 2017; Xu *et al.*, 2019). A DA preserva nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio no digestato líquido, ressaltando a importância da eficiente utilização de todos os recursos obtidos nos processos em curso para mitigar preocupações relacionadas ao esgotamento de recursos naturais.

Assim, muitos estudos têm investigado as aplicações dos digestatos líquidos (DLs) na agricultura, destacando seu potencial como fertilizante (via aplicações foliares, na base das plantas e por meio de fertirrigação) e corretivo de solo (para melhorar a composição do solo) (Albuquerque *et al.*, 2012). Além disso, estão sendo explorados no tratamento de sementes, contribuindo para melhorar a germinação e o vigor das mesmas (Zhao *et al.*, 2014), sistemas hidropônicos (Lind *et al.*, 2021) e no controle de pragas (Oldani *et al.*, 2023). A aplicação específica dos DLs é guiada por suas características, dependendo dos substratos (tipos de resíduos) utilizados no processo de DA (Albuquerque *et al.*, 2012; Lu; Xu, 2021). A valorização desses digestatos em sistemas agrícolas não apenas desempenha um papel crucial na redução do uso de fertilizantes minerais, mas também contribui para a preservação de recursos, a mitigação das mudanças climáticas e a manutenção da qualidade do solo (Cardelli *et al.*, 2018; Cheong *et al.*, 2020; Simioni *et al.*, 2023), promovendo um impacto positivo na diversidade da composição microbiana do solo e nas propriedades físicas do mesmo

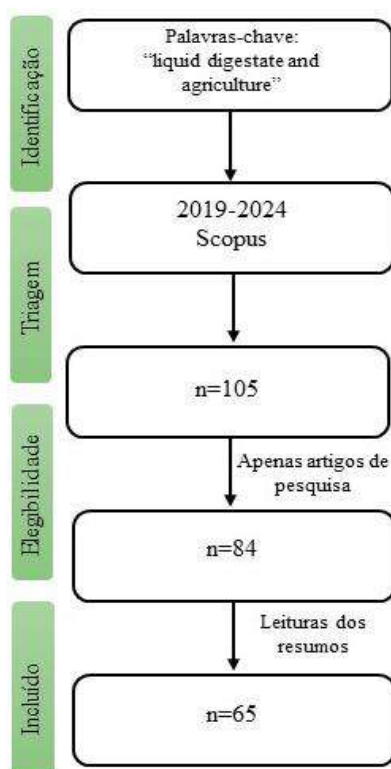


(Parra-Orobio *et al.*, 2021). Nesse sentido, o objetivo desse estudo de revisão foi identificar as principais formas de aplicações do digestato líquidos na agricultura, fornecendo o entendimento sobre essa temática e tendência para pesquisas futuras através das lacunas científicas encontradas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados Scopus foi utilizada para obter o portfólio bibliográfico do trabalho. As palavras chaves utilizadas foram: “liquid digestate and agriculture”, no período de 2019-2024 incluindo título, resumo e palavra-chave. A busca ocorreu em janeiro de 2024, e na triagem apenas artigos de pesquisa foram considerados obtendo assim uma melhor visão do estado da arte quanto a valoração dos digestato líquidos na agricultura. Deste modo, resultou no portfólio bibliográfico mostrado na Figura 1.

Figura 1- Fluxograma do mapeamento de pesquisas científicas



3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aplicação do digestato líquido na agricultura

O digestato líquido (DL) é um dos subprodutos resultantes do processo de digestão anaeróbia (DA) que apresenta elevadas quantidades de nutrientes (Albuquerque *et al.*, 2012; Deng *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023). A composição química dos DLs são influenciadas pelas propriedades dos substratos, condições e configurações da DA (Lu;Xu, 2021). Conforme ressaltado por Weimers *et al.* (2022), os digestatos geralmente apresentam todos os macronutrientes e micronutrientes essenciais em concentrações variadas.

Durante o processo de DA, o nitrogênio e o fósforo presentes no substrato são mineralizados, mas não são eliminados do sistema, resultando em DL com altas concentrações desses macronutrientes (Fernández-Rodríguez *et al.*, 2021). Aproximadamente 70 a 80% dos nutrientes solúveis de nitrogênio e fósforo são retidos no DL, conforme observado por Lu e Xu (2021). Além disso, o DL possui alta estabilidade biológica e maturidade (Parra-Orobio *et al.*, 2021).



No entanto, o potencial fertilizante de um produto não depende apenas do conteúdo total de nutrientes, mas também está relacionado com a disponibilidade de nutrientes para as plantas, aspecto que tende a ser aprimorado por meio DA. No processo de DA, a fração orgânica dos nutrientes é mineralizada e liberada em forma de compostos orgânicos complexos, resultando no aumento da acessibilidade ao nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio (Guilayn *et al.*, 2020). Além disso, Scaglia, Pognani e Adani (2017), destacam que as reações bioquímicas que ocorrem no processo de DA são capazes de produzir moléculas bioativas com potencial bioestimulante semelhante a fitohormônios. Essas razões tornam a aplicação mais comum dos DLs serem fertilizantes agrícolas. Para facilitar a distribuição dos DLs nos solos os nutrientes (N, P e K) podem ser recuperados por meio da tecnologia de membranas, facilitando armazenagem e questões logísticas (Guilayn *et al.*, 2020; Herbes *et al.*, 2020). Na Europa, mais de 95% do digestato gerados são aplicados em solos agrícolas na forma de fertilizantes líquidos (Lu;Xu 2021). Na Alemanha, especificamente, a quantidade de nitrogênio e fósforo proveniente do digestato contribui com 26% da produção total de fertilizante nitrogenado e 80% da produção de fertilizante fosfatado (Herbes *et al.*, 2020). Esses percentuais evidenciam a importância e a eficácia do digestato como fonte de nutrientes para a agricultura.

A literatura mostra diversas aplicações dos DLs como: corretor de solo, biofertilizantes, tratamento de semente, fertirrigação e no controle biológico de pragas e doenças. A aplicação de DLs como corretivo de solo está relacionada à relação C/N, devido às demandas específicas da microbiota do solo, essa observação é essencial para obter melhorias das propriedades do solo. De acordo com Guilayn *et al.* (2020), a relação de C/N é crucial para prevenir tanto a liberação excessiva de nitrogênio (derivada da decomposição da matéria orgânica em situações de relação C/N muito baixa) quanto a imobilização do nitrogênio no solo (causada pela absorção microbiológica em casos de relação C/N altas). Estudos realizados por Zhang (2021) demonstraram que, ao longo de três anos de aplicação de DLs foram observados benefícios nas propriedades biológicas do solo, e aumento nos teores de matéria orgânica. Gurmessa *et al.* (2024), destacam que o aumento da matéria orgânica do solo promove melhorias na estrutura do solo e na fertilidade. Os estudos conduzidos por Doyeni *et al.* (2021), mostraram que a composição química do solo após três anos de fertilização com DL demonstrou alterações positivas nas concentrações de fósforo. Além disso, observaram um aumento significativo nos rendimentos de grãos trigo, triticale e cevada em comparação com os anos anteriores, superando os resultados obtidos com o uso de fertilizante nitrogenado. Os autores ressaltam que a prática de fertilização a médio e longo prazo com DLs em solos proporciona benefícios para a produtividade das culturas estudadas, contribuindo para a melhoria da qualidade e do rendimento das culturas. O uso de DL tem o potencial para influenciar positivamente as comunidades microbianas do solo, aprimorar a capacidade de absorção de nutrientes pelas plantas (Wang *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2021), estimular as interações entre as plantas e o solo, resultando no aumento da produtividade das culturas (Guilayn *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2021a). Além disso, os digestatos podem ser empregados como substitutos dos fertilizantes minerais devido à sua composição elevada de macronutrientes (Albuquerque *et al.*, 2012). Os estudos de Simioni *et al.*, (2023), que empregaram DL proveniente de resíduos de curtume, evidenciaram que esse tipo de digestato pode atender às exigências nutricionais de plantas de aveia, resultando em rendimentos comparáveis aos obtidos com fertilizantes minerais.

Albuquerque *et al.* (2012), destacam que os digestatos que contêm concentrações de oligoelementos metálicos desempenham um papel essencial na germinação e no crescimento das plantas. Da mesma forma, Wang *et al.* (2023), enfatizam que a abundância de nitrogênio, fósforo, potássio, oligoelementos e hormônios de crescimento no DL podem ser absorvidas e utilizada pelas sementes. Esse processo tem o potencial de acelerar o metabolismo das sementes durante o período de dormência, favorecendo a germinação. Deste modo, o tratamento de sementes com DLs pode contribuir para o aumento da germinação e vigor das sementes. Zhao *et al.* (2014) estudou o tratamento de sementes de fava (*Vicia faba* L.) por meio de tratamento de semente (embebição) com digestatos. Os resultados apresentaram efeitos positivos na germinação e no crescimento das plântulas. A maior taxa de germinação foi obtida quando as sementes de fava foram embebidas por 4 horas com digestato na concentração de 75%. Assim, os resultados apontam que a concentração adequada de DL e o tempo de imersão podem aprimorar a taxa de germinação das sementes e promover o crescimento das mudas. Apesar desses resultados promissores, há uma lacuna de informações no que se refere ao tratamento de sementes, necessitando de uma abordagem sistemática para compreender a relação entre concentração e tempo de exposição durante o processo de tratamento, especialmente com diferentes tipos de DLs e sementes.

Os DLs que possuem nutrientes como N, P, S e Mg aumentam concentração de clorofila na folha das plantas, que resulta no aumento da capacidade fotossintética como resultado de maior captura de energia luminosa, maior eficiência de conversão e melhor fixação de CO₂ (Mukhtiar *et al.*, 2024). Yang *et al.* (2020), destacam que os digestatos podem conter aminoácidos disponíveis, capazes de estimular o crescimento das plantas, aumentar o rendimento e aprimorar a qualidade da colheita. Assim, é possível a aplicação dos DLs como biofertilizantes foliares. No entanto, os estudos realizados por Buligon *et al.* (2023) com DL proveniente de efluentes suínos na cultura do milho observaram que o método de aplicação não apresentou efeito significativo no crescimento e nos teores de nutrientes nas folhas. Os resultados indicam que as variações nos efeitos estão associadas ao tipo de DL utilizado, considerando principalmente



sua composição química. Além disso, a resposta positiva ou negativa está relacionada às exigências nutricionais específicas de cada cultura.

Outra aplicação dos DLs na agricultura é por meio da prática de fertirrigação, permitindo a aplicação simultânea de fertilizantes e água. Contudo, devido à presença de matéria orgânica, existe o risco de obstrução dos aspersores (Song *et al.*, 2021). Nesse contexto, Castellano *et al.* (2023) conduziu a fertirrigação com o DL que passou por um processo de microfiltração, obtendo resultados promissores na qualidade de frutos cítricos. Esses frutos apresentaram maior concentração de vitamina C, flavonoides e conteúdo fenólico quando comparados ao grupo controle. Nos estudos de Pagliacci *et al.* (2020) que empregaram fertirrigação com DL, foram observados efeitos positivos na microbiota do solo. Portanto, a prática de fertirrigação pode contribuir tanto para aprimorar a qualidade dos alimentos quanto para beneficiar a saúde do solo.

Além disso, a aplicação de DLs vêm sendo estudada como biofertilizante em sistemas hidropônicos (Ronga *et al.*, 2018; Van Rooyen; Nicol, 2022; Weimers *et al.*, 2022). Nos sistemas hidropônicos todos os nutrientes essenciais em níveis suficientes devem ser fornecidos pelo biofertilizante durante todo o ciclo de cultivo, pois não possuem a microbiota do solo (Lind *et al.*, 2021; Van Rooyen; Nicol, 2022; Weimers *et al.*, 2022). Mesmo assim, estudos de Lind *et al.* (2021) e Ronga *et al.* (2018, 2019) demonstraram que o DL foi capaz de suprir as necessidades nutricionais das plantas estudadas. Uma outra perspectiva de aplicação do DL é no controle biológico para inibir a proliferação de bactérias, fungos e vírus no solo. Wang *et al.* (2023), destacam que as substâncias biologicamente ativas, como ácidos orgânicos, vitaminas e hormônios, têm a capacidade de inibir a proliferação desses microrganismos. Além disso, uma elevada concentração de NH_4^+ apresenta o potencial de ser prejudicial a pragas e bactérias patogênicas. Estudos de Feng *et al.* (2011), mostram que o digestato podem ser usados em 13 plantas, 23 doenças e 14 diferentes controles de pragas. Estudos realizados por Cao *et al.* (2016), observaram que quando DL foi aplicado em plantas de melancia, foi observado um efeito inibitório substancial sobre a murcha causada por *Fusarium oxysporum* e o índice da doença foi reduzido em 36,4% em comparação com o tratamento controle. Oldani *et al.* (2023), avaliou a aplicação de DL oriundo de esterco de amíbios para a redução de nematoides no solo em plantações de tomate, os resultados demonstram alta mortalidade dos nematoides em 14 dias.

A aplicação dos DLs na agricultura apresenta diversas vantagens como a promoção da resistência das plantas às pragas transmitidas pelo solo (Oldani *et al.*, 2023), fechamento do ciclo dos nutrientes, que são fatores-chave para a compreensão de uma agricultura sustentável baseada na recuperação e reutilização de resíduos (Castellano *et al.*, 2023). Considerando as crescentes preocupações em relação à agricultura sustentável, à saúde do solo e à preservação ambiental, é fundamental reconhecer a importância dos DLs na regeneração do solo e no aumento da produtividade das culturas. Além disso, os DLs têm o potencial de contribuir para a redução do uso de fertilizantes minerais, fortalecendo a sustentabilidade e promovendo a economia circular

4 CONCLUSÃO

A recuperação dos nutrientes presentes nos DLs na agricultura é amplamente difundida na literatura, evidenciando inúmeros benefícios para o solo e para as plantas. Diversas aplicações agrícolas foram identificadas para os DLs, sendo mais comuns como biofertilizantes em solo e corretivos de solo. No entanto, lacunas científicas foram identificadas, em relação a falta de informações detalhadas sobre o tratamento de sementes e a escassez de estudos abordando sistemas hidropônicos. A predominância dos estudos que avaliam a eficiência dos DLs em solos agrícolas pode ser atribuída à facilidade de aplicação nesse ambiente, geralmente próximo a estações de tratamento de resíduos, além da considerável quantidade de DLs gerados. Essa prática alinha-se com as estratégias de gestão de resíduos, sustentabilidade agrícola, economia circular e geração de créditos de carbono. Além disso, a temática desse estudo está alinhando com os objetivos de desenvolvimento sustentáveis (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU) na agenda 2030.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e a Universidade de Passo Fundo (UPF).

6 REFERÊNCIAS

ALBURQUERQUE, J. A. et al. Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European Journal of Agronomy*, v. 43, p. 119–128, 2012.



- BULIGON, E. L. et al. Fertilizer Performance of a Digestate from Swine Wastewater as Synthetic Nitrogen Substitute in Maize Cultivation: Physiological Growth and Yield Responses. **Agriculture** (Switzerland), v. 13, n. 3, 2023.
- CAO, Y. et al. Soil chemical and microbial responses to biogas slurry amendment and its effect on Fusarium wilt suppression. **Applied Soil Ecology**, v. 107, p. 116–123, 2016.
- CARDELLI, R. et al. Short-term effects on soil of biogas digestate, biochar and their combinations. **Soil Research**, v. 56, n. 6, p. 623–631, 2018.
- CASTELLANO, A., et al. The effect of fertilization with microfiltered liquid digestate on the quality parameters of Citrus fruits. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, p. 1128103, 2023.
- CHEONG, J. C. et al. Closing the food waste loop: Food waste anaerobic digestate as fertilizer for the cultivation of the leafy vegetable, xiao bai cai (*Brassica rapa*). **Science of the Total Environment**, v. 715, 2020.
- DENG, Liangwei et al. Treatment and utilization of swine wastewater—A review on technologies in full-scale application. **Science of The Total Environment**, v. 880, p. 163223, 2023.
- DOYENI, M. O. et al. The effectiveness of digestate use for fertilization in an agricultural cropping system. **Plants**, v. 10, n. 8, 2021.
- FENG, Hui et al. The resource utilization of anaerobic fermentation residue. **Procedia Environmental Sciences**, v. 11, p. 1092-1099, 2011.
- FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, M. J. et al. Reuse of the digestate obtained from the biomethanization of olive mill solid waste (OMSW) as soil amendment or fertilizer for the cultivation of forage grass (*Lolium rigidum* var. *Wimmera*). **Science of the Total Environment**, v. 792, 2021.
- GUILAYN, Felipe et al. Valorization of digestates from urban or centralized biogas plants: a critical review. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 19, p. 419-462, 2020.
- GURMESSA B. et al. Short term effects of digestate and composted digestate on soil health and crop yield: Implications for sustainable biowaste management in the bioenergy sector. **Science of the Total Environment**, v. 906 167208, 2024.
- HAGOS, K. et al. Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 1485–1496, 2017.
- HERBES, C. et al. Economic assessment of different biogas digestate processing technologies: A scenario-based analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 255, 2020.
- ISHFAQ, M. et al. Improvement of nutritional quality of food crops with fertilizer: a global meta-analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 43, n. 6, 2023.
- JIN, K. et al. Agro-environmental sustainability of using digestate fertilizer for solanaceous and leafy vegetables cultivation: Insights on fertilizer efficiency and risk assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 320, 15 out. 2022.
- KITTESSA, W. M.; FUFU, F.; ABERA, D. Biogas Production and Biofertilizer Estimation from Anaerobic Co-Digestion of Blends of Wastewater and Microalgae. **International Journal of Chemical Engineering**, v. 2022, p. 1–10, 2022.
- KNAPP, S. et al. Organic cropping systems maintain yields but have lower yield levels and yield stability than conventional systems – Results from the DOK trial in Switzerland. **Field Crops Research**, v. 302, 15 out. 2023.
- LIND, P. et al. Biogas Digestate in Vegetable Hydroponic Production: pH Dynamics and pH Management by Controlled Nitrification. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 1, p. 123–133, 2021.
- LU, Jin; XU, Suyun. Post-treatment of food waste digestate towards land application: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 303, p. 127033, 2021.
- MIKULA, K. et al. Efficient anaerobic digestate valorization: Nutrient recovery strategy for enhancing soil fertility in arid agricultural regions. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 11, n. 5, 2023.
- MUKHTIAR, Asif et al. Role of biogas slurry to reclaim soil properties providing an eco-friendly approach for crop productivity. **Bioresource Technology Reports**, p. 101716, 2023.
- OLDANI, E. et al. Biogas digestate as potential source for nematicides. **Environmental Technology and Innovation**, v. 29, 2023.
- PAGLIACCIA, D. et al. Two Food Waste By-Products Selectively Stimulate Beneficial Resident Citrus Host-Associated Microbes in a Zero-Runoff Indoor Plant Production System. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 2020.
- PARRA-OROBIO, B. A. et al. Physicochemical, microbiological characterization and phytotoxicity of digestates produced on single-stage and two-stage anaerobic digestion of food waste. **Sustainable Environment Research**, v. 31, n. 1, 2021.
- RONGA, D. et al. Testing the influence of digestate from biogas on growth and volatile compounds of basil (*Ocimum basilicum* L.) and peppermint (*Mentha x piperita* L.) in hydroponics. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 11, p. 18–26, 2018.
- RONGA, D. et al. Effects of solid and liquid digestate for hydroponic baby leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation. **Scientia Horticulturae**, v. 244, n. March 2018, p. 172–181, 2019.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- SCAGLIA, B.; POGNANI, M.; ADANI, F. The anaerobic digestion process capability to produce biostimulant: the case study of the dissolved organic matter (DOM) vs. auxin-like property. **Science of the Total Environment**, v. 589, p. 36–45, 2017.
- SIMIONI, T. et al. Use of Tannery Waste Anaerobic Digestate as Agricultural Fertilizer: An Analysis of Oat Growth and Soil Fertility. **Waste and Biomass Valorization**, v. 14, n. 4, p. 1197–1206, 1 abr. 2023.
- SONG, S. et al. Food-waste anaerobic digestate as a fertilizer: The agronomic properties of untreated digestate and biochar-filtered digestate residue. **Waste Management**, v. 136, p. 143–152, 2021.
- SOUMARE, Abdoulaye et al. From isolation of phosphate solubilizing microbes to their formulation and use as biofertilizers: status and needs. **Frontiers in bioengineering and biotechnology**, v. 7, p. 425, 2020.
- VAN ROOYEN, I. L.; NICOL, W. Nitrogen management in nitrification-hydroponic systems by utilizing their pH characteristics. **Environmental Technology and Innovation**, v. 26, p. 102360, 2022.
- WANG, Z. et al. Developments and Prospects of Farmland Application of Biogas Slurry in China—A Review. **Microorganisms**, v. 11, n. 11, p. 2675, 2023.
- WEIMERS, K. et al. Liquid Anaerobic Digestate as Sole Nutrient Source in Soilless Horticulture—Or Spiked With Mineral Nutrients for Improved Plant Growth. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1–13, 2022.
- XU, M. et al. Effect of biogas slurry addition on soil properties, yields, and bacterial composition in the rice-rape rotation ecosystem over 3 years. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, n. 5, p. 2534–2542, 2019.
- YANG, W. J. et al. Carbon quantum dots (CQDs) nanofiltration membranes towards efficient biogas slurry valorization. **Chemical Engineering Journal**, v. 385, 2020.
- ZHANG, H. et al. Effects of Biogas Slurry Combined With Chemical Fertilizer on Soil Bacterial and Fungal Community Composition in a Paddy Field. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, 2021.
- ZHAO, Yan et al. Effects of biogas slurry pretreatment on germination and seedling growth of *Vicia faba* L. **Advanced Materials Research**, v. 955, p. 208-212, 2014.



Área: Bioinsumos Agrícolas

EFICÁCIA DA OZONIZAÇÃO EM MEIO DE CULTIVO PARA A PRODUÇÃO DE BIOINSUMOS *ON FARM*

Gustavo Concolato^{1*}, Alisson Santa Catarina², Geovanna Fracaro³, Daniela Dal Castel Krein⁴, Jeferson Stefanello Piccin^{1,2,3}, Aline Dettmer^{1,2}

¹Curso de Engenharia Química, Instituto de Tecnologia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS.

²Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola de Ciências Agrárias, Inovação e Negócios, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS.

³Programa de Pós Graduação em Agronomia, Escola de Ciências Agrárias, Inovação e Negócios, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS.

⁴Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

*E-mail: 184095@upf.br

RESUMO – A demanda mundial por alimentos é crescente e gera um impacto na produção agrícola. Além disso, há uma preocupação com o uso excessivo de defensivos químicos, que são prejudiciais para o meio ambiente e para a saúde humana. Os microrganismos, na forma de bioinsumos, se tornam uma alternativa sustentável e economicamente viável, em especial quando produzidos na modalidade *On farm*, reduzindo os custos de produção para o produtor rural. Contudo, é necessário cuidado com este modo de produção, uma vez que contaminações indesejadas podem apresentar risco biológico. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é avaliar a eficácia da ozonização na esterilização do meio de cultivo em biorreator para multiplicação *On farm*. Os testes foram realizados em dois volumes diferentes, pelo tempo de 6 e 7 horas para 50 L, e 6 horas para 100 L. A eficácia na esterilização foi avaliada pelo método de contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC). Os testes apresentaram decréscimo no número de colônias com o passar do tempo, sugerindo que o tratamento possua efeitos sanitizantes no meio. Para a utilização em larga escala da ozonização, é necessário que sejam feitos maiores estudos a fim de comprovar a eficácia do tratamento, avaliando a formação de microbolhas, a concentração inicial de contaminantes e o tempo necessário para a realização da esterilização.

Palavras-chave: *On farm*; agricultura sustentável; controle biológico; ozônio; esterilização.

1 INTRODUÇÃO

O avanço na produção industrial, em especial da indústria alimentícia, ocorre em paralelo com o crescimento populacional e o aumento na demanda por comida. A agricultura tem um papel essencial nesse processo, além de ser um reflexo dos aspectos cultural, econômico e social que está presente desde o início da humanidade; dessa maneira, obter formas de manter a produção de acordo com a demanda, de forma lucrativa e sustentável, combatendo pestes e doenças é de extrema importância (Oliveira et al., 2023).

O uso de pesticidas sintéticos apresenta um impacto não apenas para a fauna e a flora no entorno das plantações, como também para as comunidades rurais próximas, bem como para quem consome os alimentos (Oliveira et al., 2023). Assim, um fator chave para diminuir o impacto ambiental de agrotóxicos é optar por alternativas com foco mais sustentável, e vários estudos já apontam para o uso de bioinsumos (Oliveira et al., 2023; Oliveira Jr., 2021).

Os bioinsumos são produtos feitos a partir de vegetais, animais ou microrganismos, e utilizados em sistemas de cultivo agrícola para o controle de pragas e doenças, fertilizar o solo e aumentar a biodisponibilidade de nutrientes para as plantas (Amaral, 2022; Figueira e Batista, 2022; Moreira et al., 2022; Rotilli Jr., 2022).

Esse produto apresenta uma promessa tecnológica, em especial os microrganismos, que se apresentam como um conjunto de células que atuam como agentes biológicos na bioestimulação, biofertilização e no controle de pragas e doenças, além de também ser considerado um manejo que auxilia a diminuir os casos de resistência das mesmas (Rotilli Jr, 2022). Contudo, é necessário um manejo adequado dos insumos biológicos, devido a possível presença de toxinas microbianas e outros metabólitos, substâncias alergênicas, contaminações patogênicas indesejadas, entre outros (Santos et al., 2020).



A produção *On farm* de insumos biológicos vem crescendo como uma alternativa aos pesticidas, não apenas como um caminho mais sustentável, mas também devido ao alto custo desses defensivos químicos (Amaral, 2022; Oliveira Jr., 2021). Esta tecnologia trata-se da multiplicação de microrganismos com efeito agrônomico na propriedade rural em que serão aplicados (Amaral, 2022; Oliveira Jr., 2021). Essa prática se encontra em crescimento no Brasil, tendo em vista as recentes legislações, como o Programa Nacional de Bioinsumos, de 2020, e mais recente, a aprovação do Projeto de Lei 3.668/2021 que visa a transição do uso de defensivos químicos para bioinsumos, trazendo incentivos fiscais e tributários para agricultores (Brasil, 2023a; Amaral, 2022).

Além de ser uma prática sustentável, ela permite ao produtor, a partir da aquisição de biofábricas (biorreator), cepas de microrganismos e meio de cultura, produzir seu próprio bioinsumo a um baixo custo (Rotilli Jr, 2022; Santos et al., 2020). Entretanto, um problema a ser enfrentado é o fato do sistema não ser totalmente estéril, dessa forma, por mais que seja adicionado o microrganismo alvo, ainda assim haverá a presença de outros provenientes da água, do ar e do próprio meio de cultura (Santos et al., 2020). A presença de um microrganismo contaminante, seja na forma vegetativa ou esporulada, pode botar em risco o lote de produto, anulando seu efeito agrônomico e, por vezes, colocando em risco a saúde humana (Santos et al., 2020).

Sendo assim, além de técnicos capacitados para auxiliar os produtores no manuseio, é preciso aplicar métodos de esterilização no biorreator, seja com a realização de CIP, utilizando produtos químicos contendo hipoclorito, com o uso de vapor superaquecido ou de gases desinfetantes, como o ozônio (Epelle et al., 2023; Moreira et al., 2022; Santos et al., 2020)

O ozônio (O_3) é um gás altamente oxidante, se tornando danoso para muitos microrganismos, tendo o seu uso como desinfetante datado desde o século XIX, em uma estação de tratamento de esgoto na Holanda (Epelle et al., 2023; Soares, 2007). Além de ser um desinfetante potente, possui um apelo sustentável, uma vez que rapidamente se decompõe para oxigênio (O_2), tanto em ar quanto em meio aquoso, diferentemente do gás cloro, que gera subprodutos tóxicos após esterilização (Epelle et al., 2023).

Na água, o ozônio pode ser aplicado por borbulhamento, mas por ser pouco solúvel, necessita de cuidado quanto a concentração adequada para esterilização; ainda assim, as bolhas de gás que acabam sendo criadas também possuem propriedades antimicrobianas, em especial quando estouram na superfície do meio (Epelle et al., 2023). Durante a ozonização em meio aquoso, o ozônio se decompõe em radicais (hidroxilas) que reagem com as partes orgânicas presentes, convertendo-as em moléculas biodegradáveis menores (Pei et al., 2015). Contudo, a sua efetividade em meio aquoso também é afetada por parâmetros como pH, condutividade, composição orgânica, natureza do microrganismo, método de geração e dosagem (Epelle et al., 2023; Pei et al., 2015).

Diante desse contexto, o presente trabalho visa analisar a eficácia da esterilização do meio em equipamentos utilizados na produção *On farm* de microrganismos através do uso de gás ozônio (ozonização).

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados três testes de ozonização em um tanque biorreator (Indupropil, Brasil) em polipropileno, utilizado para produção de bioinsumos *On farm*, com capacidade para 100 L, auto-refrigerado e sem a realização de CIP antes do procedimento. Nos testes de 50 L, foi utilizado um meio de cultura padrão ($2,5 \text{ g.L}^{-1}$ de extrato de levedura; $2,5 \text{ g.L}^{-1}$ de extrato de soja; 2 g.L^{-1} de sulfato de amônio; 1 g.L^{-1} de fosfato de potássio; $7,5 \text{ g.L}^{-1}$ de açúcar), sem esterilização. O tempo de ozonização foi de 7 e 6 horas para a realização dos testes. Um terceiro teste foi realizado utilizando 100 L de água no biorreator, o teste foi conduzido após uma multiplicação de *B. subtilis* sem realização de CIP no biorreator. Desta forma, não foi utilizado meio de cultura, visto que já havia presença de microrganismos. A ozonização do meio líquido ocorreu durante o período de 6 horas.

Para todos os casos, a bomba de processo foi acionada por 10 minutos antes da coleta da primeira amostra (T_0) para a homogeneização do meio. O ozonizador, de marca ALVAP modelo AV200AR, foi montado na parte externa do biorreator, recebendo ar comprimido de um compressor odontológico, de marca MOTOMIL modelo CMO 8/50 BR, que passa por um filtro HEPA e injeta ozônio no meio, com pressão de 1 bar.

As amostras foram coletadas a cada hora, a partir da coleta inicial, e plaqueadas em meio Ágar Nutriente (AN), em diferentes diluições. Para a determinação das Unidades Formadoras de Colônia (UFC/mL), as placas foram armazenadas em estufa a $30 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o primeiro teste, com 50 L de meio e 7 horas de ozonização, a contagem de colônias formadas foi em números inferiores a 10 colônias por diluição, o que dificultou a avaliação das placas e do crescimento de colônias, uma



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

vez que as contaminações presentes cresceram de forma irregular. Contudo, foi possível observar que T0 apresentou crescimento superior às demais placas. Ambas as placas para as duas horas finais, contendo T6 e T7, não apresentaram crescimento, mesmo com o meio puro (sem diluição). O que nos sugere que o tratamento possuiu efeito sobre o microrganismo.

Para o segundo teste, também com 50 L de meio, foi possível realizar a contagem de colônias, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Contagem de microrganismos em UFC/mL para o teste de ozonização no volume de 50 L

Tempo	UFC/mL
T0	1,10E+04
T1	1,10E+04
T2	1,25E+04
T3	6,20E+04
T4	1,45E+05
T5	3,00E+05
T6	9,00E+05

Diferentemente dos resultados apresentados no primeiro teste com 50 L de meio, o segundo teste apresentou crescimento de colônias em todos os tempos coletados, ocorrendo inclusive, aumento na contagem, o que demonstrou que a eficiência da ozonização no segundo momento não foi conforme o esperado, e também, que não ocorreu em linearidade com o primeiro teste realizado. Com o resultado obtido, algumas hipóteses de causas para este efeito podem ser construídas. Primeiramente a ozonização pode não ter sido efetiva por conta da má formação de microbolhas no líquido, considerando um maior volume de líquido, afetando assim a ação oxidativa do ozônio. Outra hipótese é que o meio de cultura no segundo teste estava mais contaminado do que no primeiro, o que ocasionou em um melhor resultado no teste inicial. Para a segunda hipótese, sugere-se que seja avaliada a contaminação do meio puro, sem diluição para fins de comparação da eficiência do tratamento.

Para o terceiro teste realizado com 100 L, foi possível realizar a contagem, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Contagem de microrganismos em UFC/mL para o teste de ozonização no volume de 100 L

Tempo	UFC/mL
T0	3,10E+05
T1	-
T2	2,27E+04
T3	1,57E+04
T4	1,27E+04
T5	2,00E+04
T6	1,52E+04

Diferentemente dos testes de 50 L, o maior crescimento foi para T1, não sendo possível realizar a contagem nas diluições feitas devido a aglomeração das colônias. Entretanto, o teste apresentou melhor resultado se comparado ao



segundo teste com 50 L realizado, apresentando um decréscimo no crescimento das colônias ao longo do tempo, mas ainda assim não representa um resultado oportuno. Uma possível explicação para ainda existir contaminação no biorreator após 6 horas de exposição, é em relação ao volume, que provavelmente demanda maior tempo de contato para uma maior eficácia, além da concentração de microrganismos ser alta, tendo em vista que o teste foi realizado após uma multiplicação, sem realização de CIP.

No Brasil, ainda não há legislação em relação à concentração de microrganismos presentes em meio de cultivo para produção *on farm*. Contudo, para inoculantes, de acordo com a IN 13/2011 (Brasil, 2011) não deve haver a presença de contaminação em diluições de até 1.10^{-5} . Já para biodefensivos, não é estabelecido um valor máximo, porém, alguns microrganismos que causam problemas à saúde humana possuem alguns parâmetros, como *Salmonella sp.* (ausência em 25g ou mL), coliformes termotolerantes (concentração máxima de 1.10^3 UFC/g ou UFC/mL), *Staphylococcus coagulase* positiva (concentração máxima de 1.10^3 UFC/g ou UFC/mL) e *Bacillus cereus* (concentração máxima de 1.10^7 UFC/g ou UFC/mL), que são apontados pela Portaria Conjunta MAPA/IBAMA/ANVISA nº 1/2023 (Brasil, 2023b). Assim, os dados obtidos no ensaio não se encaixam nesses parâmetros, sendo necessário avaliar variáveis como tempo de contato e vazão de gás para uma esterilização mais eficiente.

4 CONCLUSÃO

O uso da técnica de ozonização se mostrou parcialmente eficaz em diminuir a concentração de microrganismos no meio de cultura em um biorreator de produção *on farm*, principalmente em menor volume (50 L). Com os resultados obtidos, observou-se que, para 50 L de meio, 6 horas de exposição com o gás ozônio demonstraram, no primeiro teste, inibir a presença de microrganismos contidos no meio, desde que o meio possua baixa concentração de contaminantes. Já para o teste em 100 L, não foi possível observar uma redução eficaz na concentração microbiana, demonstrando que um maior volume requer mais tempo de contato e/ou vazão de gás.

Apesar da utilização da técnica de ozonização se mostrar parcialmente eficaz, é necessário que sejam realizadas melhorias de processo para utilização, como por exemplo otimização da injeção de ozônio no meio de forma que se obtenha garantia da formação de microbolhas, fazendo com que os efeitos sanitizantes do gás sejam garantidos e eficientes. Da mesma maneira, é necessário realizar estudos referentes à viabilidade do uso da técnica, analisando gastos da operação e comparando com outros métodos de esterilização de meios, como por exemplo autoclavagem.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código Financeiro 001, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do RS (FAPERGS) pela bolsa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica e Inovação - PROBIC/PROBITI, a Bolsa MCTI/FINEP/FNDCT, subvenção econômica à inovação 09/2022, a empresa SemioCrop pelos equipamentos e à Universidade de Passo Fundo pelo espaço cedido a pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

- AMARAL, D. F. S. **PRODUÇÃO ON FARM DE INSUMOS BIOLÓGICOS NO BRASIL: BENEFÍCIOS, RISCOS E TENDÊNCIAS**. 2022. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2022.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 13, de 24 de março de 2011. Aprova as normas sobre especificações, garantias, registro, embalagem e rotulagem dos inoculantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 mar. 2011.
- BRASIL. Senado Federal. **Comissão de Meio Ambiente aprova marco jurídico de bioinsumos**. Sítio eletrônico. 2023a. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2023/09/13/comissao-de-meio-ambiente-aprova-marco-juridico-de-bioinsumos>. Acesso em: 19 fev. 2024.
- BRASIL. Portaria Conjunta SDA/MAPA/IBAMA/ANVISA nº 1, de 10 de abril de 2023. Estabelece procedimentos a serem adotados para o registro de produtos microbiológicos empregados no controle de pragas ou como desfolhantes, dessecantes, estimuladores, inibidores de crescimento. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2023b. Seção 1, p. 7.
- EPELLE, E. I.; MACFARLANE, A.; CUSACK, M.; BURNS, A.; OKOLIE, J. A.; MACKAY, W.; RATEB, M.; YASEEN, M. Ozone application in different industries: A review of recent developments. **Chemical Engineering Journal**, v. 454, p. 140188, 2023



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- FIGUEIRA, C. R. S.; BATISTA, D. G. BIOINSUMOS NA CULTURA DE SOJA: ALTERNATIVA BIOLÓGICA PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL. *Revista Innovatio*, v. 2, p. 63-75, 2022.
- SOARES, L. V. **Ozonização de esgoto sanitário: estudo da hidrodinâmica, transferência de massa e inativação de microrganismos indicadores**. 2007. 285 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- MOREIRA, V. A. R.; VIDOTTO, J. C. D.; AGUIAR, A. B. Q.; BAGAGLI, M. P. AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DA HIGIENIZAÇÃO COM SOLUÇÃO DE HIPOCLORITO EM REATORES PARA A PRODUÇÃO ON-FARM. In: **13º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP**. 2022.
- OLIVEIRA, V. C.; MELO, L. D. F. A.; MELO JR, J. L. A.; MASSAHUD, R. T. R.; GRUGIKI, M. A. Bioinputs and organic production in Brazil: a study based on the Embrapa's Bioinsumos application. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 53, p. e76326, 2023.
- OLIVEIRA JR, F. V. **ACOMPANHAMENTO DA MULTIPLICAÇÃO ON FARM DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO E SUA EFICIÊNCIA NA CULTURA DO MILHO EM EMPRESA DE BIOINSUMOS NO OESTE DA BAHIA**. 2021. 43 f. Relatório de Estágio Supervisionado (Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.
- PEI, J.; YAO, H.; WANG, H.; SHAN, D.; JIANG, Y.; MA, L.; YU, X. Effect of ultrasonic and ozone pre-treatments on pharmaceutical waste activated sludge's solubilisation, reduction, anaerobic biodegradability and acute biological toxicity. *Bioresource Technology*, v. 192, p. 418-423, 2015.
- ROTILLI JR, R. **DESEMPENHO DA CULTURA DA SOJA PRODUZIDA COM O USO DE PRODUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS ON FARM PARA O CONTROLE DE PRAGAS E DOENÇAS**. 2022. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Três Passos, 2022.
- SANTOS, A. F. J.; DINNAS, S. S. E.; FEITOSA, A. F. A. QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DE BIOPRODUTOS COMERCIAIS MULTIPLICADOS ON FARM NO VALE DO SÃO FRANCISCO: DADOS PRELIMINARES. *Enciclopédia Biosfera*, v. 17, n. 34, 2020.



Área: Bioinsumos agrícolas

PERSPECTIVAS E DESAFIOS NO USO DE BIOINSUMOS NA AGRICULTURA BRASILEIRA

**Daniela Dal Castel Krein^{1*}, Geovanna Fracaro², Alisson Santa Catarina³, Aline Dettmer³,
Guilherme Luiz Dotto¹, Luciane Maria Colla^{2,3}, Jeferson Stefanello Piccin^{2,3}**

¹Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

²Programa de Pós Graduação em Agronomia, Escola de Ciências Agrárias, Inovação e Negócios, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS.

³Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola de Ciências Agrárias, Inovação e Negócios, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS.

**E-mail: kreindaniela@gmail.com*

RESUMO – Os bioinsumos têm ganhado destaque na agricultura moderna brasileira devido à sua capacidade de promover o crescimento das plantas, aumentar a resistência a pragas e doenças e melhorar a qualidade dos solos, refletindo na busca por práticas agrícolas mais sustentáveis. No entanto, apesar das vantagens, o uso de bioinsumos ainda enfrenta desafios significativos. Um dos principais obstáculos é a falta de conhecimento técnico sobre esses produtos por parte dos agricultores, o que pode levar a uma utilização inadequada e à subestimação de seus benefícios. Além disso, questões relacionadas à regulamentação e certificação dos bioinsumos ainda estão em desenvolvimento no Brasil, o que pode gerar incertezas sobre sua eficácia e segurança. Com o objetivo de esclarecer a situação desta tecnologia, este artigo relata as oportunidades e desafios acerca da aplicação de agentes biológicos e seus reflexos na agricultura brasileira. Através da análise bibliométrica realizada, é possível observar que existem muitas lacunas acerca do tema, principalmente ao que se refere às legislações e aos incentivos para promover o uso de bioinsumos.

Palavras-chave: Biopesticida. Biofertilizante. Agricultura sustentável. Produtividade.

1 INTRODUÇÃO

A partir dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela ONU (2015), diversas iniciativas têm sido discutidas para transitar da agricultura atual até uma agricultura mais sustentável. No intuito de garantir à população alimentos não só em quantidade, mas também em qualidade, a adoção de práticas agrícolas menos agressivas ao meio ambiente é um ponto chave. Dentre as alternativas, a substituição parcial ou total de agroquímicos por agentes biológicos, também chamados de bioinsumos, tem ganhado destaque.

Os bioinsumos são produtos de origem natural, derivados de micro ou macrorganismos. Estes bioprodutos podem ser divididos em três categorias: biopesticidas, bioestimulantes e biofertilizantes. Eles diferem na finalidade de uso e no mecanismo de ação que consistem na proteção, melhoramento e nutrição das culturas (Chojnacka, 2015). Pesquisas recentes têm evidenciado que a utilização de bioinsumos pode trazer vantagens além do biocontrole de patógenos, atuando como bioestimulantes visto que, a simbiose entre as plantas e microrganismos benéficos pode fortalecer a resistência das plantas diante de estresses ambientais, auxiliar na disponibilidade de nutrientes, na eficiência da fixação biológica de nitrogênio e ainda, impulsionar o crescimento vegetal, o que leva a melhorias no rendimento e na qualidade dos alimentos produzidos (Souza *et al.*, 2022; Jiménez *et al.*, 2023).

Segundo dados levantados pela Kynetec (2023), o mercado de produtos destinados à agricultura baseados em microrganismos, movimentou US\$827 milhões na safra 2022/2023 no Brasil, o que corresponde a 10,2 milhões de hectares com aplicação de controle biológico. Na safra de 21/22 o mercado de biológicos teve um aumento de 67% em comparação com a safra de 20/21. Enquanto isso, o mercado de produtos químicos cresceu apenas 33% neste mesmo período (Kynetec, 2023).

Somado ao crescente uso de insumos biológicos, também se tem observado uma procura pelo modo *On Farm* de produção, que descreve a produção destes insumos dentro da própria fazenda. A tecnologia de produção *On Farm* tem atraído um número crescente de agricultores, atraindo também empresas que vão desde *startups* de biotecnologia a empresas agroquímicas multinacionais que procuram diversificação no portfólio de seus produtos (Goulet, 2023).



Ademais, sociedade civil e Estado também se manifestam favoráveis às mudanças, como por exemplo, estímulos à agricultura orgânica. A partir do ano de 2003, o governo federal deu o primeiro aceno com a lei dos orgânicos que em 2011 acarretaria reflexos positivos após o estabelecimento dos procedimentos para registro de bioinsumos. Em 2020 os defensivos agrícolas de controle biológico, registrados pelo MAPA, totalizaram 265 produtos, que vão desde bioacaricidas, bioinseticidas e biofungicidas (Sousa Baldas *et al.*, 2021).

O mercado de bioinsumos, desta forma, já proporciona benefícios para a sociedade, oferecendo alternativas aos sistemas produtivos para solucionar problemas como a forte dependência de insumos químicos importados, altos custos de produção e a ausência de empresas/biofábricas produtoras de bioinsumos nas regiões norte, nordeste e centro-oeste, questões que serão beneficiadas com a implantação do Programa Nacional de Bioinsumos (Carvalho Vidal *et al.*, 2021).

Segundo Carvalho Vidal (2021) a tecnologia sustentável enaltecida pelo Programa Nacional de Bioinsumos traz soluções para fomentar os setores produtivos promovendo bioeconomia, desenvolvimento regional gerando emprego renda e novas possibilidades às cadeias produtivas brasileiras com ênfase à longevidade dos sistemas de cultivos. Tendo em vista estas considerações, o objetivo deste artigo é demonstrar o panorama atual sobre os bioinsumos, destacando sua importância como uma ferramenta para a construção de uma agricultura mais sustentável.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A busca por artigos relacionados à bioinsumos foi baseada em um levantamento de termos na base de dados Scopus, onde foi utilizada uma combinação entre os termos “biofertilizer”, “biostimulant”, “biopesticide”, “market” e “perspectives” nas palavras-chave do autor. Além disso, foi filtrado o ano de publicação dos artigos, para que preferencialmente, o ano de publicação fosse posterior a 2018. A partir de uma seleção por parte dos autores, após a leitura dos títulos e resumos, esta revisão foi baseada em um total de 28 artigos.

Para a análise bibliométrica, foi utilizada a ferramenta Bibliometrix do software R (R Core Team) e a partir desta, foram apontados os principais tópicos e tendências relacionados ao tema central.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A aplicação de agroquímicos e fertilizantes minerais são estratégias para combater o aparecimento de pragas e doenças, além de garantir a demanda nutricional das culturas. Apesar de ser um país fortemente agrícola, o Brasil é responsável por importar mais de 80% dos fertilizantes e cerca de 104 mil toneladas de agroquímicos (Abiquim, 2022). Nos últimos anos, no entanto, impulsionados pela crise da Covid-19 e a guerra da Ucrânia, o preço destes insumos agrícolas dispararam, resultado de problemas logísticos e pelo receio de desabastecimento devido a sanções políticas. A ureia, por exemplo, que é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no país, teve um aumento de 45% no preço nos primeiros meses do conflito entre Ucrânia e Rússia (Seixas, 2022).

O alto custo dos insumos levou os produtores rurais a adotarem práticas mais econômicas, como a substituição de agroquímicos por produtos biológicos, os chamados bioinsumos. Além de competirem com os produtos convencionais, os bioinsumos, se manejados de forma adequada, trazem menor impacto ambiental, visto que, proporcionam um aumento da biodiversidade microbiana do solo, considerando que a qualidade do solo é um dos fatores limitantes para o cultivo das culturas (Mohammadi e Sohrabi, 2012; Souza *et al.*, 2022).

Os estudos Kynetec (2023) e S&P Global (2023) projetam que o mercado de bioinsumos permanecerá em expansão, podendo chegar ao valor de US\$25,66 bilhões globalmente até 2028 e de um valor próximo a R\$17 bilhões no Brasil, até 2030. Esse aumento considerável pode ser atribuído à necessidade de minimizar os danos causados às culturas em decorrência de estresses abióticos provocados pelo desequilíbrio das condições climáticas e a necessidade de reduzir a dependência do uso de insumos agroquímicos, fortalecendo os princípios da agricultura sustentável (Hamedani *et al.*, 2020).

Entre as principais cepas de microrganismos utilizadas como ingredientes ativos dos bioinsumos, encontram-se diversas espécies de bactérias do gênero *Bacillus* sp. Esses microrganismos podem ser aplicados com objetivo de induzir a resistência das plantas, promover o crescimento e ainda controlar patógenos, exercendo funções de bactericida, fungicida e nematocida em plantas (Monnerat *et al.*, 2020).

O fungo entomopatogênico do gênero *Beauveria* sp., também se destaca entre os principais microrganismos que já são utilizados, sendo indicado especialmente no controle do inseto cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*), um vetor de diversas doenças que prejudicam a cultura do milho (Rondot e Reineke, 2018). Desta forma, *Beauveria* sp., atua como um bioinseticida nas plantas (Dannon *et al.*, 2020). Outro microrganismo que vem ganhando destaque é o fungo filamentososo do gênero *Trichoderma* sp. Este fungo pode ser indicado para diferentes aplicações, pois possui



funções como promotor do crescimento vegetal, como biocontrolador de fitopatógenos, além de atuar como indutor de resistência das plantas (Bezerra *et al.*, 2019). Estudos demonstram que as espécies de *Trichoderma* sp. possuem ação contra diversos patógenos, mas se destaca perante ao fungos oportunistas do gênero *Fusarium* spp, que é um problema em culturas de frutas, hortaliças e grãos (Bezerra *et al.*, 2019; Montesinos *et al.*, 2021; Tiwari *et al.*, 2021).

Para a produção dos inóculos microbiológicos, existem diversas condições a serem consideradas, como a seleção do microrganismo apropriado para o objetivo desejado, o entendimento do perfil de crescimento desse microrganismo e a adequação das condições ideais para o crescimento satisfatório do inóculo. Além disso, a formulação do meio de cultura para o microrganismo, o método de aplicação e o armazenamento do produto, são fatores cruciais para o bom funcionamento de um produto biológico (Mohammadi e Sohrabi, 2012).

No Brasil, tendo em vista a importância que os bioinsumos podem promover não só no aumento da produtividade agrícola, mas também na saúde do solo, a regulamentação, no entanto, ainda não está clara. Através do Decreto nº 10.375/2020 foi instituído o Programa Nacional de Bioinsumos (PNB) (Brasil, 2020), que inicia uma discussão sobre os bioinsumos na agricultura brasileira. Na sequência, surge o PL 658/2021 (Brasil, 2021a), que abrange a produção de bioinsumos, especialmente voltado para a produção *On Farm*. No mesmo ano, também é proposto o Projeto de Lei (PL) nº 3.668/2021 (Brasil, 2021b), que define e dispõe sobre a pesquisa, registro, produção e comercialização, além de incentivos, fiscalização e exigências para a produção e venda de bioinsumos. No entanto, uma definição sobre normas para controle de qualidade que engloba parâmetros para garantir a biossegurança e eficiência agrônoma dos bioinsumos ainda não está estabelecida, sendo as referências atuais baseadas em disposições de outras regulamentações.

A falta de informações e padronização é entendida por alguns autores (Fenibo *et al.*, 2021) como um dos principais desafios para a utilização de bioinsumos nas propriedades rurais. A concentração mínima de microrganismos em produtos biológicos comerciais, por exemplo, não possui uma definição adequada até o momento. Para inoculantes que contenham microrganismos fixadores de nitrogênio e que estejam em simbiose com leguminosas, por exemplo, a concentração mínima é de 1.10^9 UFC, segundo a IN 13/2011 (Brasil, 2011). Para demais inoculantes, não há disponibilidade de dados acerca da concentração de ingredientes ativos. Para biodefensivos, também não há descrição da concentração mínima, visto que, neste caso, é necessário buscar por uma concentração eficiente contra o alvo. Abdel-Salam *et al.*, (2018) descrevem em seu estudo que maiores concentrações de *Bacillus amyloliquefaciens* não obtiveram maior controle sobre nematoides. Isso demonstra a importância da pesquisa em conjunto com as regulamentações a fim de promover produtos que sejam mais eficientes.

Em relação a presença de contaminantes, em inoculantes a IN 13/2011 (Brasil, 2011) descreve que deve haver ausência de contaminação até diluição 1.10^{-5} ; em biodefensivos, não há descrição de valores máximos, entretanto, alguns microrganismos considerados riscos à saúde humana como *Salmonella* sp. (ausência em 25g ou mL), coliformes termotolerantes (concentração máxima de 1.10^3 UFC/g ou UFC/mL), *Staphylococcus* coagulase positiva (concentração máxima de 1.10^3 UFC/g ou UFC/mL) e *Bacillus cereus* (concentração máxima de 1.10^7 UFC/g ou UFC/mL) são apontados pela Portaria Conjunta MAPA/IBAMA/ANVISA nº 1/2023 (Brasil, 2023).

Parâmetros como *shelf life*, ingrediente ativo, pureza (ausência de contaminantes) e concentração de células são algumas informações que devem estar descritas nos rótulos e comprovadas através de análises laboratoriais em laboratórios oficiais e credenciados aos órgãos de regulamentação. Para bioinoculantes, a recomendação é seguir a IN 30/2010 (Brasil, 2010), enquanto para biodefensivos, a Lei nº 4.074/2002 (Brasil, 2002) pode ser utilizada como referência.

A regulamentação dos bioinsumos pode auxiliar o Brasil na diminuição da dependência de importação de insumos agrícolas e garantir a padronização da fabricação destes produtos, principalmente na modalidade *On Farm*. O desenvolvimento sustentável aplicado à agricultura ocorrerá somente quando a produtividade das culturas, proteção do meio ambiente, tecnologia e aspectos socioculturais estiverem em equilíbrio (Fenibo *et al.*, 2021). Logo, a definição e implantação de políticas públicas associadas aos bioinsumos se faz urgente, inclusive para o atendimento dos ODS propostos pela Agenda 2030 (ONU, 2015). Dos 17 objetivos listados pela iniciativa, cerca de 8 estão diretamente ligados à agricultura sustentável.

A utilização de microrganismos na fertilização de terras e no combate de pragas e doenças é uma alternativa promissora (ODS 9 - inovação) para elevar a produtividade das lavouras e garantir alimentos seguros, contribuindo para uma disponibilidade maior de alimentos à sociedade (ODS 1 - Erradicação da pobreza; ODS 2 - Fome zero). Ao aplicar bioinsumos em terras agricultáveis, estimula-se eventos biológicos importantes através da criação de uma condição de ocupação de nichos ecológicos por microrganismos benéficos para a planta e para o solo. Assim, ao ter uma comunidade estabelecida, a probabilidade um patógeno se estabelecer é diminuída, dado que, um aumento na comunidade microbiana benéfica coloca-a como competidor em relação ao patógeno. Outras reações bioquímicas como a fixação biológica de nitrogênio, bem como a liberação de compostos sideróforos pela planta via ação de



microrganismos, estimulam o crescimento e fortalecimento das culturas (Schommer *et al.*, 2023). Desta forma, a aplicação de agroquímicos e fertilizantes convencionais que podem trazer impactos negativos ao meio ambiente, como os processos de eutrofização e lixiviação de componentes, resistência de patógenos e acúmulo de moléculas inorgânicas no solo, é reduzida (ODS 6 - água potável e saneamento; ODS 12 - consumo e produção sustentáveis; ODS 13 - ação contra a mudança global de clima; ODS 14 - Vida na água; ODS 15 - vida terrestre).

Os incentivos ao uso de bioinsumos é uma forma de introduzir esta tecnologia em um maior número de propriedades rurais. A começar pela divulgação de *cases* positivos, destacando os resultados econômicos e ambientais alcançados. Ataei *et al.*, (2022) estudou sobre a intenção dos agricultores em usar biofertilizantes e concluiu que para aumentar a disposição dos agricultores em usar esta técnica, eles precisam entender que o uso destes produtos está sob seu próprio controle e que eles são capazes de aplicá-los em suas fazendas, sendo assim, a realização de cursos e workshops de formação, fazendas demonstrativas e a apresentação de experiências nacionais e internacionais bem-sucedidas, pode ser eficaz na melhoria da imagem dos biofertilizantes pelos agricultores. Os resultados deste estudo também podem ser aplicados para os bioinsumos no Brasil, assim aumentando o conhecimento dos agricultores sobre a natureza e os benefícios dos bioinsumos, trazendo também os desafios ambientais, da segurança das culturas, e a importância da sustentabilidade na agricultura.

Outro fator importante, é em relação aos incentivos financeiros através do estabelecimento de linhas de crédito e financiamentos para a aquisição de bioinsumos, principalmente para a modalidade On Farm que necessita de investimentos para a aquisição de equipamentos. O Plano Safra, um programa do Governo Federal do Brasil, ao que se refere a safra 2023/2024, estabeleceu descontos nos juros de subsídio àqueles agricultores que adotassem práticas para um manejo mais sustentável (MAPA, 2023). Com isso, o uso de bioinsumos é fortalecido através de medidas que auxiliam o agricultor a financiar seus custos de produção.

A criação de programas de certificação e reconhecimento aos agricultores que utilizam práticas agrícolas sustentáveis também deve ser estabelecida. À vista disso, a implantação de selos que identificam produtos agrícolas produzidos com bioinsumos, garante ao produtor rural o reconhecimento pelo seu trabalho, além de demonstrar ao consumidor a origem do produto que está consumindo.

Por fim, a execução de um manejo agrícola com práticas sustentáveis também auxilia na redução de gases de efeito estufa (GEE). A gestão de emissões de gases poluentes como óxido nitroso (NO₂) e dióxido de carbono (CO₂) pode retornar ao agricultor como créditos de carbono, uma métrica para certificar a redução de emissões na propriedade rural através do sequestro de carbono no solo. Considerando que a agricultura convencional, baseada no uso de fertilizantes minerais, é responsável por 31% da emissão de GEE, a substituição destes componentes por bioinsumos pode contribuir para a diminuição do impacto ambiental (Holka *et al.*, 2022). O carbono e o nitrogênio que seriam emitidos para a atmosfera são utilizados como fonte de energia pelos microrganismos, que sintetizam os elementos para reações bioquímicas (Osorio-Reyes *et al.*, 2023). Em resultados de análise comparativa das culturas de espinafre e abobrinha, sob condições de fertilização orgânica e mineral com e sem micorrizas, realizada por Hamedani *et al.* (2020), por exemplo, revelaram que as emissões equivalentes de CO₂ de ambas as culturas, foram reduzidas devido às aplicações de bioestimulantes. Essas descobertas demonstraram que os bioestimulantes a base de fungos micorrízicos e hidrolisados de proteínas, possuem a capacidade de reduzir a emissão de gases de efeito estufa na produção vegetal em condições de estufa. Além disso, a fertilização orgânica nas plantas de abobrinha aumentou a pegada de carbono total em 52% em comparação com a fertilização mineral.

Logo, a aplicação de bioinsumos pode ser revertida no formato de renda para os agricultores, através da compensação ou comercialização de créditos de carbono. Quando somado a outras práticas sustentáveis, o número de créditos de carbono na propriedade pode aumentar (Barbato e Forte, 2023).

O compromisso com a produção a base de microrganismos é visto pelos agricultores como uma questão de evitar a utilização sistemática de fatores de produção químicos, especialmente de pesticidas, devido aos seus efeitos nocivos para a saúde e o ambiente (Goulet, 2023). Em conjunto com a utilização de insumos biológicos também se observa nos agricultores a possibilidade de coexistência de tecnologias para a realização de manejos adequados na agricultura. Segundo o autor, na prática, a maioria dos agricultores aplica uma combinação de produtos químicos e microrganismos nas suas culturas ao mesmo tempo. Ao possuir as duas possibilidades de manejo, inclusive ao mesmo tempo, os agricultores se tornam mais autônomos para fazer seu manejo integrado de pragas evitando que ocorram perdas na produção e reduzindo o custo, obtendo maior lucratividade no momento da colheita.

4 CONCLUSÃO



Acompanhando as tendências de mercado, a aplicação de bioinsumos na agricultura tem crescido nos últimos anos devido às funcionalidades que um único microrganismo pode assumir. Desta forma, ocorre um estímulo na adoção de práticas mais sustentáveis no campo, além do aumento da produtividade através da manutenção e melhoramento da saúde do solo. No entanto, políticas públicas necessitam ser criadas para a padronização da produção destes insumos biológicos, principalmente ao que se refere a modalidade *On Farm* de produção. Para aderir a esta prática agrícola, certificações e créditos rurais também podem ser estimulados. Assim, o agricultor recebe retorno para custear sua produção, além de contribuir para a sustentabilidade no campo.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código Financeiro 001, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Bolsa MCTI/FINEP/FNDCT, subvenção econômica à inovação 09/2022 e as demais instituições parceiras (UFSM, UPF e SemioCrop).

6 REFERÊNCIAS

- ABDEL-SALAM, M.S.; AMEEN, H. H.; SOLIMAN, G.M.; ELKELANY, U.S.; ASAR, A.M. Improving the nematicidal potential of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Lysinibacillus sphaericus* against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* using protoplast fusion technique. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 28, p. 31, 2018.
- ATAEI, P.; KARIMI, H.; KLOCKNER, C. A.; ES'HAGLI, S. R.; ZAREI, R. The promotion of biofertilizer application on farms: Farmers' intentional processes. **Environmental Technology & Innovation**, v. 28, 2022.
- BARBATO, C.T., STRONG, A.L. Farmer perspectives on carbon markets incentivizing agricultural soil carbon sequestration. **NPJ Climate Action**, v. 2, p. 26, 2023.
- BEZERRA, G. A.; DIAS, V. M.; SANTOS, P. H. D.; AREDES, F. A. S.; & SILVEIRA, S. F. Identificação e seleção de espécies de *Trichoderma* spp. endofíticos de bromélias de restingas como agentes de biocontrole da fusariose em frutos de abacaxi. **Summa Phytopathologica**, v. 45 n. 2, p. 172–178, 2019.
- BRASIL. Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 4 jan. 2002.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 30, de 12 de novembro de 2010. Estabelece os métodos oficiais para análise de inoculantes, sua contagem, identificação e análise de pureza na forma desta Instrução Normativa. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 nov. 2010. Seção 1, p. 4.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 13, de 24 de março de 2011. Aprova as normas sobre especificações, garantias, registro, embalagem e rotulagem dos inoculantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 mar. 2011.
- BRASIL. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 mai. 2020. Seção 1, p. 105.
- BRASIL. Projeto de Lei 658. Dispõe sobre a classificação, tratamento e produção de bioinsumos por meio do manejo biológico on farm; ratifica o Programa Nacional de Bioinsumos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2021a.
- BRASIL. Projeto de Lei 658. Dispõe sobre a produção, a importação, o registro, a comercialização, o uso, a inspeção e fiscalização, a pesquisa e experimentação e os incentivos à produção e ao uso de bioinsumos para a agricultura e a silvicultura e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2021b.
- BRASIL. Portaria Conjunta SDA/MAPA/IBAMA/ANVISA nº 1, de 10 de abril de 2023. Estabelece procedimentos a serem adotados para o registro de produtos microbiológicos empregados no controle de pragas ou como desfolhantes, dessecantes, estimuladores, inibidores de crescimento. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2023. Seção 1, p. 7.
- CARVALHO VIDAL, M., FIRMINO SANTANA AMARAL, D., DIAS NOGUEIRA, J., ANTÔNIO TEIXEIRA MAZZARO, M., & MENDES CIPRIANO LIRA, V. **Economic Analysis of Law Review** (Vol. 12). 2021



- CHOJNACKA, K. Innovative bio-products for agriculture. **Open Chemistry**, 13(1), 932–937. 2015.
- DANNON, H. F.; DANNON, A. E.; DOURO-KPINDOU, O. K. Toward the efficient use of *Beauveria bassiana* in integrated cotton insect pest management. **J Cotton Res**, v. 3, p. 24, ago. 2020.
- FENIBO, E. O.; IJOMA, G. N.; MATAMBO, T. Biopesticides in Sustainable Agriculture: a critical sustainable development driver governed by green chemistry principles. **Frontiers In Sustainable Food Systems**, v. 5, p. 1, 2021.
- GOULET, F. On-farm agricultural inputs and changing boundaries: Innovations around production of microorganisms in Brazil. **Journal of Rural Studies**, 101. (2023)
- HAMEDANI, S. R.; ROUPHAEL, Y.; COLLA, G.; COLATONI, A.; CARDARELLI, M. Biostimulants as a Tool for Improving Environmental Sustainability of Greenhouse Vegetable Crops. **Sustainability**, v. 12, n. 5101, 2020.
- HOLKA, M.; KOWALSKA, J.; JAKUBOWSKA, M. Reducing Carbon Footprint of Agriculture—Can Organic Farming Help to Mitigate Climate Change? **Agriculture**, v. 12, p. 1383, 2022.
- JIMÉNEZ, O. R.; BORNEMANN, A. C.; MEDINA, Y. E.; ROMERO, K.; & BRAVO, J. R. Prospects of biological inputs as a measure for reducing crop losses caused by climate change effects. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 14, 2023.
- ŁUCZKA, W.; KALINOWSKI, S. Barriers to the Development of Organic Farming: A Polish Case Study. **Agriculture**, v. 10, p. 536, 2020.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA). Fomento e Crédito para Bioinsumos. 2023. Disponível em:
<<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/fomento-e-credito-para-bioinsumos>>. Acesso em 25 fev. 2024.
- MOHAMMADI, K.; SOHRABI, Y. Bacterial biofertilizers for sustainable crop production: a review. **Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 7, n. 5, 2012.
- MONNERAT, R.; MONTALVÃO, S. C. L.; MARTINS, E. S.; QUEIROZ, P. R. M.; SILVA, E. Y. Y.; GARCIA, A. R. M.; CASTRO, M. T.; ROCHA, G. T.; FERREIRA, A. D. C. L.; GOMES, A. C. M. M. Manual de produção e controle de qualidade de produtos biológicos à base de bactérias do gênero *Bacillus* para uso na agricultura. (Documento 369), 1ª Ed., **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, Brasília-DF, 2020.
- MONTESINOS, B. S.; SANTOS, M.; GAVÍRA, A. M.; RODULFO, T. M.; GEA, F. J., & DIÁNEZ, F. Biological control of fungal diseases by trichoderma aggressivum f. Europaeum and its compatibility with fungicides. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 8, 2021.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Agenda 2030: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em 20 fev. 2024.
- OSORIO-REYES, J.G.; VALENZUELA-AMARO, H.M.; PIZANA-ARANDA, J.J.P.; RAMÍREZ-GAMBOA, D.; MELÉNDEZ-SÁNCHEZ, E.R.; LÓPEZ-ARELLANES, M.E.; CASTAÑEDA-ANTONIO, M.D.; CORONADO-APODACA, K.G.; GOMES ARAÚJO, R.; SOSA-HERNÁNDEZ, J.E. Microalgae-Based Biotechnology as Alternative Biofertilizers for Soil Enhancement and Carbon Footprint Reduction: Advantages and Implications. **Marine Drugs**, v. 21, p. 93, 2023.
- RONDOT, Y. & REINEKE, A. Endophytic *Beauveria bassiana* in grapevine *Vitis vinifera* (L.) reduces infestation with piercing-sucking insects. **Biological Control**, v. 116, p. 82–89, 2018.
- SEIXAS, M.A. A Crise dos fertilizantes e o aumento da insegurança alimentar global impactos do conflito Rússia-Ucrânia no mercado de commodities agrícolas. **EMBRAPA**, 22 p., 2022.
- THE BUSINESS. Agricultural Biologics **Global Market Report**. Disponível em:
<<https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/agricultural-biologics-global-market-report>>. Acesso em: 13 fev. 2024.
- SOUZA, F. P.; CASTILHO, T. P. R. & MACEDO, L. O. B. An institutional framework for Bioinputs in Brazilian agriculture based on Ecological Economics. **Sustentabilidade Em Debate**, v. 13, n. 1, p. 247–265, 2022.
- SOUZA BALDAS, M. A., FABIANA, Á., De, A., & GERUM, A. Análise dos registros do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) de bioinsumos, agrotóxicos, componentes e afins em série histórica de 2000 a 2020.3
- SRIVASTAVA, A. & TIWARI, R. K. Bio-control potential of *Trichoderma* spp., against *Fusarium* spp., the incitants of Pokkah boeng disease of sugarcane under in-vitro conditions. **Indian Phytopathology**, v. 74, n. 3, p. 691 – 701, 2021.
- TIWARI, R.; SHUKLA, S. K.; JAISWAL, V. P.; SHARMA, L.; JOSHI, D.; CHANDRA, K.; GAUR, A.;



Área: Bioinsumos agrícolas

AVALIAÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO PARA MULTIPLICAÇÃO DE *Trichoderma sp.*

Rafaela Pires Rodrigues Borges^{1*}, Daniela Dal Castel Krein², Geovanna Fracaro³, Alisson Santa Catarina⁴ Jeferson Stefanello Piccin^{1,3,4}, Aline Dettmer^{1,4}

¹Curso de Engenharia Química, Instituto de Tecnologia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

²Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

³Programa de Pós Graduação em Agronomia, Escola de Ciências Agrárias, Inovação e Negócios, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS.

⁴Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola de Ciências Agrárias, Inovação e Negócios, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS.

*E-mail: 192738@upf.br

RESUMO: O artigo aborda a avaliação de fontes de nitrogênio para a multiplicação do fungo *Trichoderma sp.*, um importante agente de controle biológico utilizado na agricultura. O objetivo deste estudo foi investigar como diferentes fontes de nitrogênio, como extrato de levedura e extrato de soja, afetam o crescimento do *Trichoderma sp.* durante seu processo de multiplicação. Um planejamento de mistura foi realizado a fim de obter diferentes variações das concentrações dos substratos a serem testados. O microrganismo foi cultivado em fermentação submersa por 4 dias em uma temperatura de 30°C. Posteriormente, amostras foram postas em diluições seriadas e a técnica de *Spread plate* foi aplicada para a contagem do microrganismo. Os resultados demonstram que não houve diferença significativa no crescimento de células entre os meios testados. É importante entender as necessidades nutricionais do fungo em questão para a otimização do processo para aplicações industriais.

Palavras-chave: On Farm; biocontrole; fungos entomopatogênicos; carbono.

1 INTRODUÇÃO

Dentre as diversas aplicações em que fungos podem ser submetidos, recentemente, tem se destacado a utilização para a produção de insumos biológicos. No intuito de diminuir o uso de agroquímicos convencionais, que apresentam impactos ambientais significativos, a introdução de agentes biológicos para o controle de pragas e doenças, além da nutrição das culturas está em evidência.

A utilização de fungos, por exemplo, tem ganhado destaque devido às funcionalidades que apresentam. Algumas espécies como o *Trichoderma sp.*, por exemplo, podem ser utilizados no combate de doenças foliares e nematoides (Rao *et al.*, 2022; Mhatre *et al.*, 2022), mas também como reguladores de crescimento vegetal (Kiruba e Saeid, 2022). Assim, o microrganismo aplicado pode apresentar diversas finalidades, contribuindo para a redução da aplicação de agroquímicos e auxiliando na sustentabilidade agrícola.

A oferta de produtos à base de fungo, no entanto, é limitada devido a capacidade de produção, geralmente realizada por fermentação em estado sólido (FES), que demanda de tempo e espaço para sua produção, o que se apresenta como desvantagem para os processos industriais (Rezende *et al.*, 2020). A fermentação submersa (FSBm) ou em estado líquido é uma alternativa para superar as desvantagens da FES. Diversos benefícios podem ser apontados para esta rota de produção como maior controle do processo (pH, temperatura, aeração), padronização de lotes, possibilidade de automação e menor tempo para multiplicação. Desta forma, é importante investigar processos biotecnológicos baseados na utilização da FSBm.

A demanda nutricional dos microrganismos é um fator relevante para a multiplicação e influenciam diretamente a produção de células e metabólitos secundários. A presença de nitrogênio no meio de cultura é essencial para desenvolver processos metabólicos importantes como a síntese de aminoácidos e proteínas.

A identificação de nutrientes de baixo custo que promovam o crescimento celular dos microrganismos é importante para assegurar a viabilidade econômica de bioprocessos (Mascarin *et al.*, 2018). Fontes de nitrogênio geralmente possuem um custo mais alto, portanto, é importante encontrar fontes alternativas aquelas usualmente utilizadas como peptona, extrato de levedura e triptona (Bejarano e Puopolo, 2021). A substituição completa ou parcial destes materiais por resíduos agroindustriais contribui para a aplicação do conceito de economia circular, levando a uma



diminuição da deposição de resíduos em aterros sanitários através da sua valorização e também para a redução de custos do processo de fermentação (Sala *et al.*, 2019).

Tendo em vista estas considerações, o objetivo deste trabalho é demonstrar a fermentação submersa do fungo *Trichoderma harzianum* variando concentrações de fontes de nitrogênio para otimizar a produção de células do microrganismo ao fim da multiplicação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O microrganismo *Trichoderma harzianum* foi cultivado por fermentação submersa em Erlenmeyer de 250 mL, mantidos sob agitação em uma mesa orbital à 140 rpm e 30°C, durante 96 horas. Cerca de 5% de pré-inóculo, cultivado em caldo Batata Dextrose (Himedia) foi adicionado ao meio de cultivo previamente autoclavado. Um planejamento de mistura foi obtido através do software Statistica 7.0 (StatSoft Inc., EUA), com o objetivo de variar as concentrações de extrato de soja e extrato de levedura de cervejaria, utilizados como fonte de nitrogênio no meio de cultura. Como fonte de carbono, açúcar (Alto Alegre) foi adicionado na concentração de 3g/L. Um complexo de sais contendo KH_2PO_4 (0,36 g/L), Na_2HPO_4 (1,05 g/L), MgSO_4 (0,60 g/L), KCl (1 g/L), NaNO_3 (1,58 g/L) também foi adicionado ao meio de cultivo.

Amostras foram coletadas a cada 24 horas até o final da fermentação e solubilizadas em solução salina (NaCl 0,85%) para posterior plaqueamento. A técnica *Spread plate* foi empregada para o plaqueamento, onde 100 μL de amostra foram dispersos em placas de Petri contendo meio composto por Ágar Batata Dextrose (Kasvi) e 1 mL de triton para o crescimento das colônias de fungos. Posteriormente, as amostras foram incubadas em estufa microbiológica a 30°C por 48 horas, sendo realizada a contagem dos microrganismos após o fim deste período.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

É importante entender o efeito das fontes de nitrogênio no crescimento de microrganismos. A Tabela 1 demonstra o crescimento de *T. harzianum* durante a fermentação submersa. Os resultados indicam que não houve diferença estatística entre os meios testados quando comparados ao mesmo tempo de cultivo.

Tabela 1 - Composição dos meios de cultivo e contagem em UFC/mL do fungo *Trichoderma harzianum* durante a fermentação submersa com variação de fontes de nitrogênio.

Tratamento	Extrato de soja (g/L)	Extrato de levedura (g/L)	Pré-inóculo	24 h	48 h	72 h	96 h
1	10,0	0	1,50E+04	6,00E+04 ^a	8,20E+04 ^a	9,00E+05 ^a	1,25E+05 ^a
2	0	10,0	1,00E+04	1,20E+05 ^a	3,00E+07 ^a	5,50E+07 ^a	8,50E+06 ^a
3	5,0	5,0	3,25E+03	3,40E+04 ^a	6,00E+04 ^a	8,00E+04 ^a	1,00E+05 ^a
4	7,5	2,5	8,00E+03	7,00E+04 ^a	7,00E+05 ^a	1,00E+05 ^a	6,00E+05 ^a
5	2,5	7,5	2,00E+04	1,05E+05 ^a	2,50E+05 ^a	4,00E+06 ^a	2,00E+06 ^a

^aLetras iguais não diferem estatisticamente.

O ponto com maior crescimento do fungo foi observado com 72 h, no tratamento que utilizou 10 g/L de extrato de levedura. Isto pode estar associado à quantidade de nitrogênio solúvel e vitaminas do complexo B, presentes na composição do extrato de levedura, que atuam como suplemento no meio de cultivo (Tochetto *et al.*, 2016).

No estudo realizado por Mascarin *et al.*, (2018), os autores observaram diferença significativa na produção de blastósporos produzidos por *Beauveria bassiana* quando levedura hidrolisada foi utilizada na composição do meio. Enquanto o meio fermentado com levedura atingiu a concentração de 32.10^8 UFC/mL, o meio composto por farinha de soja apresentou $21,7.10^8$ UFC/mL. No trabalho de Ming *et al.*, (2019), os autores observaram que a produção de biomassa de *Trichoderma sp.* aumentou quando peptona (30g/L) e extrato de levedura (30 g/L) foram utilizados como fonte de nitrogênio.

Após 72 horas, ocorre um decréscimo no número de células fúngicas, o que pode estar associado a limitação de algum componente no meio. Fontes complexas de nitrogênio, como extrato de levedura e soja, podem levar a um consumo maior de fontes de carbono. Como estão em uma forma mais acessível para ser sintetizada pelos microrganismos, as fontes de carbono são consumidas em uma taxa maior para fornecer energia para o metabolismo das células durante o processo de fermentação. Logo, se a fonte de carbono é o reagente limitante, o crescimento celular pode



ser interrompido. Rezende *et al.*, (2020) apontam que quanto maiores quantidades de carbono em relação a concentração de nitrogênio, maior a produção de células fúngicas em meios de fermentação líquida, podendo chegar a 10^8 UFC/mL.

Além de nitrogênio, o extrato de levedura e de soja também apresentam carboidratos na sua composição. Para o extrato de soja, por exemplo, a composição de carboidratos pode chegar em até 30%, sendo que destes, cerca de 15 a 20% referem-se a polissacarídeos não amiláceos (Loman *et al.*, 2016). Esses compostos de polissacarídeos podem influenciar negativamente determinadas vias metabólicas e interferir na taxa de consumo de açúcares e aminoácidos. Logo, a utilização de um extrato de soja que não tenha passado por processos de purificação para obtenção somente da parte proteica, pode interferir no processo fermentativo (Loman *et al.*, 2016a).

Para otimizar o crescimento celular, a concentração da fonte de carbono pode ser aumentada para contribuir com o desenvolvimento de reações bioquímicas importantes. Além disso, a adição de sais minerais podem auxiliar na demanda nutricional do meio, bem como a regulação de pH através do efeito tamponante de alguns sais (Serna-Díaz *et al.*, 2020).

Por fim, destaca-se que a utilização de extrato de soja e de levedura advindo de processos agroindustriais, são meios de cultivos alternativos e baratos em comparação a outras fontes de nitrogênio sintéticas, contribuindo para o fortalecimento da economia circular e sustentabilidade dentro dos bioprocessos.

4 CONCLUSÃO

Este estudo investigou a multiplicação do fungo *Trichoderma harzianum* utilizando diferentes fontes de nitrogênio, como o extrato de levedura e extrato de soja, para avaliação do crescimento celular. Os resultados obtidos demonstraram que as fontes de nitrogênio desempenham um papel importante no crescimento e na multiplicação do fungo. No entanto, mais estudos são necessários para entender a interação entre as concentrações da fonte de nitrogênio e os processos metabólicos envolvidos. O entendimento dos requisitos nutricionais do fungo *Trichoderma sp.* são importantes para otimizar os processos de multiplicação, visando aplicações biotecnológicas diversas, como biofertilizantes, biocontrole de patógenos e produção de metabólitos secundários.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Universidade de Passo Fundo pelo espaço cedido e ao Programa Centelha pelo financiamento da pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

- BEJARANO, A.; PUOPOLO, G. Bioformulation of Microbial Biocontrol Agents for a Sustainable Agriculture. In: De Cal, A., Melgarejo, P., Magan, N. (eds) How Research Can Stimulate the Development of Commercial Biological Control Against Plant Diseases. **Progress in Biological Control**, v. 21, 2020.
- LOMAN, A.A.; JU, L.K. Soybean carbohydrate as fermentation feedstock for production of biofuels and value-added chemicals. **Process Biochemistry**, v. 51, n. 8, p. 1046-1057, 2016.
- KIRUBA N, J.M.; SAEID, A. An Insight into Microbial Inoculants for Bioconversion of Waste Biomass into Sustainable “Bio-Organic” Fertilizers: A Bibliometric Analysis and Systematic Literature Review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, p. 13049, 2022.
- LOMAN, A.A.; JU, L.K. Optimization of Enzymatic Process Condition for Protein Enrichment, Sugar Recovery and Digestibility Improvement of Soy Flour. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 93, p. 1063–1073, 2016a.
- MASCARIN, G.M.; KOBORI, N.N.; JACKSON, M.A.; DUNLAP, C.A.; DELALIBERA, Í. Nitrogen sources affect productivity, desiccation tolerance and storage stability of *Beauveria bassiana* blastospores. **Journal Of Applied Microbiology**, v. 124, n. 3, p. 810-820, 2018.
- MHATRE, P.H.; DIVYA, K.L.; VENKATASALAM, E.P.; WATPADE, S.; BAIRWA, A.; PATIL, J. Management of potato cyst nematodes with special focus on biological control and trap cropping strategies. **Pest Management Science**, v. 78, n. 9, p. 3746-3759, 2022.
- MING, S.; GUAN, Y.; WU, X.; ZHANG, Y.; LI, J.; RONG, J. ZHOU, R.; LI, G. Optimization of *Trichoderma* Fermentation Medium. **Iop Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 612, n. 2, p. 022075, 2019.
- RAO, Y.; ZENG, L.; JIANG, H.; MEI, L.; WANG, Y. *Trichoderma atroviride* LZ42 releases volatile organic compounds promoting plant growth and suppressing *Fusarium wilt* disease in tomato seedlings. **BMC Microbiology**, v. 22, p. 88, 2022.
- REZENDE, L.C.; CARVALHO, A.L.C.; COSTA, L.B.; HALFELD-VIEIRA, B.A.; SILVA, L.G.; PINTO, Z.V.; MORANDI, M.A.B.; MEDEIROS, F.H.V.; MASCARIN, G.M.; BETTIOL, W. Optimizing mass production of



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Trichoderma asperelloides by submerged liquid fermentation and its antagonism against Sclerotinia sclerotiorum. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 36, p. 113, 2020.

SERNA-DÍAZ, M.G.; MERCADO-FLORES, Y.; JIMÉNEZ-GONZÁLEZ, A.; ANDUCHO-REYES, M.A.; MEDINA-MARÍN, J.; TUOH-MORA, J.C.S; TÉLLEZ-JURADO, A. Use of barley straw as a support for the production of conidiospores of Trichoderma harzianum. *Biotechnology Reports*, v. 26, p. 445, 2020.

TOCHETTO, L.; RODRIGUES, E.F.; FRANKEN, L.; BORTOLUZZI L.; MORAIS, V.; BERTOLIN, T.E.; REINEHR C.O.; COLLA, L.M. Seleção de indutores e fontes de nitrogênio para a produção de biossurfactantes via fermentação submersa utilizando o fungo Aspergillus fumigatus. **Simpósio de Alimentos**, v. 7, p. 1-10, 2016.



Área: Bioinsumos Agrícolas
**AVALIAÇÃO DO USO DE BIOCHAR INCORPORADO COM
MICRORGANISMOS NA CULTURA DA SOJA: UMA METODOLOGIA
ATIVA DE APRENDIZADO DA DISCIPLINA DE ESTATÍSTICA
EXPERIMENTAL I DO PPGAGRO**

Geovanna Fracaro*, André Luís Dalla Vecchia, Gabrielle Fusiger Berwian, Luanna Carmem Barros Souza, Lúcia Gabriela Cavalet, Matheus Adilo Banfi, Rafael Gabbi Magnanti, Heliur Alves de Almeida Delevatti, Lára Franco dos Santos, Jeferson Steffanello Piccin

Campos experimentais, Departamento da Agronomia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: 150801@upf.br*

RESUMO - O aumento da produtividade da cultura da soja, vem sendo cada vez mais buscada, sendo assim, fatores que aumentem a produção, tem alta significância para os produtores e empresas de pesquisa. Estudos envolvendo o uso de microrganismos que atuam como agentes biológicos no controle de pragas e doenças, vem sendo desenvolvidos com êxito, além de contribuírem com o aumento de produtividade e resistência à fatores bióticos e abióticos, estes são capazes de reduzir a disponibilidade de metais pesados no solo. O objetivo do presente estudo foi avaliar a fisiologia de crescimento da planta analisando o uso de 10% de biochar acrescido ou não de nitrogênio, fósforo e potássio. O experimento utilizou o biochar, onde foram incorporados à biomassa de origem vegetal processada por pirólise, bioinsumo contendo *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*. O trabalho foi conduzido no campo experimental da Universidade de Passo Fundo, sobre três tratamentos, dos quais um era a testemunha. A cultivar de soja utilizada foi a BMX Vênus. O teor de fósforo encontrado no solo antes do plantio, apresenta níveis muito altos para a cultura, de acordo com o Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Foi constatado que não houve diferença significativa entre a adubação dos tratamentos T1, T2 e T3 realizados.

Palavras-chave: Bioinsumo; controle biológico; rendimento

1 INTRODUÇÃO

Novos produtos com tecnologia biológica vêm sendo desenvolvidos, e estudos evidenciam que os microrganismos possuem eficiência como agentes no controle biológico de pragas e doenças, como agentes estimulantes de crescimento e de resistência aos estresses das plantas. Esses microrganismos, se manejados de forma adequada, podem trazer benefícios tanto para o meio ambiente, quanto para os produtores agrícolas. Além de reduzir a dependência da utilização de produtos químicos tóxicos, também auxiliam a restabelecer o equilíbrio microbiológico dos solos, proporcionando maior fixação de nutrientes por parte das plantas e conseqüentemente, aumentando a produtividade (Souza *et al.*, 2022).

A pesquisa conduzida por Miljaković *et al.* (2024), evidenciou que inoculantes microbianos possuem propriedades estimulantes e que podem beneficiar a cultura da soja. Esses inoculantes possuem a capacidade de aumentar a fertilidade do solo, melhorar a disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas, contribuir para aumento da produtividade, além de mitigar as respostas das plantas aos estresses abióticos e bióticos.

Os resultados do estudo de Miljaković *et al.* (2024) demonstraram que o uso do microrganismo *Bacillus megaterium* como inoculante resultou em melhorias para as plantas, como o aumento no número e peso das vagens, aumento no número e peso das sementes e ainda, observou-se o maior teor de óleo nas sementes. Já os tratamentos utilizando *Bacillus subtilis* como inoculante, apresentaram melhor efeito no teor de proteína das sementes.

No estudo conduzido por Mannai e Boughalleb-M'Hamdi (2023) a utilização de *Bacillus subtilis* apresentou estímulo de crescimento de mudas de macieira, aumentando a altura das plantas em 191,3% quando comparado com o controle. Além disso, a cepa de *B. subtilis* demonstrou alta eficácia contra o patógeno *Pythium ultimum*, resultando na redução da severidade do índice de vigor. Esses resultados destacam a capacidade do *B. subtilis* como agente antagonista microbiano de patógenos, além dos seus benefícios no estímulo de crescimento das plantas.

O fósforo é um nutriente chave para o crescimento saudável das plantas e é frequentemente adicionado como fertilizante em solos com baixa concentração do elemento. A ausência de fósforo no solo ou sua quantidade insuficiente



pode limitar seriamente o crescimento e a produção de culturas como a soja. Dessa forma, a adição de fósforo pode melhorar a produção de grãos e a qualidade da safra (Niu *et al.*, 2023).

As altas concentrações de fósforo no solo também podem ter efeitos negativos, tais como toxicidade devido ao acúmulo excessivo de sais de fósforo. Isso pode prejudicar o crescimento das plantas e diminuir a produção de grãos, além de afetar o ambiente do solo como um todo. Quando a quantidade de fósforo é excessiva, o excesso pode ser levado para os corpos de água próximos através do escoamento superficial ou da infiltração no solo. Isso pode causar eutrofização em lagos e rios, o que pode prejudicar o equilíbrio ecológico e prejudicar a vida aquática (Charbonneau *et al.*, 2024). O estudo mencionado anteriormente destaca a importância de manter o equilíbrio da quantidade de fósforo no solo para garantir uma produção ideal da cultura da soja. A sua adição em conjunto com outros nutrientes, como o nitrogênio, pode aumentar significativamente a abundância dos nematóides do solo em cultivo de soja, mas afetar negativamente o ambiente do solo se a quantidade for excessiva. Portanto, o monitoramento e a gestão adequada dos níveis de nutrientes do solo são importantes tanto do ponto de vista agrícola quanto ambiental.

Diversos microrganismos podem ser usados para reduzir a disponibilidade de metais pesados no solo (alumínio, mercúrio, chumbo, cromo, etc.), impedindo a transferência destes para as plantas. Entre as bactérias utilizadas, destacam-se os *Bacillus spp.*, pois são resistentes, removendo, desintoxicando e neutralizando esses elementos presentes em solos contaminados. Combinar métodos de remediação pode melhorar o tratamento dos metais pesados no solo. Uma alternativa é a imobilização de células microbianas em biochar. O biochar é um material rico em carbono, podendo aumentar o potencial de adsorção simultânea e sinérgica, e a bioacumulação de metais no solo (Schommer *et al.*, 2023).

Sendo assim, o objetivo do estudo é analisar a fisiologia de crescimento da planta analisando o uso de 10% de biochar acrescido ou não de nitrogênio, fósforo e potássio. Essa é uma metodologia ativa de aprendizado da disciplina de Estatística Experimental I do PPGAgro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Preparo do imobilizado biochar-*Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*

A biomassa compostada (processo de compostagem de 3 anos pela Beifort®) passou por um processo de pirólise, 350 °C (8,8 h), na empresa Beifiur LTDA, onde foram produzidos em reator com capacidade de 5 kg iniciais. Os microrganismos alvo do estudo foram *Bacillus subtilis* (BEIB-18) (BS) e *Bacillus megaterium* (BEIB-30) (BM) fornecidos pelo banco de cepas da empresa Beifiur LTDA, isolados das leiras de compostagem dos resíduos de uva.

Para a imobilização foi utilizado um meio de cultivo contendo 7 g/L de extrato de soja e 13 g/L de sacarose. 10 g de biochar (5% m/v) foram adicionados a 200 mL de meio de cultivo em erlenmeyer de 500mL e esterilizados por 30 min em autoclave (120 °C; 1 atm). Após o resfriamento, os erlenmeyers foram inoculados com duas alçadas de microrganismos (BS e BM separadamente). O processo de crescimento e imobilização ocorreu em mesa agitadora (Tecnal - TE 420) a 150 rpm e 30 °C por 24 h. Após isso, o material foi peneirado em peneira de 32 mesh (0,495 mm) e colocado em recipientes estéreis para secagem em estufa a 45 °C por 7 dias e armazenado em sacos tipo zip lock para análises e testes agrônômicos.

2.2 Tratamentos

Foram coletadas 5 plantas em cada um dos tratamentos (T1, T2 e T3). Os tratamentos são descritos como:

T1 → Biochar (testemunha) - sem adição de adubo NPK.

T2 → Biochar + NPK (00-00-30) - Adubação somente com K.

T3 → Biochar + NPK (00-07-30) - Adubação com P e K.

A quantidade de biochar incorporado de bioinsumo foi considerada 10% em relação à quantidade total de adubo utilizada.

2.3 Coleta dos dados

A cultivar da soja semeada foi a BMX Vênus. Foi realizada a amostragem de 5 plantas de cada tratamento, sendo feita a coleta dos seguintes dados em triplicata: número de nós, número de hastes, e altura de inserção da primeira vagem. Para a medição da altura foi utilizado uma trena e as contagens foram realizadas manualmente.



2.4 Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o software RStudio®, versão 4.3.1. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de variâncias de cada variável analisada nos diferentes tratamentos, estão apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3. Na Tabela 4 tem-se os valores das médias calculadas para cada variável, de cada tratamento realizado.

Tabela 1. Análise de variância para o número de nós por planta

	GL	SQ	MQ	Fc	Sig (Pr>Fc)
Tratamento	2	4,311	2,156	0,533	0,591
Resíduo	42	170,0	4,048	-	-
Total	44	174,311	1		

Tabela 2. Análise de variância para o número de hastes por planta

	GL	SQ	MQ	Fc	Sig (Pr>Fc)
Tratamento	2	31,6	15,8	2,841	0,0696
Resíduo	42	233,6	5,562	-	-
Total	44	265,2	1		

Tabela 3. Análise de variância para a altura de inserção da primeira vagem

	GL	SQ	MQ	Fc	Sig (Pr>Fc)
Tratamento	2	23,510	11,756	1,462	0,243
Resíduo	42	337,730	8,041	-	-
Total	44	361,240	1		

Tabela 4. Médias das três variáveis (n° de nós, n° de hastes e altura de inserção) para cada tratamento

Tratamento	N° de nós por planta	N° de hastes por planta	Altura de inserção 1ª vagem
1	13,93±1,09ns	12,66±1,49ns	14,96±3,18ns
2	14,66±2,38ns	16,50±2,74ns	14,66±2,35ns
3	14,13±2,29ns	16,50±2,53ns	14,00±2,98ns
Média	14,24±0,37	15,22±2,21	14,54±0,49

Médias seguidas por ns na mesma coluna, para comparação dos diferentes tratamentos de adubação, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Como pode ser observado nas Tabelas 1, 2 e 3, o nível de probabilidade (Pr>Fc) das três variáveis consideradas (n° de nós, n° de hastes e altura de inserção 1ª vagem) foi maior que 0,05, o que indica que não possui diferença significativa entre a adubação dos tratamentos T1, T2 e T3 realizados.

Conforme a análise de solo realizada antes do plantio, o teor de fósforo apresenta níveis muito altos para a cultura, de acordo com o Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016), levando em consideração a classe de teor de argila, indica que >36,0 mg/dm³ de fósforo é considerado muito alto. O resultado da análise de solo para fósforo foi <50,3 mg/dm³, o que pode representar efeitos negativos para o crescimento das plantas, para a produção de grãos e para o ambiente do solo como um todo. O pH do solo, a matéria orgânica e os demais macro e micronutrientes estão em níveis satisfatórios para a produção da cultura.



A presença de biochar na mistura do solo contribuirá significativamente na natureza física do sistema, influenciando estrutura, textura, porosidade, profundidade e consistência porque muda a densidade da área superficial, distribuição, densidade e tamanho dos poros e das partículas (Nóbrega, 2011).

A utilização de inoculantes fixadores de nutrientes necessitam ser avaliados e posicionados com cautela nos diferentes tipos de fertilidades, solos e culturas. Nesse experimento a utilização de Biochar *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* não afetou as variáveis analisadas até o momento, pois a cultura está no estágio R5.2, isso pode estar relacionado aos altos níveis de fósforo presentes no solo no local do ensaio.

4 CONCLUSÃO

A utilização de Biochar apresenta benefícios importantes para o desenvolvimento e sustentabilidade do meio, onde um resíduo pode ser aproveitado de forma significativa como veículo para microrganismos eficientes nas culturas de produção de grãos cultivados em larga escala no Brasil. Práticas de inoculação são amplamente utilizadas na agricultura comercial e vem sendo cada vez mais estudadas e difundidas.

Diante do que foi apresentado nos resultados obtidos, apesar do pH do solo, a matéria orgânica e os demais macro e micronutrientes estarem em níveis satisfatórios para a produção da cultura, o teor de fósforo apresenta níveis muito altos, o que pode ter influenciado negativamente para o encontro de resultados mais eficazes com a utilização do Biochar, já que a utilização deste não afetou as variáveis analisadas até o momento, pois a cultura está estágio R5.2. As avaliações fitométricas da planta foram feitas, porém diante do resultado estatístico, notou-se que não houve diferença significativa entre os fatores avaliados nos três tratamentos do estudo. A utilização do Biochar se apresenta como uma alternativa viável diante de seus benefícios, sendo necessário que haja uma avaliação prévia dos nutrientes presentes no solo, para que presença excessiva de algum não iniba a função do bioinsumo.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade de Passo Fundo e ao campo experimental disponibilizado. Além disso, os autores estendem o agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

6 REFERÊNCIAS

CHARBONNEAU, A.; LUCOTTE, M.; MOINGT, M.; BLAKNEY, A. J. C.; MORVAN, S.; BIPFUBUSA, M.; PITRE, F. E. Fertilization of agricultural soils with municipal biosolids: Glyphosate and aminomethylphosphonic acid inputs to Québec field crop soils. **Science of The Total Environment**, v. 922, 2024.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (NÚCLEO REGIONAL SUL, SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIAS DO SOLO). Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Santa Maria, RS, p. 375, 2016.

NÓBREGA, S. P. C. **Efeitos do Biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de carbono no solo**. 46 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

SOUZA, F. P., CASTILHO, T. P. R., & MACEDO, L. O. B. An institutional framework for Bioinputs in Brazilian agriculture based on Ecological Economics. **Sustentabilidade em Debate**, v. 13, n. 1, p. 247–265, 2022.

MANNAI, S. & BOUGHALLEB-M'HAMDI, N. Evaluation of *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis* and *Aspergillus* species efficacy in controlling *Pythium ultimum* associated with apple seedlings decline in nurseries and their growth promotion effect. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 33, n. 1, 2023.

MILJAKOVIĆ, D.; MILJAKOVIĆ, D.; MARINKOVIĆ, J.; ĐORĐEVIĆ, V.; VASILJEVIĆ, M.; TINTOR, B.; JAČIMOVIĆ, S.; RISTIĆ, Z. Integrated use of Consortia-based Microbial Inoculants and Nutrient Complex Stimulates the Rhizosphere Microbiome and Soybean Productivity. **Legume Research**, v. 47, n. 1, p. 120–125, 2024.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

NIU, X.; CHENG, Y.; FENG, X.; SUN, F.; GU, Y. Effects of fertilizer and weed species richness on soil nematode community in a microcosm field experiment. **Soil Ecology Letters**, v. 5, n. 1, p. 151–168, 2023.

SCHOMMER, V. A.; VANIN, A. P.; NAZARI, M. T.; FERRARI, V.; DETTMER, A.; COLLA, L. M.; PICCIN, J. S. Biochar-immobilized *Bacillus* spp. for heavy metals bioremediation: A review on immobilization techniques, bioremediation mechanisms and effects on soil. **Science of the Total Environment**, v. 881, n. April, p. 163385, 2023.



Área: Bioinsumos agrícolas

USO DO BIOCHAR INCORPORADO COM MICRORGANISMOS COMO FACILITADOR DA SOLUBILIZAÇÃO DE FÓSFOROS EM SOLOS COM SOJA: UMA METODOLOGIA ATIVA DE APRENDIZADO.

Alexandre Toffolo*, Camila Vancini, Daiane Cruz, Dannyele Oliveira, Eduardo Stédile, Eliezer Pegoraro, Gabriela Dalmora, Jacson Machado, Jaene Tavares, Pedro Telöken, Tamires Semedo, Jeferson Steffanello Piccin

Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade de Passo Fundo, RS

**E-mail: 205247@upf.br*

RESUMO - Biochar é um material sólido obtido através da pirólise de biomassa oriunda geralmente de origem vegetal, envolvendo altas temperaturas e ausência total ou parcial de oxigênio. Possui como características em sua formação, a porosidade e a baixa densidade, além de ser rico em carbono, com ampla área específica, alta capacidade de troca catiônica (CEC). Essas propriedades fazem com que este composto venha adquirindo espaço cada vez maior no meio agrícola. Com isso, este estudo objetivou investigar os efeitos de diferentes doses de biochar na cultivar Vênus Brasmax, em condições de fornecimento de fósforo médio, bem como seu impacto no crescimento, desenvolvimento e qualidade das plantas. O experimento foi conduzido em Passo Fundo – RS. Ao biochar produzido à base de bagaço e composto de uva, foram acrescentados *Bacillus subtilis* (BEIB-18) (BS) e *Bacillus megaterium* para solubilização. Os tratamentos consistiram em dosagens de 0, 5 e 10% de biochar, tendo sido acrescentado ao solo também, 400 kg ha⁻¹ de fertilizante N-P-K (00-14-30) na semeadura. O delineamento utilizado foi em faixas paralelas, dispostas lado a lado em área homogênea, com 100 metros de comprimento por 3,50 metros de largura, totalizando 350 m², com duas repetições de cada tratamento. Analisando os resultados obtidos, foi constatado que não houve diferença significativa para as variáveis analisadas.

Palavras-chave: Biochar, biorremediadores, imobilização, soja.

1 INTRODUÇÃO

A contaminação de águas e solos representa uma preocupação ambiental crescente no Brasil, abrangendo uma ampla gama de poluentes, desde resíduos orgânicos até metais pesados. Essa contaminação exerce um impacto significativo na qualidade do solo para atividades agrícolas, o que, por sua vez, pode comprometer a segurança dos alimentos produzidos nessas áreas (TEIXEIRA *et al.*, 2020).

Diante desse cenário, diversas tecnologias têm sido exploradas para mitigar ou erradicar a contaminação por metais pesados, cada uma com suas próprias abordagens. Entre essas técnicas, destacam-se a remediação química, biorremediação, remediação microbiana e técnicas combinadas de biorremediação (SONG *et al.*, 2022).

A biorremediação, em particular, tem sido apontada como a alternativa mais segura, sustentável e economicamente viável. Essa técnica emprega processos biológicos, utilizando microrganismos para remover ou reduzir a contaminação ambiental, degradando substâncias perigosas em produtos inofensivos e restaurando o ambiente contaminado. A biorremediação pode ser aplicada em diversos tipos de ambientes contaminados, incluindo solos, sedimentos, água e ar, afetados por metais pesados, pesticidas e outras substâncias tóxicas (SCHOMMER *et al.*, 2023).

O biochar, por sua vez, é um carvão vegetal produzido a partir da pirólise da biomassa a temperaturas superiores a 250 °C, em ausência total ou parcial de oxigênio. Esse processo resulta em um material poroso de baixa densidade, rico em carbono, com ampla área específica, alta capacidade de troca catiônica (CEC), tipicamente alcalino e altamente resistente a processos físico-químicos e biológicos. Reconhecido por sua capacidade de melhorar a fertilidade do solo, aumentar a retenção de água, promover o crescimento das plantas e sequestrar carbono. Tais características tornam o biochar uma ferramenta promissora para a biorremediação do solo (PÉREZ VÁZQUEZ *et al.*, 2021).

Estudos recentes destacam o potencial do biochar como transportador de bactérias, como *Bacillus* spp., para a biorremediação de solos contaminados com metais pesados (SCHOMMER *et al.*, 2023). Além disso, ele também pode aumentar a disponibilidade de fósforo nos solos, especialmente os arenosos, devido à sua alta área superficial e porosidade, que favorecem a imobilização de bactérias. Essa interação entre biochar e microrganismos também estimula



o crescimento microbiano, promovendo a mineralização do carbono orgânico do solo e aumentando os níveis de nutrientes, incluindo o fósforo (LAYEK *et al.*, 2022).

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo investigar os efeitos de diferentes doses de biochar na cultivar Brasmix Vênus, em condições de fornecimento de fósforo médio N-P-K (00-14-30), avaliando seu impacto no crescimento, desenvolvimento e qualidade das plantas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em Passo Fundo - RS, sob coordenada geográfica (28° 11' 20" S, 52° 19' 62" O, a 691m de altitude), em Nitossolo Vermelho distrófico latossólico (STRECK *et al.*, 2018), com textura argilosa e relevo pouco ondulado. O clima é caracterizado como subtropical úmido, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, com temperatura média anual de 17,5 °C. O índice pluviométrico é de 1.787 mm anualmente, com chuvas regulares e bem distribuídas ao longo do ano.

Para obtenção do biochar, utilizou-se tanto o bagaço novo quanto o composto da uva, as quais foram submetidas diretamente à pirólise, sem passar pelos processos de secagem e moagem. Estes resíduos foram pirolisados em um reator que comportava uma capacidade de até 5 Kg de material, a uma temperatura de 350 a 650 °C. A empresa Beifur LTDA forneceu os microrganismos *Bacillus subtilis* (BEIB-18) (BS) e *Bacillus megaterium* (BEIB-30) (BM) e os isolados das leiras de compostagem de resíduos de uva.

Para a imobilização dos microrganismos, preparou-se um meio de cultivo com 7 g/L de extrato de soja e 13 g/L de sacarose. Em seguida, 10 g de biochar (5% m/v) foram adicionados a 200 mL deste meio em erlenmeyers de 500 mL e esterilizados por 30 minutos em autoclave (120 °C; 1 atm). Os erlenmeyers após seu devido resfriamento, foram inoculados com duas alíquotas de microrganismos de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* separadamente. O processo de crescimento e imobilização dos microrganismos ocorreu em uma mesa agitadora, Tecnal – TE 420, a temperatura de 30 °C e uma rotação de 150 rpm, por um período de 24 horas.

Posteriormente peneirou-se todo o material em uma malha de 0,495 mm. e transferiu-se para recipientes esterilizados para secagem do material em estufa a 45 °C ao longo de 7 dias. Por fim, o biochar imobilizado foi acondicionado e armazenado em sacos do tipo zip lock, para posteriores análises e testes.

O delineamento utilizado foi em faixas paralelas, dispostas lado a lado em área homogênea, com 100 metros de comprimento por 3,50 metros de largura, totalizando 350 m², com duas repetições de cada tratamento. A semeadura foi realizada dia 20 de dezembro de 2023, com plantadeira de 7 linhas com espaçamento de 50 cm, utilizando a cultivar Brasmix Vênus com 12,5 sementes por metro e adubação 400 kg ha⁻¹ do fertilizante N-P-K (00-14-30).

Foram usados três tratamentos: Adubação somente com NPK como testemunha e mais dois tratamentos, também com adubação NPK e acrescidos com biochar imobilizado com microrganismos. A quantidade de P (Fósforo) foi a mesma nos três tratamentos. A quantidade de biochar em cada tratamento foi de 5 e 10%, correspondentes ao valor total de adubação NPK. Na data de semeadura da cultura, misturou-se manualmente na caixa de adubo da semeadora a quantidade respectiva de Biochar para cada tratamento (5% e 10%).

A coleta de dados foi feita como parte da metodologia ativa de aprendizado da disciplina de Estatística Experimental I. Foram realizadas avaliações das variáveis altura de planta (cm), inserção do primeiro legume e densidade de plantas por m² realizadas no dia 06/03/2023, estágio fenológico de R5.5 da cultura. Para as variáveis de altura de planta e inserção do primeiro legume da soja, foram coletadas três amostras de cada tratamento com o número de 10 plantas por amostra e, para densidade populacional foi amostrado 4 pontos de 1 m² para cada tratamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo não se constatou diferenças entre os tratamentos, nas condições específicas do estudo, a adição de biochar em diferentes proporções não teve um impacto no crescimento da planta, inserção da primeira vagem e número de plantas/m². Sabe-se que as variáveis são amplamente influenciadas pela condição climática, em especial a questão da reserva hídrica do solo. Níveis adequados de água no solo são necessários para o crescimento normal das plantas, sendo dependente da precipitação pluviométrica (ou irrigação), da capacidade de armazenagem de água do solo.

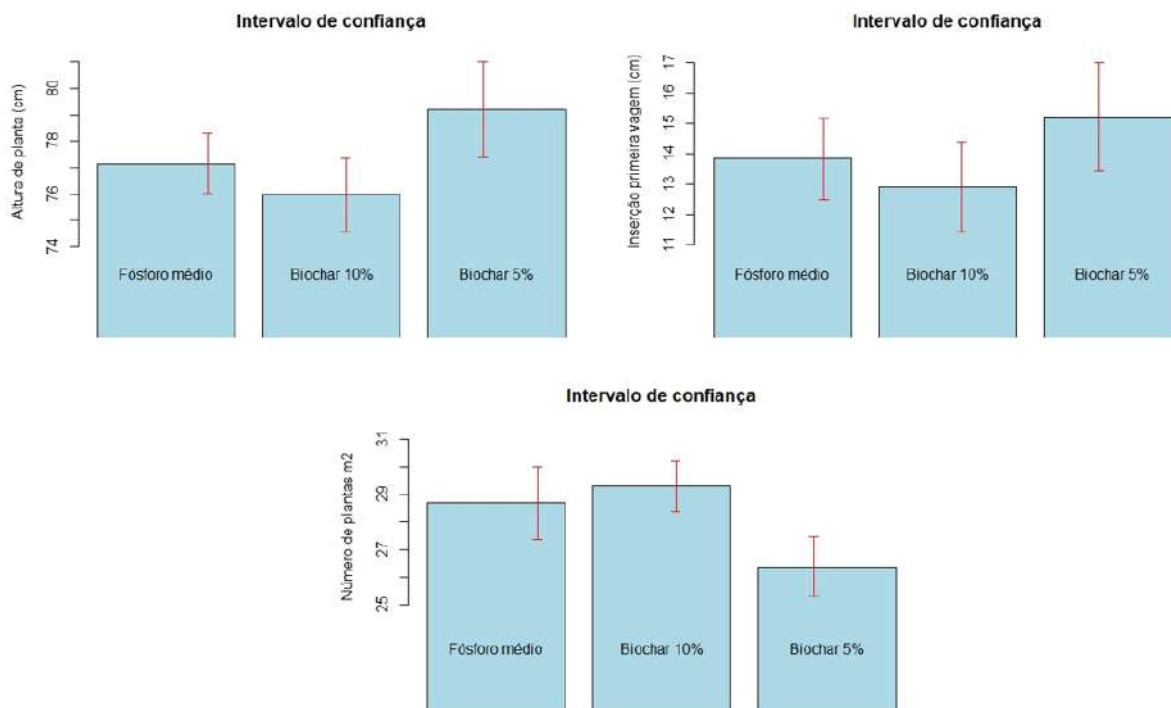
O biochar promove melhorias na porosidade do solo (ATKINSON *et al.*, 2010), fator que favorece o armazenamento de água no solo e conseqüentemente oferece melhores condições para a planta expressar seu desempenho. Durante o experimento as condições hídricas foram favoráveis, com chuvas regulares e bem distribuídas ao longo do período. Talvez em solos arenosos e ou em condições de certa deficiência teríamos potencializado os efeitos diretos do



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

uso do biochar. Ainda segundo Ralebitso & Orr (2016), devido à alta capacidade do composto biochar reter a umidade do solo este reduz as demandas por irrigação.

Figura 1. Intervalo de confiança das variáveis altura de planta, inserção primeira vagem e número de plantas por m².



Fonte: Autores (2024)

Analisando o intervalo de confiança das médias para a variável altura de plantas (cm), inserção da primeira vagem e densidade de plantas por m² pode-se concluir que, existe 95 % de probabilidade de as médias dos tratamentos T1 (fósforo médio), T2 (biochar 10%) e T3 (biochar 5%) serem iguais, ou seja, não diferem entre si estatisticamente a 5% de probabilidade (tabela 1). Estes resultados indicam que os valores de - p são maiores que 0,05% entre as variáveis altura de plantas (cm), inserção da primeira vagem e densidade de plantas por m² (tabela. 2,3 e 4).

Tabela 1: Valor médio das variáveis avaliadas.

Tratamento	Altura de planta (cm)	Inserção primeira vagem	Número de plantas m ²
Fósforo médio	79 a	14,95 a	27,25 a
Biochar 10%	78 a	13,55 a	28,25 a
Biochar 5%	76 a	12,95 a	30,00 a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 2: Valores estatísticos para Altura de planta (cm)

Tratamento	Desvio padrão (σ)	Variância σ^2	Valor - p
Fósforo médio	6,00	36,04	0,7169
Biochar 10%	4,57	20,88	0,7744
Biochar 5%	2,41	5,88	0,3223

Tabela 3: Valores estatísticos para inserção da primeira vagem (cm)

Tratamento	Desvio padrão (σ)	Variância σ^2	Valor - p
Fósforo médio	2,51	6,32	0,8272
Biochar 10%	3,26	10,65	0,3683
Biochar 5%	2,12	4,5	0,1409



Tabela 4: Valores estatísticos para número de plantas por m².

Tratamento	Desvio padrão (σ)	Variância σ^2	Valor - p
Fósforo médio	1,25	1,58	0,3487
Biochar 10%	2,5	6,25	0,6888
Biochar 5%	0,95	0,91	0,1053

Os resultados com relação à altura de plantas tabela 1 diferem dos obtidos por Flores, *et al* (2003) onde, analisando a eficiência de composto, biocarvão e rizóbio para aumentar o crescimento e a produção de milho, obtiveram resultado positivo para com relação ao crescimento e produtividade das plantas comparados ao grupo controle, comprovando a eficiência dos mesmos.

É possível que a que a falta de incremento em relação à altura da planta, esteja relacionada com a baixa disponibilidade de nitrogênio (N) nos solos brasileiros, em virtude de haver um predomínio de latossolos e devido à grande incidência de lixiviação. Soma – se a isto também, o fato de o biochar utilizado no experimento, não apresentar em sua composição este macronutriente, essencial para o arranque e desenvolvimento da cultura.

Em função desse fator, o uso deste composto também pode causar a redução da quantidade de N disponível nesse solo por possuir uma relação carbono/nitrogênio muito expressiva, o que pode vir a gerar um efeito reverso com relação ao esperado para o desenvolvimento da cultura (LEHMANN *et al.* 2002).

Esses dados corroboram com Šeremešić, *et al* (2015), que, avaliando a influência do biochar na cultura do milho e da soja em diferentes tipos de solo, afirmam não terem observado diferença significativa na altura do milho resultantes das ações deste composto. E diferem dos obtidos em experimento utilizando biochar a base de bagaço de cana-de-açúcar e efluentes de biodigestor em ensaio com milho e soja sob diferentes tipos de solo (RODRÍGUEZ & PRESTON, 2009). Ainda para estes autores, a resposta da soja em relação ao biochar foi ainda mais significativa do que para o milho. Klimek-Kopyra *et al.*, (2021) também observaram um incremento significativo na altura da soja cultivada em solo com presença de diferentes doses de biochar produzido a partir da casca de girassol.

Encontrando resultado insignificante para a variável altura na cultura do girassol, Albuquerque *et al.* (2013), acreditam que isto pode estar relacionado a composição química dos compostos testados e a deficiência de micronutrientes impulsionado por um pH muito elevado. Esta interação anula a resposta fisiológica da planta aos componentes químicos presentes no ambiente, o que justifica a resposta negativa em seu crescimento. A área onde foi desenvolvido o experimento, tem como característica um pH tendo ao neutro e baixa disponibilidade de nutrientes, sendo este um fator limitante. Isto sugere que a associação da composição química do biochar com este solo, e as dosagens aplicadas, possam ter levado a não obtenção de alturas maiores, comparados a testemunha (ALBUQUERQUE *et al.*, 2014).

O resultado não significativo obtido neste trabalho, assemelham-se ao encontrado um dos experimentos que compõem a pesquisa realizada por Klimek-Kopyra *et al.*, (2021), estes avaliaram os efeitos de diferentes doses de biochar produzido a partir da casca de girassol e incorporado a camada superficial do solo cultivado com soja, e concluíram que houve um aumento no rendimento de sementes produzidas, mas não houve influência significativa do composto sob a altura de inserção da primeira vagem na planta. Schneider (2020), avaliando a contribuição do biocarvão no desempenho agrônomo da cultivar de soja Msoy 59I17 Ipro, constataram que este composto vegetal não promoveu melhorias em sua produtividade, não tendo também, diferença entre a altura de inserção da primeira vagem deste tratamento e da testemunha.

No presente estudo a área experimental possuía um alto teor de fósforo constatado através de exame laboratorial ($P > 50,3 \text{ mg/dm}^3$). Desta forma um dos efeitos esperados de que o biochar aumentasse a disponibilidade de fósforo no solo, não apresentou efeito neste estudo pois os níveis de fósforo disponíveis independentemente do tratamento não foram limitantes para a cultura da soja.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para as condições deste estudo nos mostraram que, a adição de biochar nas diferentes proporções não teve um impacto significativo no crescimento da planta, inserção da primeira vagem e número de plantas por m². Cabe destacar as condições específicas já relatadas deste estudo.

O uso do biochar aliadas às condições específicas deste estudo pode ter contribuído para a falta de incremento nas variáveis avaliadas. Esses resultados estão alinhados com estudos anteriores que também não observaram diferenças significativas na altura das plantas para as culturas de milho, soja e girassol quando estas foram submetidas à aplicação de biochar.



Diante do exposto, novos estudos em condições mais desafiadoras podem nos trazer resultados distintos e potencializar os efeitos diretos do uso do biochar e sua aplicabilidade na cultura da soja.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por ter dado oportunidade de desenvolvermos esse trabalho, agradecemos ao professor Jeferson Stefanello Piccin, da instituição Universidade de Passo Fundo, a CAPES, CNPQ e ao PPGAgro pela oportunidade de realizar esse trabalho.

6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. **Agron. Sustain**, v. 33, 475–484, 2013.

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Efeitos de biochars produzidos a partir de diferentes matérias-primas nas propriedades do solo e no crescimento do girassol. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 177, pp. 16-25, 2014.

ATKINSON, CHRISTOPHER JOHN et al. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant and Soil**, 337, 1-1, 2010.

FLORES, D. D. C. et al. Use of organic fertilizers with microbes for improving maize growth, physiology and soil properties. **Brazilian Journal of Biology**, 83, e276814, 2003.

KLIMEK-KOPYRA, A. et al. Sunflower Husk Biochar as a Key Agrotechnical Factor Enhancing Sustainable Soybean Production. **Agriculture** 2021, 11, 305.

LAYEK, J. et al. Prospects of Biochar for Sustainable Agriculture and Carbon Sequestration: An Overview for Eastern Himalayas. **Sustainability**, v. 14, n. 11, p. 6684, 2022.

LEHMANN, J. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**. 249. 343-357, 2003.

PÉREZ VÁZQUEZ, A. et al. Bibliometric analysis of scientific research on biochar. **Agro Productividad**, v. 14, n. 2, 2021.

RALEBITSO-SENIOR T. K.; ORR C. H. Microbial ecology analysis of biochar-augmented soils: setting the scene. In: Ralebitso-Senior TK, Orr CH (eds) **Biochar application: essential soil microbial ecology**, 1st edn. Elsevier, Oxford, p 330, 2016.

RODRÍGUEZ, L.; SALAZAR P.; PRESTON, T. R. Effect of biochar and biodigester effluent on growth of maize in acid soils. **Livestock Research for Rural Development**, v. 21, 110, 2009.

SCHOMMER, V. A. et al. Biochar-immobilized *Bacillus* spp. for heavy metals bioremediation: A review on immobilization techniques, bioremediation mechanisms and effects on soil. **Science of The Total Environment**, v. 881, p. 163-385, 2023.

SCHNEIDER, F. L. **Fontes de carbono orgânico sobre o desempenho agrônômico da cultura da soja e teores de fósforo e potássio no solo**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

ŠEREMEŠIĆ, S. et al. Effects of biochar application on morphological traits in maize and soybean. **Zbornik Matice srpske za prirodne nauke**, 129, 17-25, 2015.

SONG, P. et al. Recent advances in soil remediation technology for heavy metal contaminated sites: A critical review. **Science of The Total Environment**, v. 838, p. 156417, 2022.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 3. ed., rev. e ampl. – Porto Alegre, RS: Emater/RS- Ascar, 2018.

TEIXEIRA, S. R.; BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Impactos ambientais da contaminação de águas e solos por poluentes orgânicos e metais pesados: uma revisão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0200541, 2020.



A SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA AGROALIMENTAR E O PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS: DESAFIOS E POSSIBILIDADES

Cintia Cassia Tonieto Gris*, Suellen Secchi Martinelli, Suzi Barletto Cavalli

Observatório de Alimentação Saudável e Sustentável, Programa de Pós-Graduação em Nutrição, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC

*E-mail: cctgris@gmail.com

RESUMO - Na atualidade, o estudo do quadro global de má nutrição e sua relação com os sistemas alimentares tem apontado para uma preocupante relação entre o aumento no consumo de alimentos com elevado nível de processamento, a má nutrição e a insustentabilidade do sistema alimentar. Este estudo objetivou elucidar os desafios e as possibilidades na relação estabelecida entre a sustentabilidade do sistema agroalimentar e o processamento de alimentos. Foi realizada uma revisão narrativa de literatura realizada de forma não sistemática no período de março de 2022 a março de 2023. O perfil nutricional “inadequado” de alimentos com altos níveis de processamento pode ser a principal causa das associações estabelecidas entre o consumo desses alimentos e as mudanças climáticas. Em contrapartida o processamento realizado por agroindústrias familiares parece ser uma estratégia interessante de amenizar o cenário global de má nutrição e insustentabilidade, desde que esse processamento seja realizado considerando outras dimensões de sustentabilidade para além de parâmetros nutricionais. Ressalta-se a necessidade de estudos voltados ao desenvolvimento de metodologias que identifiquem e, por consequência, promovam alimentos processados de qualidade contribuindo assim para melhoria da nutrição e para amenizar o quadro de insustentabilidade do sistema alimentar global.

Palavras-chave: Indicadores de Desenvolvimento Sustentável; Alimentos Industrializados; Alimentos, Dieta e Nutrição

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas alimentares abrangem a gama de atores e suas atividades envolvidas na cadeia de abastecimento alimentar, incluindo seu ambiente direto e os “motores” que os influenciam, bem como seus impactos à longo prazo nas principais dimensões da sustentabilidade, que por sua vez afetam os outros elementos via ciclos de feedback (David-Benz *et al.*, 2022). Dada a sua relevância, o sistema alimentar global aparece como um elemento-chave em vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)(ONU, 2015, 2018). O processamento de alimentos pode ser definido como uma combinação de métodos e/ou procedimentos que buscam atingir mudanças em matérias-primas (Fellows, 2000). A maioria dos alimentos consumidos no mundo foram alterados em algum nível (HLPE, 2017) e muitas formas de processamento são essenciais, benéficas ou inofensivas (OPA/OMS, 2015). O processamento de alimentos pode, por exemplo, estender a vida de prateleira dos produtos, melhorar as características sensoriais e propriedades funcionais e destruir microrganismos e toxinas de origem alimentar tornando-o seguro para consumo (Boekel *et al.*, 2010). No entanto, nos últimos anos, a comunidade científica tem se dedicado ao estudo do quadro global de má nutrição e sua relação com os sistemas alimentares (Baker; Friel, 2016; Monteiro *et al.*, 2021; Onu; Unscn, 2013; Pingali, 2015; Reardon *et al.*, 2021; Sapea, 2020; Sarlio, 2018; Tilman; Clark, 2014) e apontado para uma preocupante relação entre o aumento no consumo de alimentos com elevado nível de processamento, a má nutrição e a insustentabilidade do sistema alimentar global (Bodirsky *et al.*, 2020; Fardet; Rock, 2020; Monteiro *et al.*, 2021; Swinburn *et al.*, 2019). Este estudo teve como objetivo elucidar os desafios e as possibilidades na relação estabelecida entre a sustentabilidade do sistema agroalimentar e o processamento de alimentos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo constitui-se de uma revisão narrativa de literatura realizada de forma não sistemática no período de março de 2022 a março de 2023. Uma revisão narrativa de literatura tem como objetivo mapear o conhecimento produzido em determinada área, sem critérios sistemáticos para busca, retenção de artigos e extração de informações (De-la-Torre-Ugarte-Guanilo; Takahashi; Bertolozzi, 2011; Tomaz *et al.*, 2023). A busca bibliográfica considerou, inicialmente, os estudos conduzidos no âmbito do Observatório de Alimentação Saudável e Sustentável (OBASS), existente desde 2009 na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e que possui a sustentabilidade no sistema alimentar como tema central de estudo. Também foram incluídos artigos oriundos da revisão narrativa de literatura realizada para elaboração



do referencial teórico do projeto de tese “*Elaboração e validação de instrumento para identificação de alimentos processados com a qualidade de seguros, saudáveis e sustentáveis*” desenvolvido no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Nutrição da UFSC e outros artigos identificados nas listas de referências dos trabalhos selecionados e artigos. A revisão tomou como base a pergunta de pesquisa: “*Quais são os desafios e as possibilidades na relação estabelecida entre a sustentabilidade do sistema agroalimentar e o processamento de alimentos?*”

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A (in)sustentabilidade do sistema alimentar e o processamento de alimentos

Ao longo da evolução, os humanos e seus ancestrais foram confrontados com dificuldades na obtenção de alimentos e na sua forma de consumo, surge então, o processamento de alimentos com o intuito de tornar os alimentos comestíveis, seguros, transportáveis e possibilitar sua conservação e armazenagem (Knorr; Augustin, 2021).

Com o passar do tempo, o propósito do processamento de alimentos foi sofrendo mudanças. Durante o século XX, um dos grandes objetivos buscados foi o aumento da palatabilidade e da conveniência dos alimentos e a indústria começou então a intensificar o nível de processamento desenvolvendo os chamados alimentos (ou pratos) prontos para aquecer ou prontos para comer (Huebbe; Rimbach, 2020; Knorr; Watzke, 2019). Mudanças nas formulações de alimentos submetidos a diferentes níveis de processamento, com variações na composição química e nutricional, passaram a impactar negativamente a qualidade nutricional dos alimentos e a trazer prejuízos para a nutrição da população (Bodirsky *et al.*, 2020; Botelho; Araújo; Pineli, 2017; Swinburn *et al.*, 2019).

Nas últimas décadas algumas classificações tem surgido com o objetivo de categorizar os alimentos considerando os diferentes níveis de processamento (Monteiro, 2009; Monteiro *et al.*, 2017; Poti *et al.*, 2015; Slimani *et al.*, 2009). A classificação NOVA, desenvolvida por um grupo de pesquisadores brasileiros, apresenta quatro grupos distintos conhecidos como alimentos in natura e minimamente processados; alimentos processados, ingredientes culinários e alimentos ultraprocessados (em inglês: *unprocessed and minimally processed foods; processed culinary ingredients; processed foods; ultra-processed foods*) (Monteiro *et al.*, 2017). Segundo a classificação, alimentos ultraprocessados são tidos como alimentos densos em energia, ricos em gorduras não saudáveis, amidos refinados, açúcares e sal e pobres em proteínas, fibras alimentares e micronutrientes, são feitos para serem hiperpalatáveis e atraentes, com longa vida útil, podendo ser consumidos em qualquer lugar e a qualquer hora (Monteiro *et al.*, 2017). No entanto, é interessante observar que a relação estabelecida entre o consumo de alimentos industrializados, independentemente do nível de processamento, e a má nutrição deve-se primordialmente às formulações desenvolvidas e não ao processamento em si.

O perfil nutricional “inadequado” de alimentos considerados ultraprocessados pode ser a principal causa das associações estabelecidas entre consumo alimentar, doenças cardiovasculares (Ostfeld; Allen, 2021), excesso de peso, desnutrição (Reardon *et al.*, 2021) e maior risco de mortalidade (Pagliai *et al.*, 2021). Além disso, o consumo desses alimentos pode levar à substituição parcial ou total de alimentos locais, tradicionais e nutricionalmente superiores (Reardon *et al.*, 2021) e sua produção parece estar intimamente ligada à práticas agrícolas pouco sustentáveis, à perda de tradições culinárias, ao desaparecimento progressivo dos agricultores familiares e à perda da biodiversidade (Fardet; Rock, 2020). Infere-se que, nas últimas décadas, as grandes indústrias alimentícias passaram a moldar o sistema agroalimentar impactando negativamente a qualidade da alimentação, a saúde, a cultura e o ambiente e tornando-se um importante agente causal das mudanças climáticas (Swinburn *et al.*, 2019).

No entanto, as críticas à industrialização de alimentos como um todo são um erro (Monteiro *et al.*, 2021). Muitas empresas do ramo trabalham quase que exclusivamente com ingredientes frescos ou minimamente processados e precisam ser incentivadas, defendidas e apoiadas (Gazolla; Schneider; Brunori, 2018; Monteiro *et al.*, 2021).

3.2 Possibilidades para um processamento sustentável de alimentos

As agroindústrias rurais comumente realizam o processamento de alimentos de forma branda preocupando-se em manter as características naturais dos alimentos (Mior, 2005; Torrezan; Cascelli; Diniz, 2017) e podem ser uma alternativa para produção de alimentos processados de qualidade (Martinelli *et al.*, 2020).

Múltiplas compreensões são tecidas sobre o termo agroindústria rural e a caracterização desse estabelecimento. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para coleta e tabulação dos dados censitários considera como produção de agroindústria rural “os produtos do estabelecimento agropecuário que foram beneficiados ou transformados, no período de referência, em instalações próprias, comunitárias ou de terceiros, a partir de matéria-prima que tenha sido produzida no próprio estabelecimento ou adquirida de outros produtores, desde que a destinação final do produto tenha



sido dada pelo produtor” (IBGE, 2019). Os termos “agroindústria rural de pequeno porte” e “agroindústria familiar rural” buscam estabelecer uma diferenciação no porte ou no volume de vendas, designando estabelecimentos de menor porte produtivo (IPEA, 2013). Em linhas gerais, agroindústrias rurais, especialmente as agroindústrias familiares, processam alimentos oriundos da agricultura familiar (Gazolla, 2013).

Não existe uma definição global e universal sobre agricultura familiar e em alguns países o conceito é bastante amplo (Macedo, 2014). No Brasil, o agricultor ou empreendedor rural pertencente à agricultura familiar é aquele que: i) não detém, a qualquer título, área maior do que 4 (quatro) módulos fiscais; ii) utiliza predominantemente mão-de-obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento; iii) tem percentual mínimo da renda familiar originada de atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento, na forma definida pelo Poder Executivo; iv) dirige seu estabelecimento ou empreendimento com sua família (BRASIL, 2006, 2011). Ressalta-se que, mesmo agricultores familiares ocupando pequenas áreas de terra, esses são os principais fornecedores de alimentos básicos no Brasil (Heberlê, 2014).

A agricultura familiar brasileira tem importante papel na estrutura agrária nacional, é responsável pela geração de empregos, ocupações, renda e pela produção de alimentos destinados ao mercado doméstico (Aquino; Gazolla; Schneider, 2018; Guilhoto *et al.*, 2007), além de possuir papel estratégico na construção de soluções duradouras para a melhoria das condições de vida nas zonas rurais, para a qualidade da alimentação e para reconexão entre a produção e consumo (Amaral; Araújo, 2015; Cavalli *et al.*, 2020; Silva; Deon, 2015). Em diferentes mercados, o fornecimento de alimentos oriundos da agricultura familiar culmina no aumento da quantidade e da variedade de alimentos saudáveis ofertados (Preiss *et al.*, 2022; Soares *et al.*, 2017), relacionando-se com a valorização de alimentos regionais, do saber fazer local e com a manutenção da biodiversidade (Martinelli *et al.*, 2020). Sistemas agrícolas altamente dinâmicos, biodiversos e adaptáveis são associados à agricultura familiar (Tittone *et al.*, 2021), sendo um importante elemento de contribuição para construção de sistemas alimentares mais saudáveis e sustentáveis (Soares *et al.*, 2021), capaz de minimizar os riscos decorrentes da degradação ambiental e do aquecimento global (Gomes; Cardoso, 2021).

As agroindústrias familiares se inserem na mesma dinâmica de funcionamento da agricultura familiar (Cenci; Schneider, 2023). Genericamente, esses estabelecimentos apresentam pequena escala de produção, com diversificação e complementação de produtos, processando alimentos oriundos da agricultura familiar e utilizando-se de recursos e tecnologias apropriadas ao ecossistema local (IPEA, 2013). Oportunizam a inclusão social, promovendo a participação e a equidade especialmente de segmentos menos privilegiados, agregam valor a produtos ao comercializarem alimentos mais prontos para consumo (Prezotto, 2016) e evitam o êxodo rural e a consequente migração de agricultores familiares para espaços urbanos (Liszbinski *et al.*, 2021).

Em relação à qualidade dos produtos processados, as agroindústrias familiares priorizam a manutenção da matriz do alimento (Oliveira; Jaime, 2016) - diferentemente do processamento realizado por muitas das grandes indústrias que é voltado para o desenvolvimento de alimentos considerados ultraprocessados (Monteiro *et al.*, 2021). Além disso, as agroindústrias têm encontrado oportunidade de mercado e apostado no processamento de produtos agrícolas com atributos de qualidade e certificações específicas, como alimentos orgânicos, alimentos oriundos de comércio justo e produtos certificados com denominação de origem (Silva, 2013).

Agroindústrias rurais, especialmente agroindústrias familiares, parecem ser uma possibilidade para fornecimento de alimentos processados sem que esses culminem em prejuízos para a saúde e para sustentabilidade do sistema alimentar (Martinelli *et al.*, 2020). No entanto, é válido ressaltar que o impacto do processamento realizado nas agroindústrias pode ser tanto negativo quanto positivo, dependendo, por exemplo, da origem da matéria prima, das formulações dos produtos processados e de como esse processamento acontece (Silva, 2013). Desenvolver metodologias que identifiquem alimentos processados de qualidade pode ser uma estratégia para direcionar esse processamento para melhora da nutrição e da sustentabilidade global.

4 CONCLUSÃO

Esta revisão buscou apresentar alguns dos desafios enfrentados pelo sistema agroalimentar, especialmente ao que se refere ao processamento de alimentos.

O processamento realizado por agroindústrias familiares parece ser uma estratégia para amenizar o cenário global de má nutrição e insustentabilidade, desde que esse processamento se comprometa com a produção de alimentos de qualidade.

Ressalta-se a necessidade de estudos voltados ao desenvolvimento de metodologias que identifiquem e, por consequência, promovam alimentos processados de qualidade contribuindo assim para melhoria da nutrição e para amenizar o quadro de insustentabilidade do sistema alimentar global.



5 REFERÊNCIAS

- AMARAL, Adriana Queiroz de; ARAÚJO, Elvira Aparecida Simões de. Agricultura Familiar de Sustentabilidade: uma Análise da Produção Científica da Embrapa. **Revista de Ciências Gerenciais**, v. 19, p. 47–50, 2015.
- AQUINO, Joacir Rufino de; GAZOLLA, Marcio; SCHNEIDER, Sergio. Dualismo no campo e desigualdades internas na agricultura familiar Brasileira. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 1, p. 123–142, 2018.
- BAKER, Phillip; FRIEL, Sharon. Food systems transformations, ultra-processed food markets and the nutrition transition in Asia. **Globalization and Health**, v. 12, n. 1, p. 1–15, 2016. Disponível em: <https://globalizationandhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12992-016-0223-3>. Acesso em: 7 fev. 2022.
- BODIRSKY, Benjamin Leon *et al.* The ongoing nutrition transition thwarts long-term targets for food security, public health and environmental protection. **Scientific Reports 2020 10:1**, v. 10, n. 1, p. 1–14, 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-75213-3>. Acesso em: 24 jan. 2022.
- BOEKEL, Martinus van *et al.* A review on the beneficial aspects of food processing. **Molecular nutrition & food research**, v. 54, n. 9, p. 1215–1247, 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20725924/>. Acesso em: 6 jul. 2021.
- BOTELHO, R.; ARAÚJO, W.; PINELI, L. Food formulation and not processing level: Conceptual divergences between public health and food science and technology sectors. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, n. 4, p. 639–650, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2016.1209159>. Acesso em: 14 jul. 2023.
- BRASIL, Casa Civil. **Lei nº 12.512, de 14 de outubro de 2011**. Brasil: Casa Civil, 2011. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/L12512.htm#art39.
- BRASIL, Casa Civil. **Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006**. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Brasil: Casa Civil, 2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111326.htm.
- CAVALLI, Suzi Barletto *et al.* Family farming in times of Covid-19. **Revista de Nutricao**, v. 33, p. 1–8, 2020.
- CENCI, Alexander; SCHNEIDER, Sergio. Impacto Da Covid-19 Nos Canais De Comercialização E Mercados Das Agroindústrias Familiares Da Serra Gaúcha. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 25, n. 2023, 2023.
- DAVID-BENZ, Hélène *et al.* **Estrutura conceitual e método para avaliação nacional e territorial dos sistemas alimentares**. Roma, FAO, Bruxelas, União Européia e Montpellier, França, CIRAD: 2022.
- DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO, Mônica Cecília; TAKAHASHI, Renata Ferreira; BERTOLOZZI, Maria Rita. Revisão sistemática: noções gerais. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 45, n. 5, p. 1260–1266, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/reeusp/a/CRjvBKKvRRGL7vGsZLQ8bQj/?lang=pt>. Acesso em: 9 nov. 2021.
- FARDET, Anthony; ROCK, Edmond. Ultra-processed foods and food system sustainability: What are the links?. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 15, p. 6280, 2020. Disponível em: www.mdpi.com/journal/sustainability. Acesso em: 26 mar. 2021.
- GAZOLLA, Marcio. Redefinindo as agroindústrias no Brasil: uma conceitualização baseada em suas “condições alargadas” de reprodução social. **Interfaces em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade (IDeAS)**, v. 7, n. 2, p. 62–95, 2013.
- GAZOLLA, Marcio; SCHNEIDER, Sergio; BRUNORI, Gianluca. Agroindústrias familiares: um estudo comparativo entre Regiões do Brasil e Itália. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 20, n. 1, p. 30–48, 2018.
- GOMES, Lucas Carvalho; CARDOSO, Irene Maria. Papel da agricultura familiar no sequestro de carbono e na adaptação às mudanças climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 73, n. 1, p. 40–43, 2021.
- GUILHOTO, Joaquim J. M. *et al.* A importância da agricultura familiar no Brasil e em seus estados. *In:* , 2007. **Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**. 2007. p. 18.
- HEBERLÊ, Antonio L. O. **A agricultura familiar brasileira no contexto mundial - Portal Embrapa**. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1871776/artigo-a-agricultura-familiar-brasileira-no-contexto-mundial>. Acesso em: 1 maio 2023.
- HLPE. **Nutrition and food systems. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security**. Rome: 2017. Disponível em: www.fao.org/cfs/cfs-hlpe. Acesso em: 6 jul. 2021.
- HUEBBE, Patricia; RIMBACH, Gerald. Historical Reflection of Food Processing and the Role of Legumes as Part of a Healthy Balanced Diet. **Foods**, v. 9, n. 8, p. 1–16, 2020.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2017: resultados definitivos**Censo agropecuário.2019. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf .
- IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **O Perfil da Agroindústria Rural no Brasil: uma análise com base nos dados do Censo Agropecuário 2006**. Brasília, DF.: 2013.



- KNORR, Dietrich.; AUGUSTIN, Mary Ann. Food processing needs, advantages and misconceptions. **Trends in Food Science & Technology**, v. 108, p. 103–110, 2021.
- KNORR, Dietrich; WATZKE, Heribert. Food Processing at a Crossroad. **Frontiers in Nutrition**, v. 0, p. 85, 2019.
- LISZBINSKI, Bianca Bigolin *et al.* Modelo De Inovação Territorial Em Arranjo Produtivo Local Da Agroindústria Familiar. **Mercator (Fortaleza)**, v. 20, p. 1–12, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/7mD68hj9CfP4RzrZG4kz6FK/?lang=pt#>.
- MACEDO, Anelise. **Agricultura familiar e a difusa conceituação do termo - Portal Embrapa**. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2464156/agricultura-familiar-e-a-difusa-conceituacao-do-termo>. Acesso em: 30 abr. 2023.
- MARTINELLI, Suellen Secchi *et al.* Sistemas alimentares, nutrição e alimentação saudável e sustentável. *In*: SANIDADE VEGETAL. 2020. p. 154–180.
- MIOR, Luiz Carlos. **Agricultores familiares, agroindústrias e redes de desenvolvimento rural**. Chapecó: 2005.
- MONTEIRO, Carlos Augusto. Nutrition and health. The issue is not food, nor nutrients, so much as processing. **Public Health Nutrition**, v. 12, n. 5, p. 729–731, 2009.
- MONTEIRO, Carlos Augusto *et al.* The need to reshape global food processing: A call to the United Nations Food Systems Summit. **BMJ Global Health**, v. 6, n. 7, p. 1–3, 2021. Disponível em: <https://gh.bmj.com/content/6/7/e006885>. Acesso em: 4 out. 2021.
- MONTEIRO, Carlos Augusto *et al.* The UN Decade of Nutrition, the NOVA food classification and the trouble with ultra-processing. **Public Health Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 5–17, 2017. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/public-health-nutrition/article/un-decade-of-nutrition-the-nova-food-classification-and-the-trouble-with-ultraprocessing/2A9776922A28F8F757BDA32C3266AC2A>. Acesso em: 2 out. 2021.
- OLIVEIRA, Nádia Rosana Fernandes de; JAIME, Patricia Constante. O encontro entre o desenvolvimento rural sustentável e a promoção da saúde no Guia Alimentar para a População Brasileira. **Saude e Sociedade**, v. 25, n. 4, p. 1108–1121, 2016.
- ONU. Guia sobre Desenvolvimento Sustentável: 17 objetivos para transformar o nosso mundo. **Centro de Informação Regional das Nações Unidas para a Europa Ocidental**, p. 1–38, 2018. Disponível em: https://unric.org/pt/wp-content/uploads/sites/9/2019/01/SDG_brochure_PT-web.pdf.
- ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- ONU, Organização das Nações Unidas; UNSCN, Standing Committee on Nutrition. **Changing food systems for better nutrition** (James Garrett *et al.*, Org.). 2013.
- OPA/OMS, Organização Pan-Americana da Saúde/ Organização Mundial da Saúde. **Ultra-processed food and drink products in Latin America: Trends, impact on obesity, policy implications**. Washington D.C: 2015. Disponível em: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/7698/9789275318645_esp.pdf.
- OSTFELD, Robert J.; ALLEN, Kathleen E. Ultra-Processed Foods and Cardiovascular Disease: Where Do We Go From Here?. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 77, n. 12, p. 1532–1534, 2021.
- PAGLIAI, G. *et al.* Consumption of ultra-processed foods and health status: a systematic review and meta-analysis. **The British Journal of Nutrition**, v. 125, n. 3, p. 308, 2021. Disponível em: [/pmc/articles/PMC7844609/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34146609/). Acesso em: 7 fev. 2022.
- PINGALI, Prabhu. Agricultural policy and nutrition outcomes – getting beyond the preoccupation with staple grains. **Food Security**, v. 7, n. 3, p. 583–591, 2015.
- POTI, Jennifer M. *et al.* Is the degree of food processing and convenience linked with the nutritional quality of foods purchased by US households?. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 101, n. 6, p. 1251–1262, 2015. Disponível em: [/pmc/articles/PMC4441809/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/261441809/). Acesso em: 12 out. 2021.
- PREISS, Potira Viegas *et al.* Impacto da covid-19 na distribuição de alimentos da agricultura familiar no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista de desarrollo económico territorial**, v. 21, p. 9–29, 2022.
- PREZOTTO, Leomar Luiz. **Agroindústria da Agricultura Familiar**. Brasília, DF.: 2016. Disponível em: http://www.contag.org.br/imagens/ctg_file_1879374735_13122016174616.pdf.
- REARDON, Thomas *et al.* The processed food revolution in African food systems and the double burden of malnutrition. **Global Food Security**, v. 28, p. 100466, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100466>.
- SAPEA, Science Advice for Policy by European Academies. **A Sustainable Food System for the European Union**. 2020.
- SARLIO, Sirpa. **Towards Healthy and Sustainable Diets Perspectives and Policy to Promote the Health of People and the Planet**. Helsinki, Finland: 2018.
- SILVA, Carlos A. **Agroindustrias para el desarrollo**. 2013. Disponível em:



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

<http://www.fao.org/docrep/017/i3125s/i3125s00.pdf>.

SILVA, Gustavo Pinto da; DEON, Paulo Roberto Cecconi. O protagonismo dos agricultores familiares na construção social de mercados. *In: UNIJUÍ (org.). O rural contemporâneo em debate: temas emergentes e novas institucionalidades*. 1. ed. Ijuí: 2015. p. 400.

SLIMANI, N. *et al.* Contribution of highly industrially processed foods to the nutrient intakes and patterns of middle-aged populations in the european prospective investigation into cancer and nutrition study. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 63, p. S206–S225, 2009.

SOARES, Panmela *et al.* Government policy for the procurement of food from local family farming in brazilian public institutions. **Foods**, v. 10, n. 7, p. 1604, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/7/1604/htm>. Acesso em: 30 abr. 2023.

SOARES, Panmela *et al.* Using local family farm products for school feeding programmes: effect on school menus. **British Food Journal**, v. 119, n. 6, p. 1289–1300, 2017.

SWINBURN, Boyd A *et al.* The Global Syndemic of Obesity, Undernutrition, and Climate Change: The Lancet Commission report. **The Lancet**, v. 393, n. 10173, p. 791–846, 2019. Disponível em: <http://www.thelancet.com/article/S0140673618328228/fulltext>. Acesso em: 4 out. 2021.

TILMAN, David; CLARK, Michael. Global diets link environmental sustainability and human health. **Nature**, v. 515, 2014.

TITTONELL, P. *et al.* Emerging responses to the COVID-19 crisis from family farming and the agroecology movement in Latin America – A rediscovery of food, farmers and collective action. **Agricultural Systems**, v. 190, n. October 2020, 2021.

TOMAZ, Milena Porto *et al.* Revisão Narrativa. **Guia De Pesquisa Acadêmica Em Saúde**, p. 209–223, 2023.

TORREZAN, Renata; CASCELLI, Sônia Maria Ferreira; DINIZ, Janaína Deane de Abreu Sá. **Agroindústria familiar: aspectos a serem considerados na sua implantação**. Brasília, DF.: 2017.



Área: Segurança Alimentar e Nutricional

Aflatoxina M₁: ocorrência e ingestão diária provável em leite no Brasil

Francine Kerstner*, Jaqueline Garda-Bufferon

Laboratório de Micotoxinas e Ciência de Alimentos, Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS

*E-mail: frankerstner@gmail.com

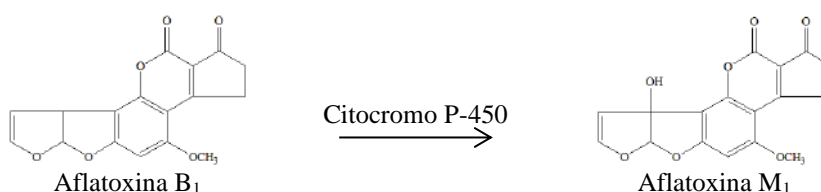
RESUMO – O leite é um alimento fonte de macronutrientes e micronutrientes, sendo amplamente consumido de diferentes formas na dieta humana. Entretanto, esse alimento se caracteriza pela frequente ocorrência de contaminantes, como a aflatoxina M₁. Neste contexto, o objetivo deste estudo é compilar informações sobre a ocorrência de aflatoxina M₁ em leite produzido no Brasil. Ainda, com base nos dados de concentração obtidos, estimar a ingestão diária provável de aflatoxina M₁ pela população brasileira. O levantamento de dados foi realizado nas bases de dados eletrônicos Portal de Periódicos Capes (PERIÓDICOS, 2024) e Google Acadêmico (GOOGLE ACADÊMICO, 2024), utilizando as seguintes palavras-chave: “Occurrence”, “Aflatoxin M₁”, “Milk” e “Brazil”. O critério de inclusão de artigos considerou os estudos publicados nos últimos 10 anos (2014-2024). A ocorrência de aflatoxina M₁ em amostras de leite mostraram-se acima dos limites regulatórios estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (0,5 µg kg⁻¹) para o leite cru, pasteurizado e UHT. Para o leite em pó, nenhuma das amostras extrapolou o limite estabelecido pela legislação brasileira (5 µg kg⁻¹). Os dados calculados para ingestão diária provável média (0,0658 ng kg de peso corporal⁻¹ dia⁻¹) e máxima (0,8226 ng kg de peso corporal⁻¹ dia⁻¹) ficaram acima do estimado como seguro pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (0,058 ng kg de peso corporal⁻¹ dia⁻¹). Esse resultado alerta quanto ao elevado consumo de aflatoxina M₁ pelos consumidores de leite no Brasil e a defasagem nos dados oficiais disponíveis à população.

Palavras-chave: Micotoxina. Contaminante alimentar. Segurança alimentar.

1 INTRODUÇÃO

As micotoxinas são produtos do metabolismo secundário de fungos filamentosos (BENNETT; KLICH, 2003). A exposição humana as micotoxinas ocorre principalmente pelo consumo de alimentos de origem vegetal e animal contaminados. A incidência de micotoxinas em produtos de origem animal ocorre devido o consumo de rações contaminadas, que são metabolizadas e liberadas ou armazenadas em tecidos do animal (BATTACONE et al., 2003).

Dentre os metabólitos liberados, a aflatoxina M₁ se destaca por ser frequentemente relatada quanto a sua ocorrência em leite de mamíferos que consumiram alimentos contaminados por aflatoxina B₁ (MARCHESE et al., 2018). A biotransformação da aflatoxina B₁ em aflatoxina M₁ ocorre após o consumo, quando a micotoxina é metabolizada no fígado pela enzima citocromo P-450 em vários metabólitos, sendo a aflatoxina M₁ produzida pela hidroxilação do carbono do terceiro anel bifuranocumarina (Figura 1) (FALETTO et al., 1988). A presença do grupo hidroxila aumenta a solubilidade desse composto e assim a aflatoxina M₁ pode ser eliminada pela urina, fezes e leite (HUSSEIN; BRASEL, 2001).



Fonte: SWICK (1984).

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é responsável por estabelecer limites regulatórios para micotoxinas em alimentos. Para o leite, apenas a aflatoxina M₁ é regulamentada, sendo o Limite Máximo Tolerado em leite fluído de 0,5 µg kg⁻¹, enquanto para o leite em pó é de 5 µg kg⁻¹ (BRASIL, 2011). Entretanto, outras regulamentações como as estabelecidas pela Codex Alimentarius (CODEX ALIMENTARIUS, 2001) e a Comissão Europeia (EC, 2006) estabelecem o limite de 0,05 µg kg⁻¹ para leite cru, leite tratado termicamente e leite para a fabricação de produtos lácteos.



O leite é fonte de macro e micronutrientes amplamente consumido em todo o mundo. Esse alimento apresenta papel fundamental na dieta, principalmente de crianças, devido suas características nutricionais (FAO, 2019). Neste contexto, a ocorrência de aflatoxina M_1 em leite com incidência acima do regulamentado por órgãos fiscalizadores vem causando preocupação para a população mais vulnerável, especialmente crianças.

Neste contexto, o objetivo deste estudo é compilar informações sobre a ocorrência de aflatoxina M_1 em leite produzido no Brasil. Ainda, com base nos dados de concentração obtidos, estimar a ingestão diária provável de aflatoxina M_1 pela população brasileira.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Nessa revisão, a pesquisa na literatura foi realizada nas bases de dados eletrônicas Portal de Periódicos Capes (PERIÓDICOS, 2024) e Google Acadêmico (GOOGLE ACADÊMICO, 2024), utilizando as seguintes palavras-chave: "Occurrence", "Aflatoxin M_1 ", "Milk" e "Brazil". O critério de inclusão de artigos considerou o ano de publicação, sendo a pesquisa limitada aos estudos publicados nos últimos 10 anos (2014-2024), a fim de obter dados atualizados quanto à ocorrência de aflatoxina M_1 em leite. Dos resultados obtidos, foram excluídos os artigos de revisão e aqueles que não se enquadravam nos critérios determinados.

A ingestão diária provável de aflatoxina M_1 em leite pela população brasileira foi estimada com base nos dados de concentração obtidos na revisão da literatura e calculada empregando a Equação 1.

$$ID = \frac{[\text{concentração de aflatoxina } M_1 \text{ em leite}] \cdot \text{consumo de leite}}{\text{peso corporal}} \quad (1)$$

Onde:

ID = Ingestão diária provável (ng kg de peso corporal⁻¹ dia⁻¹);

[concentração de aflatoxina M_1 em leite] = concentração média de aflatoxina M_1 em leite (ng kg⁻¹);

Consumo de leite = consumo diário de leite (kg dia⁻¹);

Peso corporal = peso corporal médio estimado da população (kg).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ocorrência de aflatoxina M_1 em leite

A ocorrência de aflatoxina M_1 em leite produzidos e comercializados no Brasil nos últimos 10 anos está relatada na Tabela 1. Diversos estudos mostraram níveis de contaminação por aflatoxina M_1 superior ao Limite Máximo Tolerado em leite fluído (0,05 $\mu\text{g kg}^{-1}$). Entretanto, todos os resultados de ocorrência de aflatoxina M_1 ficaram abaixo do Limite Máximo Tolerado para leite em pó (5 $\mu\text{g kg}^{-1}$).

Os maiores níveis de contaminação por aflatoxina M_1 foram observados no leite cru e pasteurizado (Tabela 1). Esse fato pode ser explicado devido à ausência/brando tratamento térmico empregado nesses produtos, principal estratégia para redução de contaminantes em leite (CLAEYS et al., 2013). Apesar disso, sabe-se que devido as propriedades de termoestabilidade das micotoxinas, esses contaminantes podem estar presentes em alimentos processados, como o leite em pó, pasteurizado e UHT.

Nos últimos 10 anos (Tabela 1), 1651 amostras de leite (cru, pasteurizado, UHT e em pó) do Brasil foram avaliadas quanto a ocorrência de aflatoxina M_1 . Ao total, 1046 amostras (63%) estavam contaminadas por aflatoxina M_1 com concentração entre 0,002-3,670 $\mu\text{g kg}^{-1}$. A Figura 2 apresenta a distribuição das amostras positivas para presença de aflatoxina M_1 ao longo dos anos.

Conforme apresentado na Figura 2, pode-se observar a tendência a redução na ocorrência de aflatoxina M_1 em leite. Esse fato pode ser devido ao aumento dos cuidados relacionados ao processo produtivo, minimizando as chances de incidência desse contaminante, ou ainda, a ausência de novos estudos sobre o tema. Ainda, pode-se observar que nos anos de 2019, 2020 e 2024 não há relatos da ocorrência de aflatoxina M_1 em leite, isso devido à ausência estudos publicados na literatura nesse período. O maior percentual de ocorrência aconteceu no ano de 2017, quando todas das amostras analisadas (52 amostras) apresentaram resultado positivo para a presença de aflatoxina M_1 .

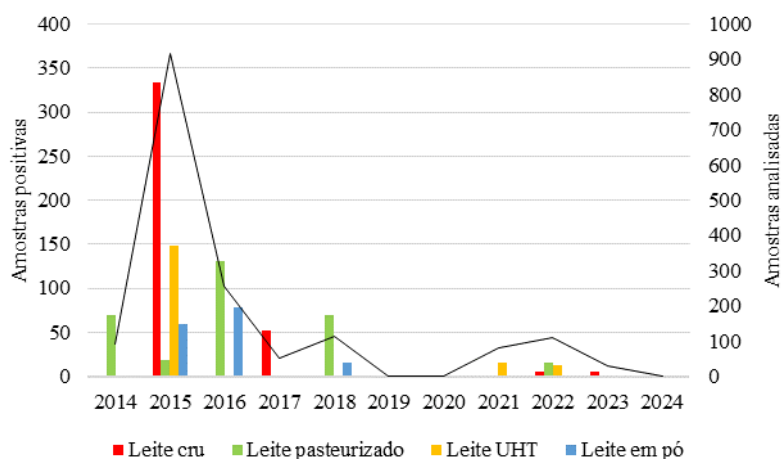


Tabela 1 - Ocorrência de aflatoxina M₁ em leite

Tipo de leite	AP/AA	Incidência (%)	Faixa (µg kg ⁻¹)	Média (µg kg ⁻¹)	Referência
Leite cru	52/52	100	0,09-3,385	NI	Gonçalves et al., 2017
	05/40	13	0,014-0,182	0,114	Corassin et al., 2022
	06/30	20	0,093-0,320	0,238	Diógenes et al., 2023
	334/635	53	0,003->0,500	0,021	Santili et al., 2015
Leite pasteurizado	35/49	71	0,040-3,670	NI	Gonçalves et al., 2018
	131/166	79	0,003-0,120	NI	Shundo et al., 2016
	11/16	69	0,005-0,042	NI	Sartori et al., 2015
	17/27	63	0,013-2,800	1,026	Scaglioni et al., 2014
	16/44	36	0,003-0,117	0,032	Corassin et al., 2022
	35/40	88	0,005-0,045	NI	Venâncio et al., 2018
	07/07	100	0,01-0,03	0,02	Santos et al., 2015
	01/04	25	32	32	Frey; Rosim; Oliveira, 2021
	52/63	83	0,080-0,437	NI	Iha et al., 2014
Leite UHT	133/152	87	0,002-0,121	0,02	Silva et al., 2015
	13/27	48	0,020-0,148	0,08	Corassin et al., 2022
	15/34	44	0,150-0,560	NI	Conteçotto et al., 2021
	28/28	100	0,01-0,08	0,04	Santos et al., 2015
	01/32	3	227	227	Frey; Rosim; Oliveira, 2021
Leite em pó	15/25	60	0,013-2,800	NI	Gonçalves et al., 2018
	78/91	86	0,030-1,210	NI	Shundo et al., 2016
	53/72	74	0,080-1,190	NI	Sartori et al., 2015
	01/10	10	1,02	1,02	Conteçotto et al., 2021
	07/07	100	0,33-0,81	0,65	Santos et al., 2015

AP: Amostra positiva. NA: Número de amostras analisadas. NI: Não informado.

Figura 2 - Amostras contaminadas por aflatoxina M₁ nos últimos 10 anos



3.2 Determinação da ingestão diária provável

A ingestão diária (ID) provável de micotoxinas é considerada uma forma de estimar a exposição dos consumidores a esses contaminantes. Na América Latina, a ingestão alimentar média de aflatoxina M₁ foi estimada pela



Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, do inglês *Food and Agriculture Organization*) em $0,058 \text{ ng kg de peso corporal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (FAO, 2001).

Com base nos dados referentes ao nível de contaminação por aflatoxina M_1 em leite (Tabela 1), foi estimada a ingestão diária provável de aflatoxina M_1 em leite no Brasil. Ainda, foram considerados para o cálculo o consumo médio *per capita* de leite integral ($0,0165 \text{ kg dia}^{-1}$) apresentado na Análise do Consumo Alimentar ssoal no Brasil pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020) e o peso corporal médio de $67,9 \text{ kg}$ (WALPOLE et al., 2012).

A Tabela 2 apresenta os resultados de ingestão diária provável de aflatoxina M_1 em leite em termos de concentração mínima, média e máxima.

Tabela 2 - Ingestão diária provável de aflatoxina M_1 pela população brasileira

Ingestão mínima (ng kg peso corporal ⁻¹ dia ⁻¹)	Ingestão média (ng kg peso corporal ⁻¹ dia ⁻¹)	Ingestão máxima (ng kg peso corporal ⁻¹ dia ⁻¹)
0,0005	0,0658	0,8226

Os dados calculados para ingestão diária provável média e máxima (Tabela 2) ficaram acima do estimado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura ($0,058 \text{ ng kg de peso corporal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$). Esse resultado pode ser explicado devido ao aumento da ocorrência de aflatoxina M_1 em leite após o levantamento de dados realizados pela organização (estudos de 1990-1999).

4 CONCLUSÃO

Nos últimos 10 anos, diferentes estudos foram realizados a fim de estimar a ocorrência de aflatoxinas M_1 em leite no Brasil. Os resultados obtidos apresentaram concentração de aflatoxina M_1 em leite cru, pasteurizado e UHT acima dos Limites Máximos Tolerados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

Os resultados obtidos nesta revisão ressaltam a necessidade do monitoramento e controle de aflatoxina M_1 em leites produzidos no Brasil, a fim de minimizar a exposição dos consumidores de leite as micotoxinas. Ainda, demonstra que estratégias de controle e mitigação são necessárias para garantir o fornecimento de um produto seguro ao consumidor.

5 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

6 REFERÊNCIAS

- BATTACONE, G.; NUDDA, A.; CANNAS, A.; BORLINO, A. C.; BOMBOI, G.; PULINA, G. Excretion of aflatoxin M_1 in milk of dairy ewes treated with different doses of aflatoxin B_1 . **Journal of Dairy Science**, v. 86, p. 2667-2675, 2003.
- BENNETT, J. W.; KLICH, M. Mycotoxins. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 16, n. 3, p. 497-516, 2003.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – RDC Nº 7, de 18 de fevereiro de 2011. Dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2011.
- CLAEYS, W. L.; CARDOEN, S.; DAUBE, G.; DE BLOCK, J.; DEWETTINCK, K.; DIERICK, K.; ZUTTER, L. D.; HUYGHEBAERT, A.; IMBERECHTS, H.; THIANGE, P.; VANDENPLAS, Y.; HERMAN, L. Raw or heated cow milk consumption: Review of risks and benefits. **Food Control**, v. 31, p. 251-262, 2013.
- CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. **Comments submitted on the draft maximum level for aflatoxin M_1 in milk**. Hauge, The Netherlands: Codex Committee on Food Additives and Contaminants, 33rd sessions, 2001.
- CONTEÇOTTO, A. C. T.; PANTE, G. C.; CASTRO, J. C.; SOUZA, A. A.; LINI, R. S.; ROMOLI, J. C. Z.; ABREU FILHO, B. A.; MIKCHA, J. M. G.; MOSSINI, S. A. G.; MACHINSKI JÚNIOR, M.; Occurrence, exposure evaluation and risk assessment in child population for aflatoxin M_1 in dairy products in Brazil. **Food and Chemical Toxicology**, v. 148, p. 111913, 2021.
- CORASSIN, C. H.; BOROWSKY, A.; ALI, S.; ROSIM, R. E.; OLIVEIRA, C. A. F. Occurrence of aflatoxin M_1 in milk and dairy products traded in São Paulo, Brazil: an update. **Dairy**, v. 3, p. 842-848, 2022.



- DIÓGENES, L. C. G.; KLUCZKOVSKI, A. M.; GÓES, A. F. F.; PINTO, S. C. B.; ARAÚJO, C. F.; KLUCZKOVSKI-JUNIOR, A. Occurrence of aflatoxin M₁ and risk assessment in bovine milk from the amazon region. **Journal of Food Research**, v. 12, p. 23-28, 2023.
- EC - EUROPEAN COMMISSION. Document N° SANTE/2015/11945. **Analytical quality control and method validation procedures for pesticides residues analysis in food and feed**. 2015.
- FALETTO, M. B., KOSER, P. L., BATTULA, N., TOWNSEND, G. K., MACCUBBIN, A. E., GELBION, H. V. Cytochrome P3-450 cDNA encodes aflatoxin B₁ hydroxylase. **Journal of Biological Chemistry**, v. 263, p. 12187-12189, 1988.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Safety evaluation of certain mycotoxins in food. **WHO Food Additives Series 47**. Geneva, 2001.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Milk and dairy products in human nutrition. 2019.
- FREY, M.; ROSIM, R.; OLIVEIRA, C. Mycotoxin co-occurrence in milks and exposure estimation: A pilot study in São Paulo, Brazil. **Toxins**, v. 13, p. 507, 2021.
- GONÇALVES, L.; DALLA ROSA, A.; GONZALES, S. L.; FELTES, M. M. C.; BADIALE-FURLONG, E.; DORS, G. C. Incidence of aflatoxin M₁ in fresh milk from small farms. **Food Science and Technology**, v. 37, p. 11-15, 2017.
- GONÇALVES, K. D. M.; MARIMÓN, K. V. S.; FELTRIN, A. C. P. F.; REMEDI, R. D.; GARCIA, S. O.; GARDABUFFON, J. Occurrence of aflatoxins B₁ and M₁ in milk powder and UHT consumed in the city of Assomada (Cape Verde Islands) and southern Brazil. **Food Control**, v. 93, p. 260-264, 2018.
- GOOGLE ACADÊMICO. Disponível em: <scholar.google.com>. Acesso em: 07 mar. 2024.
- HUSSEIN, H. S.; BRASEL, J. M. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. **Toxicology**, v. 167, p. 101-134, 2001.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA. Pesquisa de orçamentos familiares : 2017-2018: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br>. Acesso em: 09 mar. 2024.
- IHA, M. H.; BARBOSA, C. B.; HECK, A. R.; TRUCKSESS, M. W. Aflatoxin M₁ and ochratoxin A in human milk in Ribeirão Preto-SP, Brazil. **Food Control**, v. 40, p. 310-313, 2014.
- MARCHESE, S.; POLO, A.; ARIANO, A.; VELOTTO, S.; COSTANTINI, S.; SEVERINO, L. Aflatoxin B₁ and M₁: Biological properties and their involvement in cancer development. **Toxins**, v. 10, n. 6, p. 2014, 2018.
- PERIÓDICOS. Disponível em: <www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 06 mar. 2024.
- SANTILI, A. B. N.; CAMARGO, A. C.; NUNES, R. S. R.; GLORIA, E. M.; MACHADO, P. F.; CASSOLI, L. D.; DIAS, C. T. S.; CALORI-DOMINGUES, M. A. Aflatoxin M₁ in raw milk from different regions of São Paulo state – Brazil. **Food Additives & Contaminants: Part B: Surveillance**, v. 8, p. 207-214, 2015.
- SANTOS, J. S.; FRANÇA, V. R.; KATTO, S.; SANTANA, E. H. W. Aflatoxin M₁ in pasteurized, UHT milk and milk powder commercialized in Londrina, Brazil and estimation of exposure. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 65, p. 181-85, 2015.
- SHUNDO, L.; ALMEIDA, A. P.; ALABURDA, J.; LAMARDO, L. C. A.; NAVAS, S. A.; RUVIERI, V.; SABINO, M. Occurrence of aflatoxin M₁ in bovine milk samples consumed in different regions of Brazil. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 75, p. 1-8, 2016.
- SARTORI, A. V.; MATTOS, J. S.; MORAES, M. H. P.; NÓBREGA, A. W. Determination of aflatoxins M₁, M₂, B₁, B₂, G₁, and G₂ and ochratoxin A in UHT and powdered milk by modified QuEChERS method and Ultra-High-Performance Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry. **Food Analytical Methods**, v. 8, p. 2321-2330, 2015.7
- SCAGLIONI, P. T.; BECKER-ALGERI, T.; DRUNKLER, D.; BADIALE-FURLONG, E. Aflatoxin B₁ and M₁ in milk. **Analytica Chimica Acta**, v. 829, p. 68-74, 2014.
- SILVA, M. V.; JANEIRO, V.; BANDO, E.; MACHINSKI JR, M. Occurrence and estimative of aflatoxin M₁ intake in UHT cow milk in Paraná state, Brazil. **Food Control**, v. 53, p. 222-225, 2015.
- SWICK, R. A. Hepatic metabolism and bioactivation of mycotoxins and plant toxins. **Journal of Animal Science**, v. 58, n. 4, p. 1017-1028, 1984.
- VENÂNCIO, R. L.; LUDOVICO, A.; SANTANA, E. H. W.; TOLEDO, E. A.; REGO, F. C. A.; SANTOS, J. S. Occurrence and seasonality of aflatoxin m₁ in milk in two different climate zone. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, p. 3203-3206, 2019.
- WALPOLE, S. C.; PRIETO-MERINO, D.; EDWARDS, P.; CLELAND, J.; STEVENS, G.; ROBERTS, I. The weight of nations: an estimation of adult human biomass. **BMC Public Health**, v. 12, p. 439, 2012.



Área: Segurança Alimentar e Nutricional

Desenvolvimento e análise sensorial de geleia de flor de *Begonia x hybrida* Hort 'Dragon wing'.

Pâmela da Silva dos Santos, Mariana pedroso dos Santos, Amanda Flores da Silva*, Luana Carollo, Cintia Cassia Tonieto Gris

Curso de Nutrição, Instituto da Saúde, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: amanda07flores@gmail.com*

RESUMO – As Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) são uma categoria de alimentos pouco explorada, com potencial nutricional para auxiliar na alimentação e nutrição da população. O presente estudo teve como objetivo desenvolver e realizar análise sensorial de uma geleia à base de flor de *Begonia x hybrida* Hort. 'Dragon wing'. Trata-se de um estudo experimental, desenvolvido no Laboratório de Técnica Dietética no Instituto da Saúde e no Laboratório de Análises Sensoriais do Centro de Pesquisa em Alimentos da Universidade de Passo Fundo (UPF), RS. Os testes de aceitação e intenção de compra foram realizados com 60 provadores não treinados, verbalmente recrutados, cujo perfil demográfico e socioeconômico foi investigado por meio do questionário da Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP). Os provadores apresentaram intenção de compra positiva em relação ao produto, com índice de aceitabilidade e intenção de compra acima de 90%. A utilização de produtos do cotidiano alimentar da população, como as geleias, como modelo para inserção de PANC na alimentação e divulgação das mesmas parece ser um caminho promissor para agregar os benefícios dessas plantas à alimentação cotidiana.

Palavras-chave: Tecnologia de Alimentos; Biodiversidade; Segurança Alimentar e Nutricional.

1 INTRODUÇÃO

Uma categoria de alimento pouco explorada, com potencial para auxiliar na promoção da saúde da população é a categoria das Plantas Alimentícias Não Convencionais, conhecidas pela sigla PANC. O termo "PANC" foi criado em 2008 pelo Biólogo e Professor Valdely Ferreira Kinupp e refere-se a todas as plantas que possuem uma ou mais partes comestíveis, sendo elas espontâneas ou cultivadas, nativas ou exóticas que não estão incluídas em nosso cardápio cotidiano. (Kelen et al, 2015). Um exemplo de PANC ainda pouco explorado é a begônia, nome científico *Begonia x hybrida* Hort. 'Dragon wing', também conhecida como begônia-asa-de-dragão. A begônia pode ser facilmente cultivada em quintais e jardins, sem utilização de fertilizantes e agrotóxicos, representando uma alternativa acessível (Santos et al, 2019).

Atualmente 90% do alimento mundial vêm de apenas 20 espécies cujas variedades também são limitadas considerando que muitas foram extintas, perdidas ou sofreram erosão genética. Por esse motivo nossa alimentação está monótona, e o auge da monotonia é a seção de geleias dos supermercados, raramente algo diferente do morango, goiaba, uva, raramente amora-preta e rarissimamente mirtilo. (Kinupp; Lorenzi, 2014). A monotonia no prato leva a monotonia no campo que leva a destruição da natureza, pobreza e fome. E trazer conhecimentos antigos, dos nossos avós e de comunidades tradicionais, não é retroceder, é pensar no futuro (Brasil, 2017).

O Brasil, devido a sua rica biodiversidade (Mandova, 2021) é abundante em materiais vegetais para a elaboração de doces e geleias, possuindo matérias primas de fácil acesso e pouco exploradas, como as flores comestíveis, que além de possuírem a beleza do colorido e da forma de suas flores, também possuem propriedades nutricionais e medicinais (Santos; Melo; Menegaes, 2012). Além disso, a geleia é um produto com grande importância comercial, capaz de preservar grande parte das propriedades das matérias primas utilizadas, não necessita de ingredientes químicos, além de ser estimada por todo o mundo (Pelegrine et al, 2012, 2015). Nesta perspectiva, o presente estudo teve como objetivo desenvolver e realizar análise sensorial de uma geleia à base de flor de *Begonia x hybrida* Hort. 'Dragon wing'.

2 MATERIAL E MÉTODOS



Trata-se de um estudo experimental, desenvolvido no Laboratório de Técnica Dietética no Instituto da Saúde no Laboratório de Análises Sensoriais do Centro de Pesquisa em Alimentos da Universidade de Passo Fundo (UPF), RS.

A *Begonia x hybrida* Hort. ‘Dragon wing’, oriunda de propriedade particular, foi obtida através de doação. O açúcar cristal, pectina e ácido cítrico foram adquiridos no comércio local da cidade de Passo Fundo-RS.

Inicialmente, realizou-se a seleção e pré-limpeza das flores da begônia de acordo com o preconizado no Regulamento Técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis nº 272 (BRASIL, , 2005).

O protocolo utilizado para a elaboração da geleia foi o proposto por Krolow (Krolow, 2013), com adaptações. Foram utilizadas 40g de begônia, 7,3g de ácido, 14g de pectina, 1.386 ml de água, e 1.380g de açúcar cristal. Os ingredientes exceto metade do açúcar foram aquecidos a temperatura 65-70°C por 3-4 minutos quando lentamente foi feita a adição da pectina juntamente com o restante do açúcar. Após 55 minutos o cozimento foi cessado. A geleia foi então resfriada a 5-10 °C e mantida sob refrigeração até o momento do consumo.

A avaliação do teor de sólidos solúveis foi realizada usando-se refratômetro digital (ATAGO, modelo Pocket PAL-J) calibrado com água destilada, de acordo com as instruções do fabricante. O resultado foi expresso em °Brix.

Os testes de aceitação e intenção de compra foram realizados com 60 provadores não treinados, verbalmente recrutados. Antes da realização do teste sensorial foi investigado o perfil demográfico e socioeconômico dos entrevistados por meio do questionário da Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa de Pesquisa (ABEP) (Nunes, 2020). Amostras de 15g das formulações de geleia em temperatura de aproximadamente 5°C, foram apresentadas aos provadores em cabines, de forma aleatória, servidas em copos plásticos descartáveis, codificados com números de três dígitos. Os dados foram coletados através do preenchimento das fichas visando informar aceitação (cor, sabor, textura e impressão global: escala hedônica de 9 pontos ancorados aos extremos ‘desgostei muitíssimo’ e ‘gostei muitíssimo’) e intenção de compra (escala de 5 pontos ancorados nos extremos ‘compraria sempre’ a ‘nunca compraria’) (Meilgaard; Civille; Carr, 2006).

O índice de aceitabilidade (IA) foi calculado através da equação: $IA(\%) = A \times 100/B$, onde A = nota média obtida para o produto, e B = nota máxima dada ao produto (Peuckert et al, 2010).

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade de Passo Fundo sob parecer nº 4.705.464 e todos os indivíduos foram preservados por meio do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Os dados foram digitados em Microsoft Excel e analisados em Software de Estatística. As variáveis qualitativas foram descritas em frequências absolutas e relativas simples e para variáveis quantitativas apresentou-se medidas de tendência central e nível de dispersão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A população de provadores (n=60) (Tabela 1) era predominantemente feminina (n=49), apresentou uma média de idade de 27 anos, sendo que 30% (n=18) denominaram-se casados. As classes econômicas predominantes foram Classe A e B com 71.67% (n=43). A média de residentes por domicílio foi de 2,61 pessoas.

Tabela 1. Descrição das características demográficas e socioeconômicas dos provadores que realizaram análise sensorial da geleia de flor de *Begonia x hybrida* Hort ‘Dragon wing’.

Variáveis	Categoria	N	%
Sexo	Feminino	49	81,67
	Masculino	11	18,33
Faixa etária	18 a 20 anos	18	30,00



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

	21 a 30 anos	24	40,00
	31 a 40 anos	7	11,77
	Mais de 40 anos	11	18,33
Classe econômica			
	Classe A e B	43	71,67
	Classe C, D e E	17	28,33
Estado civil			
	Solteiro/divorciado	42	70,00
	Casado	18	30,00
Cor da pele			
	Branco	51	85,00
	Não branco	9	15,00

A geleia elaborada apresentou teor de sólidos solúveis totais de 75 °brix e ph de 1,70. Na Figura 1 apresenta-se a imagem da flor de begônia e da geleia produzida.

Figura 1. Geleia elaborada e as flores de *Begonia x hybrida* Hort 'Dragon wing'



Fonte: Os autores

O resultado do teste de aceitabilidade pode ser acompanhado na Tabela 2. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados referentes a intenção de compra dos avaliadores que realizaram análise sensorial da geleia de begônia.

Tabela 2. Avaliação da aceitabilidade da geleia de flor de *Begonia x hybrida* Hort 'Dragon wing', 2021.

Características	GELEIA DE BEGÔNIA		
	Média	DP	IA (%)
Cor	8,38	1,19	93,15



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Sabor	8,33	1,00	92,59
Textura	8,28	1,29	92,04
Aspecto global	8,3	1,06	92,22

O teste de aceitabilidade demonstrou uma boa aceitação em todos os parâmetros avaliados do produto. Para que um produto seja considerado aceito em termos de suas propriedades sensoriais pelo consumidor, é necessário um índice de aceitabilidade de no mínimo 70% (Dutcosky, 2011), nosso produto apresentou um índice de mais de 90%. Da mesma forma, a intenção de compra dos avaliadores evidencia que uma geleia de begônia seria adquirida pelos consumidores caso estivesse disponível comercialmente.

Tabela 3. Intenção de compra dos provadores em relação a geleia de flor *Begonia x hybrida* Hort. 'Dragon wing', 2021.

Intenção de compra dos provadores		
	n	%
Certamente compraria	40	66,67
Provavelmente compraria	15	25,00
Dúvidas se compraria	04	6,67
Provavelmente não compraria	01	1,67
Jamais compraria	0	0

Nossos resultados reforçam a possibilidade de utilização de plantas reconhecidas como PANC na elaboração de geleias e uma aceitação favorável do consumidor a estes novos produtos. Além de geleias, as flores da *Begonia x hybrida* Hort. 'Dragon wing' também podem ser utilizadas em preparações com peixes e carnes refogadas ou salteadas, em diferentes decorações de pratos, na elaboração de caldas, gelatinas, recheio de bolos e tortas e até como substituto do xarope de romã que faz uso de corantes artificiais e normalmente é utilizado em drinks e sucos, neste último caso, o xarope de begônia dispensaria corantes por causa de sua cor extremamente vermelha (Kinupp; Lorenzi, 2014).

As PANC em sua maioria apresentam fator nutricional elevado, complementando a ingestão diária de vitaminas e minerais essenciais ao desenvolvimento humano de seus consumidores. São capazes de substituir as hortaliças convencionais, podendo ser inserida na alimentação, cultivadas em pequenos espaços e jardins, além de serem comercializadas, gerando assim uma fonte de renda extra para seus produtores. É necessário que os pesquisadores aprofundem seus estudos em relação ao tema, pois existe uma grande diversidade a ser explorada, além disso explorar a utilização das PANC na culinária e através de inovação tecnológica é uma forma de expandir os benefícios dessas plantas para a população através de produtos de baixo custo.

4 CONCLUSÃO

Nosso estudo reforça o potencial das PANC, neste caso representada pela *Begonia x hybrida* Hort. 'Dragon wing', no desenvolvimento de novos produtos. A geleia de Begônia submetida à análise sensorial apresentou IA acima de 90%. Ainda, mais de 90% dos provadores apresentaram intenção de compra positiva em relação ao produto. A utilização de produtos do cotidiano alimentar da população, como as geleias, como modelo para inserção de PANC na alimentação e divulgação das mesmas parece ser um caminho promissor com potencial ainda a ser explorado.



5 REFERÊNCIAS

- Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. (2007). **Doces e geleias**. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf3/publica_setec_doces_geleias.pdf> Acesso em: 07 dez. 2017.
- Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2005). **Regulamento Técnico Para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis**. RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF.
- DUTCOSKY, S. D. (2011). **Análise sensorial de alimentos**. 3. ed., rev. e ampl. Champagnat. Curitiba. Brasil. 426 p.
- KELEN, M. E. B. *et al.* **Plantas alimentícias não convencionais (PANCs): hortaliças espontâneas e nativas**. (1ª ed.). UFRGS, Porto Alegre, 2015.
- KINUPP, V.F.; LORENZI, H. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014.
- KROLOW, A. C. R. **Preparo Artesanal de Geleias e Geleadas. Embrapa Clima Temperado**, [s. l.], p. 37, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/125738/1/Documento.pdf>
- MANDOVA, T. **Natural Products Research & The Wealth of Brazilian Biodiversity (NPR & WBB)**. Phytochemistry Letters, 4 set. 2021.
- MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. Taylor & Francis, 2006.
- NUNES, R.; FOLHA, Data. **Alterações na aplicação do Critério Brasil, válidas a partir de 01/09/2020**. [s. l.], p. 1–6, 2020.
- PELEGRINE, D. H. G.; ANDRADE, M. S.; NUNES, S. H. **Elaboração De Geleias a Partir De Misturas Binárias Compostas Pelas Polpas De Laranja E Acerola**. Ciência e Natura, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 124–129, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460x15051>
- PELEGRINE, D.H.G. *et al.* . **Geléia de mirtilo elaborada com frutas da variedade Climax**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 14, p. 225-231, 2012.
- PEUCKERT, Y. P. *et al.* **Caracterização e aceitabilidade de barras de cereais adicionadas de proteína texturizada de soja e camu-camu {Myrciaria Dubia}**. (Texto em Português). Alimentos e Nutrição (Brazilian Journal of Food and Nutrition), v. 21, n. 1, p. 149, 2010.
- SANTOS, I. C. *et al.* n. 305 - agosto 2019. [s. l.], n. 31, 2019.
- SANTOS, O. S. ; Melo, E. F. R. Q. & Menegaes, J. F. (2012). **Cultivo hidropônico de nastúrcio**. In: Santos, O. S. Cultivo Hidropônico. UFSM/Colégio Politécnico. Santa Maria. Brasil. 264p.



Área: Segurança Alimentar e Nutricional

**ANÁLISE DE ALIMENTOS PRESENTES EM VÍDEOS DE YOUTUBE
DIRECIONADOS AO PÚBLICO INFANTIL NO CONTEXTO DAS
RECOMENDAÇÕES DO GUIA ALIMENTAR PARA A POPULAÇÃO BRASILEIRA**

João Paulo Alves de Oliveira, Brendha Eloíza Hübner, Gabriela Graeff da Silva*, Luisa Silva Boschi, Joana Hanel Rigo, Carolina Pires Leal Donadussi, Daiana Argenta Kumpel, Cintia Cassia Tonieto Gris

Curso de Nutrição, Instituto da Saúde, Universidade de Passo Fundo (UPF), Passo Fundo, RS

**E-mail: 193137@upf.br*

RESUMO - A obesidade infantil é um problema de saúde pública, tendo como uma das suas principais causas o consumo alimentar. Exposições à publicidade de alimentos têm demonstrado influenciar a escolha alimentar das crianças. Este artigo tem como objetivo analisar alimentos presentes em vídeos de YouTube direcionados ao público infantil no contexto das recomendações do Guia Alimentar para a População Brasileira. Foram coletadas informações dos números de inscritos, vídeos postados no mês de fevereiro, duração de cada vídeo e presença de alimentos, que após identificados e extraídos, foram classificados em 6 grupos: alimentos in natura e minimamente processados, ingredientes culinários, alimentos processados, alimentos ultraprocessados, preparações culinárias e alimentos não passíveis de classificação. Cinco canais brasileiros foram selecionados para coleta de dados. Foram analisados 57 vídeos postados no mês de fevereiro de 2022, totalizando 987 minutos assistidos. Verificou-se que 43,86% dos vídeos analisados veicularam alimentos em algum momento do vídeo. A maioria foi classificada como alimento ultraprocessado (31,71%), seguido de alimentos in natura e minimamente processados (29,27%), preparações culinárias (14,63%), alimentos processados (12,22%), não passível de classificação (9,76%) e ingredientes culinários (2,33%). Observou-se presença de alimentos ultraprocessados na maioria dos vídeos que veicularam alimentos, o que pode estimular o consumo desses. Evidencia-se, assim, a importância do direcionamento do conteúdo apresentado em canais do YouTube direcionados ao público infantil para que estes sejam promotores de práticas alimentares adequadas e saudáveis.

Palavras-chave: *Marketing; Alimentos Ultraprocessados; Obesidade Infantil.*

1 INTRODUÇÃO

A obesidade é um problema de saúde pública que afeta diversas faixas etárias, principalmente crianças e adolescentes. Um importante fator ambiental que contribui para tal problemática, é a exposição das crianças à publicidade de alimentos e bebidas de baixa qualidade nutricional em meios de comunicação, utilizando de estratégias publicitárias destinadas ao público infantil e influenciando, dessa forma, as preferências alimentares, compras e consumo das crianças.

A maior parte das pesquisas que examinam o marketing de alimentos voltado para crianças, têm se concentrado na mídia tradicional. No entanto, evidências expõem que alimentos pouco saudáveis tendem a ser promovidos através de diferentes técnicas.

Nesta perspectiva, este estudo tem por objetivo analisar alimentos presentes em vídeos de YouTube direcionados ao público infantil no contexto das recomendações do Guia Alimentar para a População Brasileira.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo consistiu na análise de conteúdo de vídeos de YouTube direcionados ao público infantil (Bardin, 2016). Foram usadas duas métricas quantitativas para seleção dos vídeos. Primeiramente, foram selecionados os canais de YouTube, a partir do site norte-americano *Socialblade* especializado em estatísticas, rastreamentos e aferições em plataformas de mídias sociais. A seleção dos canais aconteceu considerando o *ranking* de maior audiência disponível no mês de março de 2022. Para a amostra, foram incluídos todos os canais de YouTube brasileiros presentes neste *ranking*. Posteriormente, foram analisados todos os vídeos postados em cada canal durante o mês anterior (fevereiro de 2022). Foram coletadas informações referentes ao número de inscritos em cada canal, número de vídeos postados no canal no mês de fevereiro, tempo de duração de cada vídeo e presença de alimentos em cada vídeo.



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Após identificados e extraídos os alimentos apresentados nos vídeos, estes foram analisados e classificados em 6 grupos: (1) alimentos in natura e minimamente processados, (2) ingredientes culinários, (3) alimentos processados, (4) alimentos ultraprocessados, (5) preparações culinárias e (6) alimentos não passíveis de classificação. Os cinco primeiros grupos baseiam-se nas definições encontradas no Guia Alimentar para a População Brasileira (2014) e o sexto grupo refere-se a alimentos cujo grau e natureza de processamento não puderam ser identificados, como por exemplo pipoca e muffin, que apareceram nos vídeos já prontos para consumo e podem ser classificados em diferentes grupos dependendo dos ingredientes utilizados e a forma de preparo. Dúvidas durante a categorização dos alimentos foram discutidas entre os pesquisadores até se chegar em um consenso.

Os dados foram organizados e analisados em planilhas no Microsoft Excel e foram apresentados na forma de frequência simples, distribuídos por grupos e categorias de análise.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados cinco canais brasileiros no ranking estabelecido pelo site *SocialBlade*, sendo eles neste artigo nomeados como: canal A, com 4 vídeos, canal B, com 1 vídeo, canal C, com 28 vídeos, o canal D, com 16 vídeos e o canal E, com 8 vídeos, totalizando 57 vídeos e 987 minutos assistidos. Verificou-se que 43,86% (n=25) dos vídeos analisados veicularam alimentos em algum momento, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização dos vídeos analisados e presença de publicidade de alimentos. Brasil, 2022.

Canal	Total de inscritos no canal no período de coleta	Total de vídeos analisados n (%)	Total de vídeos com presença de alimentos n (%)
A	9,86 mi	4 (7,02)	2 (8%)
B	30,2 mi	1 (1,75)	0
C	10,6 mi	28 (49,12)	12 (48%)
D	37,1 mi	16 (28,07)	10 (40%)
E	12 mi	8 (14,04)	1 (4%)
Total		57 (100%)	25 (100%)

Foram identificados 41 alimentos veiculados nos vídeos analisados, sendo que a maioria foi classificada como alimento ultraprocessado (31,71%; n=13), tais como, biscoito recheado, chocolates e macarrão instantâneo, seguido de alimentos in natura e minimamente processados, tais como, maçã, banana e brócolis (29,27%; n=12). A Tabela 2 apresenta a frequência absoluta e relativa dos alimentos.

Tabela 2. Frequência absoluta e relativa de alimentos veiculados em vídeos de canais infantis do YouTube, segundo categorias de análise. Brasil, 2022.

Categoria de alimento	n	%
Alimentos in natura e minimamente processados	12	29,27



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

Ingredientes culinários	1	2,44
Alimentos processados	5	12,20
Alimentos ultraprocessados	13	31,71
Preparações culinárias	6	14,63
Não passível de classificação	4	9,76

De acordo com os resultados obtidos, alimentos ultraprocessados são encontrados em muitos dos vídeos analisados.

A classificação NOVA (Monteiro et al., 2016) determina que alimentos ultraprocessados apresentam como principais características a praticidade, baixo custo, a hiperpalatabilidade, a composição nutricional desbalanceada e a publicidade agressiva, que tornam esses alimentos mais atrativos para crianças, além de estimular a se tornarem suscetíveis a propagandas de alimentos. (Pauzé; Remédios; Kent, 2021).

Um estudo realizado no Canadá em 2017 identificou que, de 365 produtos processados e ultraprocessados voltados para crianças disponíveis em um supermercado, 86,5% apresentavam excesso de açúcares livres; 36,2%, excesso de sódio; 32,5%, excesso de gordura saturada; e 28,7%, excesso de gordura total. O consumo habitual de sabores doces tem sido associado a uma menor qualidade da dieta, influenciando os padrões de consumo ao longo da vida.

Escolhas alimentares são um dos principais fatores ambientais que influenciam o desenvolvimento de sobrepeso, obesidade e doenças crônicas não transmissíveis. Por esse motivo, a OMS (Flores-Dorantes; Díaz-López; Gutiérrez-Aguilar, 2020, p. 3) publicou recomendações dietéticas, sugerindo uma maior ingestão de frutas, vegetais, legumes, nozes e grãos integrais, limitando a menos de 10% de açúcares livres e 30% de gorduras da ingestão total.

Um estudo realizado no Reino Unido com 1.277 crianças de 4 a 10 anos, mostrou que mais de 70% das mesmas relataram ter assistido TV ou utilizaram aparelhos eletrônicos enquanto faziam as refeições do almoço e jantar. O consumo de alimentos ultraprocessados foi maior nas refeições entre as crianças que assistiram à TV durante as refeições em comparação com as que não, mostrando que o marketing influencia o maior consumo de ultraprocessados, visto que 53% dessas propagandas eram sobre refrigerantes e lanches prontos.

Alguns dos fatores ambientais como atividade física, status socioeconômico, comportamento alimentar dos pais e alimentação influenciam no desenvolvimento da obesidade infantil e prejudicam habilidades como memória, motricidade fina e função cognitiva. O uso de televisores, celulares, vídeo games, tablets e computadores se tornam os substitutos das brincadeiras que demandam um maior gasto energético, colaborando para a menor prática de atividade física, além de muitos pais e cuidadores utilizarem das ferramentas tecnológicas como objetos de distração para crianças.

Nossos resultados também mostram que a segunda categoria de alimentos mais presente nos vídeos foi a de alimentos in natura e minimamente processados, evidenciando que vídeos infantis também podem servir para estimular práticas alimentares mais adequadas e saudáveis. Ambas as categorias incluem alimentos importantes para a manutenção da saúde, por fornecerem nutrientes que auxiliam na prevenção de agravos relacionados aos hábitos alimentares.

A ingestão adequada de alimentos de origem vegetal oferece qualidade ao padrão alimentar, dada a quantidade de fibras, micronutrientes e compostos bioativos presentes nesses alimentos. Já os de origem animal são importantes por serem fontes de proteínas de alto valor biológico e da maioria de vitaminas e minerais essenciais. A ingestão frequente de alimentos frescos em grande parte das refeições, sobretudo os de origem vegetal e com quantidades moderadas de alimentos de origem animal, confere o equilíbrio de nutrientes importantes à saúde humana e promove sistemas alimentares mais sustentáveis.

O Guia Alimentar para a População Brasileira valoriza os alimentos regionais e a cultura alimentar, incentivando a alimentação saudável por meio do consumo de alimentos produzidos localmente pela agricultura familiar, e que sejam consumidos de forma mais natural. Reconhece também que é prioritário produzir alimentos que fomentem e garantam a segurança alimentar e nutricional.

O poder de persuasão do marketing, faz com que uma criança decida um determinado produto em relação aos outros semelhantes. O público infantil não tem conhecimento suficiente para distinguir as características nutricionais de



um alimento e saber se ele é ideal ou não, mas é influenciado pelas propagandas e pelos apelos visuais do produto, acreditando que ele seja melhor que os demais.

Uma propaganda não determina a quantidade que a criança consome, porém se a propaganda desperta o interesse pelo produto, a repetição do anúncio gera a repetição do desejo. Um estudo conduzido nos Estados Unidos mostrou que a proibição da publicidade de alimentos não saudáveis diminuiria o consumo calórico e, com isso, a obesidade e o sobrepeso em crianças, o que reforça a necessidade da regulação da publicidade de alimentos.

Uchoa-Craveiro e Ríos (2013) ao investigarem a publicidade veiculada em jogos online, evidenciaram que crianças brasileiras e espanholas estão expostas a uma grande quantidade de publicidade dos mais variados tipos de produtos os quais nem sempre são apropriados para sua idade e ressaltam que se existe uma preocupação com a saturação de anúncios televisivos, espera-se que igualmente seja dada atenção aos sites direcionados ao público infantil.

A regulamentação da publicidade de alimentos veiculada em mídias infantis pode ser uma importante política para estímulo de hábitos alimentares mais adequados e saudáveis na infância. Percebe-se, ainda, a importância de estimular a reflexão crítica do público infantil e de seus responsáveis sobre a publicidade on-line como forma de contribuir para que as crianças e seus responsáveis sejam consumidores mais conscientes dos objetivos comerciais das empresas, bem como dos artifícios de persuasão utilizados.

Este estudo apresenta como limitação o fato de que muitos alimentos veiculados nos vídeos analisados aparecem já prontos para consumo sem que seu conteúdo de ingredientes ou forma de preparo seja apresentado, o que dificultou e, em alguns casos, inviabilizou a categorização destes de acordo com os preceitos do Guia Alimentar para a População Brasileira. No entanto, não foram identificados outros estudos nacionais que buscaram analisar alimentos veiculados em vídeos de canais de YouTube direcionados ao público infantil analisados sob a perspectiva do Guia Alimentar para a População Brasileira, assim ressalta-se a relevância deste trabalho no tema e a importância da realização de novos estudos, bem como possíveis intervenções.

4 CONCLUSÃO

Em síntese, destaca-se a presença de alimentos ultraprocessados veiculados em vídeos direcionados ao público infantil, seguido dos alimentos in natura e minimamente processados. Considerando que alimentos ultraprocessados apresentam escassez de nutrientes e que alimentos in natura e minimamente processados são importantes para a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis e diminuição da prevalência de sobrepeso e obesidade infantil, evidencia-se a importância do direcionamento do conteúdo apresentado para que estes sejam promotores de práticas alimentares adequadas.

Os resultados evidenciam a necessidade de uma mudança cultural relacionada à criação de conteúdo no YouTube para que este seja um promotor de hábitos saudáveis e de futuros estudos que investiguem a qualidade dos alimentos apresentados em tais vídeos.

5 REFERÊNCIAS

- Brasil, Ministério da Economia, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de orçamentos familiares 2017-2018: avaliação nutricional da disponibilidade domiciliar de alimentos no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE; 2020.
- Brasil, Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica. **Guia Alimentar Para População Brasileira**. 2 ed. Brasília: Ministério da Saúde; 2014.
- Brown, T.; Moore, T. H.; Hooper, L.; Gao, Y.; Zayegh, A.; Ijaz, S. et al. **Interventions for preventing obesity in children**. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019 Jul; 7(7):CD001871 (1-626). DOI: [10.1002/14651858.CD001871.pub4](https://doi.org/10.1002/14651858.CD001871.pub4)
- Costa, S. M. M.; Horta, P. M.; Santos L. C. **Análise dos alimentos anunciados durante a programação infantil em emissoras de canal aberto no Brasil**. *Rev Bras Epidemiol*. 2013; 16(4): 976- 83. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2013000400017>
- Elliott, C.; Brierley, M.; Healthy choice?: **Exploring how children evaluate the healthfulness of packaged foods**. *Can J Public Health*. 2012 Nov; 103(6): e453-8. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03405637>
- Elliott, C.; Scime N. V. **Nutrient profiling and child-targeted supermarket foods: assessing a “Made in Canada” policy approach**. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Feb; 16(4): 639. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16040639>
- Fidencio, J.; Ferreira, M. G.; Czarnobay, S. A.; Campos, V. M. **Associação entre estado nutricional, horas de consumo de tela e de atividade física em adolescentes**. *RBONE*. 2018; 12(72):535-41.
- Fisberg, M.; Maximino, P.; Kain, J.; Kovalskys, I. **Obesogenic environment: intervention opportunities**. *J Pediatr*. 2016; 92(3 Suppl 1): 530-39. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.02.007>



- Flores-Dorantes, M.T.; Díaz-López, Y. E.; Gutiérrez-Aguilar, R. **Environment and gene association with obesity and their impact on neurodegenerative and neurodevelopmental diseases.** Front Neurosci. 2020 Aug; 14(863): 1-24. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00863>.
- Harris, J. L.; Bargh, J. A.; Brownell, K. D. **Priming effects of television food advertising on eating behavior.** Health Psychol. 2009 Jul; 28(4): 404-13. DOI: <https://doi.org/10.1037/a0014399>
- Hawkes, C.; Lobstein, T. **Regulating the commercial promotion of food to children: a survey of actions worldwide.** Int J Pediatr Obes. 2011 Apr; 6(2): 83-94. DOI: <https://doi.org/10.3109/17477166.2010.486836>
- Henriques, P.; Sally, E. O.; Burlandy, L.; Beiler, R. M. **Regulamentação da propaganda de alimentos infantis como estratégia para a promoção da saúde.** Cien saude colet. 2012 Mar; 17(2): 481- 490. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000200021>
- Huang, L.; Mehta, K.; Wong, M. L. **Television food advertising in Singapore: the nature and extent of childrens exposure.** Health Promot Int. 2012 Jun; 27(2):187-96. DOI: <https://doi.org/10.1093/heapro/dar021>
- Jansen, E.; Williams, K. E.; Mallan, K. M.; Nicholson, J. M.; Daniels, L. A. **Associações bidirecionais entre as práticas alimentares das mães e os comportamentos alimentares das crianças.** Int J Behav Nutr Phys Act. 2018; 15(3): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12966-018-0644-x>
- Jenkin, G.; Madhvani, N.; Signal, L.; Bowers, S. **A systematic review of persuasive marketing techniques to promote food to children on television.** Obes Rev. 2014 Apr; 15(4): 281-93 DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12141>
- Kabali, H.K.; Irigoyen, M. M.; Nunez-Davis, R.; Budacki, J. G.; Mohanty, S. H.; Leister, K. P. et al. **Exposure and use of mobile media devices by young children.** Pediatrics. 2015 Dec; 136(6):1044-50. DOI: <https://doi.org/10.1542/peds.2015-2151>
- Martinelli, S. S.; Cavalli, S. B. **Alimentação saudável e sustentável: uma revisão narrativa sobre desafios e perspectivas.** Ciênc Saúde Coletiva. 2019; 24(11): 4251-62. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-812320182411.30572017>
- Martines, R. M.; Machado, P. P.; Neri, D. A.; Levy, R. B.; Rauber, F. **Association between watching TV whilst eating and children's consumption of ultraprocessed foods in United Kingdom.** Matern Child Nutr. 2019 Oct;15(4):e12819. DOI: <https://doi.org/10.1111/mcn.12819>
- Martins, A. P.; Levy, R. B.; Claro, R. M.; Moubarac, J. C.; Monteiro, C. A. **Increased contribution of ultra-processed food products in the Brazilian diet (1987-2009).** Rev Saude Publica. 2013 Aug;47(4):656-65. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004968>
- Melo, J. C. B.; Lustoza, G. F.; Ibiapina, D. F. N.; Landim, L. A. S. R. **Influência da mídia no consumo de alimentos ultraprocessados e no estado nutricional de escolares.** REAS. 2019; (29) e1016. DOI: <https://doi.org/10.25248/reas.e1016.2019>
- Monteiro, C. A.; Cannon, G.; Lawrence, M.; Louzada, M. L. C.; Machado, P. P. **Ultra-processed foods, diet quality, and health using the nova classification system.** Rome: FAO; 2019.
- Monteiro, C. A.; Cannon, G.; Levy, R. B.; Moubarac, J. C.; Jaime, P.; Martins, A. P. et al. **NOVA: A estrela brilha. World Nutrition.** 2016; 7(1-3): 28-40.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE
- Organização Mundial da Saúde (OMS). Constituição. Genebra: OMS, 1948.
- Pauzé, E.; Remedios, L.; Kent, M. P. **Children's measured exposure to food and beverage advertising on television in a regulated environment,** May 2011-2019. Public Health Nutrition. 2021 Apr; 24(17): 5914-5926. DOI:10.1017/S136898002100137
- Santos, F. M. dos. **ANÁLISE DE CONTEÚDO: A VISÃO DE LAURENCE BARDIN.** 29º de maio de 2012;6(1):383-7. <https://doi.org/10.14244/%19827199291>.
- Scaglioni, S.; De Cosmi, V.; Ciappolino, V.; Parazzini, F.; Brambilla, P.; Agostoni, C. **Fatores que influenciam os comportamentos alimentares das crianças.** Nutrients. 2018; 10(6):706. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10060706>.
- Scaglioni, S.; Salvioni, M.; Galimberti, C. **Influence of parental attitudes in the development of children eating behaviour.** BJN. 2008; 2008;99(S1):S22-S25. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114508892471>
- Social Blade. Youtube Statistics for Elrubiusomg. Social Blade 2014.
- Swither, S. E. **Artificial sweeteners are not the answer to childhood obesity.** Appetite. 2015; 93: 85-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.03.027>
- Uchoa-Craveiro, P. S.; Ríos, J. R. A. C. **Publicidad y juegos digitales en el cotidiano de niños españoles y brasileños: un análisis de la recepción infantil.** Estud mensaje periodís. 2013; 19:501-9. DOI: https://doi.org/10.5209/rev_ESMP.2013.v19.42136
- Veerman, J. L.; Van Beeck, E. F.; Barendregt, J. J.; Mackenbach, J. P. **By how much would limiting TV food advertising reduce childhood obesity?,** European Journal of Public Health. 2009 Aug; 19(4): 365-9. DOI: <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckp039>



Área: Segurança Alimentar e Nutricional

ROTULAGEM DE MEL: LEGISLAÇÃO E SEGURANÇA ALIMENTAR

Samuel Machado Abreu, Angelita Machado Leitão, Taiane de Lima Zuse*, Vitoria Santos Musachio, Andressa Dias Fernandes, Livia Moreira dos Santos Costa, Aline Lima Pereira, Maria Ângela Trodo Lima, Paulo Fernando Alves Maurer, Tamyres Peres Alves.

*Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos e Curso de Nutrição, Universidade Federal do Pampa, Itaqui, RS -
E-mail: taianezuse.aluno@unipampa.edu.br

RESUMO – O consumo de mel vem ganhando espaço, por ser considerado um açúcar mais “saudável”, devido às suas características terapêuticas e *in-natura*. Sendo de origem animal, a sua comercialização deve atender a normas do MAPA, estas têm como função garantir a segurança alimentar dos consumidores, estabelecido no decreto nº 9.013/2017, o qual determina que informações como o selo de inspeção sanitária e o não consumo de mel por crianças menores de um ano, devem estar presentes nos rótulos. Objetivou-se verificar a presença destas informações em rótulos de méis comercializados no município de Paraty/RJ, com o intuito de alertar as autoridades para o não cumprimento da legislação. Portanto, foram visitados comércios varejistas no município de Paraty nos primeiros meses do ano de 2024 e encontrou-se 20 marcas diferentes de rótulos de méis. Desta forma foi possível verificar que 55% apresentavam Selo de Inspeção Federal (SIF), 15% Selo de Inspeção Estadual (SIE), 10% Selo de Inspeção Municipal (SIM) e 20% não apresentavam selo de inspeção. Quanto à presença da advertência, apenas as amostras com selo de inspeção apresentavam tal alegação, sendo que 55% das amostras com SIF, 10% com SIE e 35% das amostras não apresentavam a alegação, destas 20% não apresentavam selo e a alegação e 15% apresentavam selo de inspeção mas não apresentavam a alegação. Conclui-se que ainda é comum a comercialização de produtos sem selo de inspeção e advertência, em rótulos de méis, demonstrando descumprimento da legislação, falhas na fiscalização e riscos à saúde do consumidor.

Palavras-chave: Segurança alimentar; Legislação; Botulismo infantil.

1 INTRODUÇÃO

O mel é o produto mais conhecido e consumido entre os alimentos produzidos pelas abelhas (XIMENES & VIDAL, 2023), este é uma substância viscosa, rica em monossacarídeos (frutose e glicose) que constituem cerca de 80% da sua composição, os outros 20% são compostos por água, proteínas, minerais, vitaminas e outros compostos orgânicos (CALDAS et al., 2020). Apesar do consumo per capita brasileiro ainda ser baixo, variando de 150 a 400 gramas de mel/ano dependendo a região (GOMES et al., 2021), este vem aumentando nos últimos anos, devido a sua utilização como substituto do açúcar de mesa, em função de que este alimento é menos processado quando comparado ao açúcar de mesa, bem como suas propriedades terapêuticas, anti-inflamatória, antioxidantes, antimicrobiana e cicatrizante (RIBEIRO et al., 2020; MARQUES et al., 2023; SILVA et al., 2023).

Por se tratar de um produto de origem animal, para que este seja comercializado deve passar por inspeção sanitária, realizada por fiscais do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), conforme determina o decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017 (BRASIL, 2017). No Brasil são admitidos três tipos de selo, o Selo de Inspeção Municipal (SIM) o qual atesta que o produto atende aos critérios básicos de higiene de um determinado município, sendo permitida sua comercialização somente dentro do território do mesmo; Selo de Inspeção Estadual (SIE) é fiscalizado pelos órgãos competentes do estado e permite sua comercialização somente dentro do estado e o Selo de Inspeção Federal (SIF) é concedido a alimentos que atendem aos critérios higiênicos sanitários estabelecidos pelo MAPA, este selo permite a comercialização de produtos em todo o território nacional (PREZOTTO E DO NASCIMENTO, 2013).

Devido a sua constituição e a forma como o mel é coletado este fica suscetível à presença de microrganismos que podem ser provenientes das abelhas e/ou de plantas, onde o néctar foi coletado e/ou adquirido no processamento



(De Oliveira et al., 2019). Dentre os microrganismos existente no mel os esporos do *Clostridium botulinum* são os mais perigosos, uma vez que são responsáveis pela produção da toxina botulínica, que causa a doença botulismo (ARAÚJO et al., 2022). Apesar de se estimar que 15% de todo o mel estar contaminado por esporos do *Clostridium botulinum*, estes não oferecem risco a indivíduos adultos (BORGES et al., 2021), o consumo de mel oferece riscos para crianças menores de um ano de idade, uma vez que há falta de flora intestinal nestes indivíduos, permitindo a germinação dos esporos e a produção da toxina no intestino (PEREIRA et al., 2007). Apesar deste risco, o uso de mel na chupeta, a fim de facilitar a aceitação das crianças, é uma prática comum no Brasil (ROCHA e CASTILHO, 2009). Neste sentido o MAPA tornou obrigatório a presença da alegação "Este produto não deve ser consumido por crianças menores de um ano de idade" em rótulos de méis e estabeleceu no Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Uma vez que os rótulos são o principal meio de comunicação entre os produtores e os consumidores (BAZANELLA & ALVES, 2019) e além disso a necessidade destas informações estarem presentes nos rótulos tem como função instruir o consumidor e facilitar a tomada de decisão dos mesmo sobre a aquisição ou não desse produto (PATZLAFF & MELO, 2020).

Desta forma o objetivo do presente trabalho foi verificar a presença de selos de inspeção sanitárias e a alegação de não consumo por crianças menores de um ano em rótulos de méis comercializados no município de Paraty no estado do Rio de Janeiro, nos primeiros meses do ano de 2024, a fim de alertar as autoridades para o não cumprimento da legislação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho trata-se de um estudo qualitativo (PEREIRA, 2018) realizado no Município de Paraty, localizado na região da Costa Verde, litoral Sul do estado do Rio de Janeiro. Foram visitados comércios varejistas (supermercados, hipermercados, lojas de produtos naturais e lojas de produtos artesanais), onde foram fotografados os rótulos, para posterior análise, sendo descartados os rótulos da mesma marca encontrados em diferentes comércios.

As amostras foram analisadas em duas etapas, sendo primeiramente analisado quanto ao tipo de selo de inspeção e a segunda quanto a presença da alegação de não consumo por crianças menores de um ano.

Na primeira etapa, analisou-se a presença dos selos de inspeção denominados de: Selo de Inspeção Federal (SIF), Selo de Inspeção Estadual (SIE), Selos de Inspeção Municipal (SIM) e Sem Selo de Inspeção (SSI).

Na segunda etapa dividiu-se as amostras em quatro grupos denominados de: ANCF: presença da alegação de não consumo em rótulos, com selo de inspeção federal; ANCE: presença da alegação de não consumo em rótulos com selo de inspeção estadual, ANCM presença da alegação de não consumo em rótulos com selo de inspeção municipal, SANC: rótulos sem a alegação de não consumo.

Após os dados foram computados no programa de estatística R (RCORE TEAN, 2018), sendo avaliado a porcentagem de cada grupo de selo de inspeção e posteriormente de cada grupo com a alegação de não consumo.

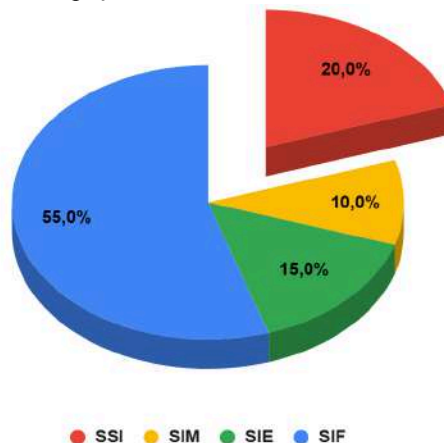
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo foram encontradas 20 diferentes marcas comerciais de méis, entre os estabelecimentos visitados e não foram encontradas embalagens de méis sem rótulos.

Em estudos realizados por BAZANELLA e ALVES (2019), em rótulos de méis comercializados em Caxias do Sul-RS foi encontrado selo de inspeção em 100% dos rótulos analisados. Porém neste estudo encontrou-se 20% (4 rótulos) das amostras analisadas sem selo de inspeção (Figura 1). Este fato torna-se preocupante uma vez que o consumo de alimentos sem selo de inspeção sanitária pode acarretar prejuízos à saúde humana, uma vez que não se pode atestar as condições sanitárias em que este alimento foi manipulado, aumentando assim o risco de Doenças Transmitidas por Alimentos (DTAs) (DE OLIVEIRA ROSA et al, 2019), outro agravante é o fato do mel ser um alimento de alto valor agregado torna-o um alvo recorrente de adulterações e fraudes com a adição de açúcares de menor valor (DOS SANTOS et al., 2024).



Figura 1: Tipos de selo de inspeção nas amostras de rótulos de méis, em porcentagem



Legenda: SSI: Sem selo de inspeção, SIM: Selo de Inspeção Municipal, SIE: Selo de Inspeção Estadual, SIF: Selo de Inspeção Federal.

DE LIMA et al. (2022), determinaram que das 10 amostras de méis comercializadas na cidade de Duque de Caxias no RJ, 100% apresentavam selo de inspeção, porém os autores não analisaram o tipo de selo de inspeção. Porém neste estudo percebeu-se que 80% das amostras apresentavam selo de inspeção (Figura 1), semelhantemente do que encontrou ABREU et al. (2023^a), ao avaliarem 30 amostras de rótulos de méis de oito cidades do estado do RJ, determinaram que 89,9% apresentaram selo de inspeção, fato que demonstra a necessidade de se ter uma fiscalização eficiente, além de se promover mais cartilhas e/ou cursos destinados a pequenos produtores, pois segundo Vidal (2020), os pequenos produtores regionais demonstram desconhecer a necessidade dos selos em seus produtos.

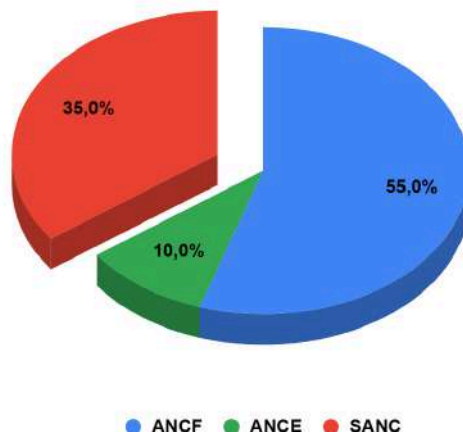
Ao analisar o tipo de selo predominante, observou-se que a maior parte das amostras, 55% dos rótulos (11 amostras), apresentavam selo do tipo SIF (Figura 1), este fato também foi observado por ABREU et al. (2023^a), onde encontraram 73,3% das suas amostras com SIF. Devido a maior porcentagem de rótulos terem SIF procurou-se verificar a procedência de cada méis e observou-se que 81,8% dos rótulos de méis com SIF são provenientes de outros estados e deste 36,4% era do estado de Minas Gerais e 36,4% de São Paulo e 9,1% do estado do Espírito Santo, demonstrando assim que a maior parte do mel comercializado são importados de outros estados brasileiros.

Em 15% dos rótulos analisados (3 amostras) verificou-se a presença do selo do tipo SIE (Figura 1), dessa forma, mesmo que o estado não seja um dos maiores produtores de mel no cenário nacional (IBGE, 2022), os produtores do estado do Rio de Janeiro possuem espaço no mercado local, o que contribui na renda dos mesmos.

As amostras com selo do tipo SIM representam 10% dos rótulos avaliados (2 amostras) (Figura 1), entretanto os selos encontrados são dos serviços de inspeções sanitária dos municípios de Itajubá-MG e São Vicente de Minas-MG, desta forma este mel não poderia ser comercializado no estado do RJ, pois o selo SIM é específico para ser comercializado no município de origem e não em outro estado, mesmo estas amostras apresentarem selo de inspeção, está em desacordo com a legislação. Além disso prejudicam os produtores locais, pois são comercializados com valores não competitivos uma vez que estes não recolhem tributos, muitas vezes inviabilizando que produtores legalizados comercializem seus produtos (STEFANUTTI & VALDIR, 2022; RONDON, 2023).



Figura 2: Presença da alegação de não consumo por crianças menores de um ano de idade, em porcentagem.



Legenda: ANCF: presença da alegação de não consumo em rótulos com SIF, ANCE: presença da alegação de não consumo em rótulos com SIE, SANC: rótulos sem a alegação de não consumo

Ao avaliar a presença da alegação de não consumo por crianças menores de um ano de idade, observou-se que o classe SANC, representa 35% das amostras (7 amostras), que não apresentavam a alegação nos rótulos (Figura 2), destas 7 amostras (35%), 20% (4 amostras) não apresentavam a alegação nem selo de inspeção sanitária e 15% (3 amostras) apresentavam selo de inspeção sanitária e não apresentavam a alegação, valores superiores foram encontrados por MUSACHIO et al. (2023), que ao avaliarem 30 amostras de rótulos de méis comercializados em oito municípios do Rio de Janeiro, encontraram 53,3% das amostras sem a presença da alegação, já DE LIMA et al. (2022), observaram que 40% das amostras de méis analisadas em Duque de Caxias/RJ não apresentavam a alegação exigida no Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017.

Ao observar as amostras pertencentes a classe ANCF pode-se identificar que 55% (11 amostras) apresentaram alegação de não consumo, demonstrando que todas as amostras da classe SIF apresentavam a alegação, este mesmo fato não foi observado ao avaliar as amostras da classe ANCE, onde 10% dos rótulos (2 amostras) apresentavam a alegação demonstrando que 5% dos rótulos da classe SIE não apresentavam a alegação (Figura 2) e todos os rótulos com o selo SIM não apresentaram a alegação de não consumo.

O que se pode observar uma maior preocupação dos produtores com SIF quando comparados aos demais, este fato está relacionado a um desconhecimento por parte dos produtores a respeito da existência de riscos à saúde das crianças, bem como um desconhecimento da legislação por parte dos mesmos.

A falta de mão de obra especializada (SILVA et al., 2020), aliada ao fato de o MAPA não colocar de forma obrigatória, que está alegação deva ser apresentada na parte frontal das embalagens e em letras destacadas, contribui para a desinformação da população quanto ao risco do consumo deste alimento por crianças menores de um ano. Pois observou-se que a alegação de não consumo estava na parte traseira dos rótulos, juntamente com outras informações o que prejudica a leitura e o entendimento do consumidor.

4 CONCLUSÃO

Desta forma pode se concluir que a maior parte dos rótulos avaliados, apresentavam selo de inspeção, entretanto ainda foram encontrados rótulos sem selo de inspeção e com selo que não permite sua comercialização na localidade alvo, demonstrando que a comercialização de produtos sem inspeção sanitária ainda é uma realidade no Brasil, podendo oferecer risco à saúde do consumidor final.

Quanto a ausência da alegação de não consumo, foram encontrados méis com selo de inspeção sanitária, sem a presença da alegação de não consumo por crianças menores de um ano de idade, demonstrando que apesar de obrigatória esta informação ainda é despercebida por produtores e fiscais.



5 REFERÊNCIAS

- ABREU, S. M.; FERNANDES, A. D.; MUSACHIO, V. S.; MAURER, P. F. A.; LEITÃO, A. M.. Avaliação da presença de selos de inspeção em rótulos de embalagens de méis de abelha *apis mellifera*, de diferentes marcas e localidades do Brasil. **Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia**. Anais...Diamantina (MG) Online, 2023^a. Disponível em: <https://even3.blob.core.windows.net/anais/659927.pdf>.
- ABREU, S. M., LEITÃO, A. M., MAURER, P. F. A., MARQUES, K. C. G., FERNANDES, A. D., & MUSACHIO, V. S.. Rotulagem de mel: Uma análise qualitativa quanto ao cumprimento da legislação em embalagens comercializadas em diferentes cidades do RJ e RS. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 13, p. e13121344076-e13121344076, 2023^b.DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i13.44076>.
- ARAÚJO, A. G.; PEREIRA, A.; BURATINNE, L.; BAYEH, B.; MARKUS, D. V.; GRINGER, G.; MARCELINO, F. A.; MACHADO, F. R.; SILVA, G. S.; FERREIRA, P. R. A.. Botulismo alimentar em pessoas da mesma família: relato de dois casos. **The Brazilian Journal of Infectious Diseases**, v. 26, p. 102576, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjid.2022.102576>
- BASTOS, A. A.; BELINELLO, M.H.; SARAIVA, T.C.C.; SOUTO, A.C.. Avaliação da qualidade sanitária dos rótulos de alimentos embalados de origem animal. **Revista Baiana de Saúde Pública**, v. 32, n. 2, p. 218-218, 2008.
- BAZANELLA, P. C., & ALVES, M. K.. Rotulagem de Ovos e Mel: Avaliação de Conformidades à Legislação Vigente. **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 23, n. 2, p. 94-97, 2019.DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2019v23n2p94-97>
- BORGES, C. S. G.; DRUMOND, I. M.; GARCIA, M. M.; AMICHI, A. S.; MARTINS, T. C. O.; CHAVES, M. V.; FERNANDES, A. P.; MACHADO, M. A. S. D.. Relação da infecção por clostridium difficile e doenças inflamatórias intestinais associada a fatores de risco e transplante de microbiota fecal: revisão sistemática. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 94737- 94747, 2021.DOI:10.34117/bjdv7n9-577.
- Brasil. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamenta a lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. **Diário Oficial da União**, 2017.
- CALDAS, M. J. M.; SILVA, I. P.; MACHADO, C. S.; DE CARVALHO, C. A. L.; DA SILVA, G. S.. Qualidade e perfil antimicrobiano do mel de *Melipona asilvai*. **Brazilian Journal of Development**, 6(5), 32760-32768.2020.DOI:10.34117/ bjdvn5-646.DA SILVA XAVIER, C. G.; DE SOUSA JUNIOR, J. F.; DE OLIVEIRA NETO, F.; IANICELI, J. A.; DA FROTA BRITO, L. C.; DA SILVA SOUSA, M.; Muratori, M. C. S.. Fiscalização sanitária de alimentos em Teresina, PI/sanitary food inspection in Teresina, PI. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 2, p. 2142-2154, 2020.DOI: <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n2-067>
- DE LIMA, C. L. G. et al. Análises de fraude por adição de açúcares e rotulagem em méis comercializados no município de Duque de Caxias, Rio de Janeiro. **PUBVET**, v. 16, p. 197, 2022.DOI: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v16n09a1223.1-8>
- DE OLIVEIRA ROSA, M. Y., BORGES, F. F., JUNIOR, L. N. C., & LOBATO, F. H. S.. O risco sanitário na comercialização de alimentos em um mercado público da Amazônia: um estudo de caso em Belém (PA). **Scientia Plena**, v. 15, n. 10, 2019.DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.101501>
- DE OLIVEIRA, G. G. V.; Paes, T. G. B.; Oliveira, K. A. de M.. Qualidade microbiológica e química do mel (*Apis mellifera*) submetido a diferentes tratamentos térmicos. **Revista Panorâmica online**, v. 3, 2019. Disponível em:file:///C:/Users/Ezequiel/Downloads/administrador,+QUALIDADE+MICROBIOL%C3%93GICA+E+QU%C3%8DMICA+DO+MEL+_Apis+mellifera_.pdf.
- DOS SANTOS, W. S., GANDRA, L. C., FERREIRA, R. G. C., ALVES, J. N., SANTOS, H. O., & SANTOS, E. M. S.. Perspectivas de uso da inteligência artificial na viabilidade de método alternativo para o controle de qualidade do mel. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 17, n. 1, p. 3816-3840, 2024.DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.1-226>
- GOMES, J. A. F.; DE AQUINO, R. S.; DA SILVA, E. G.; DA SILVA LIMA, R.; ARRAES, F. D.D; DA SILVA, A. F. Frequência e forma de uso do mel de abelhas no sertão central de Pernambuco. **A face transdisciplinar das ciências agrárias. Ponto Grossa: Atena**, p. 234-240, 2021.DOI: [10.22533/at.ed.91721100823](https://doi.org/10.22533/at.ed.91721100823).
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística disponível. Produção brasileira de mel.2022.em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/mel-de-abelha/br>.



- MARQUES, A. N.; OLIVEIRA, L. M. V. de; PIRES, M. E. L. L.; BRITO, M. M. de. Elaboração de Sorvete de Kefir com Croatá (*Bromelia antiacantha* Bertol) e Mel. *Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 32–36, 2023. DOI: 10.17921/1415-6938.2023v27n1p32-36. Disponível em: <https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/upload/37/MANUAL%20-%20SIM%20-%20Servico%20de%20Inspecao%20Municipal.pdf>.
- MUSACHIO, V. S.; ABREU, S. M.; FERNANDES, A. D.; LEITÃO, A. M.. Avaliação da presença da restrição do consumo em rótulos de embalagens de méis de abelha *apis mellifera*, de diferentes marcas e localidades do Brasil. **Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia**. Anais...Diamantina (MG) Online, 2023. Disponível em: <https://even3.blob.core.windows.net/anais/659855.pdf>.
- PEREIRA, F. de M.; DE CAMARGO, R. C. R.; LOPES, MT do R. Contaminação do mel por presença de *clostridium botulinum*. 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/69267/1/Doc161.pdf>
- PEREIRA, A. S., SHITSUKA, D. M., PARREIRA, F. J., & SHITSUKA, R.. Metodologia da pesquisa científica. 2018. Disponível em:
- PREZOTTO, L. L.; NASCIMENTO, M. A. R. Manual de orientações sobre constituição de Serviço de Inspeção Municipal (SIM). **Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2013.
- PATZLAFF, M. E. B.; MELO, S. S.. Informações nutricionais nos rótulos de alimentos industrializados em relação às necessidades nutricionais de pré-escolares. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 6, p. 17952-17965, 2020. DOI:10.34119/bjhrv3n6-200.
- RIBEIRO, T. R.; PIROLLA, N. F. F.; NASCIMENTO-JÚNIOR, N. M.. Adoçantes Artificiais e Naturais: Propriedades Químicas e Biológicas, Processos de Produção e Potenciais Efeitos Nocivos. **Revista Virtual de Química**, 12(5), 2020.1-41. DOI: 10.21577/1984-6835.20200101.
- RONDON, R.P. Vendo a China: educação e comercialização informal. **Latin American Journal of Development**, v. 5, n. 1, p. 184-191, 2023. DOI: <https://doi.org/10.46814/lajdv5n1-012>
- ROCHA, M. A. M.; CASTILHO, S. D.. Revisão histórica e visão multidisciplinar: prós e contras. **Anais do XIV Encontro de Iniciação Científica da PUC-Campinas**, v. 85, n. 6, p. 480-489, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Silvia-Castilho/publication/268355342_Chupeta_-_revisao_historica_e_visao_multi_disciplinar_pros_e_contras/links/552556830cf295b160e22e5/Chupeta-revisao-historica-e-visao-multidisciplinar-pros-e-contras.pdf.
- SILVA, M. R. T.; DE NARDI JUNIOR, G.; Serviço de inspeção federal-sif e registro de estabelecimento e de produtos de origem animal. In: **XI JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica**. 2022. Disponível em: <http://jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/XIJTC/XIJTC/paper/view/2714>.
- SILVA, M. D. e; LIMA, A. P. O.; COSTA, C. O. Mel de abelhas na alimentação de estudantes e servidores do IF Baiano campus Governador Mangabeira. *Revista Macambira*, [S. l.], v. 4, n. 1, p. e041001, 2023. DOI: 10.35642/rm.v4i1.463.
- STEFANUTTI, P.; VALDIR, G.. Alimentos contrabandeados: caminhos inversos do contrabando na fronteira Brasil-Paraguai. **V Seminário Internacional de Los Espacios de Frontera. (V Geofronteras): Territorialidades y Sujetos Transfronterizos**, n. 2, p. 188-197, 2022. Disponível em: <https://edicionesfhycs.fhycs.unam.edu.ar/index.php/vsidledf/article/view/406/353>.
- VIDAL, M. de F.. Evolução da produção de mel na área de atuação do BNB. **Caderno Setorial ETENE, Banco do Nordeste**, [S. l.], ano 5, n 112. 2020.
- XIMENES, L. F.; VIDAL, M. F.. Agropecuária: Mel Natural. **Banco do Nordeste do Brasil**, ano 8, n.279, maio. 2023.(Caderno Setorial Etene).2023. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1812>.



Área: Efluentes e Resíduos sólidos

Reuso de membranas de nanofiltração no tratamento de água de processamento de maçãs.

Fábio Ivan Seibel^a, Vandrê Barbosa Brião^a, Maxime Pontié^b, João Portella

^aPrograma de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo, BR

^bPrograma de Mestrado em Química Ambiental, Université d'Angers, Universidade de Angers, França 40 Rue de Rennes, 49100 Angers, França.

^aE-mail: 120295@upf.br

RESUMO – Processos de separação por membrana são amplamente utilizados em diversas indústrias, incluindo tratamento de água, processamento de alimentos, produtos farmacêuticos e separação de gases. Infelizmente, essas membranas têm uma vida útil relativamente curta, de 3 a 5 anos. Isso leva a uma taxa de substituição anual que varia de 5% a 35%, resultando no descarte de mais de 5 milhões de módulos em fim de vida por ano até 2030. Foram coletadas membranas de nanofiltração em fim de vida, submetidas a uma limpeza química e testadas para o tratamento de efluentes da indústria da maçã. Os resultados mostraram viabilidade técnica, sendo eficientes na produção de água para reúso em suas respectivas aplicações. O efluente tratado pelas membranas recicladas reduziu a cor, de 91,5 Hz para 0,09 Hz, matéria orgânica de 21,95 mg/L para 0 mg/L, e a turbidez, de 43,1 NTU para 1,65 NTU. Além disso, as membranas removeram o microrganismo *Escherichia coli* presentes no fluxo. Existe uma grande oportunidade de mercado inexplorada para membranas de NF em fim de vida, e também para as indústrias de beneficiamento de maçãs, aumentando a viabilidade econômica e o alcance dos processos de reúso de água.

Palavras-chave: Reuso de membranas, beneficiamento de maçã, membranas em fim de vida.

1 INTRODUÇÃO

Os processos de separação por membranas (PSM) surgiram como um avanço nas tecnologias de separação, e possuem aplicações diversas em processos industriais, incluindo tratamento de água e efluentes (MEJÍA et al., 2022; MCKIE et al., 2016), processamento de alimentos e bebidas (GARNIER et al., 2023; YADAV et al., 2022; YAMJALA et al., 2016), processos farmacológicos (CONSOLI et al., 2023), separação de gases (XU et al., 2022), entre outros.

Dentre os diversos PSM, destacam-se as aplicações daqueles que utilizam a pressão como força motriz, como as membranas de Microfiltração (MF), Ultrafiltração (UF), Nanofiltração (NF) e Osmose Inversa (OI). A distinção fundamental entre as membranas reside na faixa de tamanho dos componentes que elas separam, determinada pelo tamanho dos poros e pela composição química (HAMINGEROVA et al., 2015). O material constituinte pode ser homogêneo em nível molecular, apresentando composição e estrutura uniformes, ou heterogêneo, podendo conter poros ou ser construído em camadas (BAKER, 2004). A maioria das membranas é composta por diversas camadas, sendo a camada superficial responsável pela seletividade.

No entanto, as membranas enfrentam desafios ambientais, principalmente devido à sua vida útil relativamente curta, variando entre 3 e 5 anos. Problemas relacionadas à relação de permeabilidade/seletividade, bioincrustação (NEJATI et al., 2019), incrustação inorgânica (RUIZ et al., 2019) e orgânica contribuem para o fim de sua vida útil, variando entre diferentes aplicações industriais e métodos operacionais.

Prevê-se que o mercado de membranas cresça anualmente em cerca de 6,5% até 2027 (MarketsandMarkets, 2023), resultando em mais de 4 milhões de elementos filtrantes descartados anualmente. Diante desse cenário em expansão, a gestão adequada no final da vida útil dessas membranas torna-se uma prioridade. Como destacado por Lawler et al. (2015), a disposição em aterros é a última opção recomendada. A reutilização e a reciclagem são preferenciais, conforme indicam estudos positivos sobre essas práticas (MEJÍA et al., 2022; SEIBEL et al., 2021; SOMRANI et al., 2021; LEJARAZU-LARRAÑAGA et al., 2020).

Para abordar essa situação insustentável, a hierarquia de gestão de membranas no final de sua vida útil deve ser implementada o mais rápido possível (LEJARAZU-LARRAÑAGA et al., 2022). O autor categorizou as alternativas para reaproveitamento de membranas no final de sua vida útil (Figura 1), a saber, reutilização, reciclagem direta e reciclagem indireta, e por fim o reaproveitamento térmico.



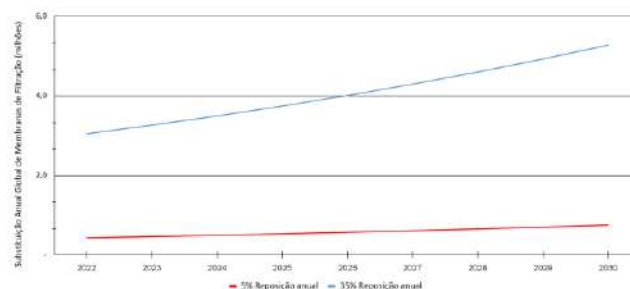
Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

A figura 2 apresenta estimativas até 2030, indicando um potencial descarte de aproximadamente 5 milhões de módulos de membrana por ano. Esta estimativa leva em consideração uma taxa anual de substituição de membranas variando de 5% (representada pela linha vermelha) a 35% (representada pela linha azul).

Figura 1: Hierarquia do gerenciamento de membranas em fim de vida.



Figura 2: Gráfico da estimativa de substituição global de membranas ao longo dos anos de 2002 a 2030.



Fonte: adaptado de LEJARAZU-LARRAÑAGA et al., 2022.

Fonte: autor.

O mercado de produção de maçãs no sul do Brasil é uma potência regional, ocupando o 5º lugar no ranking mundial. Em 2023, a produção total da região foi estimada em 1,1 milhão de toneladas, com destaque para Santa Catarina, que responde por 55% do volume nacional. Essa produção gera cerca de 80 mil empregos diretos e indiretos, movimentando mais de R\$ 2 bilhões por ano.

Durante a safra, as maçãs são colhidas manualmente, transportadas até as indústrias de beneficiamentos em “bins” de madeira (Figura 3). Os bins são alocados em câmaras frias de atmosfera controlada para armazenamento durante a entressafra. Durante a entressafra, as câmaras frias são abertas, os bins são retirados e as maçãs são selecionadas de acordo com tamanho, cor e qualidade (Figura 4). Essa seleção requer que as frutas sejam carregadas pelo processo de beneficiamento em calhas de aço inoxidável com o auxílio de um fluxo de água (Figura 5).

A água que carrega as maçãs durante o processo seletivo incorpora partículas sólidas presas às frutas. Além disso, as maçãs em estados avançados de podridão se despedaçam, contaminando a água de carregamento com matéria orgânica e microrganismos. Embora a carga orgânica deste efluente não seja elevada (CARPES et al., 2023), ela pode oferecer risco à saúde pública se lançado sem tratamento.

Um estudo realizado por Fernandes et al. (2011) avaliou a qualidade da água utilizada no processo industrial da maçã, os resultados mostraram que a água estava contaminada com uma variedade de microrganismos, incluindo bactérias, fungos e vírus. Os autores do estudo ainda concluíram que o controle da qualidade da água é uma necessidade urgente para a indústria de maçã do Brasil, problema atenuado pela falta de regulamentação e fiscalização. Para reduzir as contaminações de microrganismos, as indústrias utilizam dosagens de hipoclorito de sódio na água de carregamento.

A dosagem de hipoclorito de sódio é eficiente para o controle de microrganismos em águas, no entanto, em águas com a presença de matéria orgânica podem ser gerados subprodutos tóxicos, como por exemplo os trihalometanos (FAN et al., 2015). A Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, define os padrões de potabilidade da água para consumo humano no Brasil. Entre seus objetivos, a Portaria busca garantir a qualidade da água e proteger a saúde pública, estabelecendo limites para a concentração de diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, incluindo os trihalometanos (THMs).

Os THMs são compostos orgânicos halogenados que podem ser formados quando o cloro, utilizado como desinfetante na água, reage com matéria orgânica presente na água. A Portaria 888 estabelece um limite máximo de 100 µg/L para a concentração total de THMs na água potável. Um elemento crucial do sistema é que a literatura aponta um controle inadequado das águas de carregamento, ocorrendo frequentes hiper dosagens de NaOCl para reduzir coliformes (CARPES et al., 2023).



Figura 3: Bins de madeira para transporte de maçãs.



Fonte: autor.

Figura 4: Processo de seleção das maçãs.



Fonte: autor.

Figura 5: Carregamento das maçãs nas calhas.



Fonte: autor.

Diante do contexto descrito, torna-se evidente uma oportunidade entre as necessidades de gestão sustentável das membranas em fim de vida útil e os desafios enfrentados pela indústria de processamento de maçãs no sul do Brasil. A crescente demanda por tratamento de efluentes industriais, aliada à urgência em preservar recursos hídricos e mitigar os impactos ambientais, impulsiona a busca por soluções inovadoras e sustentáveis.

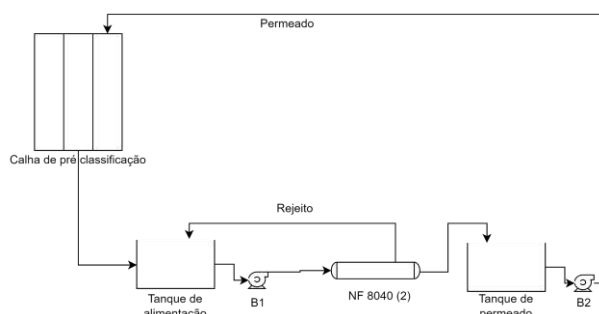
Neste contexto, este estudo surge como uma resposta multifacetada, buscando integrar a reutilização de membranas em fim de vida útil com a necessidade de tratamento e reutilização da água de carregamento de maçãs, visando reduzir a concentração de matéria orgânica e microrganismos e garantir a conformidade com os padrões de qualidade estabelecidos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Um equipamento piloto (Figura 7) foi instalado *in loco*, equipado com duas membranas de 8 polegadas de NF em fim de vida. O diagrama da instalação está apresentado na Figura 6. Foi utilizado uma motobomba (B1) multiestágio (3) com capacidade para 3m³/h e 60 m.c.a. O equipamento operou por um período de 40 dias, sendo realizados processos de limpeza (CIP) diariamente. A água produzida foi continuamente reintegrada ao processo produtivo.

O processo de limpeza das membranas (CIP) consistiu em etapas de enxágue com água limpa, banhos com ácido nítrico (pH 1,5-2,5) para remover depósitos inorgânicos e hidróxido de sódio (pH 10,5-11,5) para remover materiais orgânicos, intercalados por enxágues para remover resíduos. A duração de cada etapa variou entre 5 e 30 minutos. Amostras de água bruta e tratada foram analisadas em laboratório para cálculos de eficiência.

Figura 6: Diagrama de instalação do piloto *in loco*.



Fonte: autor.

Figura 7: Piloto instalado *in loco*.



Fonte: autor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO



A figura 8 apresenta a diferença na qualidade da água antes e depois do início do uso do equipamento piloto. A concentração de matéria orgânica presente na água da calha alcançou 21,95 mg/L, sendo que a água tratada apresentou 0 mg/L, remoção de 100% do material orgânico. A eficiência de remoção de cor e turbidez também se mostraram elevadas (Gráficos 1 e 2).

Figura 8: Calhas antes e depois do uso do piloto.



Fonte: autor.

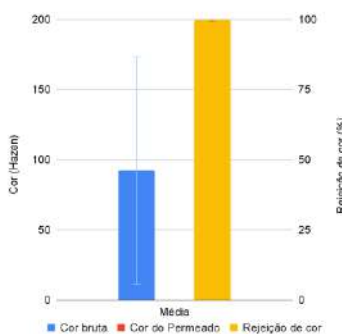
Figura 9: Membrana colmatada após uso.



Fonte: autor.

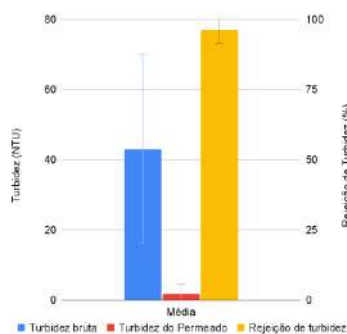
A indústria em questão contava com um sistema convencional de filtros de areia, no entanto, devido à ineficácia observada durante a operação, esse sistema não estava em uso. Essa situação representou uma limitação significativa, uma vez que a ausência de um mecanismo de retenção de sólidos resultou na colmatagem das membranas de nanofiltração (Figura 9). A obstrução das membranas levou a uma tendência de redução do fluxo do sistema, destacando-se especialmente nos dias 0-26, durante os quais procedimentos de CIP eram realizados em resposta à diminuição do fluxo. As membranas de nanofiltração são projetadas para separar íons ou pequenas moléculas, e a presença de sólidos grosseiros no efluente pode causar obstrução no fluxo de permeado, comprometendo a capacidade filtrante do elemento. No dia 27, foi necessário substituir as membranas e instalar um filtro de areia, restabelecendo a recuperação do fluxo das membranas após a execução dos procedimentos de CIP realizados diariamente.

Gráfico 1: Rejeição de cor das calhas.



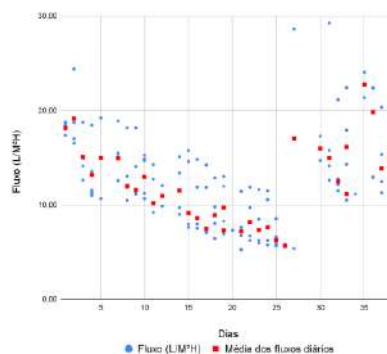
Fonte: autor.

Gráfico 2: Rejeição de turbidez das calhas.



Fonte: autor.

Gráfico 3: Fluxo permeado em 38 dias de operação.



Fonte: autor.



O estudo apontou que o CIP pode ser empregado para remover obstruções e restaurar o fluxo, desde que não haja presença de sólidos na membrana. As membranas de nanofiltração foram projetadas para separar sólidos solúveis, não sendo eficazes na retenção de sólidos suspensos, o que pode ocasionar a colmatção da membrana. As membranas de nanofiltração demonstram a capacidade de eliminar mais de 99% dos microorganismos presentes na água (BRUGGEN et al., 2003). Foram coletadas amostras de água tratada pelas membranas, que não apresentaram contaminação por *Escherichia coli*.

4 CONCLUSÃO

Os resultados preliminares indicam que a aplicação proposta é promissora, especialmente considerando a possibilidade de reutilização das membranas no final de sua vida útil e a notável melhoria na qualidade da água utilizada no processo de carregamento das maçãs.

As membranas de nanofiltração demonstraram eficácia no tratamento das águas utilizadas no processamento de maçãs, destacando-se por sua capacidade de rejeição de matéria orgânica, turbidez, cor e microrganismos. Como resultado, a água tratada atende aos padrões necessários para sua reutilização em diversas aplicações. Adicionalmente, a implementação desse sistema reduz a probabilidade de formação de subprodutos tóxicos, originados pela dosagem de hipoclorito de sódio na água, devido à diminuição da concentração de matéria orgânica.

Nesse contexto, a aplicação testada também se revela como um mercado promissor para a reintegração de membranas de separação no final de sua vida útil. Quanto à composição das membranas de nanofiltração, destaca-se a presença de uma camada superficial de poliamida, responsável pela separação de solutos, que se mostra suscetível à degradação na presença de oxidantes, como o cloro livre, conforme evidenciado por testes conduzidos por Seibel et al. (2021). Essa degradação prematura pode comprometer a eficiência do sistema de membranas, especialmente considerando as concentrações elevadas de cloro utilizadas nas calhas para controle de microrganismos.

Para otimizar o desempenho do sistema, é necessário incorporar um eficiente sistema de remoção de sólidos, preparando a água para sua utilização nos equipamentos de separação por membranas. Contudo, destaca-se a necessidade de realizar testes de longa duração para confirmar a viabilidade do uso desses sistemas de remoção de sólidos em conjunto com as membranas, bem como avaliar os efeitos das concentrações de cloro livre nas propriedades das membranas ao longo do tempo.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES pela concessão da bolsa de estudo, que possibilitou a dedicação à pesquisa. Reconhecemos o compromisso da CAPES com o avanço da pesquisa no Brasil. Expressamos nossa profunda gratidão pela valiosa contribuição da CAPES ao progresso da ciência e da educação superior.

6 REFERÊNCIAS

- BAKER, R. W. **Membrane Technology and Applications**. Second Edition. 2004.
- CARPES, Vanessa Maria et al. Hybrid electrolysis and membranes system for apple packing houses water treatment. **Water Science & Technology**, [S.L.], v. 88, n. 3, p. 677-693, 18 jul. 2023. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2023.228>.
- CONSOLI, Larissa et al. Encapsulation of resveratrol via spray-drying of oil-in-water emulsions produced by ultrasound or membrane emulsification. **Journal Of Food Engineering**, [S.L.], v. 350, p. 111488, ago. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111488>.
- FAN, Xuotong et al. Formation of trichloromethane in chlorinated water and fresh-cut produce and as a result of reaction with citric acid. **Postharvest Biology And Technology**, [S.L.], v. 109, p. 65-72, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.009>.
- FERNANDES, G. V. **Controle de qualidade na colheita na empresa renar maçãs S/A**. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 66. 2011.
- GARNIER, Céline et al. Water reuse in the food processing industries: a review on pressure-driven membrane processes as reconditioning treatments. **Journal Of Food Engineering**, [S.L.], v. 344, p. 111397, maio 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111397>.



- HAMINGEROVA, M.; BORUNSKY, L.; BECKMANN, M. Membrane Technologies for Water and Wastewater Treatment on the European and Indian Market. **Techview membrane**, [s.l.], p. 1-36, 2015.
- LEJARAZU-LARRAÑAGA, A. et al. Circular economy in membrane technology: Using end-of-life reverse osmosis modules for preparation of recycled anion exchange membranes and validation in electro dialysis. **Journal of Membrane Science**, v. 593, p. 117423, 1 jan. 2020.
- LEJARAZU-LARRAÑAGA, A. et al. Thin Film Composite Polyamide Reverse Osmosis Membrane Technology towards a Circular Economy. **Membranes 2022**, Vol. 12, Page 864, v. 12, n. 9, p. 864, 7 set. 2022.
- MarketsandMarkets. Membrane Filtration Market by Type (Microfiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration, Reverse Osmosis), Application (Water & Wastewater Treatment, Food & Beverage, Pharmaceutical & Medical, Biofuels & Chemicals), and Region - Global Forecast to 2027. [Online] 2023. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/membrane-filtration.asp>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2024.
- MCKIE, M. J.; ANDREWS, S. A.; ANDREWS, R. C. Conventional drinking water treatment and direct biofiltration for the removal of pharmaceuticals and artificial sweeteners: A pilot-scale approach. **The Science of the total environment**, v. 544, p. 10–17, 15 fev. 2016.
- MEJÍA, Hugo Fernando Giraldo et al. Direct recycling of discarded reverse osmosis membranes for domestic wastewater treatment with a focus on water reuse. **Chemical Engineering Research And Design**, [S.L.], v. 184, p. 473-487, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2022.06.031>.
- NEJATI, S. et al. Biofouling in seawater reverse osmosis (SWRO): Impact of module geometry and mitigation with ultrafiltration. **Journal of Water Process Engineering**, [s.l.], v. 29, p. 1-7, 2019.
- PAULA, Eduardo Coutinho de; AMARAL, Míriam Cristina Santos. Environmental and economic evaluation of end-of-life reverse osmosis membranes recycling by means of chemical conversion. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 194, p. 85-93, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.099>.
- RUIZ, S. G. et al. Study of reverse osmosis membranes fouling by inorganic salts and colloidal particles during seawater desalination. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, [s.l.]:[s.n.], 2019.
- SEIBEL F.I.; GIUBEL G.O.M.; BRÍÃO, V.B.; SHABANI M.; PONTIÉ M. End-Of-Reverse Osmosis Membranes: Recycle procedure and its applications for the treatment of brackish and surface water, **Journal of Applied Research in Water and Wastewater**, v. 8 (1), p. 77-87, 2021.
- SOMRANI, A. et al. Transforming an end-of-life reverse osmosis membrane in a cationic exchange membrane and its application in a fungal microbial fuel cell. **Ionics**, v. 27, n. 7, p. 3169–3184, 1 jul. 2021.
- XU, R.; WANG, B.; CAI, Y. Preparation and structures of PEBA gas separation membrane modified by fumed silica for oil vapor separation. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1–9, 1 dez. 2022.
- YADAV, D.; KARKI, S.; INGOLE, P. G. Nanofiltration (NF) Membrane Processing in the Food Industry. **Food Engineering Reviews**, v. 14, n. 4, p. 579–595, 1 dez. 2022.
- YAMJALA, K.; NAINAR, M. S.; RAMISETTI, N. R. Methods for the analysis of azo dyes employed in food industry-- A review. **Food chemistry**, v. 192, p. 813–824, 27 jul. 2016.



Área: Efluentes e Resíduos Sólidos

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO ACELERADO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FILMES COMERCIAIS DE POLIPROPILENO UTILIZADOS NA IRRIGAÇÃO DE CULTURAS

Daniela Alexia Raber Wohlmuth¹, Rafaela de Oliveira¹, Cesar Vinicius Tonicionli Riguetto², Marcelo Kunz³, Aline Dettmer^{1*}

¹Universidade de Passo Fundo (UPF), Instituto de Tecnologia (ITec), Curso de Engenharia Química, Passo Fundo-RS, Brasil

²Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Centro de Ciências Rurais (CCR), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos (PPGCTA), Santa Maria-RS, Brasil

³JD Indústria e Comércio de Plásticos LTDA, Santa Maria-RS, Brasil

*E-mail: alinedettmer@upf.br

RESUMO – O polipropileno é um polímero (PP) que apresenta baixa densidade, elevada resistência química e baixa absorção de umidade, sendo um material promissor para aplicação na irrigação de culturas. Neste estudo, foram avaliadas as propriedades mecânicas (espessura e resistência à tração e alongação) e químicas (por FTIR) de três formulações de filmes de PP comerciais (branco, bege e azul) antes e após envelhecimento acelerado em câmara de fotoxidação por luz ultravioleta por 650h. Na análise de FTIR, não foram identificadas modificações dos grupamentos químicos dos três filmes antes ou após o envelhecimento acelerado, sugerindo baixo grau de degradação nas condições estudadas. Com relação às propriedades mecânicas, destacou-se o filme bege, que mesmo após o envelhecimento acelerado, obteve valores de resistência à tração e alongação de >20,8 MPa e >1012% respectivamente, sem ocorrer o rompimento do material nos parâmetros utilizados no texturômetro. De modo geral, os filmes de PP são uma alternativa promissora para as aplicações na agricultura, em função de suas excepcionais propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Agricultura; Filmes de Polipropileno; Alongação; Resistência à Tração; FTIR.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da agricultura é essencial no contexto socioeconômico, proporcionando o acesso aos alimentos necessários ao desenvolvimento humano e ao equilíbrio do ecossistema (ASSIS et al., 2019). Assim, a atividade agrícola recebe forte pressão social para produzir alimentos para toda a população, que está em constante crescimento, e, levando em consideração a utilização de grandes quantidades de água, principalmente para áreas de irrigação, movimenta-se uma busca do uso mais eficiente desses recursos, tanto em relação a água, quanto de fertilizantes, dois dos grandes desafios para a agricultura (OLIVEIRA et al., 2022).

Com a aplicação correta da irrigação, é evitado que a planta sofra estresse hídrico e conseqüentemente diminuindo a incidência de pragas oportunistas que atacam as plantas em estresse, além de que a irrigação é uma das técnicas agrícolas que mais favorece o aumento da produtividade, bem como a melhoria da qualidade das culturas (PUTTI et al., 2013). Assim, é viável inserir sistemas que desenvolvam e facilitem o planejamento e a efetividade da plantação de forma prática ao agricultor.

A busca sistemas de irrigação alternativos tem sido foco em estudos nos dias atuais, onde os polímeros apresentam características promissoras como durabilidade, baixo custo, facilmente moldáveis, capacidade de serem reciclados e versatilidade de aplicação (FARIA; MARTINS-FRANCHETTI, 2010).

Dentre os polímeros sintéticos, destaca-se o polipropileno, um homopolímero, termoplástico, formado apenas por hidrocarbonetos unidos por ligações covalentes simples. Ele apresenta baixa densidade, elevada resistência química e baixa absorção de umidade. Além disso, possui baixo custo de produção e fácil processamento e moldagem quando comparado a polímeros termorrígidos, materiais cerâmicos e metálicos. Contudo, o polipropileno é sensível aos raios ultravioleta, podendo gerar alterações nas propriedades mecânicas do polímero, que levam a fragilização, amarelamento, opacidade e fissuramento das peças (KAULING, 2009; MENA, 2013; FREITAS, 2019).

É importante destacar a importância das propriedades mecânicas dos filmes, uma vez que devem apresentar uma flexibilidade adequada e resistência à ruptura, para que possam reforçar e facilitar o seu manejo e para se adaptar



às possíveis deformações sem se romper. Elas dependem da natureza do material e de sua estrutura, a qual está relacionada com a facilidade do polímero em formar ligações entre duas cadeias poliméricas, dificultando assim a sua separação quando submetida a forças mecânicas (LAPA et al., 2021; ROSSETO et al., 2021).

Dessa forma, este trabalho objetivou avaliar as propriedades mecânicas de filmes de polipropileno comerciais aplicados na irrigação de culturas antes e após envelhecimento acelerado em câmara de fotoxidação por luz ultravioleta.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção dos filmes

Os filmes de polipropileno comerciais nas variações branco, bege e azul utilizados para irrigação de culturas (conforme a Figura 1), foram gentilmente doados pela empresa JD Indústria e Comércio de Plásticos LTDA, localizada em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

Figura 1: Filmes de polipropileno aplicado na irrigação de culturas.



Fonte: Autores (2024).

2.2 Envelhecimento acelerado

O envelhecimento sob luz ultravioleta foi realizado conforme proposto por Roy et al. (2006), onde utilizou-se lâmpadas de 40 W (Philips make) em câmara de fotoestabilidade (Ethiktechnology, 424 –CF) com controle de temperatura a 45 ± 1 °C, por um período de 650 horas.

2.3 Caracterização dos filmes antes e após envelhecimento acelerado

2.3.1 Espessura

A espessura dos filmes foi avaliada com o auxílio de um micrômetro externo digital (Digimess, 110.284 new), onde foram medidos 6 pontos nos filmes (meio e extremidades superior e inferior).

2.3.2 Resistência à tração e alongação



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

A resistência a tração e porcentagem de alongação dos filmes foram determinadas utilizando o texturômetro (TA.XTplus Texture Analyser), operando com separação de garras de 20mm e velocidade de teste de 10 mm/s.

2.3.3 Análise de Espectroscopia no Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

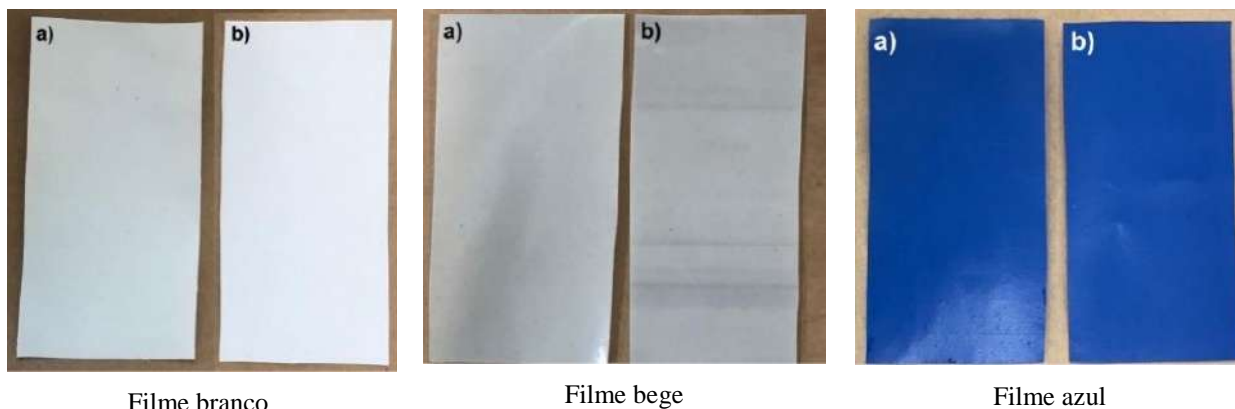
Os ensaios de FTIR foram realizados em Espectrômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier (Cary 630, Agilent Technologies, EUA). Operou-se o equipamento no modo reflexão total atenuada (ATR), utilizando um cristal de diamante, realizando 48 varreduras com resolução de 4 cm^{-1} na faixa de número de onde de $4000\text{ a }650\text{ cm}^{-1}$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO (ou REVISÃO BIBLIOGRÁFICA)

3.1 Caracterização dos filmes antes e após envelhecimento acelerado

A Figura 2 apresenta os filmes de polipropileno antes e após o envelhecimento acelerado. É visualmente perceptível a perda de cor no filme branco, enquanto o filme bege apresentou algumas listras em sua extensão. O filme azul não exibiu nenhuma mudança visual macroscopicamente.

Figura 2: Filmes de polipropileno **a)** antes do envelhecimento acelerado e **b)** após envelhecimento acelerado



As propriedades mecânicas dos filmes de polipropileno antes e após o envelhecimento acelerado estão mostradas na Tabela 1. Foi observado que antes do envelhecimento, as 3 amostras não apresentaram ruptura durante o teste utilizando o texturômetro, porém, após o envelhecimento acelerado, o filme branco e o filme azul apresentaram rupturas após alongação de 972,25 e 1061,21 %, respectivamente. O filme bege apresentou o maior valor de resistência à tração e alongação quando comparado aos valores dos outros filmes, não apresentando ruptura após atingir a capacidade máxima do equipamento nas condições estudadas.

Tabela 1: Propriedades mecânicas dos filmes de polipropileno antes e após envelhecimento acelerado em câmara de fotoestabilidade por 650h.

	Amostra	Espessura (mm)	Resistência à tração (MPa)	Elongação (%)
Filme branco	Antes do envelhecimento*	0,263	>20,69	>1001,93
	Após envelhecimento		17,27	972,25
Filme bege	Antes do envelhecimento*	0,233	>20,17	>1014,88
	Após envelhecimento*		>20,87	>1012,61
Filme azul	Antes do envelhecimento*	0,258	>21,61	>1017,35
	Após envelhecimento		19,75	1061,21

* Amostras atingiram o limite máximo da distância suportado pelo equipamento e não romperam.

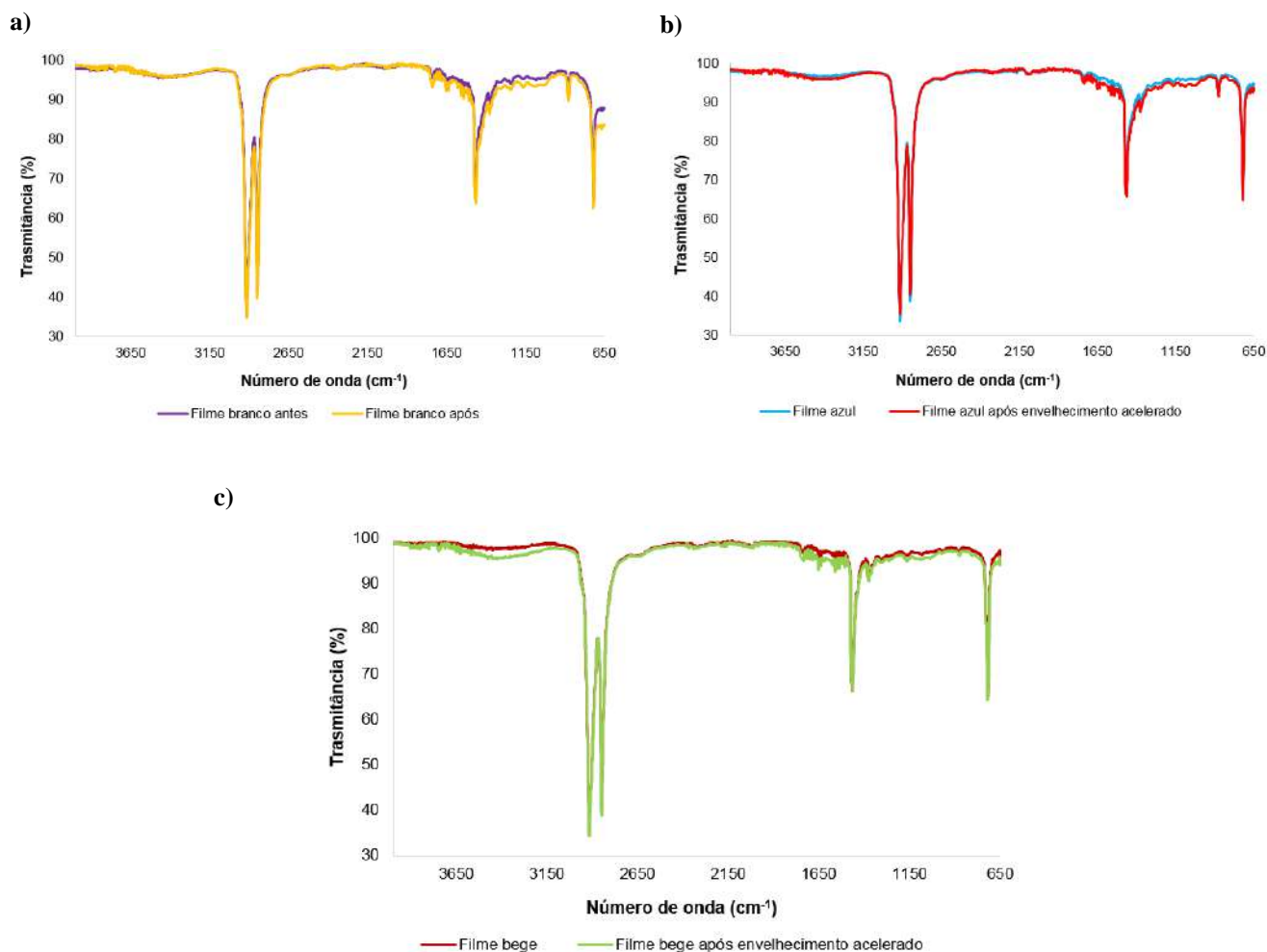


3.2 Análise de FTIR

A espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) é uma técnica amplamente usada para identificar grupos funcionais e alterações na estrutura química de materiais (KHAN et al., 2018). A fim de obter dados acerca de possíveis alterações químicas na estrutura da rede do polipropileno após o envelhecimento acelerado, os filmes foram submetidos à análise de FTIR, conforme mostrado na Figura 2.

Na Figura 3 não foram identificadas alterações nos sinais de transmitância por FTIR-ATR antes e após o processo de envelhecimento acelerado, indicando que não houve alteração química detectável com esta técnica nos três filmes estudados. De acordo com Gonçalves, Calado e Araújo (2018), o principal grupo químico que indica a degradação do polipropileno é a carbonila, presente na região de 1800 a 1650 cm^{-1} , portanto, não foi verificada nenhuma alteração características dos sinais de transmitância dos filmes antes e após o envelhecimento acelerado nessas regiões, indicando que não houve degradação ou pode ter sido muito pequena.

Figura 3: Análise de FTIR de filmes polipropileno após o envelhecimento acelerado.



Ainda, analisando os sinais em números de onda presentes nos filmes, destacam-se quatro sinais em comum, em torno de 2900 e 2800 cm^{-1} , que são característicos ao estiramento -C-H (CH_2 e CH_3), em 1470 a 1466 cm^{-1} , que são atribuídos à deformações angulares CH_2 e deformações assimétricas CH_3 e entre 730-700 cm^{-1} , indicando a presença de



deformações fora do plano das ligações cis-CH=CH- (PAVIA et al., 2014; BOSCARO, 2011; SANTOS, 2011; LIMA et al., 2015).

No entanto, nos filmes branco e azul observa-se a presença de um sinal mais acentuado em 877 e 874 cm^{-1} , respectivamente, em comparação com o filme bege, que corresponde à fase amorfa do polímero (SELLAMI et al., 2020).

O estado cristalino ou amorfo interfere nas propriedades mecânicas, ópticas e de barreira de filmes poliméricos, onde os polímeros com maior grau de cristalinidade apresentam melhores características mecânicas e de solubilidade (SANI et al., 2022; SCOPEL et al., 2018).

4 CONCLUSÃO

Na caracterização química dos filmes comerciais estudados antes e após o envelhecimento acelerado, não foi identificada a degradação do polipropileno sob radiação UV por até 650h.

As propriedades mecânicas avaliadas indicam que os filmes são uma opção para a complementação na irrigação de culturas, pois apresentam altos valores de resistência tração e alongação, com destaque ao filme bege, que apresentou alongação >1012% e resistência à tração >20 MPa, mesmo após o envelhecimento acelerado nas condições estudadas.

Dessa forma, os filmes de polipropileno são uma alternativa promissora para a aplicações na agricultura, em função de suas excepcionais propriedades mecânicas.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), Proc. 21/2551-0002144-6.

6 REFERÊNCIAS

ASSIS, T.R.D.P.; FRANÇA A.G.D.M.; COELHO, A.D.M. Agricultura familiar e alimentação escolar: desafios para o acesso aos mercados institucionais em três municípios mineiros. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, p. 577-593, 2019.

BOSCARO, M.E. **Biodegradação de filmes de polipropileno (PP), poli (hidroxibutirato-co-valerato)(PHBV) e blenda pré-irradiados com luz UV**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista: Rio Claro, 2011.

OLIVEIRA, M.; SANTOS, B.E.A.; GERALDI, C.A.Q.; DE PAULA, J.M.; LOSS, R.A.; GUEDES S.F. Desenvolvimento de aplicativos móveis para a agricultura: análise bibliométrica e revisão de literatura. **Revista CIATEC-UPF**, v. 14, n. 1, 2022.

FARIA, A.U.D.; MARTINS-FRANCHETTI, S.M. Biodegradação de filmes de polipropileno (PP), poli (3-hidroxibutirato)(PHB) e blenda de PP/PHB por microrganismos das águas do Rio Atibaia. **Polímeros**, v.20, p. 141-147, 2010.

FREITAS, A.D.S.M. **Desenvolvimento de filmes finos de organossilicone depositados a plasma para fotoproteção do polipropileno**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos: Sorocaba, 2019.

GONÇALVES, N.C.M.; CALADO, C.R.; ARAUJO, R.S. Estudo da viabilidade do reprocessamento do polipropileno empregando materiais reciclados. In: **IV Encontro Nordeste de Ciência e Tecnologia de Polímeros**, 2018.

KAULING, A.P. **Modificação da superfície do polipropileno por imersão em plasma de baixa energia**. Dissertação de mestrado. Universidade de Caxias do Sul: Caxias do Sul, 2009. 88 f.



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

KHAN S.A.; KHAN S.B.; KHAN, L.U.; FAROOQ, A.; AKHTAR, K.; ASIRI, A.M. Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Application in Functional Groups and Nanomaterials Characterization. **Materials Characterization**, p. 317-344, 2018.

LAPA, L.S.S.; SILVA, Y.R.O.; DE SALES, P.F.; GUIMARÃES, K.C.; DIAS, M.V. Avaliação das propriedades mecânicas de filmes biodegradáveis e sua aplicação em embalagens para acondicionamento de plantas. **ForScience**, v. 9, n. 2, p. e00970-e00970, 2021.

LIMA, A.F. **Síntese e caracterização de copolímeros de propeno com diolefinas via catálise Ziegler-Natta**. Tese de Doutorado. Unidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2015.

MENA, R.L. **Influência da deposição de filmes finos de organossilicone na fotodegradação do polipropileno**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos: Sorocaba, p. 93. 2013.

PAVIA, D.L.; LAMPMAN, G.M.; KRIZ, G.S.; VYVYAN, J.R. **Introduction to Spectroscopy**. Cengage Learning: San Francisco, 2014.

PUTTI, F.F.; GABRIEL FILHO, L.R.; BONINI NETO, A.; BONINI C.S.B.; GABRIEL, C.P.C.; KLAR, A.E. Sistema de irrigação de baixo custo para orquidários em centros urbanos. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 7, n. 3, p. 177-182, 2013.

ROSSETO, M.; RIGUETO, C.V.T.; KREIN, D.D.C.; MASSUDA, L.A.; BALBÉ, N.P.; COLLA, L.M.; DETTMER, A. Combined effect of transglutaminase and phenolic extract of *Spirulina platensis* in films based on starch and gelatin recovered from chrome III tanned leather waste. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 15, n. 5, p. 1406-1420, 2021.

ROY, P.K.; SUREKHA, P.; RAJAGOPAL, C.; CHATTERJEE, S.N.; CHOUDHARY, V. Accelerated aging of LDPE films containing cobalt complexes as prooxidants. **Polymer Degradation and Stability**, v. 91, p. 1791-1799, 2006.
SANI, M.A.; TAVASSOLI, M.; SALIM, S.A.; AZIZI-LALABADI, M.; MCCLEMENTS, D.J. Development of green halochromic smart and active packaging materials: TiO₂ nanoparticle-and anthocyanin-loaded gelatin/ κ -carrageenan films. **Food Hydrocolloids**, v. 124, p. 107324, 2022.

SANTOS, A.F. **Efeito da irradiação por feixe de elétrons sobre as propriedades físicas e químicas de uma resina de polipropileno**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo: São Paulo, 2011.

SCOPEL, B.S.; RIBEIRO, M.E.; DETTMER, A.; BALDASSO, C. Cornstarch-gelatin films: commercial gelatin versus chromed leather waste gelatin and evaluation of drying conditions. **Journal of Polymers and The Environment**, v. 26, n. 5, p. 1998-2006, 2018.

SELLAMI, F.; KEBICHE-SENHADJI, O.; MARAIS, S.; COLASSE, L.; FATYHEYEVA, K. Enhanced removal of Cr (VI) by polymer inclusion membrane based on poly (vinylidene fluoride) and Aliquat 336. **Separation and Purification Technology**, v. 248, p. 117038, 2020.



Área: Economia Circular

DESPERDÍCIO DE ALIMENTOS EM PASSO FUNDO/RS: OPORTUNIDADES PARA A PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE BIOETANOL

**Leticia Eduarda Bender*, Gabriel Lanza Colvero, Emily da Luz Monteiro, Alan Rempel,
Luciane Maria Colla**

*Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos, Curso Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos,
Escola de Ciências Agrárias, Inovação e Negócios, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS*

**E-mail: letiiciabender@gmail.com*

RESUMO – O montante de alimentos desperdiçados, além de causar contaminação ambiental, ocasiona uma perda de nutrientes que poderiam ser utilizados como matéria-prima para produtos de alto valor agregado. Para obtenção de bioetanol, é necessário utilizar matérias-primas ricas em carboidratos. Visando a bioeconomia circular, este trabalho teve por objetivo investigar os alimentos mais desperdiçados em estabelecimentos comerciais da cidade de Passo Fundo, assim como a sua caracterização para avaliação de aplicação na produção de bioetanol. Para esse fim, foi realizado um levantamento dos alimentos mais desperdiçados em dois estabelecimentos da cidade de Passo Fundo/RS, além da sua caracterização de composição química e açúcares redutores. Os alimentos mais desperdiçados foram: banana, mamão, maçã, tomate, batata branca, batata rosa, batata doce, cenoura, pão, macarrão, batata pré-frita e bolacha de milho. O alimento mais desperdiçado foi a banana, quantificando 2.329,7 kg desperdiçados em 5 dias. O resíduo com menor teor de carboidratos foi o tomate (68,57%) e o com maior teor de carboidratos foi a maçã (94,79%). Os demais resíduos de tomate pão e macarrão apresentaram teores de proteína acima de 13,74%. As frutas apresentam altos teores de açúcares redutores, o que significa que poderiam ser utilizadas diretamente no processo fermentativo. Quanto aos demais resíduos, é necessário o processo de hidrólise dos carboidratos para aplicação em futuro processo fermentativo. A partir dos resultados obtidos, os resíduos alimentares possuem alta viabilidade para utilizar para produção de bioetanol devido as altas concentrações carboidratos e de açúcares redutores presentes.

Palavras-chave: resíduos alimentares, biocombustíveis, resíduos industrializados, resíduos vegetais.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional contribui para o aumento do desperdício de alimentos. No ano de 2019, aproximadamente 931 milhões de toneladas de alimentos foram desperdiçados (17 % da produção global de alimentos) (UNEP, 2021). Considerando que os recursos são finitos, inovações tecnológicas estão sendo estudadas para reduzir os impactos ambientais, aplicando conceitos de economia sustentável.

A Organização das Nações Unidas estabeleceu 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) a serem atingidos até o ano de 2030. Entre eles, cinco estão ligados à sustentabilidade do sistema de abastecimento alimentar: o 1 (erradicação da pobreza), o 2 (Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável), o 12 (consumo e produção responsáveis), o 13 (ação contra mudança global do planeta) e o 14 (vida na água). Além destes objetivos, ainda acompanha o objetivo 7 (assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos). Os resíduos alimentares gerados podem ser utilizados para geração de energia limpa, construindo uma ação sustentável de reaproveitamento.

Os alimentos, mesmo fora dos prazos de validade para consumo humano, ou mesmo em processo inicial de deterioração, contêm nutrientes que podem ser utilizados por microrganismos para geração de outros bioprodutos via rotas biotecnológicas, como bioplásticos, biocombustíveis, biofertilizantes, proteínas e enzimas, entre outros. Essa conversão de componentes dos resíduos de alimentos em matéria-prima para produto de alto valor agregado, se torna a base para o conceito de bioeconomia circular (Kawa-Rygielska; Pietrzak; Lennartsson, 2022).

Para a produção de bioetanol, a presença de carboidratos é necessária, pois é a partir deles que o álcool é formado através do processo fermentativo. Portanto, resíduos de alimentos como frutas, batatas e demais resíduos amiláceos são altamente indicados para a sua produção. No entanto, é necessário um estudo abrangente das suas composições e posterior investigação do processo produtivo.

Este trabalho teve por objetivo a investigação dos alimentos mais desperdiçados em estabelecimentos comerciais da cidade de Passo Fundo, assim como a caracterização físico-química e de açúcares redutores de resíduos de alimentos para avaliar sua futura utilização na produção de bioetanol.



2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Levantamento e coleta de resíduos de alimentos gerados na cidade de Passo Fundo/RS

Realizou-se um levantamento de resíduos gerados em dois estabelecimentos de grande porte na cidade de Passo Fundo – RS, ao longo de 5 dias, no mês de dezembro. Os estabelecimentos incluíram uma distribuidora de frutas e um supermercado. Foram coletados resíduos de hortifrúteis, tais como maçã, banana, mamão, cenoura, batata rosa, batata branca, batata doce, tomate. Além desses materiais, também foram selecionados resíduos industrializados de pão e macarrão que, são alimentos frequentemente desperdiçados em grande quantidade (Kawa-Rygielska; Pietrzak; Lennartsson, 2022). Também foram coletadas bolachas de milho tipo broa e batata pré-frita, resíduos recebidos por uma empresa vinculada à produção desta pesquisa.

Os resíduos alimentares foram submetidos a corte para padronização e secagem para remoção da umidade excessiva (a 50 °C até peso constante). Os resíduos secos foram triturados em liquidificador até a redução e homogeneização do tamanho de partícula, visando aumentar a superfície de contato para as futuras etapas do processo e congelados em freezer doméstico a -20 °C até a sua utilização.

2.2 Avaliação centesimal e de açúcares redutores dos resíduos de alimentos

As composições centesimais dos resíduos foram determinadas utilizando as metodologias da AOAC (2005) para umidade, cinzas, proteínas e lipídios. A umidade foi realizada a 105 °C até peso constante. As cinzas foram quantificadas a partir da incineração em bico de Bunsen seguida de Mufla a 550 °C. As proteínas foram quantificadas através do método de Kjeldahl (com fator de conversão de 6,21). E, os lipídios foram quantificados através de Soxhlet, utilizando hexano como solvente. A fibra bruta foi determinada através da medida do resíduo após digestão *in vitro* com ácido e álcali pelo protocolo do IAL (1985). O percentual de carboidratos (%) foi determinado conforme a Equação 1. Todas as determinações foram realizadas em triplicata.

$$CHO = 100 - (U + P + L + C + F) \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde: CHO: % de carboidratos; U: % de umidade; P: % de proteínas; L: % de lipídios; C: % de cinzas; F: % de fibras.

Para a avaliação de açúcares redutores, foram preparadas suspensões com 5 % de sólidos (ms/V) em tampão fosfato 0,2 mol/L em pH 5,5. Em seguida, as suspensões foram gelatinizadas em banho termostático à temperatura de ebulição, por 10 min. Após o arrefecimento, as proteínas foram precipitadas, utilizando-se os reagentes de Carrez I e Carrez II (solução 15% de ferrocianeto de potássio e solução 30% de sulfato ou acetato de zinco, respectivamente).

As suspensões precipitadas foram filtradas em filtro de papel, e seguiram para determinação de açúcares redutores pelo método do ácido 3,5-dinitrossalicílico (DNS) (Miller, 1959) utilizando curva padrão, obtida a partir de solução estoque de glicose anidra. As determinações foram realizadas em duplicata de ensaio e análise. Os resultados obtidos (em mg/mL) foram transformados, a partir da concentração da suspensão (5 % ms/V), para g/100g.

2.3 Análise Estatística

Os dados foram analisados através de análise de variância (ANOVA) no nível de 95% de confiança seguida do teste de Tukey para comparação de médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

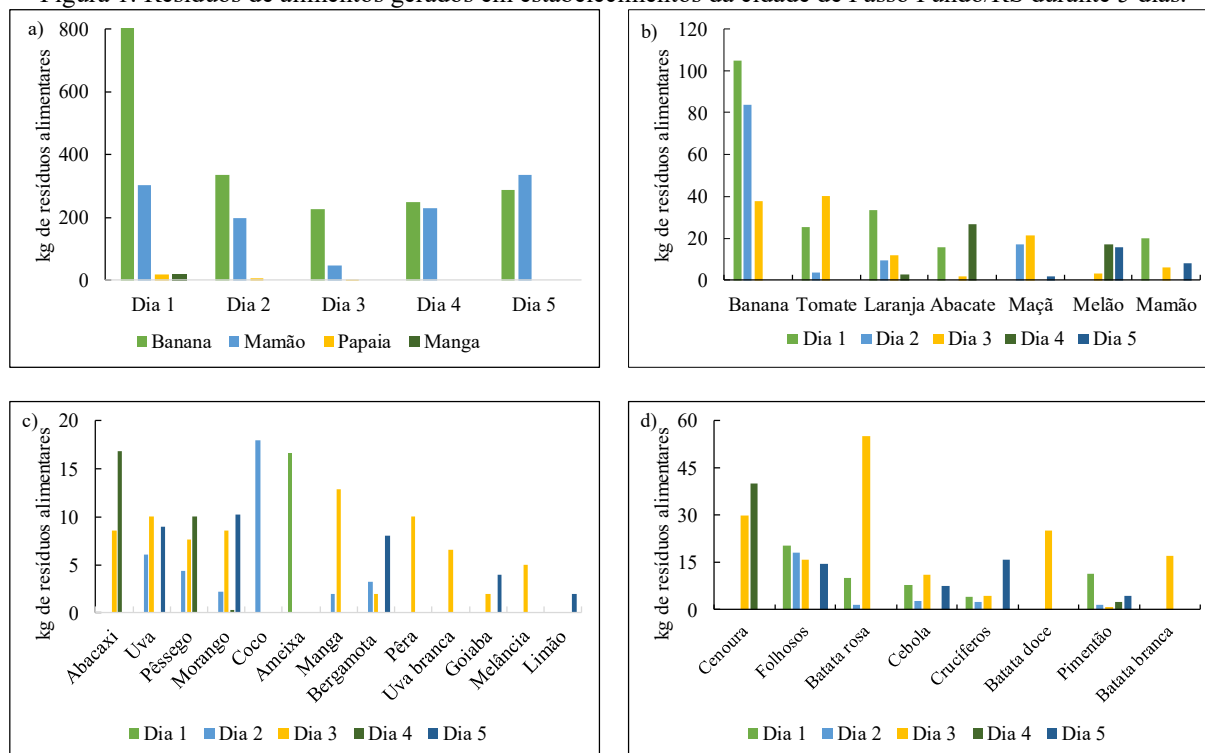
3.1 Levantamento e coleta de resíduos de alimentos gerados na cidade de Passo Fundo/RS

O levantamento da quantidade de resíduos de alimentos gerados na cidade de Passo Fundo/RS foi realizado em dois estabelecimentos: (1) distribuidora de frutas e (2) supermercado. A coleta aconteceu por 5 dias de funcionamento dos estabelecimentos, foram pesados (em kg) a quantidade de alimentos que foram desperdiçados nesses dias que estão apresentados na Figura 1.

Os desperdícios de alimentos geralmente ocorrem por danos mecânicos, peso inadequado, manchas causadas por ataque de insetos ou frio, entre outros defeitos, além do grau de maturação avançado. Na Fig. 1a está apresentado o desperdício de alimentos em uma distribuidora de frutas. Entre as frutas descartadas estavam a banana, mamão, manga e mamão papaia. A banana foi a fruta mais descartada (2.063,1 kg), seguida do mamão (1.116,9 kg), mamão papaia (29,9 kg) e manga (20,6 kg). Sendo que o maior desperdício de alimentos ocorreu no primeiro dia de coleta.



Figura 1: Resíduos de alimentos gerados em estabelecimentos da cidade de Passo Fundo/RS durante 5 dias.



Onde: a) geração de resíduos de alimentos em distribuidora de frutas da cidade de Passo Fundo; b) resíduos de frutas mais descartados em supermercado da cidade de Passo Fundo; c) resíduos de frutas descartados em menor quantidade em supermercado da cidade de Passo Fundo; d) resíduos de vegetais descartados em supermercado da cidade de Passo Fundo.

Nas Fig. 1b, 1c e 1d são apresentadas as quantidades de alimentos desperdiçados em um supermercado que vende maior variedade de hortifrúteis. É possível observar que este estabelecimento descarta menores quantidades dos alimentos, comparando a distribuidora de frutas, porém com números ainda muito significativos. Entre as frutas, a banana foi a mais descartada (266,6 kg), seguido de tomate (69,2 kg), laranja (58,2 kg), abacate (45 kg), maçã (40,6 kg), melão (36,2 kg) e mamão (34 kg). Ainda, outras frutas foram descartadas em menores quantidades, ainda significativas como abacaxi, uva, pêssego, morango, coco e ameixa. Entre os vegetais, os mais descartados foram a cenoura (70 kg), folhosos como alface e couve (68,7 kg), batata rosa (66,6 kg), cebola (29,7 kg), crucíferos como brócolis e couve-flor (27,1 kg), batata doce (25 kg), pimentão (20,5 kg) e batata branca (17 kg).

A quantidade total de resíduos gerados é alarmante, sendo que a distribuidora de frutas contribui com uma quantidade substancialmente maior do que o supermercado. Através de estimativa para um ano, sendo trabalhados 5 dias da semana, a distribuidora gera em torno de 173.092,4 kg de resíduos (sendo 107.281,2 kg de resíduos de banana) e o supermercado gera em torno de 56.482,4 kg de resíduos (sendo 11.783,2 kg resíduos de banana). O levantamento de desperdício dos alimentos revelou dados preocupantes, evidenciando a necessidade de ações para reduzir essa problemática.

A banana foi o alimento mais desperdiçado, sendo uma das frutas mais cultivadas em regiões tropicais e subtropicais e uma das culturas mais antigas (Gupta *et al.*, 2022). São produzidas anualmente cerca de 115 milhões de toneladas, sendo que cerca de 60 % dessa produção é descartada (Alzate Acevedo *et al.*, 2021). Os resíduos de banana possuem altos índices de carboidratos, sendo uma alternativa para ser utilizada como matriz amilácea para produção de biocombustíveis em biorrefinarias (Redondo-Gómez *et al.*, 2020).

A partir das análises realizadas, foi observado um potencial para utilização desses resíduos de alimentos e desta forma minimizar o desperdício de alimentos, tanto em nível individual quanto em nível empresarial. Em seguida, os alimentos coletados foram caracterizados.



3.2 Caracterização centesimal dos resíduos de alimentos

Resíduos de alimentos oriundos de maçã, mamão, banana, tomate, batata branca, batata rosa, batata doce, cenoura, pão, macarrão, batata pré-frita e bolacha de milho foram coletados. Os resíduos foram cortados e secos, após a secagem a umidade dos materiais reduziu entre 67 e 94 %, em relação aos produtos após a coleta. A menor concentração de água nos resíduos, facilitou o seu armazenamento. Desta forma, possibilitando a utilização da mesma matéria-prima durante todos os testes realizados. A composição centesimal dos resíduos em base seca está apresentada na Tabela 3.

Devido a importância dos carboidratos nos processos fermentativos para produção de bioetanol, se destacam os altos teores deste nutriente nos resíduos de alimentos que foram coletados, variando entre 68,57 % (g/100g de resíduo seco) para tomate e 94,79 % (g/100g) para a maçã.

Em comparação com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO), é possível encontrar semelhanças nas composições apresentadas na Tabela 1 (quando comparados aos dados de base úmida). Ainda, é notável o incremento nos valores de fibras e de cinzas nos resíduos devido à presença das cascas dos resíduos, maiores do que dos alimentos apresentados na TACO. Os alimentos que mais se destacaram pelos teores de fibra bruta foram a cenoura (28,05%) e o tomate (22,84%).

O teor de carboidratos quantificado nos resíduos de maçã (94,79%) está em conformidade com os dados encontrados por Hijosa-Valsero, Paniagua-García e Díez-Antolínez, (2017) para resíduos de polpa de maçã. O mamão, com 84,93% de carboidratos, apresentou valores semelhantes aos relatados no estudo de Jahid, Gupta e Sharma, (2018). Da mesma forma, a banana demonstrou 85,79% de carboidratos e 7,35% de cinzas, resultados comparáveis aos encontrados anteriormente por (Redondo-Gómez *et al.*, 2020).

O resíduo de pão, além de possuir alto teor de carboidratos, exibiu níveis elevados de proteínas, assim como o tomate e o macarrão. Esses valores corroboram com estudos prévios que variam entre 12% e 18% para esses alimentos (Oladipupo, Yusuf e Salawu, 2020; Santos *et al.*, 2018). Os alimentos com os maiores teores de lipídios, os quais poderiam ser considerados para estudos visando a produção de biodiesel, foram a batata pré-frita (12,50%) e a bolacha de milho (10,45%). Além disso, teores significativos de minerais foram identificados no tomate (12,41%) e na cenoura (8,49%). Entretanto, mesmo com esses altos teores de fibra, os maiores nutrientes presentes nesses materiais foram os carboidratos. Desta forma, é possível observar o potencial desses materiais para produção de biocombustíveis como o bioetanol.

Tabela 1: Composição físico-química (% base seca) obtidas a partir de análise dos resíduos de alimentos coletados.

Resíduos de alimentos	Proteínas	Lipídios	Cinzas	Fibras	Carboidratos Totais
Maçã	1,61±0,13 ⁱ	1,72±0,08 ^d	1,89±0,04 ^g	6,02±0,28 ^d	94,79±0,18 ^a
Mamão	6,28±0,02 ^g	2,84±0,04 ^c	5,95±0,08 ^d	9,13±0,12 ^c	84,93±0,05 ^{de}
Banana	5,87±0,09 ^g	0,98±0,05 ^{defg}	7,35±0,58 ^c	3,11±0,24 ^{fg}	85,79±0,56 ^d
Tomate	17,79±0,15 ^a	1,23±0,10 ^{def}	12,41±0,15 ^a	22,84±0,34 ^b	68,57±0,37 ⁱ
Batata Branca	9,89±0,12 ^d	0,94±0,08 ^{efg}	5,42±0,13 ^d	4,07±0,03 ^c	83,75±0,29 ^c
Batata Rosa	7,45±0,01 ^f	0,39±0,04 ^g	3,59±0,07 ^e	2,58±0,11 ^g	88,57±0,06 ^c
Batata Doce	3,65±0,11 ^h	1,39±0,02 ^{de}	3,46±0,52 ^{ef}	2,60±0,55 ^g	91,50±0,64 ^b
Cenoura	8,32±0,59 ^e	2,67±0,05 ^c	8,49±0,09 ^b	28,05±0,31 ^a	80,52±0,63 ^g
Pão	14,61±0,19 ^b	0,60±0,01 ^{fg}	2,92±0,07 ^{ef}	0,32±0,06 ^h	81,87±0,20 ^f
Macarrão	13,74±0,13 ^c	1,05±0,03 ^{defg}	0,55±0,01 ^h	0,22±0,01 ^h	84,67±0,14 ^{de}
Batata Pré-Frita	7,21±0,12 ^f	12,50±0,64 ^a	2,80±0,17 ^f	3,84±0,40 ^{ef}	77,42±0,69 ^h
Bolacha de Milho	8,69±0,17 ^c	10,45±0,61 ^b	0,97±0,04 ^h	0,27±0,05 ^h	79,89±0,58 ^g

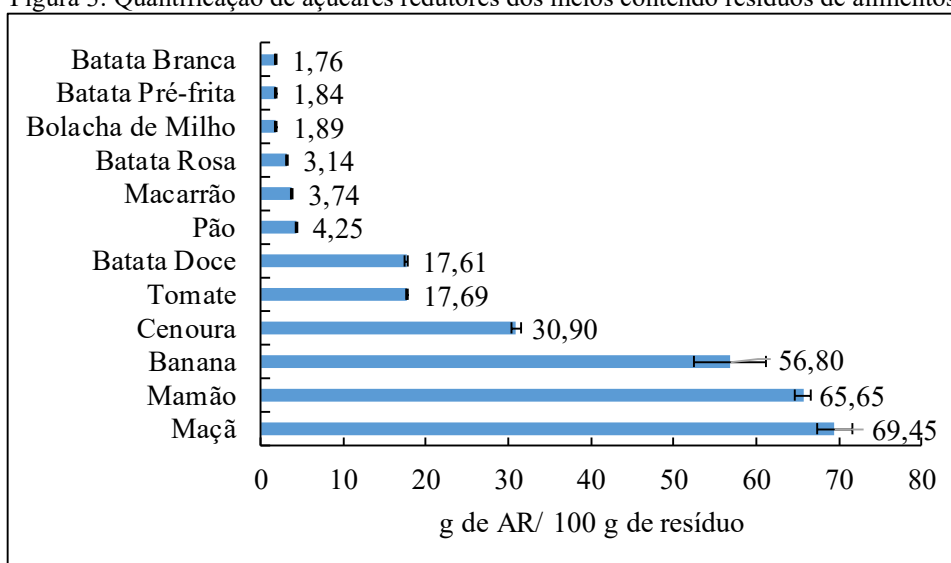
* Os resultados expressam a média ± desvio padrão obtidos através de determinação em triplicata. Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo Teste Tukey ($p < 0,05$).

Os meios preparados para quantificação de açúcares estão apresentados na Figura 2 e a quantificação de açúcares redutores (AR) estão apresentados na Figura 3.

Figura 2: Meios utilizados para a sacarificação antes dos processos de pré-tratamento.



Figura 3: Quantificação de açúcares redutores dos meios contendo resíduos de alimentos.



* Os resultados estão expressos em g de AR/100 g de resíduo de alimentos (%).

A partir da Figura 3, é possível observar que algumas matérias-primas, principalmente as frutas, possuem altos teores de AR. Esses valores se dão principalmente pelo grau de maturação das frutas no momento da coleta. Além das frutas, a cenoura e batata-doce também apresentaram valores significativos de AR antes dos demais processos. Os demais resíduos de alimentos apresentaram valores abaixo de 4,25 % de AR no início do processo.

Conforme é possível identificar na Tabela 1, em comparação com a Figura 3, apesar de altos teores de AR disponíveis no meio das frutas, a quantidade de carboidrato presentes nesses resíduos é maior. Desta forma, uma maior quantidade de carboidratos pode ser transformada em monossacarídeos através de hidrólise. Os resíduos foram utilizados de forma integral, portanto, as cascas desses alimentos ainda podem ser hidrolisadas.

As hidrólises dos carboidratos dos demais resíduos de alimentos podem ser realizadas de duas formas: hidrólise ácida ou hidrólise enzimática. A hidrólise enzimática possui vantagens sob a ácida, devido a suas condições mais brandas, redução de danos de corrosão e ao meio ambiente. Para a hidrólise das cascas dos vegetais, podem ser utilizadas enzimas que atuem em ligações lignocelulósicas, e assim obter maior concentração de monômeros de açúcar nos meios.

Ademais, as batatas e outros resíduos amiláceos, como pão e macarrão apresentaram valores menores de glicose. Desta forma, é necessário que esses resíduos passem por hidrólise enzimática através da ação de enzimas como α -amilase e amiloglucosidase. Enquanto a α -amilase hidrolisa apenas ligações (1,4)-alfa-D-glicosídeo em polissacarídeos amídicos, a amiloglucosidase possui habilidade de hidrolisar também as ligações (1,6)-alfa-D-glicose nas extremidades não-redutoras de polissacarídeos (Bansal; Katyal; Jain, 2022).

A partir dos resultados obtidos, os resíduos de alimentos possuem um vasto potencial para sua utilização na produção de biocombustíveis. A alta concentração de carboidratos, associada à presença de outros nutrientes essenciais, como proteínas, oferece oportunidades significativas para o aproveitamento desses resíduos de forma sustentável. Estratégias de hidrólise utilizando diferentes conjuntos enzimáticos devem ser estudados. Uma abordagem de utilização dos resíduos dos processos de hidrólise e fermentação pode ser aplicada, gerando dessa forma um processo adequado para



os conceitos de bioeconomia circular, contribuindo para a geração de energia sustentável e sustentabilidade ambiental e econômica.

4 CONCLUSÃO

Diante dos resultados, o levantamento dos resíduos de alimentos em estabelecimentos comerciais de Passo Fundo/RS evidenciou um quadro preocupante de desperdício, especialmente de frutas como bananas e mamões. Embora o supermercado tenha apresentado quantidades menores de desperdício em comparação com a distribuidora de frutas, os números ainda são alarmantes. Considerando a significativa quantidade de resíduos de banana gerados, é crucial explorar alternativas sustentáveis para sua utilização, como na produção de biocombustíveis, aproveitando seus altos índices de carboidratos. Além disso, a análise da composição dos resíduos revela um potencial considerável para a produção de biocombustíveis, especialmente bioetanol. A utilização de enzimas para hidrólise dos resíduos que possuem altos teores de carboidratos e baixos teores de açúcar redutor é encorajada, para futura aplicação em produção de bioetanol. No entanto, é necessário um esforço contínuo para reduzir o desperdício de alimentos e explorar plenamente o potencial desses resíduos para promover uma economia mais sustentável e eficiente.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade de Passo Fundo pelo apoio financeiro.

6 REFERÊNCIAS

- ALZATE ACEVEDO, Sasha *et al.* Recovery of banana waste-loss from production and processing: a contribution to a circular economy. **Molecules**, v. 26, n. 17, p. 5282, 2021.
- AOAC. **Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official methods of analysis of the association analytical chemists**. 18. ed. Washington: 2005.
- BANSAL, Riya; KATYAL, Priya; JAIN, Deepali. Enzymatic and Acidic Hydrolysis of Cull Potatoes for Production of Fermentable Sugars. **Starch - Stärke**, v. 74, n. 1–2, p. 2100202, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/star.202100202>.
- GUPTA, Geetika *et al.* Utilization of banana waste as a resource material for biofuels and other value-added products. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02306-6>.
- HIJOSA-VALSERO, M.; PANIAGUA-GARCÍA, A.I.; DíEZ-ANTOLÍNEZ, R. Biobutanol production from apple pomace: the importance of pretreatment methods on the fermentability of lignocellulosic agro-food wastes. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 101, n. 21, p. 8041–8052, 2017.
- IAL. **Instituto Adolf Lutz. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4. ed. São Paulo: IMESP, 1985.
- JAHID, Mohammad; GUPTA, Akanksha; SHARMA, Durlubh Kumar. Production of Bioethanol from Fruit Wastes (Banana, Papaya, Pineapple and Mango Peels) Under Milder Conditions. **Journal of Bioprocessing & Biotechniques**, v. 08, n. 03, 2018.
- KAWA-RYGIELSKA, Joanna; PIETRZAK, Witold; LENNARTSSON, Patrik R. High-Efficiency Conversion of Bread Residues to Ethanol and Edible Biomass Using Filamentous Fungi at High Solids Loading: A Biorefinery Approach. **Applied Sciences**, v. 12, n. 13, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/13/6405>.
- MILLER, G. L. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426–428, 1959.
- REDONDO-GÓMEZ, Carlos *et al.* Biorefinery of biomass of agro-industrial banana waste to obtain high-value biopolymers. **Molecules**, v. 25, n. 17, p. 3829, 2020.
- UNEP. **UNEP Food Waste Index Report 2021**. Nairobi: 2021.



Área: Economia Circular

EFEITOS DO PÓ DE ROCHA NO CRESCIMENTO CELULAR DE MICROALGAS

Júlia Lorenzato da Silva*, Alan Rempel, Edson Campanhola Bortoluzzi, Luciane Maria Colla

Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: 170930@upf.br*

RESUMO – A exploração de recursos naturais e minerais desempenhou um papel crucial no avanço industrial. Recentemente, há um crescente interesse na utilização do pó de rocha (PR) para biossolubilização de nutrientes. O PR, um subproduto da mineração geralmente descartado devido ao baixo valor comercial, pode conter nutrientes essenciais em sua composição. A principal dificuldade é a baixa disponibilidade desses nutrientes no PR, por isso a utilização de microalgas pode ser uma solução, podendo incorporar os nutrientes em sua biomassa. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento celular de microalgas com a adição de pó de rocha. No estudo, foram utilizadas as microalgas *Spirulina platensis*, *Chlorella sp.* e *Scenedesmus obliquus*, inoculadas em meio padrão com a adição de diferentes porcentagens de PR (0,1%, 0,5% e 1,0%). O cultivo ocorreu por 20 dias em condições controladas de temperatura, fotoperíodo e agitação. As análises realizadas a cada 5 dias envolveram a avaliação indireta do crescimento celular, utilizando concentração de ficocianina para *Spirulina platensis* e clorofila para *Chlorella sp.* e *Scenedesmus obliquus*. Os resultados revelaram que a adição de 0,1% e 0,5% de pó de rocha na *Spirulina platensis* promoveu um aumento na produção de ficocianina, enquanto na adição de 1,0% de pó resultou em concentrações mais baixas, sugerindo um efeito negativo. Na microalga *Scenedesmus obliquus*, a adição de 0,5% e 1,0% apresentaram as maiores concentrações. Por outro lado, com a *Chlorella sp.*, a inclusão de pó teve um efeito negativo, especialmente com 0,5%, resultando em redução na concentração de clorofila.

Palavras-chave: Biomassa, cultivo, resíduos de mineração.

1 INTRODUÇÃO

A exploração de recursos naturais e minerais desempenhou um papel crucial no avanço industrial em diversos setores. Além disso, em consonância com a crescente busca por redução de custos no processo e minimização da poluição ambiental, o interesse na aplicação do pó de rocha (PR) para biossolubilização de nutrientes tem ganhado considerável destaque recentemente (Wolschick *et al.*, 2016; Xiao *et al.*, 2017).

O pó de rocha (PR) é um subproduto da mineração que frequentemente é descartado, pois é considerado sem utilidade nas etapas subsequentes do processo de produção mineral, principalmente por possuírem baixo valor comercial. No entanto, é possível que o pó de rocha contenha em sua composição nutrientes essenciais para o crescimento de plantas, tais como fósforo e potássio. A quantidade e disponibilidade desses nutrientes dependerão da origem e do tipo específico do pó de rocha (Brito *et al.*, 2019; Wolschick *et al.*, 2016). Assim, ao ponderar sobre o desenvolvimento sustentável e a adoção de práticas responsáveis na mineração, os resíduos sólidos originados das atividades mineradoras podem oferecer oportunidades para reutilização e valorização, ultrapassando a abordagem convencional de descarte a longo prazo (Demers; Coudert, 2021).

A principal dificuldade para a sua utilização é que o pó de rocha possui baixa disponibilidade desses nutrientes (Ditta; Khalid, 2016). Por conta disso, a utilização de microrganismos para a sua solubilização pode se tornar um aliado do processo. Nesse sentido, as microalgas podem desempenhar um papel importante no processo de solubilização, incorporando-o em sua biomassa e tornando-o assimilável para as plantas. Além de fixar o nutriente em suas células, a biomassa microbiana não atua apenas como uma fonte disponível de nutrientes de fácil absorção, mas também desempenha uma função crucial nos processos de mineralização e imobilização desses elementos, frequentemente encontrados nos microrganismos do solo (Mendes; Reis Junior, 2003).

As microalgas são organismos eucarióticos, unicelulares ou multicelulares, e possuem a capacidade de prosperar em diferentes ambientes aquáticos e condições climáticas (Franco-Morgado *et al.*, 2023). Tanto as microalgas quanto as cianobactérias adquirem seu carbono por meio do processo de fixação fotossintética, onde assimilam carbono inorgânico e nutrientes para gerar biomassa composta por moléculas orgânicas, proteínas, lipídios, carboidratos, pigmentos e outros



compostos valiosos, incluindo aminoácidos, minerais e fitohormônios (Evans *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2021; Salazar *et al.*, 2021).

Diante desse contexto, objetivou-se avaliar o crescimento da biomassa de diferentes espécies de microalgas durante seus cultivos em meio de cultura padrão com a adição de pó de rocha.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Microrganismos e manutenção de inóculos

Foram utilizadas as microalgas *Spirulina platensis*, *Chlorella sp.* e *Scenedesmus obliquus*, todas pertencentes ao Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos da Universidade de Passo Fundo (UPF). O cultivo dessas microalgas foi realizado em dois meios distintos: a *Spirulina platensis* foi cultivada em meio Zarrouk padrão (Zarrouk, 1966) com uma concentração de 20%, enquanto as microalgas *Chlorella sp.* e *Scenedesmus obliquus* foram cultivadas em meio BG11.

2.2 Pó de rocha

O pó de rocha adicionado aos meios de cultivo das microalgas é proveniente de um derrame basáltico portador de geodos de ametistas, localizado no município de Ametista do Sul, RS.

2.3 Cultivo dos microrganismos

As microalgas foram inoculadas em enlarmeyers de 250 mL com volume útil de 150 mL, sendo considerado o meio de cultivo e o inóculo de cada microalga. Foram adicionadas três diferentes porcentagens de pó de rocha de acordo com o volume útil do experimento, sendo elas de 0,1% (0,15 g de pó de rocha para 150 mL de cultivo), 0,5% (0,75 g de pó de rocha para 150 mL de cultivo) e 1,0% (1,5 g de pó de rocha para 150 mL de cultivo). Foi realizado também um experimento controle, em que não havia a adição de pó de rocha, apenas a microalga inoculada em meio de cultivo padrão. O experimento foi realizado em triplicata, com o material previamente esterilizado em autoclave, com duração total de 20 dias. Os cultivos foram mantidos em incubadora refrigerada com agitação (Tecnal TE-421), com controle de temperatura (variação entre 25°C ± 2 °C), fotoperíodo 12 horas claro/escuro e agitação a 100 rpm.

2.4 Determinações analíticas

A cada 5 dias, ou seja, nos tempos 0, 5, 10, 15 e 20 foram retirados 10 mL de amostra para a avaliação do crescimento da biomassa. O crescimento das microalgas será analisado através da concentração de ficocianina para a espécie *Spirulina platensis* e clorofila para as espécies *Chlorella sp.* e *Scenedesmus obliquus*. Essas determinações constituem em uma avaliação indireta do crescimento. Esta abordagem foi necessária devido à potencial influência do pó de rocha nos cultivos, podendo afetar a precisão das medições de concentração realizadas por espectrofotometria.

Para a análise de ficocianina, foi utilizado o método descrito por Bennett e Bogorad (1973). As amostras foram congeladas a -20 °C por 24 horas e então foram descongeladas por 24 horas. Após, as amostras foram centrifugadas por 10 min a 4.000 rpm e o sobrenadante foi lido nos comprimentos de onda 620 nm e 652 nm. As absorvâncias lidas foram substituídas na Equação 1.

$$[] \text{ ficocianina (mg/mL)} = \frac{(ABS620 - 0,474 * ABS 652)}{5,34} \quad \text{Equação 1}$$

Para a determinação de clorofila, foi utilizado o método de Sátiro *et al.* (2022). As amostras retiradas foram centrifugadas por 10 min a 4.000 rpm e então o sobrenadante foi descartado. Na biomassa precipitada durante a centrifugação, foram adicionados 10 mL de acetona e metanol (2:1 v/v) e então a amostra passou pelo processo de ruptura celular em sonda ultrassônica por 100 segundos. Após, as amostras foram acondicionadas em geladeira a 4 °C, no escuro, por 60 minutos. Então as amostras foram centrifugadas novamente por 10 min a 4.000 rpm e o sobrenadante foi utilizada para a leitura da absorvância nos comprimentos de onda 665 nm, 645 nm e 630 nm. As absorvâncias lidas foram substituídas na Equação 2.

$$[] \text{ clorofila (mg/L)} = \frac{(11,85 * ABS665 - 1,54 * ABS645 - 0,08 * ABS 630) * V1}{V} \quad \text{Equação 2}$$



Onde:

V_1 é o volume do solvente (acetona/metanol 2:1 v/v) (L);

V é o volume da amostra (L).

2.5 Análise de dados

Os resultados obtidos foram sujeitos a análise estatística de variância (ANOVA), seguida pelo teste de comparação de médias de Tukey, com um nível de significância de 95%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

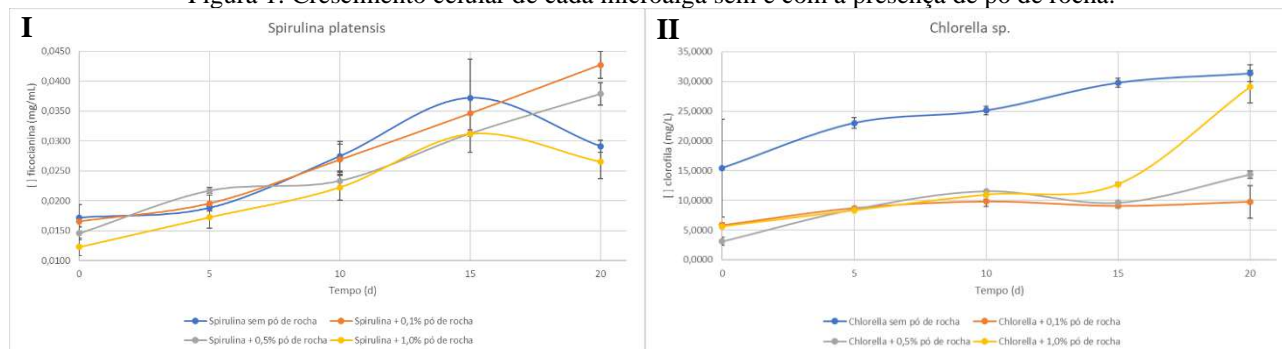
Os resultados obtidos durante o experimento estão apresentados na Tabela 1 e Figura 1.

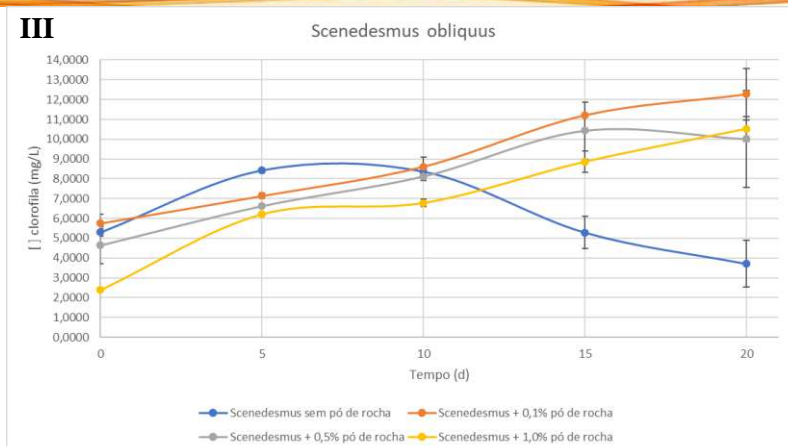
Tabela 1: Concentrações de ficocianina (*Spirulina platensis*) e clorofila (*Chlorella sp.* e *Scenedesmus obliquus*).

Tempo (d)	Porcentagem de pó (%)	<i>Spirulina platensis</i>	<i>Chlorella sp.</i>	<i>Scenedesmus obliquus</i>
		Concentração de ficocianina (mg/mL)	Concentração de clorofila (mg/L)	Concentração de clorofila (mg/L)
0	0	0,017 ± 0,002 ^a	15,435 ± 8,245 ^a	5,297 ± 0,183 ^a
5	0	0,019 ± 0,001 ^{ab}	23,016 ± 0,875 ^a	8,417 ± 0,130 ^a
10	0	0,027 ± 0,002 ^b	25,135 ± 0,710 ^{ab}	8,356 ± 0,094 ^a
15	0	0,037 ± 0,006 ^c	29,804 ± 0,755 ^{ab}	5,284 ± 0,809 ^a
20	0	0,029 ± 0,001 ^c	31,364 ± 1,413 ^b	3,708 ± 1,187 ^a
0	0,1	0,017 ± 0,001 ^a	5,852 ± 1,272 ^a	5,746 ± 0,451 ^a
5	0,1	0,020 ± 0,001 ^{ab}	8,707 ± 0,618 ^a	7,131 ± 0,140 ^a
10	0,1	0,027 ± 0,003 ^b	9,804 ± 1,406 ^{ab}	8,619 ± 0,471 ^a
15	0,1	0,035 ± 0,003 ^c	9,067 ± 0,648 ^{ab}	11,220 ± 0,062 ^a
20	0,1	0,043 ± 0,002 ^c	9,756 ± 0,125 ^b	12,276 ± 1,306 ^a
0	0,5	0,015 ± 0,001 ^a	3,106 ± 0,650 ^a	4,644 ± 0,944 ^a
5	0,5	0,022 ± 0,001 ^{ab}	8,501 ± 0,253 ^a	6,630 ± 0,029 ^a
10	0,5	0,023 ± 0,001 ^b	11,558 ± 0,156 ^{ab}	8,131 ± 0,205 ^a
15	0,5	0,031 ± 0,003 ^c	9,616 ± 0,280 ^{ab}	10,439 ± 1,439 ^a
20	0,5	0,038 ± 0,002 ^c	14,337 ± 0,625 ^b	10,012 ± 2,442 ^a
0	1,0	0,012 ± 0,001 ^a	5,606 ± 0,341 ^a	2,388 ± 0,046 ^a
5	1,0	0,017 ± 0,002 ^{ab}	8,331 ± 0,220 ^a	6,209 ± 0,026 ^a
10	1,0	0,022 ± 0,002 ^b	10,962 ± 0,783 ^{ab}	6,782 ± 0,203 ^a
15	1,0	0,031 ± 0,000 ^c	12,709 ± 0,338 ^{ab}	8,861 ± 0,537 ^a
20	1,0	0,026 ± 0,003 ^c	29,098 ± 2,735 ^b	10,518 ± 0,631 ^a

Valores seguidos de letras iguais na coluna de concentração de ficocianina e clorofila não apresentam diferença significativa entre si em um intervalo de confiança de 95% pelo teste de Tukey. (Média ± Desvio padrão).

Figura 1: Crescimento celular de cada microalga sem e com a presença de pó de rocha.





A cor azul representa a microalga sem a adição de pó de rocha; A cor laranja representa a microalga com a adição de 0,1% de pó de rocha; A cor cinza representa a microalga com a adição de 0,5% de pó de rocha, e cor amarela representa a adição de 1,0% de pó de rocha.

Pode-se observar que a *Spirulina platensis* no cultivo sem pó de rocha, aumenta gradualmente a concentração de ficocianina, de acordo com o tempo, chegando a 0,0372 mg/mL no dia 15 e, ao final do experimento, no dia 20, a concentração reduziu para 0,0291 mg/mL, porém, estatisticamente, não demonstram diferença significativa. As porcentagens de 0,1% e 0,5% obtiveram resultados parecidos e demonstraram que podem aumentar a produção de ficocianina ao longo dos 20 dias. Isso pode se dar por conta da maior disponibilidade de nutrientes no meio de cultivo, como fósforo e potássio, que são nutrientes presentes no pó de rocha, promovendo assim, a produção de ficocianina (Richmond; Becker, 2013). Quando adicionado 1,0% de pó de rocha ao cultivo, desde o início, obteve-se as menores concentrações de ficocianina, chegando a reduzir a partir do dia 15, demonstrando uma possível toxicidade do pó de rocha ao cultivo microalgal. Neste caso, é possível que o pó de rocha possa ter afetado o metabolismo da microalga ou pode ter influenciado a mensuração dos pigmentos de ficocianina da *Spirulina*.

Diferente da microalga *Chlorella sp.* em que os melhores resultados foram obtidos com o cultivo sem a adição de pó, destacando-se por um rápido crescimento nos primeiros 10 dias. A adição do pó de rocha ao cultivo da *Chlorella sp.* parece causar uma redução na concentração de clorofila. À medida que a quantidade de pó de rocha aumenta, observa-se uma diminuição correspondente na concentração de clorofila. A concentração de clorofila da *Chlorella* com 0,5% de pó de rocha é menor, alcançando um máximo de 14,34 mg/L no dia 20. O crescimento nesta condição pode ser caracterizado por uma evolução lenta e irregular. A concentração de clorofila na *Chlorella sp.* com 1,0% de pó de rocha assemelha-se àquela com 0,1% de pó de rocha, atingindo um máximo de 29,10 mg/L no dia 20. O crescimento é mais rápido do que com 0,5% de pó de rocha, mas ainda mais lento em comparação com a *Chlorella sp.* sem pó de rocha. A adição das três diferentes porcentagens de pó de rocha não teve diferença estatística significativa entre eles, diferente dos ensaios sem o pó que obtiveram diferença estatística significativa em comparação com os ensaios com a presença de pó de rocha. O desvio padrão, especialmente notável no dia 20, indica variabilidade nas concentrações de clorofila entre amostras, porém, estatisticamente, a concentração do dia 20 não houve diferença significativa em relação ao tempo 10 e 15 dias. É possível que o pó de rocha esteja impactando a absorção de nutrientes pela *Chlorella*, potencialmente restringindo o crescimento da microalga. Os autores Rana *et al.* (2020) sugeriram a possibilidade de diminuição dos nutrientes no meio de cultivo da *Chlorella pyrenoidosa* no 15º dia de experimento, apontando para uma redução no desenvolvimento devido à escassez de elementos como nitrogênio, magnésio, enxofre, ferro e fósforo, essenciais para o crescimento da microalga. Os pesquisadores também concluíram que o impacto de nanopartículas no crescimento da *Chlorella* pode ser influenciado pela espécie de microalga e pela quantidade de nanopartículas utilizada.

Ao longo do período de análise, a concentração de clorofila na microalga *Scenedesmus obliquus*, sem a presença de pó de rocha, apresentou uma redução gradual, passando de 5,29 mg/L no dia 0 para 3,71 mg/L no dia 20. No entanto, a adição de pó de rocha resultou em um aumento consistente na concentração de clorofila na microalga *Scenedesmus* em todos os momentos de medição. Este aumento foi maior ao utilizar concentrações de 0,5% e 1,0% de pó de rocha, alcançando valores de até 12,28 mg/L e 10,52 mg/L no dia 20, respectivamente. Em contraste, a concentração de clorofila com 0,1% de pó de rocha situou-se em uma faixa intermediária, variando de 7,13 mg/L no dia 5 a 11,22 mg/L no dia 15. Esses resultados indicam que a presença de pó de rocha tem um impacto positivo significativo na concentração de clorofila na *Scenedesmus obliquus* ao longo do período analisado, contudo, os dados não possuem diferença estatística



significativa. Diferente do demonstrado pelos autores Wei *et al.* (2010), em que foi possível observar que as concentrações moderadas e altas reduziram significativamente as concentrações de clorofila a partir do quarto dia.

4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a adição de pó de rocha, especialmente com 0,1% e 0,5%, pode promover um aumento na produção de ficocianina em *Spirulina platensis*, enquanto a adição de 1,0% de pó levou a concentrações de ficocianina mais baixas, sugerindo um possível efeito negativo ao cultivo da *Spirulina*. Na microalga *Scenedesmus obliquus*, a concentração com 0,1% ficou em faixa intermediária, sugerindo efeito positivo, menos acentuado que com a adição de 0,5% e 1,0% de pó de rocha. Diferente do que ocorreu com a microalga *Chlorella sp.* em que o pó de rocha no cultivo obteve um efeito negativo na concentração de clorofila. A adição de pó de rocha reduziu a concentração de clorofila, mais notavelmente com 0,5%, indicando crescimento mais lento. A concentração com 1,0% assemelhou-se à de 0,1%, com crescimento mais rápido que 0,5%, mas mais lento que sem pó de rocha.

5 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 pelo suporte financeiro e bolsa de estudos disponibilizada e à equipe do Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos - UPF pela infraestrutura e apoio para a realização deste trabalho.

6 REFERÊNCIAS

- BENNETT, A.; BOGORAD, L. Complementary chromatic adaptation in a filamentous blue-green alga. **The Journal of cell biology**, v. 58, n. 2, p. 419-435. 1973.
- BRITO, R. S. *et al.* Rochagem na Agricultura: Importância e Vantagens para Adubação Suplementar. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 6, n. 1, p. 528–540, 14 mai. 2019.
- DEMERS, I.; COUDERT, L. Editorial for Special Issue “Reutilization and Valorization of Mine Waste”. **Minerals**, v. 11, n. 4, 2021.
- DITTA, A.; KHALID, A. Bio-Organo-Phos: A Sustainable Approach for Managing Phosphorus Deficiency in Agricultural Soils. In: **Organic Fertilizers - From Basic Concepts to Applied Outcomes**. InTech, 2016.
- EVANS, L. *et al.* Effect of pot-ale enrichment on the treatment efficiency of primary settled wastewater by the microalga *Chlorella vulgaris*. **Journal of Cleaner Production**, v. 327, 10 dez. 2021.
- FERREIRA, A. *et al.* Biostimulant and biopesticide potential of microalgae growing in piggery wastewater. **Environmental Advances**, v. 4, 1 jul. 2021.
- FRANCO-MORGADO, M. *et al.* Microalgae and cyanobacteria polysaccharides: Important link for nutrient recycling and revalorization of agro-industrial wastewater. **Applied Food Research**, v. 3, n. 1, 10 abr. 2023.
- MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B. **Microrganismos e Disponibilidade de Fósforo (P) nos Solos: uma análise crítica**. Planaltina, DF, 2003.
- RANA, M. S. *et al.* Effect of iron oxide nanoparticles on growth and biofuel potential of *Chlorella* spp. **Algal Research**, v. 49, n. 101942, 2020.
- RICHMOND, A.; BECKER, E. W. **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology**. 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2013.
- SALAZAR, J. *et al.* Nutrient removal from hydroponic effluent by Nordic microalgae: From screening to a greenhouse photobioreactor operation. **Algal Research**, v. 55, p. 102-247, mai. 2021.
- SÁTIRO, J. *et al.* Optimization of microalgae–bacteria consortium in the treatment of paper pulp wastewater. **Applied Sciences**, v. 12, n. 12, p. 57-99. 2022.
- WEI, C. *et al.* Effects of silica nanoparticles on growth and photosynthetic pigment contents of *Scenedesmus obliquus*. **Journal of Environmental Sciences**, v. 22, n. 1, p. 155-160, 2010.
- WOLSCHICK, P. R. D. *et al.* Basaltic rock dust effect on the germination of *Cedrela fissilis*. **Agropecuária Catarinense**, p. 76–80, 19 abr. 2016.
- XIAO, C. *et al.* Microbial Community Structure of Activated Sludge for Biosolubilization of Two Different Rock Phosphates. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 182, n. 2, p. 742–754, 1 jun. 2017.



QUANTIFICAÇÃO DE ÁCIDO ELÁGICO EM CASCA E EXTRATO DA CASCA DA JABUTICABA *Plinia peruviana* (Poir.) Govaerts VIA HPLC-UV Diênifer Tramontina*, Charise Dallazem Bertol

LAPROBIC - Laboratório interdisciplinar de produção e análise biológica de compostos, Curso de Farmácia e Programa de Pós-Graduação em Envelhecimento Humano, *Universidade de Passo Fundo*, Passo Fundo, RS
Email: 166720@upf.br, charise@upf.br

RESUMO – O ácido elágico é um composto fenólico de origem natural que pode ser encontrado em diversos frutos como morango, framboesa, amora, romã e jabuticaba. Entre suas propriedades destacam-se sua ação antimutagênica, antimicrobiana e antioxidante, atua também nos mecanismos da hiperpigmentação da pele, podendo ser uma boa escolha para o tratamento de doenças de pele. O uso de resíduos da agroindústria mostra-se essencial em termos de sustentabilidade e consumo sustentável, e para isso, a caracterização do material vegetal é essencial. Neste contexto, este trabalho objetivou quantificar o ácido elágico utilizando a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) acoplada a detector ultravioleta (UV) na casca de jabuticaba e em extrato liofilizado da casca de jabuticaba. O método HPLC-UV desenvolvido foi capaz de quantificar o ácido elágico na casca de jabuticaba e no extrato liofilizado da casca de jabuticaba, obtendo as concentrações de 48,31% (p/p) \pm 0,19 e 61,50% (p/p) \pm 2,10, respectivamente. O método HPLC-UV desenvolvido pode ser utilizado para quantificar ácido elágico em amostras de jabuticaba e, possivelmente em outras amostras vegetais. As cascas do fruto da jabuticaba e o extrato liofilizado das cascas apresentaram altas concentrações de ácido elágico, demonstrando ser um ativo em potencial para obtenção do ácido elágico.

Palavras-chave: Ácido Elágico. HPLC-UV. Jabuticaba.

1 INTRODUÇÃO

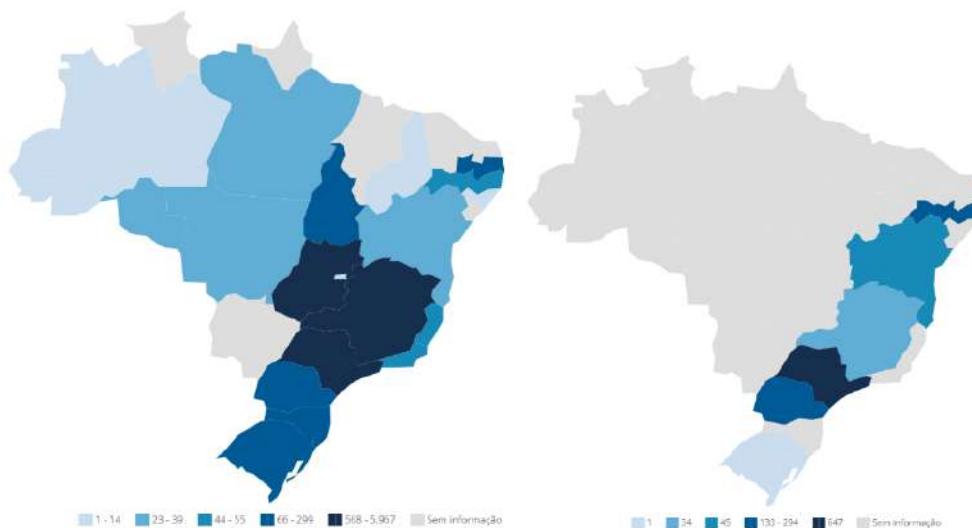
O ácido elágico é um composto fenólico encontrado em diversos frutos como morango, framboesa, romã, amora e jabuticaba, como produto do metabolismo vegetal ou a partir de seus precursores, os elagitaninos (Ríos et al., 2018). Suas propriedades antioxidantes inibem e previnem a oxidação de compostos, capturando radicais livres e reduzindo o estresse oxidativo que é prejudicial à saúde. Possui também propriedades anti-inflamatórias, antimutagênicas e antimicrobianas. Na aplicação tópica é bem tolerado, com efeitos adversos aparentemente limitados a uma irritação cutânea local, geralmente leve e transitória (Rodríguez-Herrera et al., 2011), sendo muito usado como agente despigmentante no tratamento de hiperpigmentações dérmicas.

A busca por tratamentos de origem vegetal tem sido priorizada cada vez mais, e muitos fatores vêm colaborando no desenvolvimento de práticas de saúde que incluam plantas medicinais, principalmente econômicas e sociais. A biodiversidade da flora brasileira nos possibilita o desenvolvimento de novos produtos advindos de extratos de plantas. Entre as plantas com maior concentração de ácido elágico está a romã, onde seu extrato é muito utilizado na manipulação de produtos cosméticos para o clareamento da pele (Werkman et al., 2008).

Além da romã a jabuticaba tem amplo potencial de utilização no tratamento de hiperpigmentações. A jabuticaba é um fruto tropical brasileiro encontrado em diversos estados com diferentes espécies. Seu fruto é de cor roxo escuro com polpa suculenta e esbranquiçada. Sua casca destaca-se pelos elevados teores de compostos fenólicos, como o ácido elágico, e também por ser rica em flavonoides, principalmente as antocianinas, poderoso antioxidante natural (Abe et al., 2012). Geralmente sua casca não é utilizada sendo descartada como resíduo agroindustrial, assim sua utilização além de servir como matéria prima vegetal para obtenção do ácido elágico também contribui para a sustentabilidade e meio ambiente.

Realizando a comparação entre a obtenção da romã e da jabuticaba, a jabuticaba apresenta plantio e comércio em maior quantidade e em maior diversidade de estados do que a romã, sendo um fruto de obtenção e consumo mais facilitado conforme mostra a figura 1. Também seu faturamento econômico, quantidade produzida e número de estabelecimentos que trabalham com sua produção é maior conforme mostra o quadro 1.

Figura 1 – Valor da produção de Jabuticaba no Brasil (mil reais) / Valor da produção de Romã no Brasil (mil reais) respectivamente.



Fonte: IBGE (2017).

Quadro 1 - Dados de comparação da produção de jaboticaba e romã.

Fruto	Valor da produção	Quantidade produzida	Área colhida	Estabelecimentos	Maior produtor
Jaboticaba	10.510 mil reais	3.751 toneladas	572 hectares	579 unidades	Goiás
Romã	1.166 mil reais	279 toneladas	66 hectares	101 unidades	Pernambuco

Fonte: IBGE (2017).

O uso de resíduos da agroindústria mostra-se essencial em termos de sustentabilidade e consumo sustentável, e para isso, a caracterização do material vegetal é essencial. A cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) com detecção por espectrofotometria ultravioleta (UV) é uma alternativa confiável e eficaz de quantificação. A espectroscopia UV oferece dados sobre a transição dos elétrons mais externos. Pode ser usada para determinar várias características físico-químicas de compostos naturais e, portanto, pode fornecer informações para identificar um determinado composto (Agrawal e Kulkarni, 2020).

A HPLC é uma das importantes técnicas que nos possibilita a separação, identificação e purificação dos fitoconstituintes. É usada para análises quantitativas e qualitativas de compostos. É capaz de separar uma mistura de fitoconstituintes em seus diferentes componentes com base em sua estrutura e composição molecular, envolvendo uma fase estacionária e uma fase móvel (Agrawal e Kulkarni, 2020). Neste contexto este trabalho objetivou quantificar o extrato do ácido elágico na casca e no extrato da casca de jaboticaba utilizando um método por HPLC-UV.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Substância Química de Referência (SQR) e Materiais

A SQR do ácido elágico foi gentilmente doado pela farmácia NatuPharma (Passo Fundo-RS) em forma de extrato seco. Referente aos dados da amostra se trata de insumo Pomegranato 40% Ácido elágico, lote W20221207, data de fabricação 18-12-2022, data de validade 17-12-2024, origem China. Se trata de um pó fino de coloração acinzentada e odor característico. O teor de pureza da amostra é de 43,13% e o pH é de 3,66. Foram utilizados acetonitrila e metanol grau HPLC, hidróxido de sódio grau PA, etanol 96% e ácido fórmico grau PA. Água ultrapura (Direct-Q Millipore) para preparar as amostras e a fase móvel.

2.2 Amostra Vegetal

Os frutos de jaboticaba foram colhidos em outubro de 2023 no município de Passo Fundo, 28°17'23.9" S 52°21'42.4" W (Rua José Nadal nº 127, Perimetral Sul, Bairro: São Cristóvão), Rio Grande do Sul, Brasil. O botânico responsável identificou a planta como *Plinia peruviana* (Poir.) Govaerts e a exsicata foi depositada no Herbário do Instituto da Saúde da UPF, sob o número de tombo RSPF 14.765. As cascas foram separadas, lavadas e secas em estufa



de ar circulante a 35 °C, foram trituradas, obtendo a casca seca triturada. As cascas trituradas foram submetidas a turbo extração com água destilada no liquidificador e filtradas em peneiras e com filtro de papel (proporção material vegetal/água, 1:50). O extrato obtido foi congelado em temperatura de -20 °C e posteriormente liofilizado, obtendo o extrato seco liofilizado.

2.3 Preparo da SQR

O ácido elágico foi preparado na concentração de 2000 µg/mL. Foi diluído em hidróxido de sódio 0,1mol/L e acetonitrila (5:5 v/v), o pH foi ajustado para próximo a 4 antes da injeção com ácido fórmico. Para injeção no cromatógrafo, essa solução foi diluída em acetonitrila até concentração de 500 µg/mL e filtrado em filtro de seringa de nylon de 0,45 µm.

2.4 Preparo da amostra vegetal

Foram pesados 0,1g da casca ou do extrato da casca, adicionados 10mL de NaOH 0,1 mol/L e após retirado uma alíquota (1ml) e completado com acetonitrila (total de 10 ml) concentração de 100 mcg/ml. Após a diluição as amostras foram filtradas com filtro de seringa nylon tamanho de poro de 0,45 µm.

2.5 Instrumentação e condições analíticas

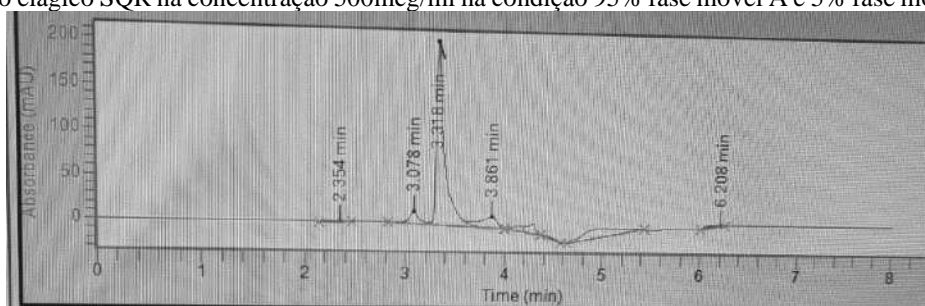
As análises foram realizadas em cromatógrafo líquido de alta eficiência Flexar LC Perkin Elmer, equipado com bomba binária, detector UV-Vis, autoamostrador, onde os dados das áreas dos picos foram integrados em Software Chromera Workstation. As separações foram realizadas em coluna C18 (NST – NanoSeparation Technologies 250 x 4,6 mm, 5 µm) mantida a 25°C.

A eluição foi no modo isocrático com uma taxa de fluxo de 1 ml/min usando fase móvel consistindo em água ultrapura acidificada com ácido tricloroacético 0,05% pH 2.37 (fase A) (previamente filtrada) e acetonitrila (fase B). A fase móvel A foi preparada fresca no dia do uso. Outros solventes e proporções de solventes foram testados durante o desenvolvimento do método, sendo o escolhido que apresentou melhores resultados. Os espectros UV foram registrados entre 210 e 254 nm, onde foi selecionado o comprimento de onda de 240 nm.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para atingir o objetivo de quantificar o ácido elágico nas amostras, foi preciso desenvolver um método. A melhor condição cromatográfica consistiu em 95% fase móvel A e 5% fase móvel B que apresentou a melhor resolução de pico e absorvância e o tempo de retenção foi de 3 minutos e 31 segundos (Figura 2).

Figura 2 - Ácido elágico SQR na concentração 500mcg/ml na condição 95% fase móvel A e 5% fase móvel B em 240nm.



Fonte: Autora (2023).

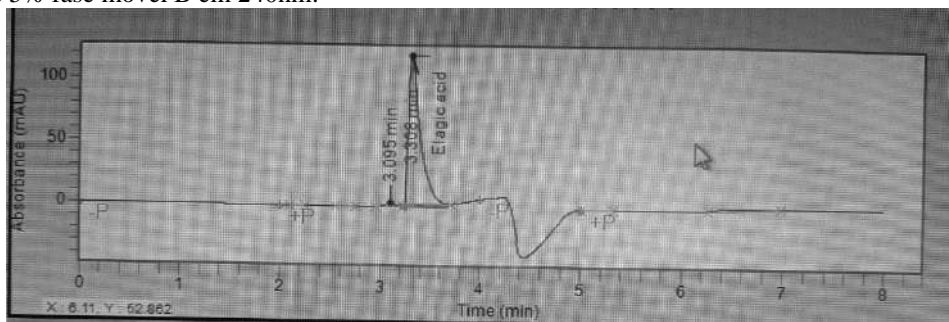
A fase móvel mais polar contribui para a maior retenção dos constituintes na fase estacionária, devido as características apolares do ácido elágico. O comprimento de onda de detecção foi otimizado para 240 nm faixa dentro do comprimento de onda máximo de absorção do ácido (Assunção et al., 2017).

Devido a nossa SQR não se tratar de um padrão primário (alta pureza), tivemos alguns picos de impurezas e também o isolamento e absorvância do pico referente ao ácido elágico foi de difícil interpretação precisando de muitas alterações nas condições cromatográficas e corridas no cromatógrafo para obtenção de um melhor resultado. Ao conseguir a melhor condição cromatográfica partimos para a quantificação do ácido elágico nas cascas de jaboticaba.

3.1 Análise da amostra vegetal

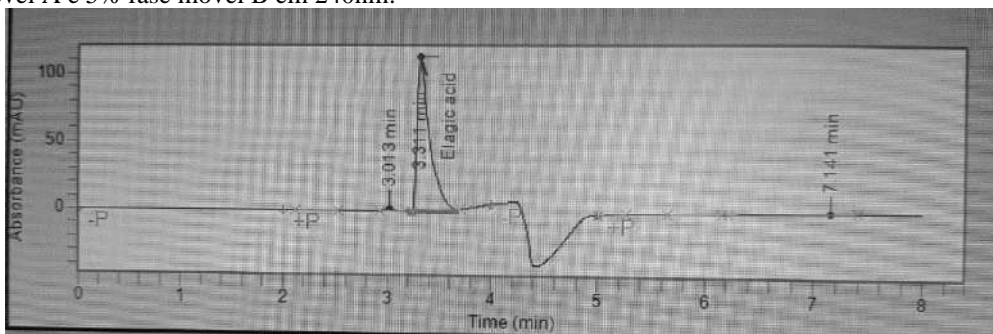
O extrato liofilizado obtido da casca e a casca da jabuticaba foram analisados. As amostras feitas com a casca mantiveram um bom isolamento de pico e nível de absorvância, o tempo de retenção ocorreu na faixa dos 3 minutos e 30 segundos, similar ao tempo de retenção da SQR (Figura 3), bem como, o extrato da casca (figura 4).

Figura 3 – Casca de jabuticaba concentração de 100mcg/ml em acetonitrila e em NaOH 0,1M na condição 95% fase móvel A e 5% fase móvel B em 240nm.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4 – Extrato liofilizado da casca de jabuticaba 100mcg/ml em acetonitrila e em NaOH 0,1M na condição 95% fase móvel A e 5% fase móvel B em 240nm.



Fonte: Autora (2023).

O quadro 2 apresenta os valores encontrados do teor de ácido elágico total nas amostras de jabuticaba. Os cálculos foram realizados em comparação com a SQR de concentração conhecida.

Quadro 2 – Teores de ácido elágico total (g de ac elágico/ 100 g de extrato) na casca e no extrato liofilizado da casca de jabuticaba.

Amostra	Valor encontrado em g de ácido elágico/100g de amostra (n=3) ± desvio padrão
Casca	48,31 ± 0,19
Extrato liofilizado da casca de jabuticaba	61,50±2,10

Fonte: Autora (2023).

Os valores de ácido elágico encontrados na amostra da casca de jabuticaba são considerados altos. Grande parte dos estudos relacionados com a quantificação e biodisponibilidade do ácido elágico foram realizados em casca de romã, frutas vermelhas e nozes, pois já são alimentos conhecidamente ricos em ácido elágico e comumente consumidos em países norte-americanos (Abe, Lajolo e Genovese, 2012). Realizando a comparação entre os valores encontrados por Abe, Lajolo e Genovese.,2012 onde o autor realizou a quantificação de ácido elágico em diversas amostras de frutas e sementes utilizando o método por HPLC, os frutos da família Myrtaceae foram as que mais apresentaram teor de ácido elágico livre e total. O mesmo autor verificou que a jabuticaba foi o fruto com maiores teores de ácido elágico livre, desta forma recolheu amostras em regiões diferentes e épocas diferentes para testar as possíveis modificações no teor de ácido elágico.

Conforme o autor, pode haver diferenças de até 76% no teor de ácido elágico encontrado em diferentes regiões e em épocas diferentes do ano, o nível de maturação da fruta também deve ser consideração. Dentre os frutos da família Myrtaceae a jabuticaba ficou em segundo lugar com a maior concentração de ácido elágico livre e total. A romã apresentou



cerca de 62g/100g de ácido elágico total, valor muito próximo ao que foi encontrado em nosso método na casca de jabuticaba. Porém ressalta-se que utilizamos como SQR uma amostra que continha cerca de 40% de ácido elágico, dessa forma, se considerarmos esse percentual, teríamos cerca de 20g/100g, de ácido elágico. Todos esses detalhes sempre tornam complexa a comparação com outros trabalhos, e como ressaltado acima a região e época do ano que foi adquirida a amostra de jabuticaba leva a grandes alterações nos valores de ácido elágico encontrados.

4 CONCLUSÃO

A jabuticaba é um material vegetal interessante e promissor que pode ser utilizado como fonte natural para obtenção do ácido elágico, devido as altas concentrações de ácido elágico encontradas. O método HPLC-UV desenvolvido mostra-se eficaz para a determinação quantitativa do teor de ácido elágico em frutos de jabuticaba, e possivelmente poderá ser utilizado para análise de outras matérias-primas vegetais.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a bolsa de iniciação científica (PIBIC- UPF) concedida pela UPF.

REFERÊNCIAS

- ABE, L. T.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Potential dietary sources of ellagic acid and other antioxidants among fruits consumed in Brazil: Jabuticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 92, n. 8, p. 1679–1687, jun. 2012.
- AGRAWAL, O. D.; KULKARNI, Y. A. Mini-review of analytical methods used in quantification of ellagic acid. *Reviews in Analytical Chemistry*, v. 39, n. 1, p. 31–44, 1 jan. 2020.
- ASSUNÇÃO, P. I. D. et al. Development and Validation of a HPLC-UV Method for the Evaluation of Ellagic Acid in Liquid Extracts of *Eugenia uniflora* L. (*Myrtaceae*) Leaves and Its Ultrasound-Assisted Extraction Optimization. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, v. 2017, 2017.
- RÍOS, J. L. et al. A Pharmacological Update of Ellagic Acid. *Planta Medica*, v. 84, n. 15, p. 1068–1093, 30 maio 2018.
- RODRÍGUEZ-HERRERA, R. et al. Ácido elágico: Propriedades biológicas e desenvolvimento biotecnológico para processos produtivos. *Jornal Africano de Biotecnologia*, v. 10, n. 22, 2011.
- SEPÚLVEDA, L. et al. Ellagic acid: Biological properties and biotechnological development for production processes. *African Journal of Biotechnology*, v. 10, n. 22, p. 4518–4523, 12 set. 2013.
- WERKMAN, C. et al. Aplicações terapêuticas da *Punica granatum* L. (romã). *Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu*, v. 10, 2008.



Área: Economia Circular

ENERGIA RENOVÁVEL: PANORAMA DAS EMPRESAS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NO MUNICÍPIO DE DOM PEDRITO/RS

Patrícia Alves Garcia, Osmar Manoel Nunes, Janaína Wohlenberg*

Universidade Federal do Pampa, Curso Superior de Tecnologia em Agronegócio, Dom Pedrito, RS

**E-mail: janainawohlenberg@unipampa.edu.br*

RESUMO – O aumento da população mundial está impulsionando a sociedade a reconsiderar a utilização dos recursos naturais, destacando os meios de geração de energia como uma alternativa sustentável no fornecimento de eletricidade para a população. A energia solar é uma das principais tecnologias para a produção de energia limpa, uma vez que, faz uso da radiação e do calor do sol em seu processo de geração. Este estudo visa analisar a produção de energia fotovoltaica gerada em residências no Município de Dom Pedrito/RS, ressaltando o panorama vivenciado pelas empresas localizadas no município em questão e os aspectos motivacionais que contribuem para o desenvolvimento e implementação de novos projetos. Foi realizado um estudo multi-caso, com entrevistas com as empresas de venda e instalação de painéis fotovoltaicos no município. O estudo demonstrou um mercado em expansão, uma vez que, o município encontra-se em uma localidade propensa a incidência solar, favorecendo a geração de energia; este fato se confirmou ao identificar a inserção de novas empresas no mercado, bem como, a presença de concorrência proveniente de outros municípios devido à escassez de mão de obra local. Dentre os aspectos instigantes ao desenvolvimento de novos projetos, os incentivos fiscais e as taxas de juros mais atrativas obtiveram destaque.

Palavras-chave: Energia renovável; painel fotovoltaico; sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda pelo consumo de energia elétrica em residências, comércios e indústrias, impulsionada pelo crescimento populacional e avanço tecnológico que integra a eletricidade em diversas aplicações, torna-se imperativo explorar fontes de geração de energia "limpa", com impacto ambiental reduzido.

Entre as fontes alternativas de geração de energia baseadas nos recursos naturais, a energia solar, também conhecida como energia fotovoltaica, tem se destacado como um modelo sustentável para a produção de eletricidade. Nesse processo, a luz solar é utilizada como fonte de energia, oferecendo uma abordagem limpa, natural e não prejudicial ao meio ambiente (FADIGAS, 2016).

A energia solar está se tornando cada vez mais relevante na matriz energética brasileira, devido às suas vantagens em comparação com as fontes tradicionais de geração, como carvão e gás (LANA *et al.*, 2020). De acordo com os autores, este método de produção de energia, que aproveita a luz solar, é considerada uma fonte inesgotável de recursos, representando um potencial excepcional em comparação com outras fontes energéticas.

Devido à sua vasta extensão territorial, o Brasil abriga uma variedade de climas, incluindo áreas litorâneas e interiores continentais, com uma ampla diversidade de recursos naturais. Essa diversidade de condições materiais proporciona uma gama variada de fontes de energia disponíveis para utilização. Dentre as diversas fontes de energia utilizadas no Brasil, destacam-se a hidrelétrica, a termoelétrica, a queima de combustíveis fósseis derivados do petróleo em veículos automotores, o gás natural, o etanol, a biomassa, a energia eólica, a energia solar (especialmente a fotovoltaica) e a energia nuclear (VASCONCELLOS, 2016).



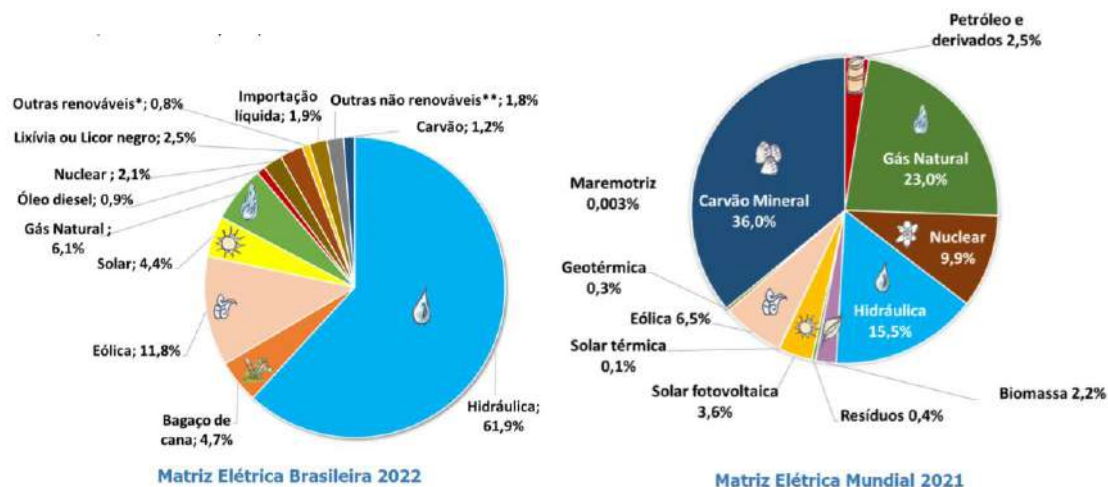
Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

De acordo com Vichi e Mansor (2009), a energia hidrelétrica é uma das principais fontes renováveis de energia, representando, em 2006, cerca de 17% de todas as fontes renováveis de energia no mundo. Esta forma de energia é explorada em mais de 160 países, porém, apenas Brasil, Canadá, China, Rússia e Estados Unidos respondem por mais da metade da produção global.

No Brasil, a reestruturação do setor elétrico foi fundamentada nas Leis n.º. 8.987/1995 e n.º. 9.427/1996, que introduziram um novo regime tarifário denominado "serviço pelo preço" (*price-cap*). Essa mudança do regime tarifário, de um sistema baseado em custos para um baseado em preços, tem como objetivo reduzir o risco regulatório, visando atrair o investimento privado necessário para a expansão do setor elétrico. Dessa forma, as tarifas de energia passaram a gerar receita suficiente para assegurar o equilíbrio econômico-financeiro das concessões. No contexto das usinas brasileiras, estas são predominantemente hidrelétricas; contudo, também há a exploração da energia eólica, solar, termoeletrica e nuclear, a fim de complementar a necessidade de abastecimento, sendo o seu uso limitado ao mínimo essencial.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024), a matriz elétrica brasileira, responsável pelo abastecimento de eletricidade nos municípios, no ano de 2021, foi composta de 84,8% de fontes renováveis e 15,2% de fontes não renováveis. Quando estes índices são analisados a nível mundial, o autor demonstra que, apenas 28,1% da energia gerada provém de fontes renováveis e 71,9% são provenientes de fontes não renováveis. O comparativo entre a matriz elétrica brasileira em 2022 e mundial, no ano de 2021, pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Comparativo das fontes do uso da matriz elétrica no Brasil e no mundo



Fonte: EPE (2024).

Esse aspecto ressalta o comprometimento brasileiro para com os objetivos estabelecidos na Agenda 2030, com vista aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Porém, conforme observado por Bondarik, Pilatti e Horst (2018), o planejamento brasileiro em relação ao aproveitamento de energias renováveis, tais como solar, eólica e de biomassa, avança em um ritmo consideravelmente mais lento, se comparado com os países desenvolvidos, ou mesmo, em relação a outras nações emergentes; uma vez que, é um país rico em disponibilidade de recursos naturais. Tolmasquim (2016) aponta que, devido ao posicionamento geográfico favorável, o Brasil possui bons índices de irradiação solar em praticamente todo seu território, mesmo em meses com baixa insolação, dando ao país condições favoráveis para o aproveitamento solar.



O presente estudo tem como objetivo analisar a produção de energia fotovoltaica gerada em residências no Município de Dom Pedrito/RS, ressaltando o panorama vivenciado pelas empresas localizadas no município em questão.

A relevância deste estudo, para o município de Dom Pedrito, reside em identificar o nível de utilização da tecnologia de geração de energia fotovoltaica no município, dado seu caráter renovável e constante. De posse dos resultados pretende-se, evidenciar que a utilização deste tipo de tecnologia para a geração de energia é uma tendência crescente no dia a dia das residências locais.

A energia solar fotovoltaica é uma forma de energia que resulta da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Esse processo é realizado por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica, que opera com base no princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF, 2007). De acordo com Severino e Oliveira (2010), o efeito fotovoltaico ocorre quando a luz solar é absorvida, gerando uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor. Complementando essa explicação, Nascimento (2014, p.14) destaca que “uma célula fotovoltaica não armazena eletricidade, mas sim mantém um fluxo de elétrons em um circuito elétrico enquanto estiver exposta à luz”. Esse fenômeno é conhecido como “Efeito Fotovoltaico”.

Os painéis solares, ou módulos, são os principais componentes do sistema fotovoltaico de geração de energia. O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011). Atualmente, são vários os exemplares de módulos solares produzidos, podendo ser rígidos ou flexíveis, de acordo com o tipo de célula empregada. Em relação à fabricação dos painéis, torna-se importante ressaltar que, a produção dos módulos solares tem sofrido grande interferência governamental a partir de incentivos fiscais e ambientais (PINHO; GALDINO, 2014).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na cidade de Dom Pedrito, localizada na região da Campanha, no estado do Rio Grande do Sul. Dom Pedrito é conhecido pela sua forte atividade econômica direcionada às práticas do Agronegócio, como a pecuária de corte, produção de arroz e de soja. O município apresenta uma população de 38,2 mil habitantes, tendo um Produto Interno Bruto (PIB) de, aproximadamente R\$ 1,4 bilhão, com 41,5% do valor adicionado proveniente dos serviços, seguido pela agropecuária (32,8%), administração pública (17,5%) e indústria (8,2%). O município é atravessado pelas bacias hidrográficas dos rios Camaquã e Santa Maria, e faz vizinhança com os municípios de Bagé, Santana do Livramento e Lavras do Sul.

Em relação à iluminação solar, o período mais radiante do ano dura 3,2 meses, de 2 de novembro a 7 de fevereiro, com média diária de energia de ondas curtas (quanto mais curta, maior radiação ela transmite), incidente por metro quadrado acima de 6,7 kWh. O mês mais radiante do ano em Dom Pedrito RS é dezembro, com média de 7,6 kWh. O período mais escuro do ano dura 3,3 meses, de 4 de maio a 15 de agosto, com média diária de energia de ondas curtas incidente por metro quadrado abaixo de 3,7 kWh. O mês mais escuro do ano em Dom Pedrito é junho, com média de 2,8 kWh.

Na Figura 2 pode ser observada uma tabela contendo a incidência de radiação mensal em Dom Pedrito e nos municípios vizinhos, as cores mais escuras são as que representam maior índice de radiação.



Figura 2 – Relação de radiação incidente conforme os meses do ano

Município	Radiação kWh/m ²											
	Mensal											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Bagé	7,099	6,117	5,487	4,351	3,109	2,571	2,798	3,304	4,241	5,531	6,859	7,520
Dom Pedrito	7,199	6,039	5,547	4,266	3,044	2,620	2,878	3,506	4,599	5,802	7,070	7,424
Santana do Livramento	6,895	5,871	5,110	3,907	2,823	2,271	2,748	3,266	4,136	5,471	6,468	6,627

Fonte: Atlssolarrs (2023).

A pesquisa consiste em um estudo multi-caso envolvendo as empresas de comercialização de painéis fotovoltaicos do município de Dom Pedrito/RS, ao total, foram observadas a presença de cinco empresas; após o primeiro contato, apenas duas empresas aceitaram participar da pesquisa e fornecer os dados necessários para a realização do estudo.

Foram realizadas entrevistas, com a aplicação de um questionário semi-estruturado, a fim de identificar o tempo de atuação das empresas, a capacidade máxima de geração de energia fotovoltaica implantada nos projetos, os principais fatores motivacionais a fim de contribuir com a expansão no uso deste tipo de tecnologia no município em estudo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa de campo demonstrou que, das duas empresas que aceitaram participar da pesquisa, a empresa “A” atua há quatro anos no setor de comercialização e instalação de painéis fotovoltaicos do município de Dom Pedrito/RS, tendo realizado a execução de dezoito projetos. A empresa “B” atua há três anos no município e já implantou mais de 150 projetos no município. Na Tabela 1 pode ser observada a capacidade instalada para geração de energia fotovoltaica dos projetos contratados.

Tabela 1 – Capacidade de geração de energia instalada nos projetos em Kwh

Empresa	0 KWh a 300 KWh	301 KWh a 600 KWh	601 KWh a 900 KWh	901 KWh ou mais
A	1	2	5	10
B	30	80	20	20
Total de Projetos	31	82	25	30

Fonte: Autor (2023).

Na análise dos dados apresentados na tabela acima, destaca-se que o maior percentual de geração de energia instalada está na faixa que compreende a geração de energia entre 301 KWh e 600 KWh, indicando que as instalações foram, principalmente, em residências no município. A partir das informações coletadas, surge à questão sobre a discrepância no número de projetos implementados entre as empresas “A” e “B”; apesar de a empresa “A” ter mais tempo de atuação no mercado, pode ser observado que a empresa “B” realizou 482 projetos a mais que a empresa “A”. Os fatores determinantes que envolvem a preferência de compra do consumidor, relacionado a escolha entre as empresas em questão, não foram analisadas por este estudo.

É evidente que, apesar do período de existência relativamente curto das empresas “A” e “B”, ambas apresentam um crescimento constante, indicando o potencial de desenvolvimento para empresas do setor de energias renováveis em Dom Pedrito/RS. Essa possibilidade de expansão na implantação de projetos se confirma, uma vez que, através da Figura 2, pode ser observado que a localidade do município em questão apresenta a incidência de radiação necessária para a geração de energia por meio da utilização de painéis fotovoltaicos.



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

De acordo com o gestor da empresa “B”, o setor de placas fotovoltaicas é um mercado em expansão, uma vez que gera energia de forma sustentável e utilizando um recurso de fonte inesgotável, a luz solar. Ele também relatou a escassez de mão de obra especializada no município, deixando a oportunidade para a inserção da concorrência de empresas de outras regiões do estado, prestadoras do mesmo tipo de serviço, a fim de atenderem este setor de demanda.

Quando questionados em relação aos fatores que possibilitariam a implementação de novos projetos, principalmente em residências do município, os gestores responderam que os consumidores da atualidade estão inclinados aos aspectos relacionados à redução de custos fixos, no orçamento familiar, e a sustentabilidade que envolve a geração de energia solar (ver Figura 2).

Já existem vários estudos de viabilidade econômica envolvendo o custo de implantação de painéis solares em residência; de acordo com Penning, Timm, Finkler (2019), foi realizada uma análise de viabilidade de um projeto de painéis fotovoltaicos para uma residência que apresentava um consumo mensal médio de 440Kw. O estudo demonstrou que, com um desembolso necessário de R\$15.000,00, fazendo a instalação de 13 painéis, o tempo estimado para se obter um retorno sobre o investimento seria de 4 anos; sendo que, de acordo com Oliveira, Gondim e Miranda (2015), o tempo de vida útil dos painéis solares é em torno de 25 a 30 anos, ressaltando a viabilidade de implantação deste sistema de geração de energia.

Figura 2 – Atributos para o incentivo na implantação de novos projetos de painéis fotovoltaicos no município de Dom Pedrito/RS



Fonte: Autor (2023).

Outros aspectos que ficam evidentes, na opinião dos gestores, é que os órgãos públicos deveriam investir em medidas de isenção fiscal e taxas de juros mais atrativas, a fim de incentivarem a implantação de novos projetos; uma vez que, além de contribuírem para a geração de energia de forma renovável, contribuem com o desenvolvimento econômico, pois geram postos de trabalho nos municípios.

4 CONCLUSÃO

A análise realizada neste estudo proporcionou uma visão abrangente frente ao panorama vivenciado pelas empresas de comercialização e instalação de painéis fotovoltaicos no município de Dom Pedrito/RS. Ficou evidente que essas empresas, embora relativamente novas no mercado, estão enfrentando uma demanda crescente, em virtude de o município possuir uma localização propensa à instalação e geração de energia dos painéis fotovoltaicos. Os gestores das empresas participantes do estudo também identificaram que, devido à escassez de mão de obra local, concorrentes de outros municípios estão se inserindo neste mercado em potencial.

O estudo também destacou que, a maioria dos projetos contratados, foram direcionados à geração compreendida entre 300KWh e 600KWh, classe de geração que está direcionada a atender, principalmente, estabelecimentos residenciais no município em estudo. Como alternativa para expansão desse mercado, instigando a



implantação de novos projetos, os gestores ressaltaram importância de ser desenvolver políticas públicas de incentivo, como isenções fiscais ou linhas de créditos atrativas para essa finalidade.

Ao longo do desenvolvimento deste estudo foram identificadas algumas dificuldades, principalmente, durante a coleta de dados relacionados à escassez de registros sobre micro geração de energia elétrica residencial, distribuída em conjunto com a Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE. Outro obstáculo foi à limitada disponibilidade de informações das empresas atuantes no município de Dom Pedrito, uma vez que, de cinco empresas, apenas duas aceitaram participar da pesquisa, fato que suprimiu informações que seriam relevantes para a análise e discussão de outros aspectos relacionados a geração de energia no município.

Com base nos dados obtidos, fica evidente que as empresas deste segmento estão vivenciando a possibilidade de expansão no mercado, devido a presente demanda. Mesmo diante da concorrência acirrada com outras prestadoras de serviços similares, a demanda por mão de obra qualificada continua substancial, o que indica oportunidades de desenvolvimento no mercado de energia renovável em Dom Pedrito/RS.

5 REFERÊNCIAS

ATLASSOLARRS. **Atlas Solar do Rio Grande do Sul**. Disponível em: < <https://atlassolarrs.com/>>. Acesso em 02 jun. 2023.

BONDARIK, Roberto; PILATTI, Luiz Alberto; HORST, Diogo José. Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil. **Interciencia**, v. 43, n. 10, p. 680-688, 2018.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: < [MATRIZ ENERGÉTICA \(epe.gov.br\)](http://epe.gov.br)>. Acesso em: 20 fev. 2024.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e viabilidade técnico-econômica**. São Paulo: GEPEA, 2016.

IMHOFF, J. Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos. **Dissertação (Mestrado)**. Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007. 146 f.

NASCIMENTO, C. Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica. **Dissertação (Mestrado)**. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004. 23 f.

OLIVEIRA, Wermerson David; GONDIM, Gustavo Vieira; MIRANDA, Anizio de Assis Rodrigues. A eficiência energética do sistema solar fotovoltaico: Instalação de um painel solar em residência. **Rio Verde: UNIRV**, 2015.

PENHA, L. MARCOS. **Em entrevista o cientista e premiado investigador Carlos Nobre alerta para consequências do conjunto global e soluções**. Disponível em: <https://issuu.com/sescsp/docs/revista_e_edic_a_o_de_junho_2021/s/12389879>. Acesso em 26 de junho de 2022.

PENNING, Jardel André; TIMM, Andréa Ucker; FINKLER, Raquel. ENERGIA SOLAR: ESTUDO DE CASO DE UMA RESIDÊNCIA NA CIDADE DE CAXIAS DO SUL/RS. **11 Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, 2019.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

SEVERINO, M. & OLIVEIRA, M. Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas. **Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados**, Palmas, ano 1, p. 265-322, 2010.

TOLMASOUM, Mauricio Tiomno. **Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear** – EPE: Rio de Janeiro, 2016.

VASCONCELLOS, Morôni Azevedo de. **Fontes de energia utilizadas no Brasil**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/geografia/fontes-de-energia-utilizadas-no-brasil/>, 2016>. Acesso em: 15 mar. 2023.



Área: Economia circular

POLIÓIS ORIUNDOS DA EPOXIDAÇÃO DE ÓLEOS: UMA REVISÃO

Ana Carolina Rubio Klein, Melissa Leite Pereira*, Paulo Fernando Marques Duarte Filho, Valéria Terra Crexi

Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Pampa, Bagé, RS

**E-mail: melissapereira.aluno@unipampa.edu.br*

RESUMO – Os polióis são compostos orgânicos utilizados na síntese do poliuretano (PU), o qual é um polímero que apresenta vasta aplicabilidade devido à sua versatilidade na indústria de plásticos. A produção de polióis a partir de óleos tem recebido atenção nas últimas décadas, principalmente devido a redução do impacto ambiental decorrente da substituição de materiais poliméricos derivados do petróleo por materiais sustentáveis. Os óleos vegetais são matérias-primas renováveis e diversificadas, disponíveis em grande quantidade com um custo relativamente baixo, constituindo assim, uma alternativa que apresenta vantagens econômicas, energéticas e ambientais em relação as matérias-primas obtidas por derivados do petróleo. A produção de polióis à base de óleos se dá através de diferentes métodos, podendo ser utilizadas as reações de alcoólise, de epoxidação, de hidroformilação, de ozonólise e de transesterificação. A reação de epoxidação consiste na introdução de grupos epóxidos nas cadeias carbônicas do material, aumentando a reatividade do óleo. O presente artigo analisou pesquisas relacionadas a produção de polióis oriundos da reação de epoxidação de óleos. A revisão da literatura foi realizada por meio das plataformas Periódicos Capes, *Science Direct* e *Google Scholar*, utilizando as palavras-chave: polióis, óleos vegetais e epoxidação. Constatou-se que os polióis obtidos de óleos vegetais contribuem para o desenvolvimento sustentável de materiais poliméricos, destacando-se como uma alternativa aos polióis derivados de petróleo, visto que podem reduzir a emissão de carbono na produção de poliuretano, consolidando seu papel inovador no cenário de materiais sustentáveis. Entre os principais desafios para produção de polióis em escala industrial pode-se citar uso de matérias-primas de qualidade e sustentáveis, o conhecimento e o controle das variáveis do processo que são essenciais para a otimização na produção e garantia de qualidade desses materiais.

Palavras-chave: epoxidação, sustentabilidade, polímero.

1 INTRODUÇÃO

Os polióis são uma extensa gama de compostos orgânicos ricos em grupos funcionais álcoois, tradicionalmente obtidos de derivados petroquímicos. Estes compostos apresentam a característica de reagir com grupos isocianatos para a síntese de poliuretano (PU) o qual é um dos principais polímeros utilizados pela humanidade, tendo destaque no mercado mundial devido às suas altas aplicabilidades, movimentando bilhões de dólares, sendo utilizado na indústria automotiva, embalagens, calçadista, produção de móveis, construção civil, tintas, adesivos, revestimentos e fabricação de espumas (Shirke; Dholakiya; Kuperkar, 2017; Alves et al., 2021).

No entanto, o uso de derivados de petróleo na produção de poliuretano, tem gerado preocupação quanto aos impactos ambientais negativos decorrentes da exploração destes. Em 2018, a produção de resinas termoplásticas no mundo foi estimada em 359 milhões de toneladas (Abiplast, 2019). Por isso, a adaptação aos efeitos ambientais causados pelo uso de materiais sintéticos tem se tornado um dos maiores desafios para a humanidade no século XXI (Lima, 2022). Assim, a utilização de óleos vegetais para produção de polióis tem sido extensamente estudada como substituinte aos derivados petroquímicos (Nascimento et al., 2017).

Os óleos, por si só, não são classificados como polióis, devendo passar por um tratamento químico para se transformarem em polióis e serem utilizados como reagentes na produção de poliuretano (Alves et al., 2021). Os óleos vegetais são matérias-primas renováveis e diversificadas, disponíveis em grande quantidade com um custo relativamente baixo, constituindo assim, uma alternativa que apresenta vantagens econômicas, energéticas e ambientais em relação as matérias-primas obtidas por derivados do petróleo (Nascimento e Costa, 2020).

Nesse sentido, investimentos vêm sendo realizados para substituir os poliuretanos de origem petroquímica por poliuretanos desenvolvidos através da modificação química de óleos, para a produção de compostos ecologicamente corretos, com um custo relativamente baixo com relação a fontes não renováveis como o petróleo (Costa et al., 2017; Soto; Marcovich; Mosiewicki, 2016).

A produção de polióis à base de óleos se dá através de diferentes métodos, podendo ser utilizadas a rota de alcoólise, rota de epoxidação, rota de hidroformilação, rota de ozonólise e rota de transesterificação. As ligações



insaturadas presentes no material são o sítio ativo para as reações de obtenção dos polióis, portanto quanto mais insaturações presentes no óleo, maior a eficiência da reação e consequentemente do rendimento em polióis. As condições dessas reações como tempo, temperatura, agitação, reagentes, proporção dos reagentes e características do óleo são responsáveis propriedades químicas e físicas dos polióis (Alves et al., 2021; Nascimento e Costa, 2020, Costa et al., 2017), características essas responsáveis pelas propriedades físicas do poliuretano.

Nesse contexto, o objetivo do artigo foi realizar uma revisão da literatura a respeito da produção de polióis oriundos da reação de epoxidação de óleos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada para a seleção do material da revisão da literatura foi realizada por meio de buscas nas plataformas Periódicos Capes, *Science Direct* e *Google Scholar*, utilizando as palavras-chave: polióis, óleos vegetais e epoxidação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Polióis

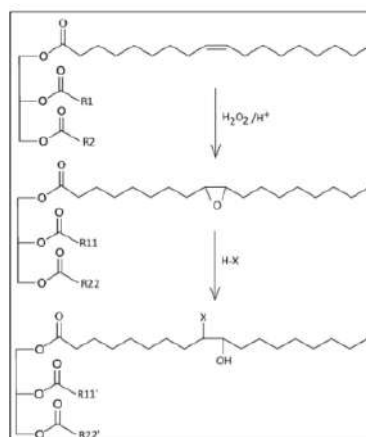
Os polióis são compostos orgânicos que possuem o grupo funcional álcool ligado a um carbono saturado. Uma das características desses compostos é a capacidade de reagir com isocianatos, formando compostos uretano, como o poliuretano. De acordo com Clemente e colaboradores (2014), os polióis desempenham um papel fundamental na ampla aplicabilidade e versatilidade dos poliuretanos em diversos setores da indústria de plásticos. Geralmente, esses polióis são derivados do petróleo, mas também podem ser obtidos de outras fontes, como óleo vegetal e animal (Silva, 2014; Cangemi; Santos; Neto, 2009).

Diversas rotas de síntese são utilizadas para obter polióis, incluindo a rota de alcoólise, a rota de epoxidação, a rota de hidroformilação, a rota de ozonólise e a rota de transesterificação (Clemente et al., 2014), cada uma apresentando vantagens e desvantagens próprias. Esses métodos fornecem uma abordagem versátil para a produção de polióis a partir de fontes renováveis, possibilitando a expansão do uso de materiais sustentáveis na indústria de poliuretanos.

Entre as rotas de síntese de polióis, a epoxidação desempenha um papel fundamental na transformação de ligações duplas presentes em cadeias carbônicas. Essa rota possibilita a introdução de grupos epóxidos nas cadeias carbônicas, aumentando a reatividade do óleo. Além disso, ao controlar as condições da reação, é possível modificar a estrutura e as propriedades dos polióis obtidos, adequando-os às necessidades específicas de diversas aplicações industriais, conforme destacado por Hernández (2015).

A reação de Prilezhaev, ilustrada na Figura 1, é amplamente utilizada como método de epoxidação de alcenos, onde um perácido é adicionado durante o processo, sendo este um reagente que transfere o oxigênio para a ligação dupla, formando o epóxido (Hilker *et al.*, 2001).

Figura 1 – Esquema reacional de epoxidação de um óleo vegetal para a produção de biopoliol (R1, R2, R11, R12, R11', R22' são ácidos graxos)



Fonte: (HILKER *et al.*, 2001).



Conforme descrito por Costa et al. (2017), é possível obter polióis com diversas estruturas e funcionalidades ao modificar as condições reacionais. Essas condições abrangem o tempo de reação, a temperatura, o tipo de agitação, bem como os reagentes e aditivos empregados no processo. Ao ajustar esses parâmetros controláveis durante a síntese, é viável explorar uma ampla gama de variações para produzir polióis com propriedades químicas e físicas específicas, adequadas a distintas aplicações industriais, tais como poliuretanos, revestimentos e adesivos. A composição molecular dos polióis desempenha um papel fundamental nas propriedades físicas do poliuretano, incluindo resistência química, dureza, rigidez e resistência à tração. Os polióis podem ser líquidos, oligômeros ou polímeros, e possuem pelo menos dois grupos hidroxila (Ashida, 2007).

Os polióis utilizados na produção de poliuretanos podem ser classificados em três principais categorias. Cerca de 80% dos polióis são poliésteres hidroxilados, derivados do poli(óxido de propileno) glicol e copolímeros de poli(óxido de propileno/etileno) glicóis, que conferem flexibilidade e maciez aos poliuretanos. Os polióis poliésteres representam aproximadamente 20% da composição, sendo o poli(adipato de etileno) com hidroxila terminal um dos mais utilizados. Esses polióis proporcionam rigidez, resistência à chama e estabilidade química aos poliuretanos. Além disso, existem os polióis hidrocarbônicos, como o polibutadieno líquido com terminação hidroxílica (PBLH), que conferem alta resistência à hidrólise ácida e básica, assim como resistência elevada à temperatura. Essas diferentes categorias de polióis renováveis possibilitam a produção de poliuretanos com propriedades variadas, atendendo a diferentes aplicações (Vilar, 1999).

Os óleos não são considerados polióis, e requerem um processo químico para serem convertidos em polióis e serem utilizados como reagentes na produção de poliuretano (Nascimento e Costa, 2020). Óleos de origem vegetal, como óleo de soja, palma, colza, girassol e linhaça, e de origem animal, como o óleo de pescado contêm ácidos graxos poli-insaturados, como ácido linoleico e linolênico. Para que esses óleos sejam utilizados na síntese de poliuretano, é necessário que as cadeias desses AcGs, assim como a do triglicerídeo em si, apresentem grupos -OH, caracterizando-os como polióis (Nascimento e Costa, 2020). Compostos principalmente por triglicerídeos, esses óleos consistem em cadeias médias e longas insaturadas, amplamente explorados na produção de polióis, que são utilizados na área de biomateriais devido à sua notável biocompatibilidade e biodegradabilidade (Silva, 2014; Bresolin, 2014).

Dessa maneira, o desenvolvimento de novos processos químicos para obtenção de polióis para produção de poliuretanas busca reduzir custos e fabricar espumas biodegradáveis, utilizando precursores de fontes renováveis para minimizar o impacto ambiental. Por isso, polímeros a partir de matérias-primas renováveis, como óleos vegetais, devido à presença de triglicerídeos de AcGs, oferecem benefícios como baixa toxicidade e menor geração de resíduos durante o processo reacional, resultando em produtos geralmente biodegradáveis (Pereira *et al.*, 2013).

Grupos industriais renomados, como BASF, Cargill, Oleon e Huntsman, têm se destacado na produção de uma variedade de polióis de base biológica a partir de óleos vegetais. Mais de 20 tipos diferentes desses polióis estão disponíveis no mercado, possibilitando a obtenção de poliuretanas com uma composição de massa biológica entre 60% e 70% (Desroches *et al.*, 2012; Nohra *et al.*, 2013). As poliuretanas, que já representam 5% do consumo global de polímeros, têm mantido um crescimento constante (Szycher, 2012).

Os biopolióis são amplamente utilizados na produção de poliuretanas sustentáveis, oferecendo alta performance a um custo competitivo. Fabricantes estabelecidos e novas empresas estão impulsionando esse mercado em crescimento. De acordo com a empresa Markets and Markets (2022), o mercado global de biopoliol alcançou US\$ 3,077 bilhões em 2018, com um consumo de 1,110 megatoneladas. A América do Norte é a maior consumidora de biopoliol, principalmente utilizando óleos de soja e milho na produção. Esses biopolióis são usados em poliuretanas para indústrias automotivas, embalagens e móveis. Mais de 65% dos veículos fabricados pela Ford Motor Company contêm assentos feitos com biopolióis. Algumas empresas líderes nesse setor são Cargill Incorporated, DOW Chemical Company e Jhonson Controls Incorporated. A principal aplicação está nas espumas rígidas, com um consumo crescente de mais de 450 mil toneladas em 2018, especialmente na Ásia, onde o mercado de biopolióis está em expansão (Rosa, 2020).

No Quadro 1, são apresentados estudos que abordam a obtenção de polióis vegetais por meio das rotas mais utilizadas de epoxidação e hidroxilação, considerando o nome dos autores e ano de publicação, título, e tipo de óleo, tipo de reação, reagentes, proporção molar tempo de reação e temperatura.

Quadro 1 – Revisão de trabalhos existentes na literatura a respeito da rota de epoxidação e hidroxilação na produção de polióis vegetais e animal



Nomes dos Autores e Ano	Tipo de Óleo	Tipo de Reação	Reagente	Proporção Molar (óleo/ácido/peróxido)	Tempo (h)	Temp. (°C)
SILVA, S. A., 2014	Milho e rícino	Epoxidação	Ácido fórmico e peróxido de hidrogênio	1,0:3,0:1,5	2:30	65
NASCIMENTO, B. Z. <i>et al.</i> , 2017	Crambe	Epoxidação	Ácido fórmico e peróxido de hidrogênio	1,0:3,0:1,5	3; 4; 6	65; 85
COSTA <i>et al.</i> , 2017	Soja	Hidroxilação direta "in situ"	Ácido fórmico e peróxido de hidrogênio	1,0:3,0:1,5	4	65
LAPRISE, 2019	Peixe	Epoxidação	ácido 3-cloroperbenzoico; peróxido de hidrogênio e ácido acético; peróxido de hidrogênio ácido fórmico.	-	11	60
NASCIMENTO, B. Z.; COSTA, A P. O., 2020	Girassol, milho e crambe	Hidroxilação direta "in situ"	Ácido per fórmico e peróxido de hidrogênio	1,0:3,0:1,5	6	85
ROSA, G. M., 2020	Baru	Epoxidação	Ácido fórmico e peróxido de hidrogênio	1,0:3,0:1,5	2; 6; 10	65; 72,5; 80
LUIS, D. D. F., 2021	Soja	Epoxidação	Ácido acético e peróxido de hidrogênio	1,0 0,5; 2,0	5; 10; 15; 20; 25	30; 40; 60; 75.
LAPRISE <i>et al.</i> , 2021	Peixe	Epoxidação	ácido 3-cloroperbenzoico; peróxido de hidrogênio e ácido acético; peróxido de hidrogênio ácido fórmico.	-	5; 18	25; 50; 60
LIMA, A. S. <i>et al.</i> , 2022	Soja residual de fritura	Epoxidação	Ácido fórmico e peróxido de hidrogênio	1,0:3,0:1,5	3:40	60

Fonte: Autores (2023)

O estudo de Silva (2014), realizou a síntese de dois polióis à base de óleo de milho, sendo um por epoxidação em ácido fórmico e peróxido de hidrogênio na proporção molar (1,0:3,0:1,5) e o segundo poliol por reação transesterificação. O autor também produziu polióis de óleo de rícino por reações de transesterificação sob catalise heterogênea. Os polióis de óleo de milho e rícino foram caracterizados por diferentes técnicas (espectroscopia na região do infravermelho, ressonância magnética nuclear (RMN), índices de acidez, iodo e de hidroxila), apresentando valor de índice de hidroxila entre 140 e 180 mg de KOH/g de óleo e entre 159 e 296 mg de KOH/g de óleo, respectivamente. Os polióis de óleo de milho foram aplicados no preparo espumas flexíveis de poliuretano, e os polióis de óleo de rícino na síntese de adesivos de poliuretano por polimerização em solução.

Nascimento *et al.* (2017), conduziram a síntese de um polioli vegetal a partir do óleo de crambe por meio da reação de hidroxilação, utilizando um sistema contendo ácido per fórmico "in situ" e peróxido de hidrogênio. Foram avaliados diferentes parâmetros reacionais, como tempo, temperatura, proporção molar e agitação. Após a avaliação, a condição reacional mais eficiente foi obtida utilizando uma proporção molar de 1,0:3,0:1,5 (óleo: ácido: peróxido), com um tempo de reação de 6h, temperatura de 85°C e agitação mecânica. Nessas condições, foi alcançado o maior grau de hidroxilação, resultando em um valor de índice de hidroxila (IOH) de 40,55 mg de KOH/g de óleo. Esse processo permitiu a obtenção de um produto com maior valor agregado.

Costa *et al.* (2017), realizaram a síntese de compósitos de poliuretano utilizando um polioli vegetal obtido a partir da hidroxilação do óleo de soja, com um índice de hidroxila (IOH) de 190 mg KOH/g. O processo de hidroxilação foi conduzido a 65°C por 4h, utilizando uma proporção molar de 1,0:3,0:1,5 (óleo/ácido/peróxido). Os polióis obtidos foram aplicados na produção de poliuretana e de compósitos de poliuretana. Na produção de poliuretana (PU) uma razão molar [OH]/[NCO] de 0,9 foi empregada, e a mistura foi curada a 65°C por 24h. Os compósitos foram produzidos utilizando as mesmas razões molares e condições de cura empregadas na poliuretana. No entanto, foram variadas as quantidades das cargas, variando de 1% a 15% em peso, sendo utilizadas as argila e sílica. Os testes de flexão demonstraram que a adição das cargas tende a aumentar o valor do módulo de elasticidade, de 124 MPa para a PU, até 142 MPa. A estabilidade térmica foi de 210 °C, e a adição de carga não ocasionou alterações significativas. Como resultado, foi possível obter poliuretanas elastoméricas a partir do polioli vegetal sintetizado.

Nascimento e Costa (2020), obteve polióis vegetais sintetizados a partir de óleos de girassol, milho e crambe. A reação química dos óleos foi realizada por hidroxilação direta com ácido fórmico e peróxido de hidrogênio. O sistema reacional utilizado teve como proporção molar óleo/ácido/peróxido (1,0:3,0:1,5), temperatura de 85°C, tempo de reação



de 6 h e agitação mecânica. O polioli de girassol apresentou as melhores propriedades, com índice de hidroxila (IOH) de 72,88 mg KOH/g, índice de iodo (II) de 11,87 g I₂/g, acidez (IA) de 16,13 mg NaOH/g e viscosidade de 1096,4 mPa.s. Os polióis de crumbe e milho também foram obtidos, com valores inferiores nas propriedades. A análise por espectroscopia FTIR confirmou a presença dos grupos hidroxila nos polióis.

Rosa (2020), investigou o uso do óleo de baru na síntese de poliuretanas. Os biopolióis de baru foram obtidos por meio de um planejamento fatorial, variando as condições de síntese, três temperaturas diferentes (65°C; 72,5°C; 80°C) e três tempos diferentes (2h; 6h; 10 h). Esses polióis são considerados ideais para a síntese de polímeros poliuretanos (PUs) rígidos. Os polióis obtidos foram caracterizados por Índice de Acidez (IA), Índice de Hidroxila (IOH), Espectroscopia de Infra Vermelho com Transformada de Fourier (FTIR), Ressonância Magnética Nuclear (RMN), Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) e Termo Gravimetria (TG). Os resultados do estudo de hidroxilação do óleo de baru demonstraram a viabilidade de produzir polióis com alto índice de hidroxilação (acima de 300 mg de KOH/g). A análise das variações nas condições experimentais nas sínteses de biopoliol revelou que tanto a temperatura quanto o tempo tiveram influência no índice de acidez e no índice de hidroxila, sendo o tempo o fator mais influente. Como aplicação dos polióis produzidos o autor produziu poliuretanas confirmando sua formação pela análise espectroscopia FTIR.

O trabalho realizado por Luis (2021), propõe uma modelagem para analisar o equilíbrio de fases na reação de epoxidação do óleo de soja. Foram utilizadas leis cinéticas conhecidas e realizados balanços materiais para os componentes do sistema. As simulações mostraram que uma maior proporção de ácido acético reduz o rendimento de grupos epóxi, enquanto um aumento na quantidade de peróxido melhora os índices oxirânico e de iodo. A proporção utilizada foi de 1,0:0,5:2,0 (óleo de soja/ácido acético/peróxido de hidrogênio). O equilíbrio de fases foi analisado usando o modelo UNIFAC, mostrando que o ácido acético tem maior afinidade com a fase aquosa. A formação de duas fases pode afetar a conversão da reação de epoxidação.

Em um estudo recente, Lima (2022) utilizou óleo residual de soja de fritura purificado para produzir um biopoliol. O processo envolveu a hidroxilação "in situ" por epoxidação das insaturações presentes no óleo, utilizando ácido fórmico e peróxido de hidrogênio, resultando em um polioli poliéster. O polioli obtido apresentou índice de hidroxila de 384 mg KOH/g e o espectro obtido por FTIR da amostra de polioli aparecimento de uma grande banda em torno de 3386,77cm⁻¹ atribuído ao alongamento OH, que se formou na reação de hidroxilação, o polioli foi, também, caracterizado pela banda de estiramento C-H do grupo C=C-H em 2968,36 cm⁻¹ características do óleo de soja. Verifica-se nesse estudo aumento da viscosidade do polioli de 7,16 cPs para 474 cPs, aumento esse resultante da introdução de interações intermoleculares mais fortes, devido às ligações de hidrogênio. Os testes de aplicação desse polioli resultaram em espumas rígidas de cor amarelada e estrutura altamente reticulada, com grupos característicos de poliuretano identificados por análises espectroscópicas. As análises térmicas das espumas revelaram propriedades de decomposição e estabilidade comparáveis as espumas de polióis comerciais de origem petroquímica, sem perdas significativas de massa antes de 200°C.

4 CONCLUSÃO

Os biopolióis de óleos vegetais são uma alternativa aos polióis derivados de petróleo para produção de poliuretano. No processamento desses biopolióis as variáveis de processo influenciam na obtenção e nas características químicas e físicas desses materiais. A utilização de diferentes óleos e as condições de reação, como tempo e temperatura de reação, tipo e proporções dos reagentes, resulta em variações nas propriedades dos polióis resultantes e consequentemente nas características do poliuretano obtido desses polióis.

Dessa maneira, para produção de polióis em escala industrial a compreensão e o controle das variáveis do processo e a qualidade das matérias-primas são essenciais para a obtenção de materiais com as propriedades desejadas, o que contribui para o desenvolvimento sustentável de materiais poliméricos.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPERGS pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

6 REFERÊNCIAS

ABIPLAST, A. B. DA I. DO P. Perfil 2019. São Paulo: 2019. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/wpcontent/uploads/2020/09/Perfil_2019_web_abiplast.pdf>. Acesso em: 30 abril 2023.



- ALVES, L. R.; CARRIELLO, G. M.; PEGORARO, G. M.; FILHO, F. A Utilização de Óleos Vegetais como Fonte de Polióis para Síntese de Poliuretano: Uma Revisão. **Disciplinarum Scientia**. Série: Naturais e Tecnológicas, v. 22, n. 1, p. 99-118, 2021.
- ASHIDA, K., **Polyurethane and related foams chemistry and technology**. Boca Raton: CRC Press, v.1, 2007. 155p.
- BRESOLIN, D. Poliuretanas obtidas em diferentes técnicas de polimerização oriunda de óleo de mamona modificado. 2014, 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Florianópolis, SC, 2014.
- CANGEMI, M. J.; SANTOS, A. M.; NETO, S. C. Poliuretano: de travesseiros a preservativos, um polímero versátil. **Química Nova na Escola**, v.31, n. 3, p. 159-164, 2009.
- CLEMENTE, M.; ROCHA, R. J.; ILHA, K.; ROCCO, J. A. F.F. Desenvolvimento de tecnologia de pré-polímeros na síntese de poliuretanos empregados em combustíveis sólidos. **Química Nova**, v. 37, n. 6, p. 982-988, 2014.
- COSTA, A. P. O.; PETZHOLD, C. L.; GERBASE, A. E.; SILVA, R.B. Síntese e Caracterização de Compósitos de Poliuretanas obtidas com Polioli-Soja/TDI/Cargas Minerais. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 4, p. 1434-1448, 2017.
- DESROCHES, M.; ESCOUVOIS, M.; AUVERGNE, R.; CAILLOL, S.; BOUTEVIN, B. From vegetable oils to polyurethanes: Synthetic routes to polyols and main industrial products. **Polymer Reviews**, v. 52, n. 1, p. 38-79, 2012
- HERNÁNDEZ, N. L. P. Síntese de biopolímeros a partir de óleo de mamona para aplicações médicas. 2015. 129f. TCC (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- HILKER, I. *et al.* Chemo-enzymatic epoxidation of unsaturated plant oils. **Chemical Engineering Science**, v. 56, n. 2, p. 427-432, 2001.
- LIMA, A. S. Síntese e caracterização de espumas rígidas de poliuretano obtidas a partir do óleo residual de fritura. UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU, 2022.
- LUIS, D. D. F. Modelagem e simulação do processo de epoxidação de óleo vegetal. São Bernardo do Campo, 2021. 95 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Química) - Centro Universitário FEI, 2021.
- NOHRA, B.; CAND, L.; BLANCO, J. F.; GUERIN, C. From petrochemical polyurethanes to biobased polyhydroxyurethanes. **Macromolecules**, v. 46, n. 10, p. 3771-3792, 2013.
- SHIRKE, A. G.; DHOLAKIYA, B. Z.; KUPERKAR, K. Modification of tung oil-based polyurethane foam by anhydrides and inorganic content through esterification process. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 135, n. 5, p. 1-10, 2017.
- Markets and Markets. Polyols Market by Type (Polyether polyols and Polyester polyols), Application (Flexible Polyurethane Foam, Rigid Polyurethane Foam, CASE), End-Use Industry (Building & Construction, Automotive, Electronics), and Region - Global Forecast to 2027. 2022. Disponível em: Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/polyols-market-725.html?gclid=CjwKCAjwzJmlBhBBEiwAEJyLu3ai_pIrQfXtbeANPvMJG7M8TzpTloImubS4twz6TV6Yk6Qs1jQShoCUYYQAvD_BwE> . Acesso em: 6 jul. de 2023.
- NASCIMENTO, B. Z.; LIMA, K. F. F.; SILVEIRA, V. C.; NOGUEIRA, C. M.; COSTA, A. P. O. Estudo da Obtenção de Polioli Vegetal a partir da Espécie Crambe Abyssinica. **Brazilian Journal of Production Engineering**. p 27-34. 2017.
- NASCIMENTO, B. Z.; COSTA, A. P. O. Hidroxilação dos Óleos de Girassol, Milho e Crambe e Caracterização Química dos Polióis Vegetais Obtidos. **Revista Matéria**, v.25, n.3, 2020
- SILVA, S. A. Síntese e caracterização de poliuretanos - espumas flexíveis puras e compósitos a partir de polióis à base de óleo de milho: e adesivos à base de derivados de óleo de rícino. Tese (Doutorado em Ciências na área de concentração Química Orgânica). 2014, 208 f. Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Química, Curitiba, 2014.
- SZYCHER M. **Szycher's handbook of polyurethanes**. Boca Raton: CRC Press. V.2, 2012. 1112p.
- PEREIRA, C. G.; COLLA, J. N.; CARMINATTI, L. P.; ZILLI, M. B.; KOENIG, F. Estudo de novos polímeros biodegradáveis para a aplicação no segmento de utilidades domésticas. **I Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG**. Caxias do Sul, RS. 2013.
- ROSA, G. M. Viabilidade da utilização do óleo de baru na síntese de poliuretanas. Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Química da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Doutor em Química. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2020.
- SILVA, S. A. Síntese e caracterização de poliuretanos - espumas flexíveis puras e compósitos a partir de polióis à base de óleo de milho: e adesivos à base de derivados de óleo de rícino. Tese (Doutorado em Ciências na área de concentração Química Orgânica). 2014, 208 f. Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Química, Curitiba, 2014
- SOTO, G. D.; MARCOVICH, N. E.; MOSIEWICKI, M. A. Flexible polyurethane foams modified with biobased polyols: Synthesis and physical-chemical characterization, **Journal of Applied Polymer Science**, v. 133, n. 35, pp. 1-11, Sep. 201
- VILAR, W. D. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. 5^o ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria Tecnica, 1999.



Área: Economia Circular

**THE PROSPECTS OF OBTAINING MINERAL COMMODITIES FROM
INDUSTRIAL WASTEWATER**

Samarah Graciola*

Undergraduate Program in Chemical Engineering, University of Passo Fundo, 99052-900, Passo Fundo, RS, Brazil.

**E-mail: 178902@upf.br*

ABSTRACT – The traditional industry operates within a linear economic framework, characterized by an approach that often leads to resource depletion and environmental degradation. However, in response to growing concerns over sustainability and resource scarcity, the sector's perspective is undergoing a significant transformation. This shift involves embracing concepts such as Reduce, Reclaim, Recovery, Recycle, Remediation, Renovation, Replenish, Resilience, Restore, Reuse, Reverence to nature, Reclamation, Repurposing and Rainwater harvest—the multiple "R"s of residues. By adopting these principles, the industry not only mitigates its environmental footprint but also taps into new opportunities for sustainable growth and innovation. In this context, resource recovery emerges as a pivotal strategy, treating residues not as waste but as valuable commodities that can be reclaimed and reintegrated into the production cycle. This approach not only minimizes the need for new resources but also reduces waste generation and associated environmental impacts. Looking ahead, the adoption of these sustainable practices is poised to reshape the mineral industry, fostering a more circular and regenerative economy. By prioritizing resource efficiency, waste reduction, and environmental stewardship, the industry can not only enhance its resilience to future challenges but also contribute to the broader transition towards a more sustainable and equitable society. In line with these objectives, the aim of this study was to explore the insights of the newly researched perspectives of obtaining mineral commodities from industrial wastewater.

Keywords: circular economy; effluent; industrial; recovery; sustainability.

1 INTRODUCTION

The shift towards valuing waste as a resource of immense potential is gaining significant traction, particularly within the realms of industrial processes, water treatment facilities, and sewage treatment plants (Nouhou Moussa et al., 2023; Prasad, 2023). Departing from the conventional perception of waste as devoid of value, this evolving perspective regards it as a reservoir of untapped opportunities (Nunes et al., 2023).

At the forefront of this shift lies the concept of resource recovery from effluents, encompassing diverse forms ranging from liquid to solid and semi-solid by-products (Justino et al., 2022; Sar et al., 2022). Beyond the imperative of mitigating environmental pollution, the primary objective is to harness the latent nutrients and compounds embedded within effluents, thereby converting them into valuable commodities (Ayeyemi et al., 2023; Cunha et al., 2022; Dehnavi & Ebrahimipour, 2023).

To achieve this transformative goal, a myriad of strategies is employed, spanning cutting-edge technologies to innovative processes and management practices (Aguilar-Pozo et al., 2023; Jellali et al., 2023; Nunes et al., 2023; Stasinakis et al., 2022; Zhang et al., 2023). This multifaceted approach not only serves to alleviate environmental burdens but also unlocks new avenues for sustainable resource utilization and economic growth. In line with these objectives, the aim of this study was to explore the insights of the newly researched perspectives of obtaining mineral commodities from industrial wastewater.

2 METHODOLOGY

The methodology employed in this study involved conducting a comprehensive literature review using the Scopus search database. The search was conducted utilizing the keywords "circular economy," "industrial wastewater," and "mineral" to identify relevant scientific works. The bibliographic research was focused on selecting publications from the years 2014 - 2024 for the literature review, while also including some seminal works from earlier years deemed to be



of significant relevance to the topic. The scope of the report was primarily to provide insights into the main structures and perspectives within the emerging field to offer a comprehensive understanding of the subject matter.

3 BIBLIOGRAPHIC REVIEW

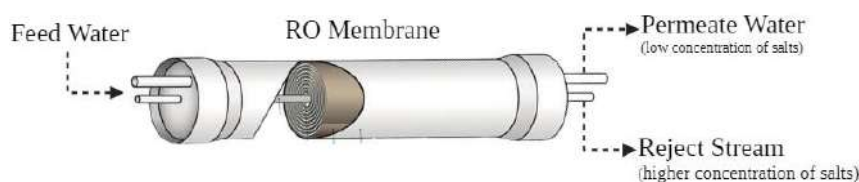
Effluents frequently harbor essential nutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium, all vital for fostering plant growth. Membrane filtration processes offer a means to recover these nutrients by segregating the liquid into permeated and retained components, with the latter containing the desired compounds. Furthermore, nutrient recovery is attainable through the utilization of sludge produced in physical-chemical processes. This sludge comprises nutrients and organic matter, both of which possess considerable value for agricultural applications.

In the industry and within the realm of reverse osmosis (RO) technology, the term "reject" refers to the portion of water that fails to pass through the RO membrane and is consequently discarded as wastewater. RO, a water purification process, employs a semipermeable membrane to eliminate ions, molecules, and larger particles from water (Chen et al., 2019).

RO finds widespread applications in the industry, including the concentration of dairy products, water purification for equipment cleaning and processing, as well as wastewater treatment (Alalam et al., 2022).

During the RO process, the effluent undergoes membrane filtration to segregate impurities such as minerals, salts, and other dissolved solids from water. The purified water that successfully permeates through the membrane is commonly termed "permeate water" while the portion containing concentrated impurities, which does not pass through the membrane, is referred to as "reject stream" (Brião et al., 2019; Seguenka et al., 2018).

Figure 1 – Diagram of the water flow through an RO membrane.



Source: Author (2024).

The RO technology is capable of removing 95-99% of dissolved ions, particles, colloids, organics, bacteria, and pyrogens from feed water. An RO membrane selectively rejects contaminants based on their size and charge (Shaheen & Cséfalvay, 2024). Contaminants with a molecular diameter exceeding $10^{-4} - 10^{-3} \mu\text{m}$ are typically rejected by a properly functioning RO system (Carter et al., 2021). Moreover, contaminants with a higher ionic charge are less likely to pass through the RO membrane. For instance, a monovalent ion like sodium is not as effectively rejected by the RO membrane compared to a divalent ion like calcium, which has two charges (Sharma et al., 2023).

Thus, owing to its low organic matter concentration, minimal turbidity, and absence of solids, wastewater is viewed not as waste but as a valuable raw material source for compound extraction, including minerals (Andrade et al., 2015; Fraga et al., 2017). Potassium, for instance, serves a critical role in numerous industries, particularly agriculture, where, when combined with nitrogen and phosphorus, it constitutes one of the primary fertilizers utilized globally (Gustavo et al., 2019; Jing et al., 2023).

To achieve this objective effectively, research efforts must focus on developing a selective separation method enabling the recovery of target components while circumventing impurities such as sodium (Na), deemed undesirable in fertilizer production (García & García, 2023).

The availability of essential nutrients like nitrogen, phosphorus, and potassium (NPK) is crucial for fertilization, as repeated cultivation cycles on the same land can deplete these nutrients and result in losses through leaching (Dehnavi & Ebrahimipour, 2023; Vilela et al., 2004).

Potassium plays a pivotal role as a macronutrient in plants, regulating the opening and closing of stomata, particularly vital in adverse conditions such as water scarcity, significantly contributing to plant survival (Portela & Abreu, 2019).

Despite Brazil's significant potassium ore production, the country faces substantial demand that surpasses its supply capacity, as noted by Motta (2020). This is particularly concerning given potassium's paramount importance in agriculture, as emphasized by Baligar and Bennett (1986) and García and García (2023).



Consequently, Brazil assumes a position of reliance on imports in the global potash market, heavily dependent on supplier countries such as Canada (31.25%), Belarus (21.33%), Russia (16.46%), Germany (13.80%), and Israel (7.31%) (Silva et al., 2023), indicating a need for internal production or recovery.

4 CONCLUSION

Recognizing the value in waste offers a compelling opportunity to introduce innovative and sustainable practices into various sectors. By reclaiming nutrients from waste, for instance, we can produce valuable fertilizers essential for agricultural productivity. Similarly, repurposing reclaimed water from waste streams finds applications across diverse sectors, spanning from industrial processes to urban landscaping and irrigation. Moreover, embracing resource recovery not only aids in conserving natural resources but also fosters economic growth by unlocking new avenues for value creation. By adopting a circular economy approach, wherein waste is minimized, and resources are utilized efficiently, we can further bolster sustainability efforts and promote resilience within our socio-economic systems. This holistic approach not only addresses environmental challenges but also catalyzes the transition towards a more prosperous and sustainable future for all.

5 REFERENCES

- Aguilar-Pozo, V. B., Chimenos, J. M., Elduayen-Echave, B., Olaciregui-Arizmendi, K., López, A., Gómez, J., Guembe, M., García, I., Ayesa, E., & Astals, S. (2023). Struvite precipitation in wastewater treatment plants anaerobic digestion supernatants using a magnesium oxide by-product. *Science of The Total Environment*, 890, 164084. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.164084>
- Alalam, S., Chamberland, J., Gravel, A., Perreault, V., Britten, M., Pouliot, Y., Labrie, S., & Doyen, A. (2022). Valorization of Concentrated Dairy White Wastewater by Reverse Osmosis in Model Cheese Production. *Dairy 2022*, Vol. 3, Pages 248-261, 3(2), 248–261. <https://doi.org/10.3390/DAIRY3020020>
- Andrade, L. H., Mendes, F. D. S., Espindola, J. C., & Amaral, M. C. S. (2015). Reuse of dairy wastewater treated by membrane bioreactor and nanofiltration: Technical and economic feasibility. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 32(3), 735–747. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20150323S00003133>
- Ayeyemi, T., Recena, R., García-López, A. M., & Delgado, A. (2023). Circular Economy Approach to Enhance Soil Fertility Based on Recovering Phosphorus from Wastewater. *Agronomy*, 13(6), 1513. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY13061513/S1>
- Brião, V. B., Vieira Salla, A. C., Miorando, T., Hemkemeier, M., & Cadore Favaretto, D. P. (2019). Water recovery from dairy rinse water by reverse osmosis: Giving value to water and milk solids. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 313–323. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.10.007>
- Carter, B. G., Cheng, N., Kapoor, R., Meletharayil, G. H., & Drake, M. A. (2021). Invited review: Microfiltration-derived casein and whey proteins from milk. *Journal of Dairy Science*, 104(3), 2465–2479. <https://doi.org/10.3168/JDS.2020-18811>
- Chen, G. Q., Leong, T. S. H., Kentish, S. E., Ashokkumar, M., & Martin, G. J. O. (2019). Membrane Separations in the Dairy Industry. *Separation of Functional Molecules in Food by Membrane Technology*, 267–304. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815056-6.00008-5>
- Cunha, T. M. P., Canella, M. H. M., Haas, I. C. da S., Amboni, R. D. de M. C., & Prudencio, E. S. (2022). A theoretical approach to dairy products from membrane processes. *Food Science and Technology (Brazil)*, 42. <https://doi.org/10.1590/FST.12522>
- Dehnavi, S. M., & Ebrahimipour, G. (2023). Biostimulation of Petroleum-Contaminated Soils with Synthetic and Natural Sources of NPK Fertilizer. <https://doi.org/10.1080/15320383.2023.2209186>
- Fraga, F. A., García, H. A., Hooijmans, C. M., Míguez, D., & Brdjanovic, D. (2017). Evaluation of a membrane bioreactor on dairy wastewater treatment and reuse in Uruguay. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 119, 552–564. <https://doi.org/10.1016/J.IBIOD.2016.11.025>
- García, G. N., & García, S. N. (2023). *Fertilizantes: Química y Acción* (2nd ed.). Mundi-Prensa.
- Jellali, S., Khiari, B., Al-Harrasi, M., Charabi, Y., Al-Sabahi, J., Al-Abri, M., Usman, M., Al-Raeesi, A., & Jeguirim, M. (2023). Industrial sludge conversion into biochar and reuse in the context of circular economy: Impact of pre-modification processes on pharmaceuticals removal from aqueous solutions. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 33, 101114. <https://doi.org/10.1016/J.SCP.2023.101114>



12° SIAL

Simpósio de Alimentos 2024

3, 4 e 5 de Abril



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

- Justino, H. de F. M., Cunha, J. S., Martins, C. C. N., & Leite Júnior, B. R. de C. (2022). Principais biopolímeros derivados de subprodutos alimentares: uma breve revisão. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 8(7), 14711–01e. <https://doi.org/10.18540/JCECVL8ISS7PP14711-01E>
- Motta, M. B. (2020). *Avaliação do potencial de potássio no Brasil: área Bacia do Amazonas, setor centro-oeste, estados do Amazonas e Pará*. CPRM.
- Nouhou Moussa, A. W., Sawadogo, B., Konate, Y., Sidibe, S. D. S., & Heran, M. (2023). Critical State of the Art of Sugarcane Industry Wastewater Treatment Technologies and Perspectives for Sustainability. *Membranes (Basel)*, 13(8), 709-. <https://doi.org/10.3390/membranes13080709>
- Nunes, F. C., Oliveira, L. C., de Jesus Alves, L., Prasad, M. N. V., & Anjos, J. Â. S. A. dos. (2023). Mine waste: contributions to the circular economy. *Sustainable and Circular Management of Resources and Waste Towards a Green Deal*, 93–104. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95278-1.00011-5>
- Portela, E., & Abreu, M. M. (2019). Fixação do potássio nos solos portugueses. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(3), 569–591. <https://doi.org/10.19084/RCA18100>
- Prasad, M. N. V. (2023). Circular Economy in Domestic and Industrial Wastewaters: Challenges and Opportunities. *Advances in Science, Technology and Innovation*, 167–189. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18165-8_13/COVER
- Sar, T., Harirchi, S., Ramezani, M., ... G. B.-S. of T. T., & 2022, undefined. (2022). Potential utilization of dairy industries by-products and wastes through microbial processes: A critical review. *Elsevier*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721073290>
- Seguenka, B., Barbosa Brião, V., Castoldi, V., Slongo Fortuna, S., Maria Endres, C., & Maria Rodrigues, V. (2018). Produção De Concentrado Proteico E Lactose De Soro De Leite Por Processos De Separação Por Membranas. *X Simpósio de Alimentos*, 10.
- Shaheen, R., & Cséfalvay, E. (2024). The effect of pretreatment and the operating temperature on reverse osmosis in make-up water preparation. *Water Resources and Industry*, 31. <https://doi.org/10.1016/J.WRI.2024.100244>
- Sharma, P. P., Mohammed, S., Aburabie, J., & Hashaikeh, R. (2023). Valorization of Seawater Reverse Osmosis Brine by Monovalent Ion-Selective Membranes through Electrodialysis. *Membranes (Basel)*, 13(6), 562-. <https://doi.org/10.3390/membranes13060562>
- Silva, L., Monteiro, R. G., Silva, P. S. da, & Santos, J. W. B. dos. (2023). Caracterização hidrogeoquímica das águas de poços subterrâneos no município de Vitória da Conquista, Bahia. *Brazilian Journal of Development*, 9(6), 19239–19258. <https://doi.org/10.34117/BJDV9N6-036>
- Stasinakis, A. S., Charalambous, P., & Vyrides, I. (2022). Dairy wastewater management in EU: Produced amounts, existing legislation, applied treatment processes and future challenges. *Journal of Environmental Management*, 303. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.114152>
- Vilela, L., Souza, D. M. G. de, & Silva, J. E. da. (2004). Cerrado: correção do solo e adubação. *Cerrado - Correção Do Solo e Adubação*, 176–180. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/555355>
- Zhang, X., Zeng, L., Wang, Y., Tian, J., Wang, J., Sun, W., Han, H., & Yang, Y. (2023). Selective separation of metals from wastewater using sulfide precipitation: A critical review in agents, operational factors and particle aggregation. *Journal of Environmental Management*, 344, 118462. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2023.118462>



Área: Economia Circular

VALORAÇÃO DE BAGAÇO DE MALTE PARA PRODUÇÃO DE PÃES

Gabriela Paula Vieira Dalmora, Gabrielle Fusiger Berwian, Johanna Bassi Kleer, Marcelo Hemkemeier, Aline Dettmer

Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Mestrado, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**E-mail: 150800@upf.br*

RESUMO – O bagaço de malte é composto principalmente por celulose, hemicelulose, lignina, proteínas, lipídios e compostos fenólicos e apresenta também fibras, vitaminas e minerais. Além de sua aplicação tradicional como ração animal, estudos vêm sendo realizados para utilizá-lo na produção de alimentos para consumo humano, como é o caso dos pães produzidos neste estudo, a partir de farinha de bagaço de malte. O bagaço de malte utilizado neste estudo foi proveniente da produção de cervejas artesanais do tipo pilsen, em uma cervejaria local. O resíduo foi seco e moído, para preparação da farinha, que foi caracterizada de acordo com a umidade, amido, proteína, lipídios, fibra bruta e cinzas. A partir da farinha foram preparadas três amostras diferentes de pães, com proporções de 15, 25 e 50% de farinha de bagaço de malte. Os resultados indicaram que a farinha de bagaço de malte apresenta-se como uma opção eficaz para a produção de pães com características funcionais e um apelo pela conservação do meio ambiente. A formulação de 15% de farinha de bagaço malte resultou em um pão com sabor e textura mais próximos dos tradicionais.

Palavras-chave: Resíduos. Cervejarias. Panificação

1 INTRODUÇÃO

A cerveja é uma bebida fermentada conhecida desde a antiguidade. No ano de 2022 o número de estabelecimentos no Brasil atingiu 1729 cervejarias, sendo que 1 em cada 8 municípios brasileiros possuem pelo menos uma cervejaria registrada, com crescimento médio anual de mais de 10% (Brasil, 2023).

Um dos resíduos gerados durante a fabricação de cerveja é o bagaço de malte. O bagaço é formado depois da germinação do malte da cevada e da mistura (mosturação), durante a filtração da mostura. A produção desse resíduo pode variar entre 14 e 20 kg de bagaço para cada 100 litros de cerveja produzida. Sua composição é principalmente de celulose, hemicelulose, lignina, proteínas, lipídios e compostos fenólicos. O bagaço também contém fibras, vitaminas e minerais. Sua composição depende tanto do tipo de malte utilizado quanto do processo específico de produção de cerveja (Melo; De Jesus; Cavalcanti, 2024).

Uma das principais aplicações do bagaço de malte é como ração animal, no entanto, outras formas de uso têm sido estudadas, como por exemplo, em alimentos para consumo humano. O estudo de Santos e Ribeiro (2005) descreve que o bagaço de malte pode ser utilizado na fabricação de bolos, de modo a produzir bolos com maior valor nutricional e contribuir para a recuperação de nutrientes que atualmente são descartados, além de proporcionar benefícios ambientais, sociais e econômicos.

O principal desafio ambiental relacionado à gestão do bagaço de malte, é seu grande volume, que pode representar uma carga significativa em aterros sanitários e contribuir para os problemas de gestão de resíduos. Além disso, há preocupações com a possível poluição do solo e dos aquíferos, caso haja uma disposição inadequada destes resíduos. No entanto, existem alternativas sustentáveis e benéficas, como o seu uso na produção de alimentos funcionais, ou como suplementos alimentares para animais na produção agropecuária. Tais alternativas além de reduzirem os impactos ambientais gerados pelo resíduo, ainda geram renda para a indústria cervejeira (Ivanova *et al.*, 2017).

Diante disto, busca-se uma destinação que promova a valorização dessas grandes quantidades de resíduos orgânicos. Para isto, este estudo tem por objetivo valorizar o bagaço de malte, através da produção da farinha do resíduo, estabelecendo um processo de produção eficiente para a obtenção de farinha de bagaço de malte. Isso inclui a seleção adequada do malte, a secagem e trituração do bagaço, garantindo a qualidade e pureza do produto. E também, desenvolver receitas de pães utilizando a farinha como ingrediente principal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Produção e caracterização da farinha de bagaço de malte



O bagaço de malte utilizado foi doado por uma indústria de cervejas artesanal, situada em Passo Fundo/RS. A coleta do resíduo aconteceu após a etapa de filtração do mosto fervido, durante a produção de um lote de cervejas do tipo Pilsen.

Para dar início a produção da farinha, o bagaço precisou passar por um processo de secagem, uma vez que após a filtração o resíduo ainda possui grande quantidade de umidade. Para tal, o bagaço foi disposto em bandejas e seco em estufa com circulação e renovação (TE-394/1, Tecnal, Brasil), a 100 °C por 2 horas, em seguida, os grãos secos moídos em moinho de facas (MA090/CFT, Marconi, Brasil), com temperatura controlada a 16°C com banho de circulação externa (SL-152, Solab, Brasil). A etapas para produção da farinha aconteceram conforme fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma da produção da farinha de bagaço de malte



Fonte: Autoras, 2023.

Após a moagem a farinha obtida foi caracterizada pelo método de espectroscopia (NIRSTM DS2500, Foss, Brasil), onde as amostras são escaneadas expressando os resultados de umidade, amido, proteínas, lipídios, fibra bruta e cinzas.

2.2 Formulação e processamento dos pães

Para a produção dos pães com adição da farinha de bagaço do malte foram desenvolvidas três (3) formulações, conforme a Tabela 1. A mistura dos insumos foi realizada em batedeira planetária industrial (BP-12/G2, Gastromaq, Brasil), e pesada em balança analítica. Após a mistura dos ingredientes as massas passaram por uma primeira etapa de fermentação, posteriormente os pães foram moldados manualmente e dispostos em assadeiras, passando por uma segunda etapa de fermentação por uma hora, até que os menos dobrasse o seu tamanho inicial. Por fim, os pães foram assados em forno a 180°C, por aproximadamente 45 minutos

Tabela 1 - Formulação dos pães com adição de farinha de bagaço do malte

Ingredientes	Percentual de farinha de bagaço de malte		
	15%	25%	50%
Farinha de trigo (g)	850	750	500
Farinha de bagaço de malte (g)	150	250	500
Leite (mL)	250	250	250
Água (mL)	250	250	250
Fermento biológico (g)	20	20	20
Margarina (g)	30	30	30
Açúcar (g)	40	40	40



Sal (g) 5 5 5

Fonte: Autoras, 2023.

2.3 Análise de textura e sabor

As autoras avaliaram visualmente e sensorialmente os pães com a farinha de bagaço de malte, analisando quesitos como sabor, aparência, coloração do miolo, maciez e mastigabilidade, quando comparado aos pães tradicionais, produzidos exclusivamente com farinha de trigo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição química do bagaço de malte

A farinha obtida após o processo de secagem e moagem do bagaço de malte demonstrou uma textura fina, conforme ilustrado na Figura 2, sendo esta característica bastante semelhante à observada em farinhas culinárias tradicionais. Além disso, a farinha apresentou um aroma característico do malte, com notas pronunciadas de cereais, caramelo e tostado.

Figura 2 - Farinha de bagaço de malte



Fonte: Autoras, 2023.

A composição centesimal da farinha de bagaço de malte utilizada na produção dos pães foi caracterizada de acordo com a umidade, amido, proteína, lipídios, fibra bruta e cinzas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição centesimal da farinha de bagaço de malte.

Caracterização	Resultados
Umidade	10,09 ± 0,03
Amido	36,70 ± 0,12
Proteína	14,03 ± 0,06
Lipídios	5,03 ± 0,06
Fibra bruta	10,05 ± 0,01
Cinzas	1,65 ± 0,02



Fonte: Autoras, 2023.

A composição do bagaço de malte, reportada por Rigo *et al.*, (2016), em base seca se encontra semelhante para as concentrações de umidade 5,2; proteínas 12,5; lipídios 5,9 e cinzas 3,4, contudo, os teores de amido e fibra bruta apresentaram diferenças significativas em relação ao estudo analisado.

As altas concentrações de amido e baixas concentrações de fibra bruta podem significar o mau processamento do malte. O bagaço de malte é um subproduto do processo de maltagem, que envolve a germinação e secagem do grão de cevada. Durante esse processo, o amido presente no grão é convertido em açúcares fermentáveis, que são então utilizados pela levedura durante a fermentação da cerveja, sendo assim, as altas concentrações de amido no bagaço de malte indicam que a conversão de amido em açúcares fermentescíveis não foi completa, resultando em um baixo rendimento de fermentação e em uma cerveja com baixo teor alcoólico (Liguori *et al.*, 2021).

3.2 Formulação dos pães

A utilização da farinha de bagaço de malte, como substituto parcial da farinha de trigo, mostrou ser uma opção a ser considerada para a produção dos pães. A presença da farinha de malte está diretamente relacionada às características físicas dos pães (volume, textura e cor) bem como a composição nutricional devido a fibras presentes no processamento do malte.

De forma geral, todas as formulações de pães em que foi utilizada a farinha de bagaço de malte resultaram em produtos mais úmidos e fibrosos, quando comparados aos pães tradicionais de farinha de trigo. Tais características também foram evidenciadas por Santos *et al.*, (2017), quando concluíram que os bolos obtidos com farinha de bagaço de malte apresentaram porcentagem superior de umidade, fibras e proteínas, em comparação aos bolos tradicionais feitos a partir de trigo.

Pelas análises visuais e sensoriais realizadas pelas autoras, a respeito das mudanças de sabor, aparências e coloração do miolo e na mastigabilidade, a máxima substituição da farinha de trigo por farinha de bagaço é de 15% para pães de forma. Sendo essa a formulação que apresentou a melhor manutenção da textura, aroma e sabor dos tradicionais. Enquanto que, nas formulações com maiores teores de farinha de malte (25 e 50%), resultaram em pães mais duros com textura e aparência menos agradáveis, fazendo com o seu produto tenha menor aceitabilidade sensorial.

Figura 6 - Pães com farinha de bagaço de malte



Fonte: Autoras, 2023.

Para aprimorar o volume e a textura dos pães pode-se adicionar glúten na formulação e realizar a redução de sódio adicionado. No processamento busca-se o equilíbrio das fibras solúveis e ácidos graxos, relacionados à reação de *Maillard*, responsável pela formação de compostos que conferem sabor, aroma e cor aos alimentos cozidos, como é o caso da crosta dourada do pão (Göncüoğlu; Gökmen, 2017).



Com isso, o objetivo da valoração do bagaço de malte foi satisfatório, resultando em pães com textura e sabor muito próximo dos tradicionais. Entretanto os pães ainda necessitam de melhorias na formulação para verificação da introdução de maiores quantidades da utilização da farinha de bagaço sem alteração sensorial e estrutural dos pães.

Para próximos estudos, pode-se avaliar o peneiramento da farinha de bagaço mais fino para impedir a formação de grumos ou se o aumento do tempo de sovagem pode influenciar na formação de pães com aparência e sabor mais similares aos convencionais. E também a realização de uma análise sensorial completa, com avaliadores não treinados, que possam avaliar as três formulações de pães com farinha de bagaço de malte quanto a cor, aroma, sabor, textura e mastigabilidade, em uma escala hedônica verbalmente estruturada de sete pontos.

4 CONCLUSÃO

A utilização da farinha de bagaço de malte apresentou-se como uma opção viável para produção de pães. A formulação de 15% de farinha de bagaço de malte resultou em um pão com sabor e textura mais próximos dos tradicionais. Os resultados mostram o potencial da utilização de um subproduto da indústria alimentícia para a produção de novos produtos, com características nutricionais funcionais e apelo pela conservação do meio ambiente. Para que o produto seja produzido industrialmente, devemos completar este estudo com mais algumas informações: tempo de vida de prateleira, análises físico químicas no pão para realização da elaboração da rotulagem, análises sensoriais comparativas com outros tipos de pães e análise de aceitação do consumidor em relação ao que já se possui no mercado.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão a Universidade de Passo Fundo (UPF) pela infraestrutura disponibilizada para a realização das análises presentes em nosso artigo, a CAPES pelo suporte financeiro e a Cervejaria Farrapos pela doação do resíduo que foi fundamental para a realização deste estudo.

6 REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Anuário da Cerveja 2022 / Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília : MAPA/SDA, 2023.

GÖNCÜOĞLU TAŞ, N.; GÖKMEN, V. Maillard reaction and caramelization during hazelnut roasting: A multiresponse kinetic study. *Food Chemistry*, v. 221, p. 1911–1922, abr. 2017.

IVANOVA, K. et al. Extrusion of brewers' spent grains and application in the production of functional food. Characteristics of spent grains and optimization of extrusion. *Journal of the Institute of Brewing*, v. 123, n. 4, p. 544–552, 1 out. 2017.

LIGUORI, L. et al. Influence of malt composition on the quality of a top fermented beer. *Journal of Food Science and Technology*, v. 58, n. 6, p. 2295–2303, 25 jun. 2021.

MELO, A. E. S. DOS S.; DE JESUS, L. F. F. DA S.; CAVALCANTI, L. A. P. APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE MALTE DA PRODUÇÃO CERVEJEIRA COMO MATÉRIA PRIMA PARA BIOCOMBUSTÍVEIS. *REVISTA FOCO*, v. 17, n. 1, p. e4201, 22 jan. 2024.

Rigo, M. et al. Avaliação físico-química e sensorial de biscoitos tipo cookie adicionados de farinha de bagaço de malte como fonte de fibra. *Ambiência*, v. 13, n. 1, 2017.

SANTOS, C. O. et al. Resource recovery in the food industry: use in the development of cakes *International Food Research Journal*. [s.l.], 2017.

Santos, MS e Ribeiro, FM 2005. Cerveja e refrigerante bebidas. CETESB, São Paulo.



Área: Economia circular

**VALORAÇÃO DOS EFLUENTES GERADOS DO PROCESSO DE
EXTRAÇÃO E PURIFICAÇÃO DE FICOCIANINA**

Verônica Gamba^a, Vandré Barbosa Brião^b

*Laboratório de Operações Unitárias, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos,
Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS.*

^aE-mail: eng.veronicagamba@gmail.com

^bE-mail: vandre@upf.br

RESUMO – A *Spirulina sp.* é microalga que contém a ficocianina, um pigmento azul com propriedades terapêuticas e elevada concentração de proteína. Sua aplicação em indústria de alimentos vem sendo ampliada como primeiro corante natural. O processo de obtenção de ficocianina, requer elevado consumo de água através de soluções de tampão fosfato e sua concentração e purificação através de diafiltração com membranas de separação. O objetivo deste trabalho visa caracterizar as soluções de extração da ficocianina com tampão fosfato e caracterizar as águas provenientes do processo de diafiltração. A extração e concentração foi realizada através de uma membrana de ultrafiltração, com pressão de 1,5 bar e concentração de 50% do volume inicial de ficocianina. A purificação foi realizada através do método de diafiltração, alimentando água ultrapura em uma proporção de três vezes o volume de que se desejava purificar. O método aplicado de extração e concentração apresentou $79,10 \pm 0,14$ mg.gcel⁻¹ de ficocianina com grau de pureza de $0,39 \pm 0,02$. A purificação via diafiltração, permite atingir concentração de ficocianina de $91,30 \pm 0,09$ mg.gcel⁻¹ e uma pureza de 0,46. A solução tampão proveniente do processo de extração e das etapas de purificação apresentou potencial para recuperação dos sais de fosfato, sendo uma alternativa a economia circular da operação.

Palavras-chave: Diafiltração. Ficocianina. Ultrafiltração. Tampão Fosfato.

1 INTRODUÇÃO

Devido as suas características funcionais, a aplicação de ficocianina em áreas como indústria de alimentos, biotecnologia e área da saúde apresenta aumento de escala industrial do composto. Contudo, os processos para obtenção de ficocianina necessitam de elevado volume de água, gerando elevado volume de descarte de efluentes (DJAMAI et al., 2019; LEVASSEUR; PERRÉ; POZZOBON, 2020).

Através da extração com solução tampão fosfato seguida de ultrafiltração e diafiltração, Brião et al, (2020) em seus estudos, obtiveram ficocianina de grau alimentar e esta técnica apresentou vantagem competitiva por exigir apenas um equipamento para a realização da purificação.

Nas etapas de extração e purificação de pigmentos, o volume necessário para a produção de 1 kg de ficocianina pode chegar a 5,4 m³ de água. Assim sendo, são visadas alternativas para uma redução drástica da pegada hídrica com a prática do reuso da água e subprodutos.

As vantagens deste processo em relação aos processos convencionais e o que o torna competitivo, é ser um processo atérmico, com baixo consumo de energia e produtos químicos e facilidade no escalonamento (BRIÃO et al, 2020). Apesar de suas potencialidades, o uso de processos de separação por membranas apresenta fatores-chave que impactam na operação e custos, devendo ser estudados.

A extração da ficocianina da biomassa da *Spirulina sp.* é complexa, pois a parede celular da cianobactéria apresenta resistência, por apresentar quatro camadas: a fibrila, peptidoglicano, proteínas e demais camadas análogas as bactérias gram-negativas (DE MORAIS et al., 2018; ÍLTER et al., 2018). A etapa de ruptura celular deve ser eficiente para que ocorra uma transferência de ficocianina para a solução de extração, bem como o tipo de solvente e a relação biomassa-solvente (LI et al., 2020; PAN-UTAI; IAMTHAM, 2019a).

Diversos autores, apresentam técnicas para rompimento celular para extração da ficocianina, como o choque osmótico com solução tampão fosfato, acetato ou água destilada com a associação ou não de métodos físicos de congelamento e descongelamento, maceração, sonificação e homogeneização por pressão.

A purificação em grande escala da ficocianina ainda é um desafio para as indústrias, e a busca por alternativas tecnológicas se tornou o foco de grandes pesquisas. Com o aumento da escala industrial, a pesquisa por métodos de



purificação visa: (i) explorar novas tecnologias para escala industrial com redução de custos e (ii) expandir a aplicação e da ficocianina em alimentos funcionais (YU et al., 2017).

Segundo Brião et al, (2020) a pureza da ficocianina é um fator chave da aplicação na indústria alimentícia, farmacêutica e médica. No entanto, os processos de purificação necessários para atingir o requerido grau de pureza podem impactar negativamente na bioatividade dos compostos.

BRIÃO et al., (2020), através de seus estudos demonstrou que é possível produzir ficocianina com grau de pureza alimentar através da extração com solução tampão fosfato seguida de ultrafiltração e diafiltração. Esta técnica apresentou vantagem competitiva por exigir apenas um equipamento para realização da purificação. Os autores indicaram os resultados de purificação por ultrafiltração e diafiltração como um dos processos mais promissores em relação aos outros apresentados.

A diafiltração é utilizada quando se deseja purificar um determinado soluto de uma solução, onde os contaminantes são compostos de dimensões menores do que as do soluto de interesse. Assim, os contaminantes vão sendo eliminados no permeado, enquanto a membrana retém o soluto de interesse. Entretanto, na perspectiva ambiental e da bioeconomia circular, etapas de diafiltração se tornam questionáveis pelo elevado volume de água ultrapura utilizada, podendo corresponder de 3 – 4 vezes o volume que se deseja purificar.

O objetivo deste trabalho consiste em caracterizar as soluções de extração da ficocianina com tampão fosfato e caracterizar as águas provenientes do processo de diafiltração e através da metodologia proposta, identificar oportunidades na valoração dos efluentes líquidos gerados, bem como os subprodutos do processo de extração, concentração e purificação da ficocianina.

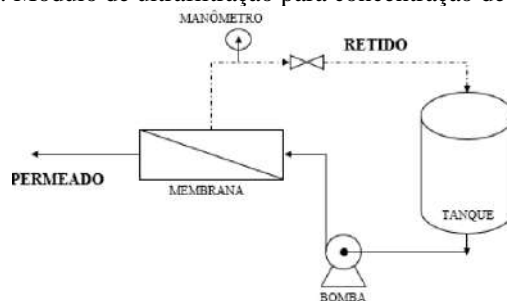
2 MATERIAL E MÉTODOS

A microalga *Spirulina sp.* LEB 18 foi utilizada na forma seca, proveniente de cultivos realizados na planta piloto de produção de microalgas do Laboratório de Engenharia Bioquímica da Universidade Federal de Rio Grande situada na cidade de Santa Vitória do Palmar/RS. Para caracterização da biomassa, foi realizada a quantificação de proteínas (LOWRY et al, 1951) e carboidratos (DUBOIS et al, 1956). A caracterização foi realizada em triplicata.

Para a extração da ficocianina, foi utilizada a razão de 1:100 (m/v) biomassa seca com solução tampão fosfato (0,1 mol.L⁻¹ e pH 7,0). A extração e separação da ficocianina do extrato bruto seguiram as recomendações de Brião et al, (2020) adaptadas de Chaiklahan et al, (2011). A solução de extração foi submetida ao processo de agitação em shaker a 150 rpm à temperatura de 20°C durante 4 horas. Para separar o extrato bruto de ficocianina dos resíduos celulares, foi realizada a centrifugação da solução a 4400g por 15 minutos, utilizando uma centrífuga CIENTEC CT-5000, sendo a fase sobrenadante de interesse.

A concentração da ficocianina por ultrafiltração, seguiu a metodologia descrita por Sbeghen, (2017) e Brião et al, (2020). A concentração foi realizada no módulo de filtração tubular tangencial apresentado na Figura 1, com volume de alimentação de extrato bruto de 5,75 L e sistema de recirculação de rejeito. O extrato bruto é bombeado para o módulo de filtração, permeando através de uma membrana tubular de Policloreto de vinilideno, área de filtração de 0,1 m² e tamanho de ponto de corte de 30 kDa a 80 kDa (30000 g.mol⁻¹ – 80000 g.mol⁻¹). O módulo foi adquirido da empresa WGM Sistemas (São Paulo – Brasil) e a membrana adquirida da Koch Membrane Systems.

Figura 1: Módulo de ultrafiltração para concentração de ficocianina



Fonte: Autor, (2024)

Durante a concentração, foram controladas as variáveis de pressão, mantida em 1,5 bar e temperatura de filtração de 20°C. Como forma de avaliar o grau de incrustação foi monitorado o fluxo de permeado. O processo de separação foi mantido até que o volume inicial fosse reduzido em 50% do volume inicial.



Para que houvesse o aumento de pureza da ficocianina, foram realizadas três etapas de diafiltração com água ultrapura proveniente do permeado da osmose inversa no mesmo equipamento, seguindo as recomendações descritas por Brião et al, (2020) onde retorna-se ao volume inicial de extrato bruto pela adição da água ultrapura até que seu volume seja reduzido em 50% e mantidas as condições de operação acima citada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização da biomassa da microalga *Spirulina sp.* LEB 18 apresentou a composição de: 57,93% \pm 2,38% de proteínas e 13,07% \pm 0,11% de carboidratos. Estes resultados são esperados pois a *Spirulina sp.* apresenta valores consideráveis de carboidratos e proteínas quando comparadas a outras cianobactérias e outras fontes de alimentos. Brião et al., (2020) em caracterização realizada para a mesma espécie da mesma planta piloto obtiveram concentrações entre 57,0% – 65,20% para proteínas e 10,6% – 11,05% para carboidratos.

A concentração e pureza de ficocianina estão apresentadas na Tabela 1.

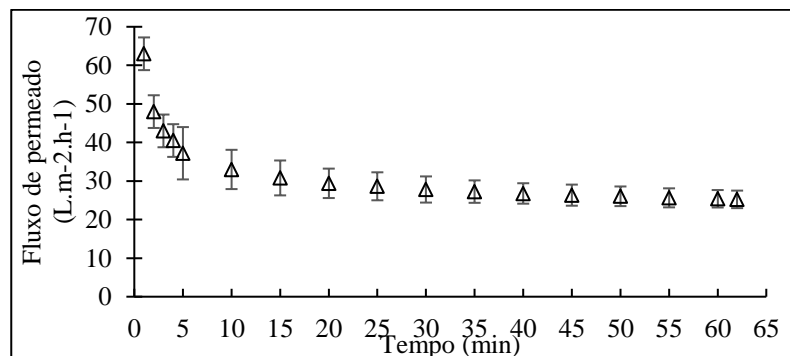
Tabela 1: Concentração e pureza dos extratos de ficocianina nas diferentes correntes do processo proposto

	Ficocianina (mg.gcel ⁻¹)	Pureza
Bruto após centrifugação	49,50 \pm 0,06	0,36 \pm 0,03
Concentrado ultrafiltração	79,10 \pm 0,14	0,39 \pm 0,02
Purificado 1ª DF	81,60 \pm 0,10	0,40 \pm 0,02
Purificado 2ª DF	87,90 \pm 0,14	0,42 \pm 0,04
Purificado 3ª DF	91,30 \pm 0,09	0,46 \pm 0,04

*Valores denotam a média \pm desvio padrão de quatro repetições. Fonte: Autor, (2024).

Pode-se observar que a concentração de ficocianina extraída pelo tampão fosfato é de 49,50 \pm 0,06. Em extração estática para mesma cultura de *Spirulina sp.*, Brião et al., (2020) atingiram concentrações de 58,54 \pm 0,25 e pureza de 0,51, valor superior ao encontrado neste experimento. Estudos desenvolvidos por Balti et al, (2020) definiram o processo de purificação por diafiltração demonstrou potencialidade no fracionamento das proteínas solúveis da *Spirulina sp.* para a extração da ficocianina. A purificação por diafiltração apresentou aumento de concentração e consequentemente pureza da ficocianina e redução da concentração de aloficocianina no decorrer da purificação. Na Figura 2 é possível verificar o comportamento do fluxo de filtração no decorrer da concentração.

Figura 2: Fluxo de permeado durante a concentração da ficocianina por ultrafiltração a 20°C e 150 kPa (1,5 bar) de pressão



Fonte: Autor, (2024).

Houve redução do fluxo inicial de permeado de 302 (L.m⁻².h⁻¹) para 66 (L.m⁻².h⁻¹) no primeiro minuto de concentração, correspondendo a 78% de redução do fluxo. Segundo Habert et al., (2006) os fenômenos relacionados a

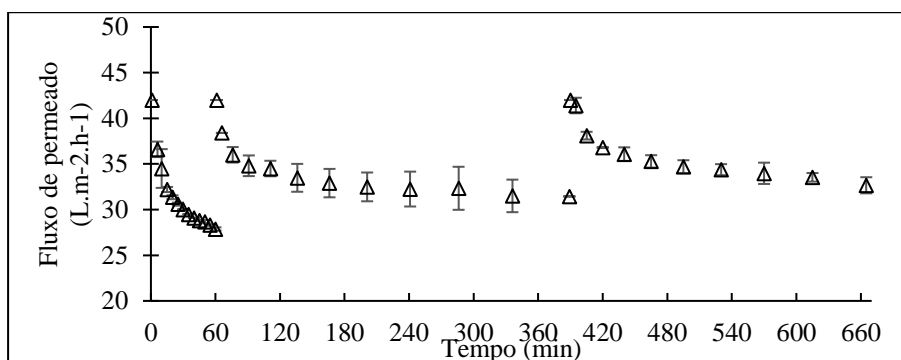


queda contínua de fluxo de permeado após a estabilização da polarização da concentração são chamados de *fouling*, o qual é esperado e limitante aos processos de separação por membranas por caracterizar a deposição de substâncias suspensas ou dissolvidas na superfície da membrana.

As características da composição química da biomassa da *Spirulina* sp., permite inferir segundo Qasim et al, (2019) que houve a ocorrência do *fouling* inorgânico, em decorrência da precipitação dos sais presentes na solução tampão, especialmente o fosfato e o *fouling* orgânico, relacionado ao tamanho molecular da ficocianina e alofocianina e conter com a presença de proteínas solúveis e insolúveis.

Na Figura 3 é possível verificar o comportamento do fluxo da membrana durante as etapas de purificação.

Figura 3: Fluxo de permeado durante a purificação da ficocianina com três diafiltrações a 20°C e 150 kPa (1,5 bar) de pressão



Fonte: Autor, (2024).

O fluxo de permeado é recuperado cerca de 40% durante a diafiltração após ser reconstituído o volume inicial com água destilada (visualizados nos tempos de 60 min e 390 min), sugerindo que a polarização da concentração causou o declínio do fluxo. Essa recuperação de fluxo ocorre porque a água adicionada dilui os sólidos presentes no retido, reduzindo a polarização por concentração. Entretanto, conforme a água adicionada é removida no permeado e o retido recupera sua concentração inicial, o fluxo volta a cair.

Por se tratar de uma barreira imperfeita, a membrana de UF permitiu na diafiltração, um produto 15% mais puro em relação à concentração convencional. Tecnicamente, isso significa que houve a perda de ficocianina no permeado, conforme observado nos estudos de Balti et al., (2021), isso permite que o permeado seja reciclado novamente através da extração para aumentar o rendimento, como sugerido por Chaiklahan et al., (2018) e realizado o experimento de recuperação destas águas por osmose inversa.

Na Tabela 2 estão apresentadas as caracterizações dos permeados da diafiltração.

Tabela 2: Caracterização dos permeados provenientes da purificação por diafiltração

	Ficocianina (mg.gcel ⁻¹)	Alofocianina (mg.gcel ⁻¹)	Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹)	Fosfato (mg.L ⁻¹)
Permeado 1 ^a DF	4,40±0,03	0,70±0,00	1800,75±152,7	335,67±25,60
Permeado 2 ^a DF	2,00±0,00	0,80±0,00	1105,68±123,73	177,51±14,73
Permeado 3 ^a DF	2,00±0,00	0,70±0,00	708,80±120,39	90,81±21,01
Mistura	2,20±0,00	0,10±0,00	1314,25±152,88	231,82±24,22

*Valores denotam a média ± desvio padrão de quatro repetições. Fonte: Autor, (2022).

Na Tabela 2 é possível avaliar que a primeira água da diafiltração apresenta maior concentração de ficocianina e fosfato, tornando-se promissora para a reutilização em outras extrações. É possível observar uma relação entre a concentração de fosfato e a condutividade elétrica, onde os resultados apresentados mostram que quanto maior a condutividade, maior a concentração de fosfato. Entretanto, através do balanço hídrico de operação seria inviável recuperar por osmose inversa apenas o permeado proveniente da primeira diafiltração,



4 CONCLUSÃO

A ultrafiltração seguida por diafiltração permitiu obter ficocianina de grau inferior ao grau alimentar. Apesar da ocorrência do *fouling* no decorrer da filtração, a diafiltração promoveu a recuperação de 40% do fluxo de permeado, devido a diluição dos sólidos presentes no retido, reduzindo a polarização por concentração.

Através de uma estratégia de recuperação das correntes de permeado, seria possível aumentar em 8 mg.gcel⁻¹ o rendimento de extração da ficocianina, bem como promover a sustentabilidade hídrica da operação. A presença de fosfato no permeado em concentrações de até 231 mg.L⁻¹ também se torna uma alternativa para o balanço hídrico da operação de extração, concentração e purificação da ficocianina.

5 AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade de Passo Fundo e a CAPES por proporcionar infraestrutura para a realização dos experimentos e a bolsa de estudo.

6 REFERÊNCIAS

- BALTI, R. et al. Fractionation of *Arthrospira platensis* (Spirulina) water soluble proteins by membrane diafiltration. *Separation and Purification Technology*, v. 256, n. September 2020, 2021.
- BRIÃO, V. B. et al. Is downstream ultrafiltration enough for production of food-grade phycocyanin from *Arthrospira platensis*? *Journal of Applied Phycology*, 2020.
- CHAIKLAHAN, R. et al. Separation and purification of phycocyanin from *Spirulina* sp. using a membrane process. *Bioresource Technology*, v. 102, n. 14, p. 7159–7164, 2011.
- CHAIKLAHAN, R. et al. Stepwise extraction of high-value chemicals from *Arthrospira* (Spirulina) and an economic feasibility study. *Biotechnology Reports*, v. 20, p. e00280, 2018.
- DE MORAIS, M. G. et al. Phycocyanin from microalgae: Properties, extraction and purification, with some recent applications. *Industrial Biotechnology*, v. 14, n. 1, p. 30–37, 2018.
- DJAMAI, W. et al. Membrane-assisted biorefinery of microalgae to obtain enriched fractions of bioderived molecules. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v. 13, n. 4, p. 878–888, 2019.
- DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method of determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.
- HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Processos de separação por membranas. E- papers. Ex 4, 180 p. Rio de Janeiro, 2006.
- ILTER, I. et al. Optimization of phycocyanin extraction from *Spirulina platensis* using different techniques. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 70, n. April, p. 78–88, 2018.
- LEVASSEUR, W.; PERRÉ, P.; POZZOBON, V. A review of high value-added molecules production by microalgae in light of the classification. *Biotechnology Advances*, v. 41, n. March, p. 107545, 2020.
- LI, Y. et al. Extraction of phycocyanin—A natural blue colorant from dried spirulina biomass: Influence of processing parameters and extraction techniques. *Journal of Food Science*, v. 85, n. 3, p. 727–735, 2020.
- LOWRY, O.H.; ROSEBROUGH, N. J.; FARR, A. L; RANDALL, R. J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, v 193, p. 265-276, 1951.
- PAN-UTAI, W.; IAMTHAM, S. Extraction, purification and antioxidant activity of phycobiliprotein from *Arthrospira platensis*. *Process Biochemistry*, v. 82, n. March, p. 189–198, 2019a.
- QASIM, M. et al. Reverse osmosis desalination: A state-of-the-art review. *Desalination*, v. 459, n. February, p. 59–104, 2019.
- SBEGHEN, A. Processo de separação por membranas na purificação de ficocianina de *Spirulina* sp. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo/RS, 2017.
- YU, P. et al. Purification and bioactivities of phycocyanin. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 57, n. 18, p. 3840–3849, 2017.



Área: Economia Circular.

PRODUÇÃO DE POLIÓIS SUSTENTÁVEIS A PARTIR DE ÓLEO DE SOJA RESIDUAL DE FRITURA E DE PESCADO

Ana Carolina Rubio Klein, Emilly da Silva dos Santos, Melissa Leite Pereira*, Paulo Fernando Marques Duarte Filho, Valéria Terra Crexi.

Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Pampa, Bagé, RS.

**E-mail: melissapereira.aluno@unipampa.edu.br*

RESUMO - O estudo visa a obtenção de polióis a partir de óleos de soja residual de fritura e de peixe, utilizando a reação de epoxidação. Os polióis foram sintetizados empregando peróxido de hidrogênio e ácido fórmico, conforme condições de um planejamento experimental fatorial fracionário que variou tempo (2 e 6h), temperatura (65 °C e 85 °C), proporção molar (1,0:3,0:1,5 óleo/ácido/peróxido e 1,0:3,0:2,0 de óleo/ácido/peróxido) e óleo (óleo de peixe e óleo de soja residual de fritura). Os polióis foram caracterizados através do índice de acidez, índice de iodo, peso molecular, viscosidade, densidade e índice de hidroxila (IOH). O planejamento experimental indicou que a temperatura e proporção molar do peróxido na reação foram os principais influenciadores do IOH dos polióis. Os polióis dos óleos de peixe e de fritura apresentaram valores de IOH entre 104 e 178 mg de KOH/g amostra, com valores de IOH de 168,44±5,45 KOH/g e 178,75±6,09 KOH/g, respectivamente. Optou-se por selecionar o óleo de peixe como matéria-prima para a produção dos polióis, utilizando condições de 2 horas a 65 °C e 2 mols de peróxido em relação ao óleo que apresentaram IOH de 162 mg de KOH/g. O óleo de peixe é uma escolha viável para a produção de poliuretanos.

Palavras chaves: Resíduos, polióis e poliuretano sustentável.

1 INTRODUÇÃO

O segmento de resinas termoplásticas desempenha um papel de destaque na indústria petroquímica. Essas resinas têm uma importância significativa devido às suas propriedades termoplásticas, que permitem a moldagem e processamento por meio de aquecimento e resfriamento repetidos, tornando-as versáteis em aplicações industriais (Gomes; Dvorsak; Heil, 2005). Em 2019, a produção no mundo de resinas termoplásticas, também chamadas de poliuretanos (PU's), foi estimada em 368 milhões de toneladas (Abiplast, 2020). O tamanho do mercado global de poliuretano foi avaliado em US\$ 75,19 bilhões em 2022 e espera-se que se expanda a uma taxa composta de crescimento anual de 4,4% de 2023 a 2030 (Grand View Research, 2023). No entanto, o uso desta matéria-prima, proveniente do petróleo, tem gerado preocupação quanto aos impactos ambientais negativos decorrentes da exploração deste recurso (VILAR, 1999). Os polímeros são muito requisitados na indústria automotiva, embalagens, calçadista, produção de móveis, construção civil, tintas, adesivos, revestimentos e fabricação de espumas (Shirke; Dholakiya; Kuperkar, 2017).

Os poliuretanos são formados a partir dos polióis, que são uma extensa gama de compostos orgânicos contendo o grupo álcool. Estes compostos apresentam a característica de reagir com grupos isocianatos para a síntese de polímeros (Vilar, 1999). A produção de polióis à base de óleo vegetal e animal, em especial o óleo de soja e o óleo de peixe, pode ser obtida por meio de diferentes métodos, como a rota de epoxidação, rota de alcoólise, rota de hidroformilação, rota de ozonólise e rota de transesterificação. As ligações insaturadas são o sítio ativo para as reações de produção dos polióis, portanto quanto mais insaturações presentes no óleo vegetal ou animal, maior eficiência da reação e consequentemente do rendimento dos polióis (Allauddin., 2016;). Além das características do óleo, outras condições dessas reações como tempo, temperatura, agitação, reagentes e proporção dos reagentes são responsáveis pelas propriedades químicas e físicas dos polióis (Alves, 2021;), características essas responsáveis pelas propriedades físicas do poliuretano.

O óleo de soja é composto, em média, por 4% de ácidos graxos esteáricos, 7% de linolênico, 11% de palmítico, 22% de ácido oleico e 56% de ácido linoléico (Baumann, 1988). A Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais em 2021, afirma que aproximadamente 8 milhões de toneladas de óleo de soja foram consumidas no Brasil, estimando-se que 1/3 deste volume seja para consumo alimentar. A reutilização de óleos vegetais residuais é uma prática que previne os impactos ambientais decorrentes do descarte incorreto. Em corpos d'água, o óleo pode formar uma película na superfície, impedindo o acesso de oxigênio à fauna aquática, provocar o crescimento descontrolado de microrganismos



no solo e, além disso, contribuir para o efeito estufa. Se for jogado nas pias e ralos, pode se aglomerar junto a outros detritos, bloqueando a rede de esgoto (Sabesp, 2022).

O óleo de pescado é uma valiosa fonte de ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs), especialmente aqueles do grupo ômega-3, como o ácido graxo eicosapentaenoico (EPA) e o ácido graxo docosaexaenoico (DHA) (Engelmann, 2017). De acordo com a Associação Brasileira da Piscicultura (Peixe BR), a produção de peixes de cultivo no Brasil atingiu 860.355 toneladas em 2022, representando um aumento de 2,3% em relação às 841.005 toneladas produzidas em 2021. Os resíduos gerados no processamento de pescado podem corresponder a até 60% do material utilizado. Portanto, a produção de óleo de pescado a partir desses resíduos é benéfica, contribuindo para a redução da poluição ambiental.

Dentro deste contexto, a principal motivação deste estudo engloba o reaproveitamento de produtos e subprodutos com impactos ambientais, para a produção de polióis com potencial aplicação em poliuretanas sustentáveis. Logo, o objetivo principal do presente trabalho foi a produção de polióis mediante a utilização dos óleos de soja residual de fritura e de pescado, avaliando as condições da reação de epoxidação utilizando a metodologia do planejamento experimental.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Matérias-primas

Os óleos de fritura e de pescado foram gentilmente doados pelo restaurante "Sushi House" de Bagé/RS e por uma indústria processadora de pescado localizada em Rio Grande/RS, respectivamente. Para preservar sua qualidade, os óleos foram armazenados em recipientes plásticos, protegidos da luz, até o início dos experimentos.

Metodologia experimental

Para verificar como as condições de reação influenciam nas características dos polióis foi realizado um experimento utilizando um plano fatorial fracionário $2^{(4-1)}$. Este estudo envolveu a manipulação de quatro variáveis independentes - temperatura, tempo de reação, tipo de óleo e proporção molar - enquanto a variável dependente foi o índice de hidroxila. As condições experimentais da reação de epoxidação foram usando óleo, ácido e peróxido em várias combinações de temperatura, tempo, proporção molar (em relação ao ácido) e tipo de óleo (óleo residual de fritura e óleo de peixe), conforme planejado no experimento (Tabela 1) em condições de 2 e 6 horas a uma temperatura de 65 e 85°C e molaridade entre 1,5 e 2 mols de peróxido em relação ao óleo. O experimento começou com a pesagem da amostra e a adição de ácido fórmico ao óleo à temperatura ambiente, enquanto o peróxido de hidrogênio a 30% foi adicionado em um banho de gelo. Em seguida, o sistema foi aquecido em um banho Dubnoff com agitação constante por um período determinado.

Após a reação, o polioli foi neutralizado e seco. A neutralização envolveu a adição de soluções aquosas de carbonato de sódio (Na_2CO_3) a 10% e cloreto de sódio (NaCl) a 30%, com o óleo sendo lavado em um funil de separação até alcançar um pH neutro. Na etapa de secagem, sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4) foi adicionado e mantido por 24 horas fora da luz, seguido por filtração e mais 24 horas de armazenamento em um funil de separação envolto em papel alumínio para proteção contra a luz. Finalmente, o polioli foi submetido a uma etapa de evaporação para remover o peróxido de hidrogênio e o ácido fórmico restantes em um rotavapor sob vácuo a 60°C, resultando em um processo total de três dias.

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente usando o software R Core Team com o pacote Groemping U, com o propósito de identificar as variáveis mais significativas para a resposta desejada e determinar as faixas ideais de operação.

Metodologia analítica

Os óleos de peixe, de soja residual de fritura e os polióis foram caracterizados pelo índice de acidez (IA), índice de iodo (II), conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008). A determinação do índice de hidroxila dos polióis foi baseada na norma ASTM D 1957 -86 (ASTM, 607 2017).

A densidade dos óleos e dos polióis foi determinada por picnometria, utilizando balança analítica e picnômetro de 25 mL, na temperatura ambiente. A correlação entre temperatura da água e a densidade da água foi feita por meio da tabela contida no Handbook of Chemistry and Physics (Lide, 1983).

A determinação da viscosidade dos óleos e dos polióis foi realizada utilizando o viscosímetro de Brookfield, que se trata de um instrumento que mede a viscosidade de um líquido aplicando uma força rotacional, sendo ele digital



Sustentabilidade na produção e industrialização de alimentos

do modelo ALPHA R da marca Fungilab, equipado com cilindros de diâmetros diferentes (spindles). Foi utilizado o spindle R2 a 100 rpm com uma faixa de aceitação de 26%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1, representa a matriz do planejamento experimental na forma codificada e os resultados dos índices de hidroxila (IOH) dos polióis de óleo residual de fritura e de peixe resultantes da reação de epoxidação.

Tabela 1 – Análise de índice de hidroxila, de acordo com o planejamento experimental

EXPERIMENTO	ÓLEO	TEMPO (h)	TEMPERATURA (C°)	MOL.	IOH (mg de KOH/g de amostra)
1	Fritura	2	65	1,5	104,38±2,65
2	Peixe	6	65	1,5	120,57±4,04
3	Peixe	2	85	1,5	116,03±0,002
4	Fritura	6	85	1,5	178,75±6,09
5	Peixe	2	65	2	162,02±4,78
6	Fritura	6	65	2	103,96±3,48
7	Fritura	2	85	2	165,46±6,09
8	Peixe	6	85	2	168,44±5,45

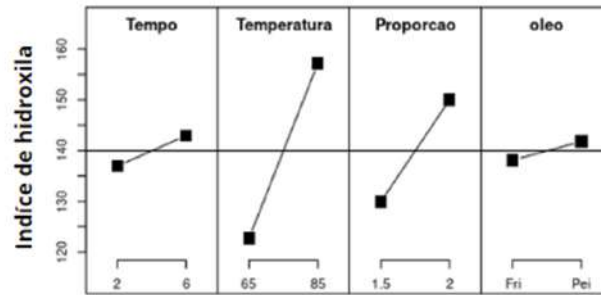
Fonte: Autora, 2024.

Onde: Temp. = temperatura; Mol = Molaridade do peróxido; IOH = Índice de hidroxila.

O índice de hidroxila é importante para determinar a aplicação de um poliól. Observou-se que, à medida que o índice de insaturação do óleo aumenta, torna-se mais interessante para a síntese de polióis, devido às reações químicas capazes de modificar as ligações duplas nos triacilglicerídeos. Os experimentos 4, 5, 7 e 8 destacaram-se com os índices de hidroxila mais altos, indicando eficácia dos polióis em poliuretanas. A proximidade dos valores de índice de hidroxila para os polióis derivados dos dois tipos de óleo sugere potencial no uso de ambos em poliuretanas mais sustentáveis.

Conforme Carriço (2017), os polióis utilizados na fabricação de espumas flexíveis e elastômeros apresentam um Índice de Hidroxila (IOH) entre 28 e 180 mg de KOH/g. Já para espumas rígidas, é necessário que os polióis tenham um IOH na faixa de 250 a 1000 mg de KOH/g. Portanto, os polióis sintetizados neste estudo demonstram potencial para aplicação na produção de espumas flexíveis e elastômeros, pois os valores experimentais de IOH estão compreendidos entre 104 e 178 mg de KOH/g.

Figura 1– Relação dos fatores da reação com o valor do índice de hidroxila.



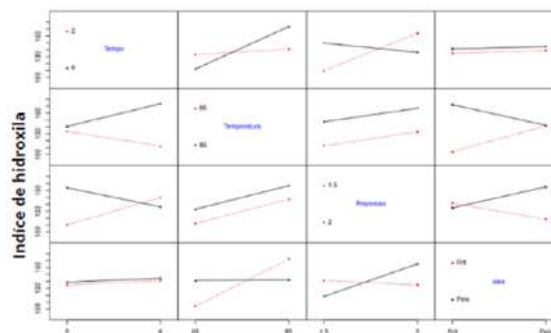
Na Figura 1, são apresentados os efeitos principais para a resposta índice de hidroxila obtidos do Planejamento Fatorial fracionário. Através dessa análise, foi possível realizar uma comparação dos resultados na síntese de polióis em diversas condições, incluindo diferentes temperaturas, tempos, proporções molares e tipos de óleo. É observável que as variáveis temperatura e proporção molar na reação são as que mais influenciam na resposta do índice de hidroxila.

O aumento da temperatura no meio reacional tem o efeito de elevar a concentração final do óleo epoxidado, enquanto diminui a concentração final do óleo de soja, o que indica que o aumento da temperatura acelera as reações químicas. Além disso, observa-se que é crucial manter a proporção de peróxido de hidrogênio pelo menos igual à quantidade de insaturações presentes. Caso a proporção seja menor, ocorrerá a falta de peróxido de hidrogênio na reação, resultando na não reação de várias insaturações. Se a proporção for maior, o peróxido de hidrogênio estará em excesso, sem afetar os resultados, variando de acordo com o óleo utilizado (Jankovi'c., 2004).

Na Figura 2 apresenta uma análise detalhada da interação entre as variáveis em cada experimento possível, evidenciando comportamentos distintos. As linhas pretas e vermelhas que se entrecruzam indicam uma interação mais acentuada na reação, destacando diferenças significativas entre os métodos.

Ao se realizar uma análise crítica das variáveis independentes com relação ao comportamento dos tipos de óleos observa-se que no terceiro quadrante da última linha, a análise revela a influência da proporção molar nos dois tipos de óleo, onde o óleo de peixe demonstra uma interação mais expressiva na proporção de 2 mols, em comparação ao óleo de soja residual de fritura. Quanto ao comportamento em relação à temperatura e ao tipo de óleo, observa-se, no segundo quadrante da última linha, que o óleo de soja residual de fritura apresenta uma variação maior em resposta às mudanças térmicas na reação do que o óleo de peixe. No primeiro quadrante da última linha, ao relacionar tempo e tipo de óleo, constata-se um comportamento semelhante entre ambos.

Figura 2 – Interação dos fatores e grau de interferência na reação.



Com base nos resultados obtidos através das variáveis independentes e da variável resposta, dos dados obtidos nas análises dos gráficos de interação das variáveis independente na reação, para a escolha da melhor condição para este estudo foi levado em consideração o tempo e energia gasto no processo, visto que em algumas combinações de condições se obteve valores próximos mesmo com um tempo reduzido, diminuindo o custo do processo. Além disso, para a escolha do óleo foi levado em consideração os resultados do óleo de peixe muito próximo ao do óleo de soja residual de fritura, sendo este um óleo que já possui muitos estudos no uso da produção de polióis, diferente do óleo de peixe que ainda é pouco explorado. Nesse sentido, o experimento 5 da Tabela 1, sendo o óleo de peixe, com um tempo de reação de 2 horas, temperatura de 65°C e uma proporção de 2 mols de peróxido em relação ao óleo, com variável resposta de 162,02 mg de KOH/g de amostra.



Tabela 2- Caracterização do óleo de peixe (OP) e do polioli obtidos através do óleo de peixe (POP).

AMOSTRAS	IA (mg de NaOH/g de amostra)	II (g de I ₂ /g de amostra)	DENSIDADE (g/cm ³)	VISCOSIDADE (cP)	IOH (mg de KOH/g de amostra)
OP	0,343a±0,06	78,14a±0,4	0,952a±0,001	105,03a±0,19	-
POLIOL OP	1,274b±0,07	73,73b±0,7	0,958b±0,0003	112,90b±0,17	168,30±2,9

Fonte: Autora, 2024.

Médias±Desvio padrão acompanhados de letras minúsculas diferentes na coluna representam diferenças estatísticas para teste de t-Student ao nível de 5% (p<0,05)

Sendo: OP = Óleo de peixe; IA = Índice de acidez; II = Índice de iodo; IS = Índice de saponificação; 872 PM = Peso molecular; IOH = Índice de hidroxila.

Os índices de acidez dos polióis geralmente apresentam valores relativamente superiores aos dos óleos vegetais correspondentes, mesmo após a etapa de neutralização realizada durante o tratamento dos produtos. Essa observação pode ser atribuída à presença persistente de ácido fórmico ou à formação de ácidos graxos livres resultantes da hidrólise do óleo. Na Tabela 2, observa-se um pequeno aumento na acidez do polioli em relação ao óleo de peixe.

De acordo com Monteavaro e colaboradores (2005), os polióis apresentaram valores de índice de iodo (II) significativamente menores que os óleos. Esse comportamento ocorre devido à eficiência da reação de hidroxilação, que se inicia pelo ataque do ácido à insaturação do óleo, com formação de um intermediário epóxido e subsequente abertura do anel epóxido para a formação de uma hidroxila e de um grupo formiato ligados à estrutura do triglicerídeo. Segundo a Instrução Normativa da ANVISA (2021), o índice de iodo de óleos vegetais deve ter uma faixa de 124-139 g de I₂/g de amostra, porém, o resultado obtido neste estudo está abaixo do recomendado, o que pode ser devido à qualidade do óleo de pescado utilizado.

Segundo Abreu (2013), a densidade é uma propriedade relacionada à estrutura molecular. O aumento do comprimento da cadeia carbônica tende a elevar a densidade, entretanto, essa medida diminuirá à medida que o número de insaturações na molécula aumentar, sendo influenciada também pela presença de impurezas. Em um estudo por Rahman (2018), reporta valores de densidade relativa, para óleo extraído de atum de 0,908 a 0,916, logo valor de densidade encontrado para o óleo neste estudo segue dentro do intervalo encontrado na literatura, onde a densidade mais elevada nos polióis em comparação com os óleos reflete as alterações estruturais decorrentes da introdução dos grupos hidroxila, contribuindo para uma maior densidade.

De acordo com Vaz e colaboradores (2012), o ensaio de viscosidade geralmente tende a crescer com o aumento do comprimento da cadeia e diminui com a quantidade de insaturações. As duplas ligações nas cadeias carbônicas dos ácidos induzem dobras, dificultando a aproximação e aglomeração das moléculas, resultando na redução da viscosidade. Dessa forma, observa-se que o óleo de peixe (OP) exibe menor viscosidade devido ao maior comprimento da cadeia e à maior quantidade de insaturações. Nos polióis, há um aumento significativo na viscosidade em comparação com o óleo, uma vez que a introdução dos grupos hidroxilas (OH) na molécula resulta em um aumento no número de ligações de hidrogênio.

4 CONCLUSÃO

Os resultados do planejamento experimental indicaram que a temperatura e a proporção molar do peróxido tiveram uma influência predominante no índice de hidroxila dos polióis produzidos. Tanto o polioli derivado do óleo residual de soja quanto o do óleo de peixe apresentaram variações significativas, com valores entre 103,96 e 178,75 mg de KOH/g de amostra e entre 116,03 e 168,44 mg de KOH/g de amostra, respectivamente. Esses resultados sugerem que o óleo de peixe possui potencial comparável ao do óleo residual de soja para ser utilizado na produção de polióis.

Com base nesses resultados, foi decidido utilizar o óleo de peixe como matéria-prima principal para a produção dos polióis, selecionando condições específicas de reação, como um tempo de 2 horas a 65°C e uma proporção molar de 1,0:3,0:2 (óleo/ácido/peróxido) em relação ao óleo de soja. Essas condições proporcionaram valores satisfatórios de índice de hidroxila, tornando o óleo de peixe uma escolha viável para a fabricação de poliuretanos.

A caracterização do óleo de peixe e dos polióis produzidos destacou diferenças significativas, evidenciando o sucesso na produção dos polióis a partir desse material e ressaltando sua importância como uma fonte valiosa para polióis sustentáveis na indústria polimérica, consolidando seu papel inovador no cenário de materiais sustentáveis.



5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPERGS pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

6 REFERÊNCIAS

- ABIPLAST. **Perfil** 2019. São Paulo: 2020. Disponível em: https://www.simpesc.org.br/wpcontent/uploads/2021/08/Perfil2020_abiplast.pdf. Acesso em: 30 janeiro 2024
- ABREU, D. H. S; **Craqueamento termocatalítico da borra de neutralização do óleo de palma (Elaeis guineenses) em escala piloto**, 2013, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- ALLAUDDIN, S., SOMISETTI, V., RAVINDER, T One-pot synthesis and physicochemical properties of high functionality soy polyols and their polyurethane-Urea coatings. **Industrial Crops and Products**, v. 85, pp. 361-371. 2016.
- ALVES, L. R.; CARRIELLO, G. M.; PEGORARO, G. M.; FILHO, F. A utilização de óleos vegetais como fonte de polióis para a síntese de poliuretano: uma revisão. **Disciplinarum Scientia - Ciências Naturais e Tecnológicas**, v.22, n. 1, p. 99–118, 2021.
- ASTM. **Standard Test Method for Hydroxyl Value of Fatty Oils and Acids**. D1957-86 (1995) American Society for Testing and Materials, 2017.
- BAUMANN, H.; BUHLER, M.; FOCHEM, H.; HIRSINGER, F.; ZOEBELEIN, H.; FALBE, J. Natural Fats and Oils - Renewable Raw Materials for the Chemical Industry. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, v. 27, p. 41, 1988.
- CARDOSO, L. C. **Caracterização de óleo de peixe e potencial para produção de biodiesel. Dissertação (Mestrado em Bioenergia)** - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/4352/1/000225923.pdf>. Acesso em: 08 dez.
- CARRIÇO, C. S., “**Obtenção de espumas de poliuretano a partir de coprodutos da cadeia dos biocombustíveis e resíduos agroindustriais**”, Tese de Doutorado, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2017.
- ENGELMANN, J. I. **Obtenção de lipídios estruturados a partir de gordura animal e óleo de pescado**. Dissertação Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, Faculdade de Engenharia e Ciência de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Rio Grande, RS. 2017. Disponível em: <https://repositorio.furg.br/handle/1/8542?show=full>. Acesso em: 6 jul. de 2023.
- GOMES, A. O.; DVORSAK, B.; HEIL, V. Resinas Termoplásticas: Síntese, Propriedades e Aplicações. **Química Nova**, v. 28, n. 3, p. 503-508, 2005
- GRAND VIEW RESEARCH. Polyurethane (PU) Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Rigid Foam, Flexible Foam, Coatings, Adhesives & Sealants, Elastomers), By Application (Construction, Automotive, Furniture), And Segmen Forecasts, 2023-2030. 2023.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3ª ed. São Paulo, 1985, v.1.
- LIDE, D. R., **Handbook of Chemistry and Physics**, 64 ed., CRC press, 1983. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?q=LIDE,+D.+R.,+Handbook+of+Chemistry+and+Physics,+64+ed.,+CRC%20press,%20A01983.&hl=pt1227 BR&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart. Acesso em: 06 em jul. de 2023.
- MONTEAVARO, L. L. **Poliuretanas a partir de polióis de óleo de soja**. 2005, 39 f. Tese (Doutorado em Ciências dos Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Porto Alegre, RS, 2005. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/6692>. Acesso em: 26 de jun. 2023.
- SHIRKE, A. G.; DHOLAKIYA, B. Z.; KUPERKAR, K. Modification of tung oil– based polyurethane foam by anhydrides and inorganic content through esterification process. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 135, n. 5, p. 1-10, 2017.
- VILAR, W. D. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. First Edition ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria Tecnica, 1999.