

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

Área de concentração: Infraestrutura e Meio Ambiente

Dissertação de Mestrado

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
ULTRAFILTRAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA PARA FINS
DE POTABILIDADE UTILIZANDO ENERGIA
FOTOVOLTAICA

Suélen Regina Cominetti Baú

Passo Fundo

2019



Suélen Regina Cominetti Baú

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
ULTRAFILTRAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA PARA FINS
DE POTABILIDADE UTILIZANDO ENERGIA
FOTOVOLTAICA

Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia, sob a orientação do Prof. Dr. Vandrê Barbosa Brião e coorientação do Prof. Dr. Adalberto Pandolfo.

Passo Fundo
2019

CIP – Catalogação na Publicação

B337a Baú, Suélen Regina Cominetti
Análise técnica e econômica da ultrafiltração de água da chuva para fins de potabilidade utilizando energia fotovoltaica [recurso eletrônico] / Suélen Regina Cominetti Baú. – 2019.

2.65 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Vandré Barbosa Brião.

Coorientador: Prof. Dr. Adalberto Pandolfo.

Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Passo Fundo, 2019.

1. Águas pluviais – Purificação – Filtração.
2. Sistemas de energia fotovoltaica. 3. Ultrafiltração.
4. Energia solar. 5. Filtração por membranas. I. Brião, Vandré Barbosa, orientador. II. Pandolfo, Adalberto, coorientador. III. Título.

CDU: 628.1

Catálogo: Bibliotecária Juliana Langaro Silveira - CRB 10/2427

Suélen Regina Cominetti Baú

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
ULTRAFILTRAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA PARA FINS
DE POTABILIDADE UTILIZANDO ENERGIA
FOTOVOLTAICA

Dissertação de mestrado, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, sob a orientação do Prof. Dr. Vandrê Barbosa Brião e coorientação do Prof. Dr. Adalberto Pandolfo.

Data da aprovação:

Professor Dr. Vandrê Barbosa Brião

Orientador

Professor Dr. Adalberto Pandolfo

Coorientador

Professor Dr. Jeferson Steffanello Piccin

Banca Interna; Universidade de Passo Fundo

Professor Dr. Marcelo Hemkemeier

Banca Interna; Universidade de Passo Fundo

Professor Dr. Hasan Shaheed

Banca Externa; Queen Mary, University of London

“You have brains in your head. You have
feet in your shoes. You can steer yourself
any direction you choose.”

(Dr. Seuss, Oh, The Places You'll Go!)

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Passo Fundo, por ser minha casa desde 2010 e me proporcionar acesso à educação de qualidade, laboratórios e recursos pessoais ilimitados.

Ao Prof. Dr. Vandr e Barbosa Brião pelas palavras de calma em dias turvos, e por sempre ter conselhos e me direcionar para o melhor caminho nesta jornada.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Adalberto Pandolfo pelo auxílio com o desenvolvimento da análise econômica desta disserta o e pela paciência para me guiar neste período.

A Rangel Casanova Danieli, Engenheiro Eletricista, a quem importunei durante o desenvolvimento da análise energética aqui presente.

Aos Bolsistas de Inicia o Científica, que contribuíram com o desenvolvimento das análises laboratoriais.

A minha mãe, Mirian Cominetti Baú, por ser simplesmente incrível.

Ao meu pai Luiz e meus irmãos Carlos e Lilian.

A todos os meus amigos, cujas palavras e incentivos sempre foram sinceros.

And finally, to Kelly Smolski Goetz, my journey became lighter with her. Oh! The places **we** go!

RESUMO

A Organização das Nações Unidas estipulou 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável até 2030. As metas buscam qualidade de vida a todos e para isso o acesso à água potável e ao saneamento básico é o sexto objetivo do projeto. Sabe-se que mais de 783 milhões de pessoas ainda não tem acesso à água tratada e para a população mundial somente 0,02% da água do planeta está disponível na forma doce em rios e lagos. Buscando-se um processo alternativo para purificação da água, as membranas de ultrafiltração (UF) possuem diversos benefícios, dentre eles boa qualidade de permeado, baixa área requerida para instalação e baixo consumo energético. Considerando-se a precipitação média anual da região Sul do Brasil, que está entre 1.250 mm e 2.000 mm, este projeto visou a avaliação do processo de ultrafiltração para potabilização de água de chuva, levando-se em consideração os fatores técnicos e econômicos do sistema. Além disso, foi avaliado o cenário de utilizar energia fotovoltaica para o sistema, possibilitando que o mesmo seja autônomo e possa ser instalado mesmo em regiões remotas. Foi instalado um sistema em escala piloto para captação da água de chuva e sua purificação por UF na cidade de Passo Fundo/RS. Durante dez meses foi realizado o monitoramento da qualidade da água bruta, filtrada, e filtrada e clorada verificando-se os critérios de potabilidade. O fluxo médio a longo prazo foi de 135 L/hm². A água filtrada e clorada não apresentou contaminação microbiológica, matéria orgânica ou outros contaminantes acima do permitido pela legislação, caracterizando-se como potável. Além dos critérios operacionais analisaram-se os custos totais do sistema, para que fosse possível avaliar a viabilidade de ultrafiltrar água de chuva com e sem energia solar. A análise econômica foi realizada para seis cenários, 230 m² de área de cobertura, 2.300 m² e 11.500 m², e para cada área de cobertura simulou-se a implementação e a não implementação de painéis fotovoltaicos para energização do sistema, as respostas foram obtidas através da Taxa Interna de Retorno (TIR) e pelo Período de Recuperação do Investimento (*payback*). A viabilidade do sistema foi constatada para todos os cenários quando adotado o sistema de painéis fotovoltaicos para energização do equipamento, com *payback* de 6 anos para o de pequeno porte e 4 anos para o médio e grande porte. A não adoção do sistema solar implicou na inviabilidade econômica do cenário de 230 m² de área de cobertura. O sistema mais viável foi o de grande área de cobertura e com painéis fotovoltaicos e o menos atrativo o menor cenário sem painéis.

Palavras-chave: Água Potável, Separação por Membranas, Energia Solar, Ultrafiltração, Colmatação, Viabilidade Econômica, *Payback*, *on grid*.

ABSTRACT

The United Nations has set 17 goals for sustainable development by 2030. The goals seek quality of life for all, and for this reason access to clean water and sanitation is the sixth objective of the project. More than 783 million people don't have access to treated water and for the world's population only 0.02% of the world's water is available in fresh form in rivers and lakes. Seeking an alternative process for water purification, ultrafiltration membranes (UF) have several benefits, including good permeate quality, low area required for installation and low energy consumption. Considering the average annual rainfall of the southern region of Brazil, which is between 1,250 mm and 2,000 mm, this project aimed to evaluate the ultrafiltration process for rainwater potabilization, taking into account the technical and economic factors of the system. In addition, the scenario of using photovoltaic energy for the system was evaluated, allowing it to be autonomous and can be installed even in remote regions. A pilot scale system was installed for rainwater capture and purification by UF in the city of Passo Fundo/RS. For ten months, the quality of raw, filtered, filtered and chlorinated water was monitored for potability criteria. The long term average flow was 135 L/hm². The filtered and chlorinated water did not present microbiological contamination, organic matter or other contaminants above the allowed by the legislation, being characterized as potable. In addition to the operational criteria were analyzed the total costs of the system, so that it was possible to evaluate the viability of ultrafiltrate rainwater with and without solar energy. The economic analysis was performed for six scenarios, 230 m² of coverage area, 2,300 m² and 11,500 m², and for each coverage area was simulated the implementation and non-implementation of photovoltaic panels for system energization, the answers were obtained through Internal Rate of Return (IRR) and the Payback Period. The viability of the system was verified for all scenarios when adopting the photovoltaic panel system for powering the equipment, with payback of 6 years for small scale and 4 years for medium and large. The non-adoption of the solar system implied the economic unfeasibility of the scenario of 230 m² of coverage area. Being the most viable system the large coverage area and with photovoltaic panels and the least attractive the smallest scenario without panels.

Keywords: Drinking Water, Membrane Separation, Solar Energy, Ultrafiltration, Fouling, Economic Feasibility, Payback, on grid.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Índices pluviométricos nacionais..... | 17 |
| Figura 2– Precipitação ao longo dos meses de 2019..... | 18 |
| Figura 3 – Alcance de aplicação das membranas de separação..... | 19 |
| Figura 4 – Insolação diária média no Brasil..... | 22 |
| Figura 5 – Imagem de satélite do Prédio L1 – Engenharia de Alimentos na UPF..... | 25 |
| Figura 6 – Esquema de instalação..... | 26 |
| Figura 7 – Superfície porosa e seção transversal da membrana..... | 26 |
| Figura 8 – Painéis Solares existentes localizados na UPF..... | 30 |
| Figura 9 – Projeto padrão para análise econômica do cenário de 230 m ² de cobertura..... | 33 |
| Figura 10 – Projeto padrão para análise econômica do cenário de 2.300 m ² de cobertura..... | 34 |
| Figura 11 – Projeto padrão para análise econômica do cenário de 11.500 m ² de cobertura..... | 34 |
| Figura 12 - Condutividade elétrica ao longo do tempo..... | 37 |
| Figura 13 - Turbidez ao longo do tempo..... | 38 |
| Figura 14– Fluxo permeado ao longo do tempo de operação..... | 40 |
| Figura 15– Fluxo permeado ao longo dos dias..... | 41 |
| Figura 16 – Cor ao longo do tempo..... | 42 |
| Figura 17 – Fósforo ao longo do tempo..... | 43 |
| Figura 18– Matéria Orgânica da água de chuva, permeado da UF e permeado após a cloração..... | 45 |
| Figura 19 – Ácidos Húmicos ao longo do tempo..... | 47 |
| Figura 20 – Análise econômica sem painéis fotovoltaicos para a área de 230 m ² | 53 |
| Figura 21 – Análise econômica com painéis fotovoltaicos para a área de 230 m ² | 56 |
| Figura 22 – Análise econômica sem painéis fotovoltaicos para a área de 2.300 m ² | 59 |
| Figura 23 – Análise econômica com painéis fotovoltaicos para a área de 2.300 m ² | 62 |
| Figura 24 – Análise econômica sem painéis fotovoltaicos para a área de 11.500 m ² | 65 |
| Figura 25 – Análise econômica com painéis fotovoltaicos para a área de 11.500 m ² | 68 |
| Figura 26– pH da água de chuva, ultrafiltrada e água tratada ao longo do tempo..... | 78 |
| Figura 27 – Vácuo aplicado à Ultrafiltração..... | 79 |
| Figura 28– Alcalinidade ao longo do tempo..... | 79 |
| Figura 29 – Dureza total ao longo do tempo..... | 80 |
| Figura 30 – Sulfatos ao longo do tempo..... | 80 |
| Figura 31 – Curva Padrão de Sulfatos..... | 81 |
| Figura 32– Nitrogênio Amoniacal ao longo do tempo..... | 81 |
| Figura 33 – Nitrogênio Kjeldahl ao longo do tempo..... | 83 |
| Figura 34 – DBO ao longo do tempo..... | 83 |
| Figura 35 – Nitrato ao longo do tempo..... | 84 |
| Figura 36 – Nitrito ao longo do tempo..... | 84 |
| Figura 37 – Orçamento de membrana..... | 86 |
| Figura 38 – Dimensões reservatórios..... | 88 |
| Figura 39 – Orçamento reservatórios..... | 88 |
| Figura 40 – Orçamento jogo de 6 painéis fotovoltaicos..... | 89 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Parâmetros e periodicidade das análises laboratoriais..... | 28 |
| Quadro 2 – Resultados das análises laboratoriais | 36 |
| Quadro 3 - Coliformes Totais ao longo do tempo..... | 82 |
| Quadro 4 - <i>Escherichia coli</i> ao longo do tempo..... | 82 |
| Quadro 5 – Padrão Microbiológico da água para consumo humano..... | 91 |
| Quadro 6 – Padrão de Turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção..... | 91 |
| Quadro 7 – Padrão de Potabilidade para substâncias químicas que apresentam risco à saúde. | 92 |
| Quadro 8 – Padrões organolépticos de potabilidade. | 94 |
| Quadro 9 – Número mínimo de amostras e frequência para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial. | 95 |
| Quadro 10 – Tabela de número mínimo de amostras e frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de solução alternativa coletiva, para fins de análises físicas, químicas e microbiológicas, em função do tipo de manancial e do ponto de amostragem. | 96 |

SUMÁRIO

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | REVISÃO DA LITERATURA..... | 17 |
| 2.1 | DISPONIBILIDADE HÍDRICA..... | 17 |
| 2.2 | PROCESSO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS | 19 |
| 2.3 | CONSUMO ENERGÉTICO E PAINÉIS FOTOVOLTAICOS | 21 |
| 2.4 | VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS | 23 |
| 2.4.1 | TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR) | 24 |
| 2.4.2 | <i>PAYBACK</i> | 24 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 25 |
| 3.1 | COLETA DA ÁGUA DE CHUVA | 25 |
| 3.2 | EQUIPAMENTO E INSTALAÇÃO DE ULTRAFILTRAÇÃO | 26 |
| 3.3 | PROCEDIMENTO OPERACIONAL DA FILTRAÇÃO | 27 |
| 3.4 | ESTIMATIVA DE CONSUMO ENERGÉTICO POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS | 29 |
| 3.1 | ANÁLISE ECONÔMICA..... | 31 |
| 3.2.1 | RENTABILIDADE DO MERCADO FINANCEIRO | 32 |
| 3.2.2 | PROJETO PADRÃO, PRECIPITAÇÃO E CONSUMO | 33 |
| 3.2.3 | MEMBRANA DE UF | 35 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 35 |
| 4.1 | QUALIDADE DA ÁGUA | 35 |
| 4.2 | ANÁLISE ECONÔMICA..... | 49 |
| 4.2.1 | ÁREA DE CAPTAÇÃO DE 230 M ² SEM PAINEL..... | 50 |
| 4.2.1.1 | INVESTIMENTO | 50 |
| 4.2.1.2 | CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS | 51 |
| 4.2.1.3 | VALOR ECONOMIZADO | 52 |
| 4.2.1.4 | FLUXO DE CAIXA..... | 52 |
| 4.2.2 | ÁREA DE CAPTAÇÃO DE 230 M ² COM PAINEL..... | 53 |
| 4.2.2.1 | INVESTIMENTO | 54 |
| 4.2.2.2 | CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS | 54 |
| 4.2.2.3 | VALOR ECONOMIZADO | 55 |
| 4.2.2.4 | FLUXO DE CAIXA..... | 55 |
| 4.2.3 | ÁREA DE CAPTAÇÃO DE 2.300 M ² SEM PAINEL..... | 56 |
| 4.2.3.1 | INVESTIMENTO | 57 |

| | | |
|---------|---|----|
| 4.2.3.2 | CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS | 57 |
| 4.2.3.3 | VALOR ECONOMIZADO | 58 |
| 4.2.3.4 | FLUXO DE CAIXA..... | 58 |
| 4.2.4 | ÁREA DE CAPTAÇÃO DE 2.300 M ² COM PAINEL..... | 59 |
| 4.2.4.1 | INVESTIMENTO | 60 |
| 4.2.4.2 | CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS | 60 |
| 4.2.4.3 | VALOR ECONOMIZADO | 61 |
| 4.2.4.4 | FLUXO DE CAIXA..... | 61 |
| 4.2.5 | ÁREA DE CAPTAÇÃO DE 11.500 M ² SEM PAINEL..... | 62 |
| 4.2.5.1 | INVESTIMENTO | 63 |
| 4.2.5.2 | CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS | 63 |
| 4.2.5.3 | VALOR ECONOMIZADO | 64 |
| 4.2.5.4 | FLUXO DE CAIXA..... | 64 |
| 4.2.6 | ÁREA DE CAPTAÇÃO DE 11.500 M ² COM PAINEL..... | 65 |
| 4.2.6.1 | INVESTIMENTO | 66 |
| 4.2.6.2 | CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS | 67 |
| 4.2.6.3 | VALOR ECONOMIZADO | 67 |
| 4.2.6.4 | FLUXO DE CAIXA..... | 67 |
| 4.2.7 | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE ECONÔMICA..... | 68 |
| 5 | CONCLUSÃO | 70 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 72 |
| | APÊNDICES..... | 78 |
| I. | PLANILHA PARA ANÁLISE ECONÔMICA | 78 |
| II. | GRÁFICOS DAS ANÁLISES LABORATORIAIS..... | 78 |
| III. | MEMORIAL DE CALCULO..... | 84 |
| | ANEXOS..... | 91 |
| | PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5, 2017..... | 91 |

1 INTRODUÇÃO

O acesso à água tratada está entre os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, o qual preconiza o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos até 2030. Porém, 783 milhões de pessoas no mundo ainda não tem acesso a água de qualidade. Muitas fontes de águas superficiais para abastecimento são impróprias para o consumo humano e as subterrâneas sofrem contaminação através de diversos poluentes ou mesmo possuem salinidade excessiva para abastecimento.

O território Brasileiro detém cerca de 12% da água doce disponível no planeta. Estão situadas no Brasil 200 mil microbacias em 12 regiões hidrográficas; contudo, a distribuição dos recursos hídricos não é uniforme e mais de 34 milhões de brasileiros ainda sofrem com o abastecimento de água (BRASIL, 2018).

A disponibilidade hídrica nacional depende em sua maioria da precipitação. Segundo o Serviço Geológico do Brasil (2011), regiões do nordeste Brasileiro possuem uma precipitação média anual menor que 500 mm, o que faz com que a disponibilidade de água potável seja prejudicada.

O abastecimento de água urbano tem como suas principais fontes as águas superficiais e subterrâneas. Segundo a Agência Nacional das Águas, 56,15% dos municípios são abastecidos por mananciais de água subterrânea e/ou mista e 43,84% por água superficial. A problemática quanto a qualidade do recurso hídrico é real. No Brasil 4,5% das bacias hidrográficas são classificados como impróprias para consumo humano (rios classe 4), recursos hídricos estes que estão próximos a centros urbanos e que poderiam fazer parte do sistema de abastecimento (ANA, 2017).

Os sistemas tradicionais de produção de água potável a partir de águas superficiais demandam de grande área física, utilizam produtos químicos e necessitam de áreas para dispor o lodo, o que torna os sistemas onerosos e um problema em grandes centros urbanos. O sistema de Cantareira é um dos maiores sistemas de tratamento de água do mundo e está localizado em São Paulo, dentre reservatórios e sistema de tratamento são mais de 228 mil hectares (SÃO PAULO, 2013). Atualmente torna-se inviável dispor de toda essa área para potabilização da água, visto que a urbanização demanda alternativas compactas para ter acesso à água tratada.

Métodos alternativos de coleta de água podem ser estudados para suprir a demanda em locais em que os reservatórios não são suficientes ou de qualidade, como por exemplo a

captação de água da chuva. No Brasil, a água de chuva é, em geral, utilizada somente para fins não potáveis.

O Ministério da Saúde publicou em 3 de outubro de 2017 a Portaria de Consolidação número 5, que em seu anexo XX estipula padrões de qualidade da água para consumo humano e seus padrões de potabilidade para abastecimento público. Contudo, a normativa considera válido os sistemas alternativos de potabilização de água e estipula padrões de qualidade e a necessidade de seu monitoramento.

A reutilização de água de chuva para fins não potáveis é objeto de estudo de diversas pesquisas. Pode-se destacar que através de um tratamento adequado, a água de chuva é utilizada para irrigação, lavagem de calçadas e descargas de bacias sanitárias. Contudo, o estudo não atingiu os padrões de qualidade das águas para consumo humano (REZENDE, 2016; BARBOSA et al., 2017). A pesquisa realizada por Teixeira et al. (2016) estudou as águas coletadas em telhas de concreto e em telhados verdes, o estudo buscava enquadrar a água na NBR 15527 que trata dos padrões de água de chuva para fins não potáveis. A pesquisa relatou que as águas de ambos os telhados puderam ser enquadradas em tais normativas por fatores microbiológicos. Municípios como Florianópolis-SC já possuem leis (lei complementar nº 561, de 02 de junho de 2016) que exigem a instalação de sistema de coleta e tratamento para que esta água seja utilizada para fins não potáveis. Essas medidas visam reduzir o uso indiscriminado da água tratada, buscando-se assim o melhor aproveitamento dos recursos hídricos.

Outra técnica sustentável que vem ganhando espaço é a purificação de águas por membranas. Pode-se encontrar estações de tratamento de efluentes que contam com esta técnica, um método compacto e eficiente para a remoção de poluentes das águas. O sistema de membranas, se dimensionado corretamente, pode ser previsto ainda em fase de projeto das residências. Sua eficiência e durabilidade está ligada diretamente à qualidade do elemento que está sendo filtrado. O seu consumo energético ainda questiona sua sustentabilidade. Dependendo da membrana escolhida para filtração, a energia consumida pode tornar o sistema inviável para pequenas residências.

O trabalho de Miorando et al. (2017) demonstrou que a UF tornou a água de chuva potável. No entanto, é necessário a realização de ensaios a longo prazo, com um monitoramento mais amplo para avaliar a garantia da qualidade da água e os custos de produção da água. Nesta pesquisa foram realizados ensaios de longo prazo para avaliar a qualidade do permeado e o fluxo produzido pela membrana de UF possibilitando trazer inferências mais amplas, tanto técnicas quanto econômicas.

Nos processos de separação por membranas, quanto maior a pressão aplicada maior será o consumo energético. A grande diferença entre as membranas de Microfiltração, (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose inversa (OI) é o tamanho de seus poros. Quanto menor o poro, maior a pressão que deverá ser aplicada. A UF trabalha com pressões abaixo de 7 bar, a nanofiltração necessita de pressões entre 5 e 35 bar e a osmose inversa trabalha com pressões de 15 a 80 bar (TELLES, 2016). Logo, membranas de UF demandam menor energia, sendo indicadas para remoção de material coloidal, bactérias, vírus e sólidos suspensos que estão na água de chuva.

Outro aspecto da problemática está relacionado ao uso de energias renováveis. A demanda por energia tem crescido proporcionalmente ao crescimento da população, de modo que se prevê um aumento de 343,9% até 2030 (PLANO NACIONAL DE ENERGIA, 2007). Logo, a utilização de energia fotovoltaica para suprir demandas alternativas ou coletivas de abastecimento de água é uma promissora alternativa.

A utilização de painéis fotovoltaicos é ainda incipiente no Brasil, tendo muito mercado devido ao clima do país. O Operador Nacional de Sistema Elétrico contabiliza, por hora, a geração de energia através de painéis fotovoltaicos registrou até março deste ano um total de 31,7 mil kWh de geração de energia para o Sul do país, havendo ainda muito espaço para investimentos na região sul. Essa técnica se torna viável a longo prazo, e deve-se dimensionar o sistema de maneira correta considerando-se o índice de insolação e a temperatura média da região. Segundo Kaufmann (2012), a região sul do país possui potencial para energia solar desde que o sistema seja dimensionado de acordo.

A técnica de geração de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos tem ganhando espaço a nível nacional. Estudos comprovam que mesmo no sul do país, onde as estações do ano são bem definidas, é possível suprir uma residência, pelo menos parcialmente, o ano todo, com energia proveniente da luz solar. (PORTAL SOLAR, 2018).

Estima-se que para a região sul do Brasil, o custo de painéis fotovoltaicos possa chegar a R\$ 20.160,00 para 3,25 kWp (FERREIRA et al., 2017). Considerando-se o salário mínimo nacional atual de R\$ 998,00 pode-se observar que é um elevado investimento para as famílias de baixa renda. Diversos estudos relatam o uso de energia fotovoltaica para dessalinizar águas salobras por NF ou OI (ROJAS, 2017; MADDAH, 2018). Contudo há poucos trabalhos relatando a união da UF para tratar água de chuva utilizando energia fotovoltaica. Há iniciativas ainda escassas buscando essa alternativa, como os sistemas propostos pela empresa francesa Aclaira para abastecimento de águas em áreas remotas, mas a baixa necessidade energética da UF abastecida por painéis fotovoltaicos pode ser uma rota promissora para suprimento

descentralizado de água potável. No entanto, é necessário conhecer a viabilidade econômica de tais sistemas para que sejam atrativos.

FILHO (2017) analisou os custos de operação da ultrafiltração e carvão ativado, confrontando com o sistema convencional de potabilização de águas de uma estação de tratamento de água. Os resultados revelaram que os custos não são atrativos, fazendo com que o sistema de separação por membranas ainda não seja implantado com maior frequência a nível nacional. Os fatores que encarecem a implantação de sistemas de separação por membranas é o valor do equipamento, seus acessórios e o seu consumo energético. Em contrapartida, o estudo conduzido por Teixeira (2001) atribui às águas superficiais qualidade potável, desde que essas possuam baixa turbidez. Uma vez que as águas de chuvas possuem baixa turbidez, acredita-se que maiores fluxos e a rejeição moderada seja suficiente para potabilizar a água de chuva. Para a análise econômica do projeto, o fluxo permeado e a seletividade da membrana são os principais fatores a serem considerados. Portanto, a colmatção (*fouling*) da membrana deve ser avaliada, pois é o principal fenômeno que reduz a permeação através dos poros. Esse fenômeno muitas vezes inviabiliza o uso da UF em uma grande variedade de aplicações, devido a fluxos inviáveis economicamente. De acordo com Guo et al. (2018), a colmatção (*fouling*) das membranas de UF ocorre por meio de material orgânico, inorgânico e coloidal. Esse acúmulo na superfície da membrana reduz a sua permeabilidade e eficiência na produção de água potável. Portanto, a análise técnica do sistema deve ser minuciosamente levada junto com a análise econômica a fim de obter sucesso na aplicação desejada.

A aplicação da proposta poderia ser uma alternativa para residências, desde que considerados os fluxos de filtração de acordo com a demanda hídrica a ser suprida. Embora haja o fator geográfico, a pesquisa poderá ser utilizada para basear qualquer região, desde que considerados os níveis de chuva e insolação de cada região.

O objetivo geral do trabalho foi avaliar a ultrafiltração de água de chuva energizada por painéis fotovoltaicos como alternativa técnica e econômica para a produção de água potável.

Foram objetivos específicos:

- a) Analisar em ensaios de longo prazo os padrões de qualidade da água produzida;
- b) Verificar o consumo energético do sistema de UF para dimensionamento de painéis fotovoltaicos para suprimento da energia do sistema;
- c) Dimensionar um sistema de UF para abastecimento de água potável em três escalas;
- d) Determinar a viabilidade econômica dos sistemas dimensionados com e sem painéis.

O uso da energia solar combinada à filtração de água de chuva desse projeto, vai de encontro à linha de pesquisa em Infraestrutura Sustentável proposto pelo PPGEng – UPF.

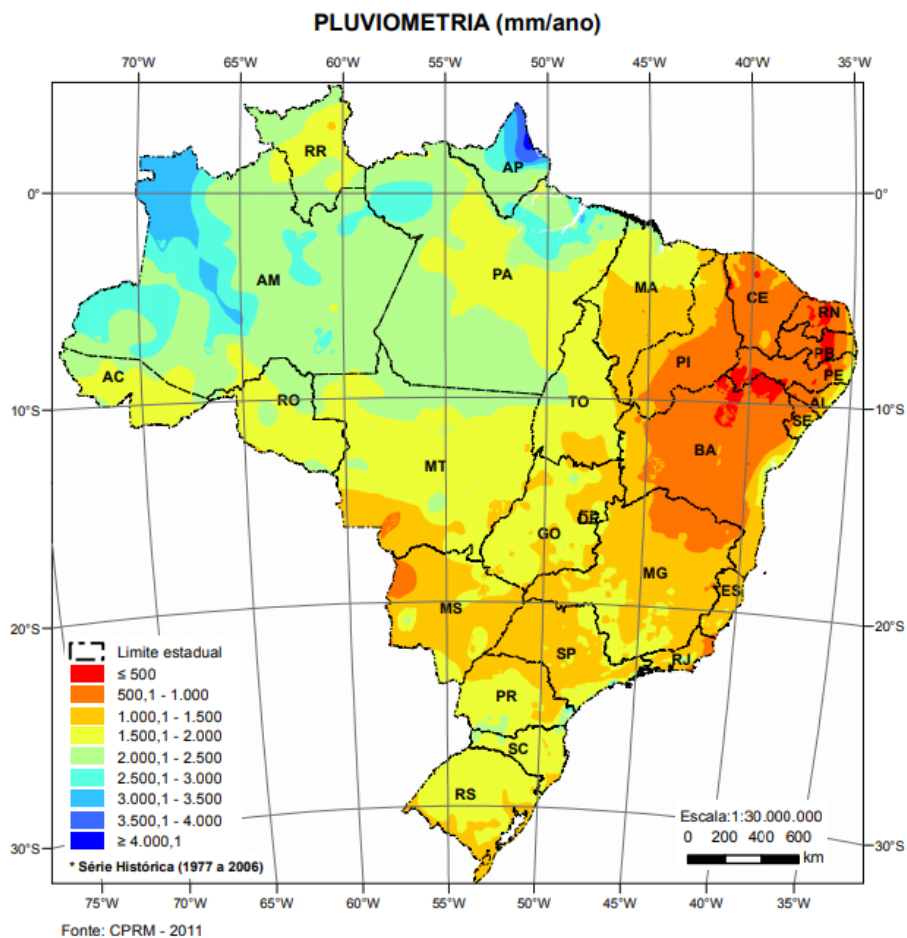
2 REVISÃO DA LITERATURA

Com base nos temas a serem abordados nesta dissertação, foram realizados levantamentos bibliográficos para caracterização do estado da arte da problemática aqui proposta.

2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

O Serviço Geológico do Brasil – CPRM desenvolveu a partir de dados geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos entre outros, o “Mapa hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo”. Pode-se encontrar neste mapa os índices pluviométricos (mm/ano) nacionais. Com base na Figura 1 pode-se observar que a região de análise apresenta média de chuvas similar com a maioria do país, com exceção do Noroeste e Nordeste nacional.

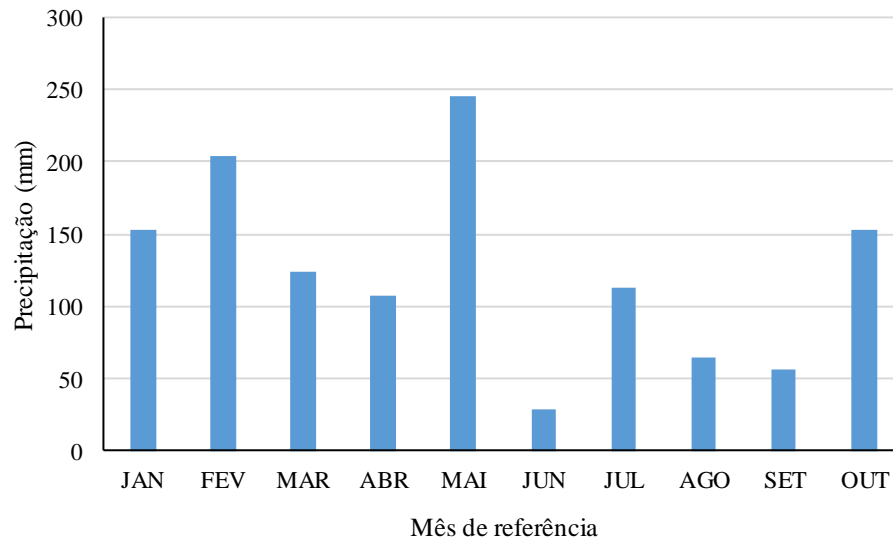
Figura 1 – Índices pluviométricos nacionais.



Fonte: Serviço Geológico do Brasil, 2011

A EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, localizada a menos de 3,5 km do local de análise, registra diariamente as precipitações realizadas em sua estação em Passo Fundo. Pode-se observar, na Figura 2, os dados de precipitação (mm) registrados no ano de 2019 na região de análise.

Figura 2– Precipitação ao longo dos meses de 2019



Fonte: EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 2019.

De acordo com Ding (2017) as águas de chuvas e águas pluviais (*stormwater*) podem ser utilizadas para reúso. A população estudada por Ding é relutante em aceitar o reúso de águas pluviais por exemplo, devido sua maior contaminação, e é este o fator que retarda a prática de reúso.

Blackwood (2017) utilizou de otimizações estatísticas para comparar a reciclagem de águas tanto de chuva quanto de esgoto. Seu estudo analisou o reciclo de águas em climas úmidos e áridos e pode-se observar que o cenário mais sustentável foi em climas úmidos.

O Ministério da Saúde do Governo Federal, instituiu em outubro de 2017 a portaria de consolidação número 5, que estabelece procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano, assim como seu padrão de qualidade. Esta portaria instrui quanto aos padrões de potabilidade de águas tratadas por sistemas e soluções alternativas, onde pode-se enquadrar o sistema de filtração por membranas.

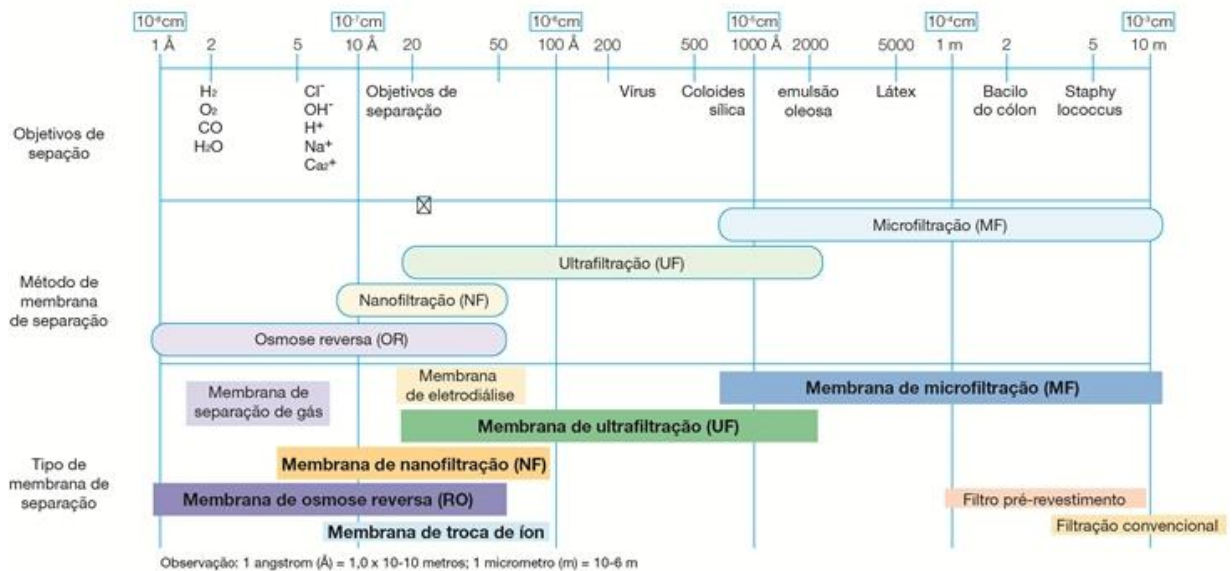
Nos Anexos desta dissertação pode-se encontrar os padrões de potabilidade estabelecidos pela portaria e que serão norteadores dos resultados deste trabalho.

2.2 PROCESSO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS

O processo de separação por membranas surgiu há pouco mais de 30 anos e vem ganhando mercado ano após ano. O sistema nada mais é que uma barreira semipermeável que através de uma força motriz faz a separação da solução de alguns componentes indesejáveis, como vírus, bactérias, coliformes e matéria orgânica. Dentre os sistemas de separação por membranas pode-se destacar as membranas de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa. A qualidade do permeado dessas membranas varia de acordo com o tamanho dos poros do elemento e a pressão utilizada no sistema de filtração (ARMOA; JR, 2011).

Na Figura 3 pode-se observar os diferentes materiais retidos pelo processo de separação por membranas.

Figura 3 – Alcance de aplicação das membranas de separação.



Fonte: Nitto Innovation for Costumers, 2018

Um comparativo realizado entre membranas de ultrafiltração com o carvão ativado e com o método tradicional de tratamento de águas verificou que as membranas de ultrafiltração além de removerem mais de 76% do carbono total apresentam custo de implantação e operação competitivos e viáveis ao longo do tempo (MIERZWA et al., 2008).

A qualidade da água pluvial após ultra e microfiltração com membranas foi estudada e constatou-se que as águas, mesmo pluviais, quando filtradas por membranas possuem pelo menos padrões para reúso não potável, podendo ser utilizadas em jardins, bacias sanitárias, lavagem de calçadas, veículos, entre outros (SANDOVAL et al., 2017).

Estudos realizados quanto aos benefícios na economia de energia quando a água da chuva é reutilizada constataram que a reutilização da água da chuva é sustentável devido à

redução de distâncias de transporte de água assim como o tratamento de água *in situ* melhora sua qualidade reduzindo o tratamento de águas na estação (CHEN et al., 2012).

Ensaio realizados no sul do Brasil compararam dois modelos de membranas a diferentes pressões para obter padrões de potabilidade da água da chuva. O estudo demonstrou que as membranas de UF são capazes de tornar a água potável de acordo com os padrões da Portaria Brasileira e da Diretiva Européia (MIORANDO et al., 2017)

Miorando (2015) observou em sua pesquisa que em 8 horas de análise, com água de chuva, a partir de 120 minutos o fluxo do permeado começava a decair, sendo necessário uma retrolavagem a partir de 120 minutos. O tempo de retrolavagem registrado pela autora foi de 2 minutos.

Kim et al. (2018) compararam as eficiências de remoção de poluentes emergentes com membranas de osmose progressiva, osmose reversa, nanofiltração e ultrafiltração. Os parâmetros de análise quanto a ultrafiltração foram: matéria orgânica dissolvida, absorção de UV, condutividade e pH. Esses parâmetros a pesar de terem sido utilizados em águas de mais difícil tratamento vão de encontro aos que serão analisados nesta dissertação.

Para este trabalho foi utilizada a membrana de ultrafiltração por apresentar boa qualidade de permeado, baixo consumo energético de operação e custo de implantação e operação acessível.

As membranas de UF, segundo a The Dow Chemical Company (2011), possuem uma vida útil dentre 3 a 5 anos, que é a mesma quando comparados as membranas de Osmose. Sabe-se que as membranas possuem essa faixa de valores para vida útil, pois sua eficiência irá depender do material que está sendo filtrado.

Gao et al. (2011) categorizaram a colmatação (fouling) como sendo a rejeição física, química e biológica da membrana a impurezas. A colmatação de partículas ocorre de duas formas, com partículas grandes na parte interior dos poros da membrana e com a formação de torta na extremidade que dificulta a permeabilidade. A colmatação orgânica ocorre através dos pesos moleculares e diferentes hidrofobicidades da membrana com a matéria orgânica. A bio colmatação é caracterizada pela formação de colônias na superfície da membrana, como é o caso de algas.

2.3 CONSUMO ENERGÉTICO E PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

O Ministério de Minas e Energia (MME) do Governo Federal instituiu em 1994 o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (Prodeem) que busca o desenvolvimento autossustentável, social e econômico de locais isolados do Brasil, com a criação deste programa a energia solar fotovoltaica foi incorporada à matriz energética nacional.

Estudo elaborado por Lenz et al. (2017) comparou meios alternativos de geração de energia por meio da energia solar. Os autores compararam a eficiência de painéis compostos por latas de alumínio, forro de PVC e garrafas PET. Dentre os resultados obtidos as latas de alumínio obtiveram melhor desempenho, porém, apesar de ser uma alternativa sustentável, sua eficiência é consideravelmente inferior ao sistema de painéis fotovoltaicos.

Assim como todos os elementos que compõe uma edificação, os painéis solares também necessitam de manutenção para garantir seu desempenho. Deb e Brahmbhatt (2017) compararam os sistemas atuais de limpeza de painéis solares. O custo de manutenção segundo os autores é insignificante e proporciona um aumento de 9,05% na produção de energia.

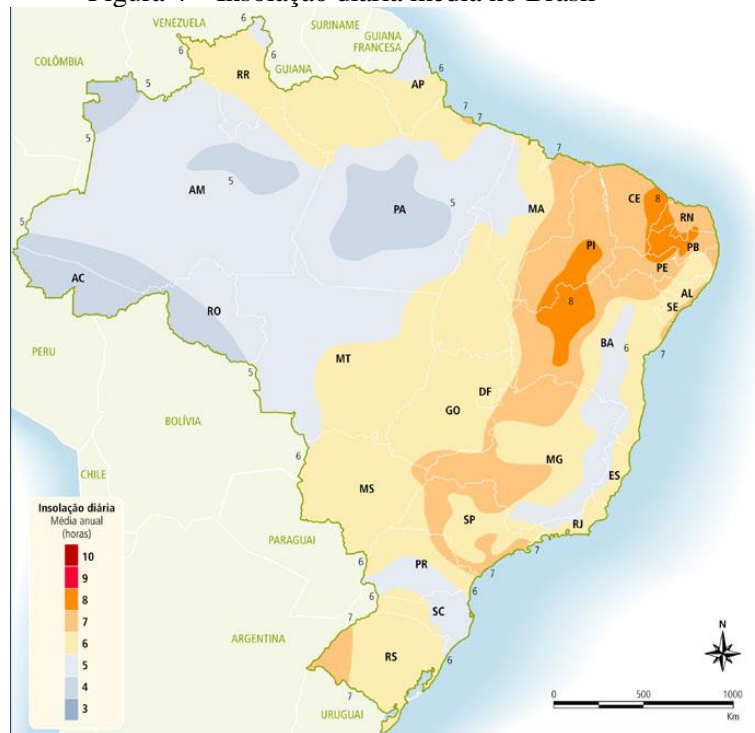
Pode-se explicar os painéis fotovoltaicos como sendo um material semicondutor onde são adicionadas substâncias dopantes para que seja possível realizar a conversão da potência da radiação solar em potência elétrica CC (DESCONZI, 2010).

Dentre os tipos de painéis fotovoltaicos destacam-se três tecnologias que diferem-se de acordo com o material e suas características. Tem-se então as células FV (fotovoltaicas) compostas por silício cristalino (que pode ser subdividido em silício monocristalino e silício policristalino), sendo esse o mais utilizado devido sua melhor eficiência. A segunda geração de células é também conhecida como filmes finos e é composta de três tipos: Silício amorfo, disseleneto de cobre, índio e gálio, e telureto de cádmio. Por fim a terceira geração visa uma maior eficiência utilizando um único band-gap eletrônico. Ainda em fase de testes pode-se citar as células orgânicas ou poliméricas (CEPEL e CRESESB, 2014).

Diversos estudos comprovam a eficiência dos painéis solares fotovoltaicos no Brasil. Acredita-se que com o desenvolvimento do mercado essa tecnologia estará ainda mais acessível e podendo ser utilizada em qualquer região do país com elevada eficiência. (WANDERLEY e CAMPOS, 2013).

O Brasil possui uma média nacional de insolação por hora como pode ser observado na Figura 4 onde para a região de análise tem-se pelo menos 6 horas de insolação diárias, onde o sol está “a pino” e proporciona uma maior produção de energia durante 5 horas.

Figura 4 – Insolação diária média no Brasil



Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000

De acordo com NeoSolar (2019) os sistemas fotovoltaicos podem ser *off grid* (sistemas independentes) ou *grid-tie* ou *on grid* (sistemas conectados). Os sistemas independentes são mais utilizados em regiões remotas, demandam de um sistema de baterias para armazenamento da energia produzida, enquanto os sistemas conectados necessitam apenas dos painéis e inversores. A energia é produzida e consumida, o excedente é devolvido ao sistema elétrico municipal e retorna ao proprietário na forma de créditos na fatura da energia elétrica. O sistema *on grid* chega a ser 30% mais eficiente que o *off grid* em termos de produção e consumo de energia.

A produção de energia elétrica através da energia do sol é incentivada pelo governo federal através da A RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015, esta lei também é conhecida como lei do incentivo a energia solar.

A LEI 13.169 de 06 de outubro de 2015 estabeleceu a redução à zero das alíquotas da Contribuição para o PIS/Pasep e da Contribuição para Financiamento da Seguridade Social – COFINS da soma da energia ativa produzida pelo consumidor e injetada à rede fornecedora, na forma de créditos de energia.

2.4 VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS

Buscando-se unir sustentabilidade com fatores econômicos o estudo de viabilidade econômica torna-se essencial para quantificar um empreendimento a fim de tomar ou não a decisão de investir. A correta análise econômica de um projeto leva em consideração um conjunto de informações, coletadas e processadas para que seja possível verificar a viabilidade econômica de determinado investimento. (ALMEIDA, 2015).

O reuso de águas foi avaliado por Aydiner et al (2014) de maneira técnica e econômica para recuperar a água de laticínios. Foram testados PSM de: osmose inversa, destilação por membranas, ultrafiltração e osmose reversa. Os resultados para a viabilidade técnica e econômica foram obtidos para todas as membranas, com um *payback* de menos de um ano.

Wang et al (2019) considerou diversos sistemas tradicionais para potabilização de águas para um sistema urbano de tratamento e verificou a viabilidade técnica e econômica do membrana cerâmica de leito móvel biorreator (MBCMBR) e osmose reversa (OR) quando comparado aos sistemas tradicionais.

A ultrafiltração, como já citado anteriormente, possui menor custo de implementação, estudo realizado por Rojas (2017) utilizou a nanofiltração para avaliação econômica da dessalinização de águas, o projeto em questão mostrou-se viável economicamente.

O processo de separação por membranas foi utilizado e avaliado economicamente em projeto de avaliação da água evaporada na indústria de sucos de laranja para fins de consumo humano, a viabilidade econômica e a potabilidade foram atendidas por Coelho (2013).

Estudo realizado quanto a viabilidade econômica de instalação de painéis fotovoltaicos em uma instituição de ensino no sul de Santa Catarina considerara um período de retorno de investimento de 15 anos. O investimento mostrou-se viável com *payback* de 7,5 anos (DASSI et al., 2015).

Segundo Rojas (2017) e Dassi et al. (2015) o projeto pode ser avaliado quanto a sua viabilidade econômica levando-se em consideração os seguintes parâmetros: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o período de recuperação do investimento (*payback*).

2.4.1 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

A taxa interna de retorno (TIR) é uma taxa que anula valores de receita e despesa do fluxo de caixa, ainda de acordo com este autor esta é uma das alternativas mais interessantes para verificar se um investimento será ou não viável, a escolha pelo investimento será vantajosa se a taxa de retorno (TIR) for maior que a taxa mínima de atratividade (TMA) (FRANCISCO, 1991). A TIR pode ser obtida seguindo a Equação 1.

$$VP = \text{capital} + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

VP = Valor Presente;

Capital = Valor do investimento;

n = Quantidade de períodos;

Ft = Entrada de capital no período t;

TIR – Taxa interna de Retorno.

2.4.2 PAYBACK

O *Payback* é o tempo necessário para recuperação de um investimento inicial. Obtém-se o *payback* através das entradas de caixa. Se o valor obtido no *payback* for menor que o período máximo para retorno do investimento o projeto será aceito, caso contrário rejeita-se o projeto por não ser viável (GILMAN, 2012). O valor do *payback* pode ser obtido pela Equação 2.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{ganho no período}} \quad (\text{Equação 2})$$

Como já fora citado nesta dissertação o custo de um sistema de energia solar é de grande investimento quando comparado ao sistema tradicional que alimenta as residências. Embora seja um elevado investimento as análises financeiras que serão feitas buscarão avaliar a viabilidade do sistema como um todo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta dissertação analisou a viabilidade econômica e operacional de ultrafiltrar a água da chuva com energia proveniente de painéis fotovoltaicos de uma cidade no Sul no Brasil. Esta análise deu-se ao longo de dez meses e buscou atender aos padrões de potabilidade nacionais e algumas premissas da União Europeia para abastecimento de água potável.

Esta pesquisa deu-se com o seguinte delineamento:

- 1) Experimentação em ensaios de longa duração;
- 2) Análise econômica;
- 3) Análise dos dados.

3.1 COLETA DA ÁGUA DE CHUVA

Para experimentação em escala piloto foi coletada a água proveniente da chuva em uma queda (água) do telhado do prédio L1 – Engenharia de Alimentos ($28^{\circ}13'53.5''S$ $52^{\circ}23'04.6''W$) na Universidade de Passo Fundo (BRA-RS). O ponto localizado na Figura 5 mostra o quadrante de área de captação (aproximadamente 90 m^2 de telhado) utilizado para coleta da água de chuva.

O telhado constituído de telhas de fibrocimento possui inclinação de 30%. A coleta da água proveniente da chuva dá-se por calhas de alumínio que conduzem a água até os tubos de queda em policloreto de vinila (PVC).

Figura 5 – Imagem de satélite do Prédio L1 – Engenharia de Alimentos na UPF.

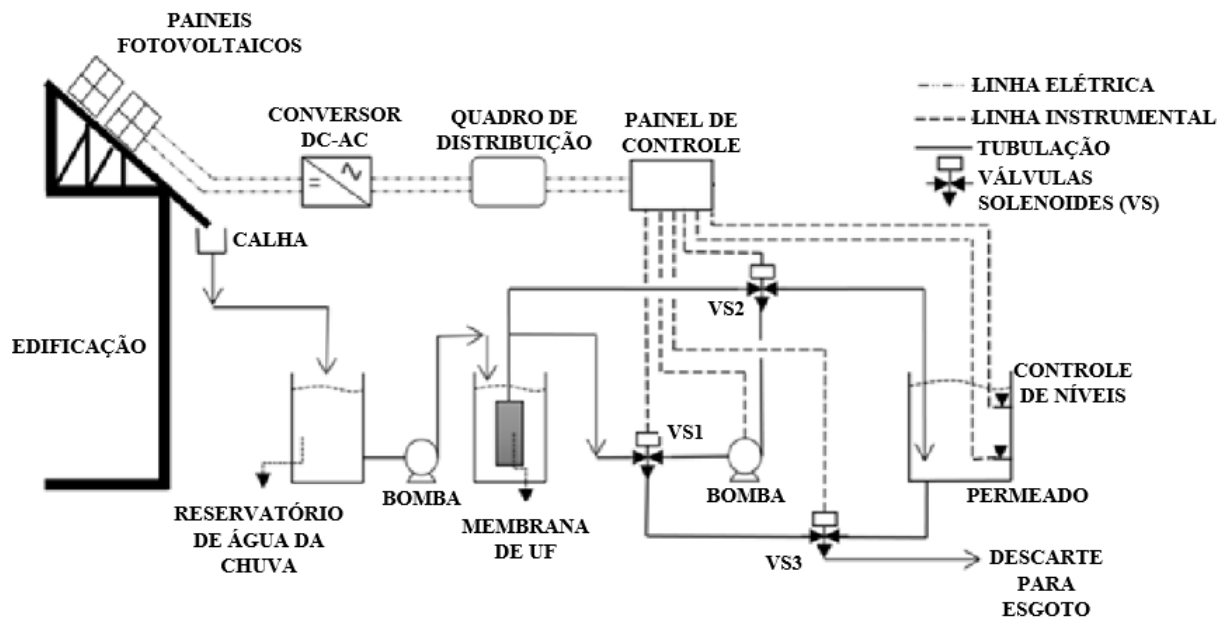


Fonte: Google Maps, 2019

3.2 EQUIPAMENTO E INSTALAÇÃO DE ULTRAFILTRAÇÃO

O sistema de coleta, filtração e energização pode ser observado na Figura 6. Os equipamentos foram instalados nas dependências do Laboratório de Operações Unitárias da UPF. Os painéis fotovoltaicos foram previstos para projeto, porém foram utilizados os painéis existentes no parque fotovoltaico da universidade.

Figura 6 – Esquema de instalação.

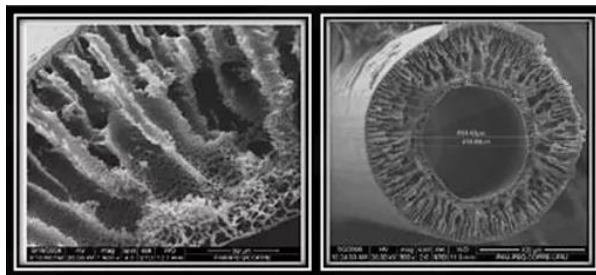


Fonte: Brião, 2018

As características da membrana utilizada são:

- Membrana cilíndrica do tipo fibra oca em poliétersulfona;
- Diâmetro externo das fibras entre 0,8 e 0,9 mm;
- Pressão máxima de operação de 5 bar;
- Temperatura máxima de operação de 55 °C;
- pH de 2,0 a 13,0.

Figura 7 – Superfície porosa e seção transversal da membrana



Fonte: Pam Membranas Seletivas, 2019

O sistema de ultrafiltração contou com equipamento automatizado fornecido pela empresa Pam Membranas Seletivas.

3.3 PROCEDIMENTO OPERACIONAL DA FILTRAÇÃO

O reservatório observado na Figura 6 foi higienizado previamente para que coletasse a água sem influência prévia de contaminantes, bem como passou por manutenções mensais de limpeza.

Com base no trabalho de Miorando et al. (2017), definiu-se que o tempo de operação e retrolavagem seriam de 90 min de filtração, seguido por 30 s de retrolavagem, seguido novamente por 90 min de filtração.

O permeado utilizado para as análises foi o do segundo ciclo, por entender-se que devido a colmatação, poder-se-ia ter um permeado de baixa qualidade ao fim dos experimentos.

A filtração contou com alimentação manual do reservatório de água do equipamento, que mantinha a membrana submersa. A água que alimentou o sistema foi proveniente do reservatório de alimentação apresentado na Figura 6 que possui instalações hidráulicas até a lateral do equipamento de filtração.

Após instalação da membrana e submersão em água bruta é ligado o equipamento, que para sua operação necessita de um computador equipado com software do fabricante. Estando o computador ligado, conectado ao equipamento e com a chave de licença do produto deve-se ligar o disjuntor e em seguida o equipamento que não irá iniciar operação até que seja programado para o tal.

Utilizando-se do software do fabricante programou-se a filtração conforme previamente informado, e observou-se a cada 30 min o valor de fluxo e pressão registrados no equipamento. Os valores médios diários podem ser conferidos nos resultados desta dissertação.

Ao finalizar a filtração eram anotados os volumes de permeado bem como iniciado análises laboratoriais. O permeado produzido era adicionado ao reservatório de equalização onde eram dosados de 0,2 a 2 mg/L de cloro. A água equalizada e clorada passou por ensaios laboratoriais, assim como a água do permeado e bruta.

A Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 solicita que, para tratamentos alternativos de águas superficiais, sejam feitas análises diárias de cloro residual livre e análises semanais de cor, turbidez, pH e coliformes totais. Tendo em vista que este trabalho busca, além de analisar o sistema de UF, provar que o mesmo pode ser utilizado, com confiança pelos usuários, foram

realizadas análises mais complexas do que somente as solicitadas pela portaria que podem ser observadas no Quadro 1.

A periodicidade em que foi realizado o monitoramento é apresentada no Quadro 1. A água analisada foi o permeado da semana, armazenado e com dosagem de cloro residual livre entre 0,2 a 2 mg/L de acordo com a Portaria 2914 de dezembro de 2011, o permeado recém filtrado sem cloração, e a água bruta, amostras essas estabelecidas pela Portaria de Consolidação nº 5 de 2017. Além dos parâmetros analíticos, foram monitorados também o fluxo permeado, pressão e operação e volume de água tratada produzida.

Quadro 1 – Parâmetros e periodicidade das análises laboratoriais

| Parâmetro | Frequência | Princípio do Método | Referência |
|--------------------------------------|-------------------|--|----------------------------|
| Alcalinidade | Semanal | Método Titulométrico com Indicadores Laranja de Metila e Fenolftaleína | NBR 9896/1993 |
| Dureza Total | Semanal | Método Titulométrico com do EDTA Sódico | NBR 12621/Set 1992 |
| Sulfato | Semanal | Método Turbidimétrico | APHA, 2005 |
| Nitrogênio Amoniacal | Semanal | Destilação e titulação | NBR 9896/1993 |
| pH | Diária | Método Eletrométrico | APHA, 2005 |
| Condutividade Elétrica | Diária | Resistência Elétrica | APHA, 2005 |
| Cloro Residual Livre | Diária | Fita teste para cloro livre | - |
| Matéria Orgânica | Semanal | Método do permanganato de potássio | ABNT/ NBR 10739 – Set/1989 |
| Coliformes Totais | Semanal | Tubos múltiplos | Ministério da Agricultura |
| <i>E. Coli</i> | Semanal | Tubos múltiplos | Ministério da Agricultura |
| Turbidez | Diária | Espectrofotométrico | APHA, 2005 |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) | Mensal | Método respirométrico. | APHA, 2005 |

| | | | |
|---------------------|-----------|--|------------|
| Nitrogênio Kjeldahl | Semanal | Digestão ácida da amostra, destilação e titulação. | APHA, 2005 |
| Nitratos | Mensal | Colorimétrico | APHA, 2005 |
| Nitritos | Mensal | Colorimétrico | APHA, 2005 |
| Ácidos Húmicos | Semanal | Absorbância a 254 nm | - |
| Fósforo Total | Semanal | Digestão Ácida | APHA, 2005 |
| Cor | Semanal | Espectrofotométrico | APHA, 2005 |
| Volume de Permeado | Diária | Medida volumétrica | - |
| Fluxo de Filtração | Diária | Rotâmetro | - |
| Pressão | Diária | Manômetro | - |
| Cobre (Cu) | Semestral | Espectrometria de Absorção Atômica de Chama | SMWW 3111B |
| Manganês (Mn) | Semestral | Espectrometria de Absorção Atômica de Chama | SMWW 3111B |
| Ferro (Fe) | Semestral | Espectrometria de Absorção Atômica de Chama | SMWW 3111B |
| Zinco (Zn) | Semestral | Espectrometria de Absorção Atômica de Chama | SMWW 3111B |
| Alumínio (Al) | Semestral | Kit Merck | Kit Merck |
| Cádmio (Cd) | Semestral | Voltamérico | SMWW 3130B |
| Chumbo (Pb) | Semestral | Voltamérico | SMWW 3130B |
| Cromo (Cr) | Semestral | Kit Merck | Kit Merck |

Fonte: O autor, 2019

3.4 ESTIMATIVA DE CONSUMO ENERGÉTICO POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos desta dissertação, levou-se em consideração a energia produzida no parque fotovoltaico da Universidade de Passo Fundo que conta com 54 painéis solares alocados próximos ao prédio R1 (CETEC), em uma área de 750 m² com potência de 17,55 kW. As características dos painéis são:

- a. Dois conjuntos, de 30 e 24 módulos;
- b. Disposto a Norte;
- c. Cada painel possui dimensões de 2x1 (comprimento X largura);
- d. Potência máxima por módulo de 330Wp;
- e. Superfície de captação de energia solar de 108m²;
- f. Geração real de energia de 210 Wh/mês/painel

Figura 8 – Painéis Solares existentes localizados na UPF.



Fonte: UPF, 2019

Durante seus primeiros quatorze meses de operação, entre maio de 2018 e julho de 2019 os painéis produziram uma média de 1.724 KWh/mês. Este valor é a geração real de energia, não sendo necessário descontar-se a eficiência do sistema. Para dimensionamento dos painéis desta dissertação levou-se em consideração o valor de 210 Wh/mês de produção energética, por painel, visto que é um valor médio produzido pelos painéis instalados na Universidade de Passo Fundo.

O consumo energético do equipamento piloto foi realizado com um multímetro de alicate (marca minipa, modelo ET-3111). O multímetro foi instalado durante 3 h de operação, resultando em 160 Wh de consumo energético. A bomba dimensionada para energizar o sistema foi de 1 cv (735,49 W), assim sendo, a bomba possui uma potência maior do que a requerida pelo equipamento, suprimindo a demanda existente.

Com base nestes dados de consumo do equipamento e geração média de energia, foi possível realizar o dimensionamento de painéis *on grid* para então realizar a análise econômica de ambos os sistemas para os três cenários descritos no item 3.1.

De acordo com Junior (2017), para a região Sul do país, os painéis fotovoltaicos trabalham gerando energia elétrica por em média 5,5 horas por dia, visando-se a segurança do dimensionamento dos painéis, nesta dissertação serão consideradas 5 horas de insolação diária para a produção de energia.

Os painéis orçados e escolhidos para o desenvolvimento desta dissertação possuem os elementos que se encontram no apêndice desta dissertação.

O orçamento obtido contém o valor de um conjunto de 6 paineis. Logo, o valor presente no apêndice desta dissertação foi dividido por 6 para obtenção do valor unitário.

3.1 ANÁLISE ECONÔMICA

A análise da viabilidade econômica foi desenvolvida para três cenários: pequeno, médio e grande porte. Em todos os cenários considerou-se um telhado simples de duas águas, perfazendo o perímetro inteiro das edificações, e tendo a água coletada em todos os tubos de queda e direcionada a reservatórios para armazenamento. A população e consumo diário para cada cenário pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 – População e consumo diário por área de telhado.

| Cenários | População (hab) | Consumo diário (L/hab.dia) |
|--|-----------------|----------------------------|
| 230 m ² | 3 | 150 |
| 2.300 m ² | 330 | 50 |
| 11.500 m ² | 2000 | 50 |
| Dados de população de acordo com Sabesp (2019) | | |

Fonte: O autor, 2019

A análise foi realizada considerando-se os seguintes cenários para cada edificação:

- a) Implementação do Sistema de UF;
- b) Implementação do Sistema de UF e de Painéis Fotovoltaicos *on grid*.

Foram levantados os valores dos elementos que serão utilizados para energizar o sistema, realizar a filtração e suas análises qualitativas. Ou seja, todo o equipamento a ser utilizado, bem como reagentes, custos de análises laboratoriais e manutenção foram contabilizados para realização das seguintes análises financeiras para cada caso estudado:

- a) TIR - Taxa interna de retorno (Equação 1);
- b) PAYBACK - Período de recuperação do investimento (Equação 2);

A vida econômica do projeto foi de 10 anos para todos os cenários, com trocas de membrana a cada dois anos e manutenção anual de todos os sistemas. Para que seja possível observar a viabilidade do sistema pode-se comparar o valor obtido na TIR com aplicações no mercado financeiro (Tesouro Direto).

3.2.1 RENTABILIDADE DO MERCADO FINANCEIRO

Uma das maneiras de se analisar a viabilidade de um investimento é através de títulos do tesouro direto. Na Tabela 2 as opções de investimento no Tesouro Direto com títulos indexados ao IPCA para o dia 30 de outubro de 2019. Salienta-se que os valores podem sofrer alterações diárias. Tomou-se por base os títulos ofertados no Tesouro Direto observa-se que o “Tesouro IPCA + 2035” oferece uma taxa de juro real de 3,07% a.a.

Tabela 2 - Preços e taxas do Tesouro Direto para título Indexados ao IPCA

| Preços e taxas dos títulos públicos disponíveis para investir | | | | |
|---|------------|-----------------------------|--------------|----------------|
| Título | Vencimento | Taxa de Rendimento (% a.a.) | Valor Mínimo | Preço Unitário |
| Indexados ao IPCA | | | | |
| Tesouro IPCA+ 2024 | 15/08/2024 | IPCA + 2,10 | R\$58,67 | R\$2.933,69 |
| Tesouro IPCA+ 2035 | 15/05/2035 | IPCA + 3,07 | R\$40,57 | R\$2.028,58 |
| Tesouro IPCA+ 2045 | 15/05/2045 | IPCA + 3,07 | R\$30,00 | R\$1.500,49 |
| Tesouro IPCA+ com Juros Semestrais 2026 | 15/08/2026 | IPCA + 2,40 | R\$39,93 | R\$3.993,16 |
| Tesouro IPCA+ com Juros Semestrais 2035 | 15/05/2035 | IPCA + 2,92 | R\$45,47 | R\$4.547,47 |
| Tesouro IPCA+ com Juros Semestrais 2050 | 15/08/2050 | IPCA + 3,28 | R\$49,56 | R\$4.956,01 |

Fonte: Tesouro Nacional, 2019

Para considerar-se um investimento no Tesouro Direto, tem-se um custo devido a taxa de custódia, que é uma taxa cobrada anualmente para armazenar e realizar a manutenção dos títulos e atualmente está em 0,25% a.a.

Fazendo o rateio da taxa de custódia entre o índice IPCA e a taxa de juros real, tem-se o valor de 0,125% a.a. que deve ser descontado da rentabilidade do título.

Como o vencimento do título é superior a 3 anos incide sobre a rentabilidade 15% de Imposto de Renda. Assim tem-se como taxa de juro real líquida:

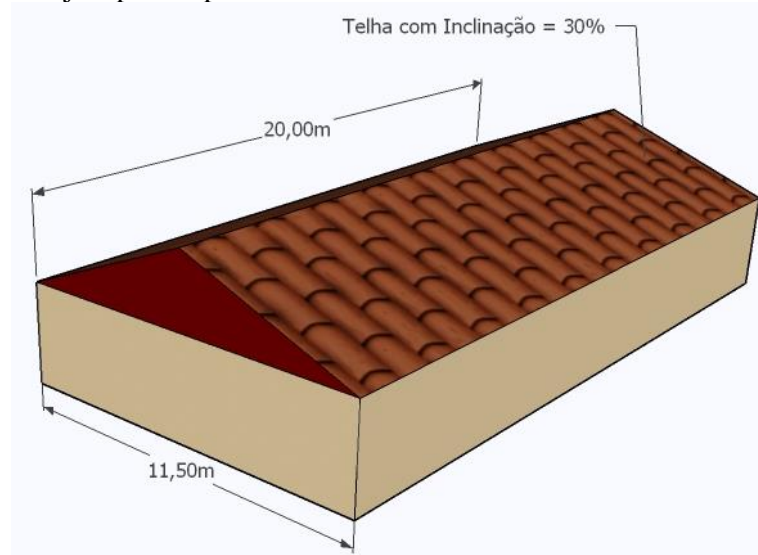
$$\text{Taxa de Juro Real Líquida: } (3,07 - 0,125) \times (1 - 0,15) = 2,50\% \text{ a.a.}$$

Com a determinação desta taxa verifica-se que o rendimento de um investimento no tesouro direto é de 2,50% a.a. Desta forma para analisar-se a viabilidade econômica de um projeto, deve-se considerar que o investimento tenha como rentabilidade mínima a taxa de juros líquida do Tesouro Direto acrescido de um percentual que representa as incertezas relacionadas com possíveis flutuações de preços de energia elétrica, custo de reagentes e ensaios de qualidade, investimento em componentes do sistema, clima, eventuais manutenções não previstas, entre outros. Ou seja, o valor de taxa interna de retorno deve ser superior aos 2,5% a.a. da taxa de juro real líquida.

3.2.2 PROJETO PADRÃO, PRECIPITAÇÃO E CONSUMO

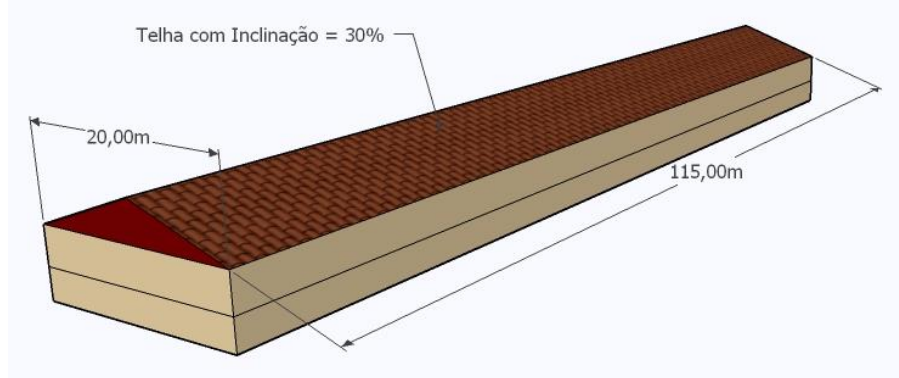
Para realização da análise de viabilidade econômica, foram utilizados três cenários. O primeiro, considerando-se uma residência de 230 m² de área de cobertura. O cenário intermediário teve como base no prédio L1 – Engenharia de Alimentos (28°13'53.5"S 52°23'04.6"W) na Universidade de Passo Fundo (BRA-RS) com área de cobertura de 2.300 m². O terceiro cenário, de maior porte, possui uma área de cobertura de 11.500 m², e estimou-se que seria uma indústria (não se considerou a água da produção industrial, apenas o consumo dos funcionários). Todas as coberturas possuíam uma telha na inclinação de 30%. A síntese de consumo e população pode ser observada na Tabela 1.

Figura 9 – Projeto padrão para análise econômica do cenário de 230 m² de cobertura



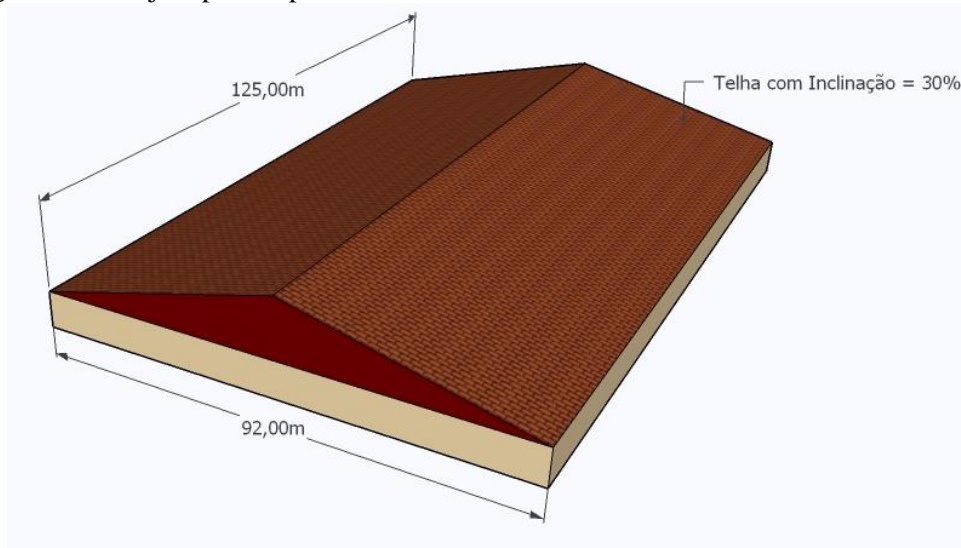
Fonte: O autor, 2019

Figura 10 – Projeto padrão para análise econômica do cenário de 2.300 m² de cobertura



Fonte: O autor, 2019

Figura 11 – Projeto padrão para análise econômica do cenário de 11.500 m² de cobertura



Fonte: O autor, 2019

Para a região de Passo Fundo-RS, de acordo com dados do website Climate-data (2019), a precipitação média anual é de 1.746 mm. Março é considerado o mês de menor precipitação (115 mm) e setembro o mês de maior precipitação (204 mm). Calculando-se a média mensal tem-se uma precipitação de 145,50 mm.

As áreas de captação citadas anteriormente foram de 230, 2.300 e 11.500 m², assim, para a precipitação média mensal, tem-se uma coleta de 33,46, 334,65 e 1.673,25 m³, respectivamente, por mês.

O consumo de água levou em consideração dados da Sabesp (2019) que para residências é de 150 L/hab.dia, e para ambientes onde não há o pernoite é de 50 L/hab.dia, com isso, e considerando-se a população previamente citada, tem-se os seguintes consumos hídricos diários para cada cenário: 450 L/d para a residência, 16.500 L/d para o prédio L1 e 100.000 L/d para a indústria.

3.2.3 MEMBRANA DE UF

Tendo-se como padrão as características da membrana utilizada no projeto piloto para ultrafiltração, considerou-se o mesmo fluxo para determinação da área de membrana necessária para o projeto padrão. Assim sendo, optou-se por uma membrana submersa, modelo HSU-1515 de 20 m² da Toray®, cujo valor por módulo é de US\$ 1100,00 (um mil e cem dólares americano), sendo que o metro quadrado da membrana em questão custa US\$ 55,00 (cinquenta e cinco dólares americanos).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão exibidos os resultados de qualidade da água bem como viabilidade econômica e energética do sistema.

4.1 QUALIDADE DA ÁGUA

As análises de qualidade da água seguiram a periodicidade estabelecida nos materiais e métodos desta dissertação. No Quadro 2 pode-se observar os valores mínimos, médios e máximos para as análises, brutas, filtradas, e filtradas e cloradas bem como os indicadores da legislação de referência. Os gráficos por análise, com o comportamento ao longo dos dias, podem ser consultados nos apêndices desta dissertação.

O pH verificado esteve em uma faixa de 6,1 a 8,2 de pH. A Portaria de Consolidação nº 5 (2017) estabelece uma faixa de valores de pH para águas potáveis no sistema de distribuição, que vai de 6,0 a 9,5, este valor leva em consideração desde a saúde dos usuários e a não degradação das linhas do sistema de abastecimento de água.

Quadro 2 – Resultados das análises laboratoriais

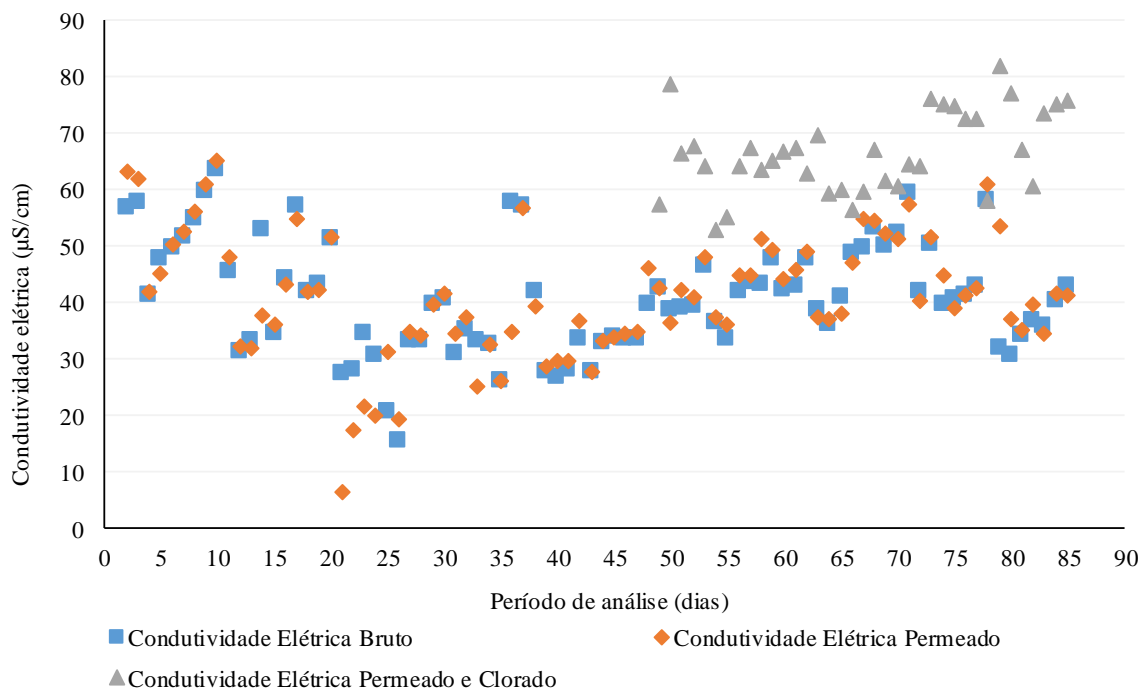
| Análise | Bruto | | | Filtrado | | | Filtrado e Clorado | | | Legislação | | |
|--|--------|-------|--------|----------|-------|--------|--------------------|-------|--------|------------|--------|-------------|
| | Mínimo | Médio | Máximo | Mínimo | Médio | Máximo | Mínimo | Médio | Máximo | Mínimo | Máximo | Unidade |
| pH | 6,12 | 7,18 | 8,22 | 6,00 | 7,18 | 8,01 | 6,66 | 7,22 | 8,00 | 6,00 | 9,5 | NA |
| Condutividade | 15,50 | 40,99 | 63,80 | 6,62 | 41,17 | 65,12 | 53,14 | 66,71 | 81,91 | NA | 500,00 | µS/cm |
| Turbidez | 0,10 | 1,08 | 4,40 | 0,00 | 0,07 | 0,52 | 0,00 | 0,08 | 0,37 | NA | 5,00 | uT |
| Sulfatos | 0,03 | 0,14 | 0,25 | 0,02 | 0,10 | 0,18 | 0,05 | 0,10 | 0,17 | NA | 250,00 | mg/L |
| Cobre (Cu) | <0.11 | <0.11 | <0.11 | <0.11 | <0.11 | <0.11 | <0.11 | 0.12 | 0.13 | NA | 2,00 | mg/L |
| Manganês (Mn) | 0.03 | 0.075 | 0.12 | <0.03 | 0.03 | 0.03 | <0.03 | <0.03 | <0.03 | NA | 0.1 | mg/L |
| Ferro (Fe) | 0.05 | 0.07 | 0.09 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | 0.05 | 0.065 | 0.08 | NA | 0.3 | mg/L |
| Zinco (Zn) | <0.23 | <0.23 | <0.23 | <0.23 | <0.23 | <0.23 | <0.23 | <0.23 | <0.23 | NA | 5,00 | mg/L |
| Alumínio (Al) | ND | <0.02 | <0.02 | ND | <0.02 | <0.02 | ND | <0.02 | <0.02 | NA | 0.2 | mg/L |
| Cádmio (Cd) | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | NA | 0.005 | mg/L |
| Chumbo (Pb) | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | NA | 0.01 | mg/L |
| Cromo (Cr) | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | NA | 0.05 | mg/L |
| Cor | 7,50 | 13,33 | 25,00 | 0,00 | 4,00 | 14,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | NA | 15,00 | uH |
| Dureza | 2,00 | 7,31 | 12,00 | 0,80 | 4,10 | 12,00 | 2,00 | 3,07 | 4,00 | NA | 500,00 | mg/L |
| Alcalinidade | 6,00 | 13,40 | 20,00 | 5,00 | 12,50 | 20,00 | 6,00 | 9,20 | 12,00 | NA | NA | NA |
| Fósforo total | 0,02 | 0,03 | 0,07 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | NA | 0,05 | mg/L |
| TKN | 0,21 | 0,24 | 0,27 | 0,21 | 0,24 | 0,27 | 0,12 | 0,21 | 0,25 | NA | NA | NA |
| Nitrogênio Amoniacal | 0,04 | 0,08 | 0,15 | 0,04 | 0,06 | 0,10 | 0,04 | 0,09 | 0,20 | NA | 1.5 | mg/L |
| Ácidos Húmicos | 0,00 | 0,01 | 0,05 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | NA | 0.1 | mg/L |
| Matéria Orgânica | 0,00 | 1,61 | 3,69 | 0,00 | 0,83 | 2,76 | 0,00 | 0,03 | 0,18 | NA | 5,00 | mg/L |
| DBO | 0,50 | 5,75 | 11,00 | 1,00 | 2,32 | 5,25 | 0,75 | 2,20 | 3,00 | NA | 10,00 | mg/L |
| Nitrato | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,02 | 0,04 | 0,07 | 0,04 | 0,06 | 0,12 | NA | 10,00 | mg/L |
| Nitrito | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | NA | 1,00 | mg/L |
| Coliformes Totais | >23 | >23 | >23 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | NA | 0,00 | 0 em 100 mL |
| <i>E coli</i> | >16 | >16 | >16 | <2.2 | <2.2 | <2.2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | NA | 0,00 | 0 em 100 mL |
| NA = não se aplica | | | | | | | | | | | | |
| ND = não detectável pelo método | | | | | | | | | | | | |
| Cloro Residual Livre em concentração de 2 mg/L na água filtrada e clorada em todas as amostras | | | | | | | | | | | | |

Fonte: O autor, 2019

Estudo realizado por Pereira (2014) observou que na região de Lejeado-RS o pH da água da chuva esteve entre 6,60 e 7,20. O estudo realizado por May e Prado (2007) encontrou valores de pH entre 6,7 e 7,1. Análises realizadas por Jaques (2005) e Guedes (2012) também encontraram valores de pH entre 6,0 e 7,5. Pode-se analisar visualmente na Figura 26, nos apêndices, que a grande maioria dos resultados se encontram dentro desta faixa de valores, o que é característico de águas de chuva e vai de encontro com os padrões de potabilidade, e a membrana por sua vez não remove este elemento da água. No entanto, ressalta-se que o pH da água de chuva é fortemente influenciado pela poluição atmosférica. Em Passo Fundo não há evidências de contaminação atmosférica por emissão industrial, o que, em geral, ocasiona a redução do pH com formação de ácido nítrico e sulfúrico.

Na Figura 12 pode-se observar que a faixa de valores obtidos para a condutividade elétrica encontram-se dentro do esperado para águas potáveis. Nota-se que a membrana de UF não é capaz de remover a condutividade elétrica da água bruta. Pode-se ainda observar o efeito da cloração na condutividade elétrica, o aumento da condutividade elétrica dá-se devido a utilização de hipoclorito de sódio (um sal). Contudo, não há prejuízos na potabilidade da água.

Figura 12 - Condutividade elétrica ao longo do tempo

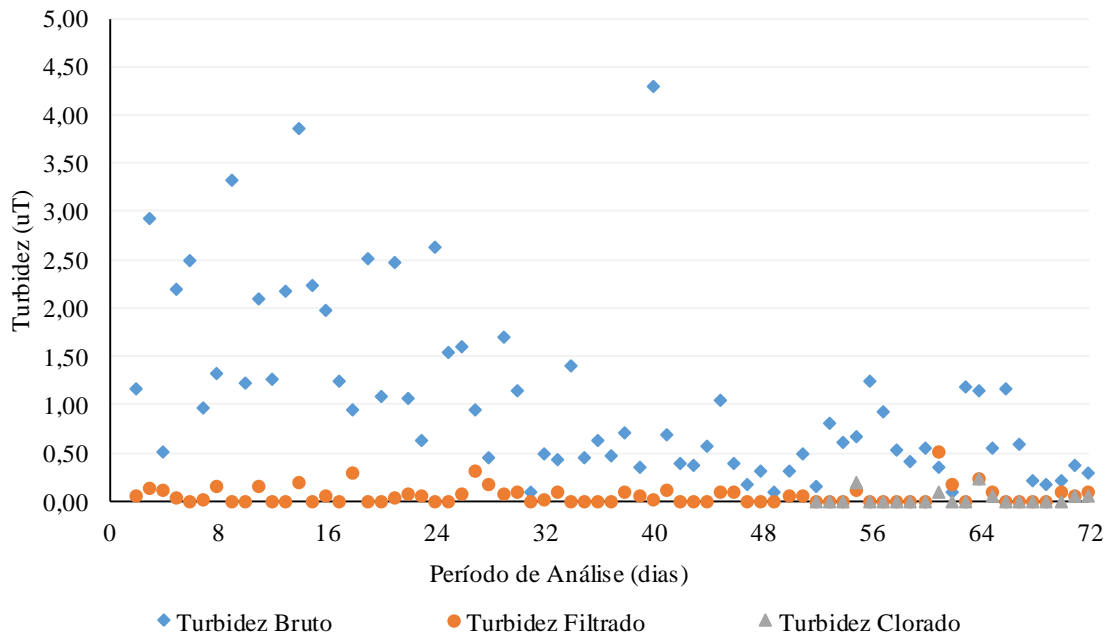


Fonte: O autor, 2019

A Figura 13 mostra a turbidez da água de chuva e da água tratada por UF. A turbidez máxima da água de chuva foi de 4,3 NTU, enquanto a UF reduziu essa faixa para valores menores que 0,5 NTU. O motivo para tal fato é que a turbidez pode ser uma medida indireta do

material particulado e coloidal presente na água, passíveis de serem removidos pela UF (Figura 3). A presença de turbidez na água se dá por partículas em suspensão que podem atuar como escudo de micro-organismos patogênicos e minimizar a ação de desinfetantes. A Portaria de Consolidação nº 5 (2017) estipula um valor máximo de turbidez de 5 uT em águas para fins de potabilidade.

Figura 13 - Turbidez ao longo do tempo



Fonte: O autor, 2019

Os parâmetros encontrados por May e Prado (2007) para a turbidez da água da chuva encontram-se entre 0,7 e 3,6. Os valores encontrados em outras bibliografias vão em encontro com os obtidos para a região de análise. Cabe-se ressaltar que os pontos de pico ocorreram após períodos sem chuva, o que acarreta em uma maior acumulação de matéria orgânica e sólidos no telhado, que após a primeira chuva foi lavado para o experimento.

A turbidez está diretamente ligada com o material em suspensão, material este que é retido pela membrana de ultrafiltração, porém após períodos sem chuva a turbidez aumenta, o que pode acarretar na redução da vida útil da membrana. Recomenda-se aqui que a primeira chuva seja descartada em função da elevada turbidez, para assim prolongar a vida útil da membrana.

A determinação do cloro residual livre deu-se através de fitas de medição, onde diariamente conferiu-se o valor existente no tanque de armazenamento e dosou-se, quando necessário, mais cloro. Adotou-se o valor de 2 mg/L de cloro residual livre no reservatório de água filtrada por ser o valor previsto na legislação.

O Cloro residual livre, segundo Ministério da Saúde (2014), é fundamental contra o crescimento bacteriano, possui caráter corretivo e preventivo visto que a água em sua linha de distribuição pode sofrer contaminações. Segundo a Portaria de Consolidação nº 5 (2017) o valor máximo permitido de cloro residual livre em águas potáveis é de 2 mg/L.

Outra alternativa para desinfecção de águas seria utilizar-se de luz ultravioleta ou ozônio, o benefício da luz quando comparada às demais opções é que o uso em quantidade excessiva não acarretaria em problemas à saúde. Neste trabalho utilizou-se do cloro por ser de fácil acesso em sua forma de hipoclorito de sódio.

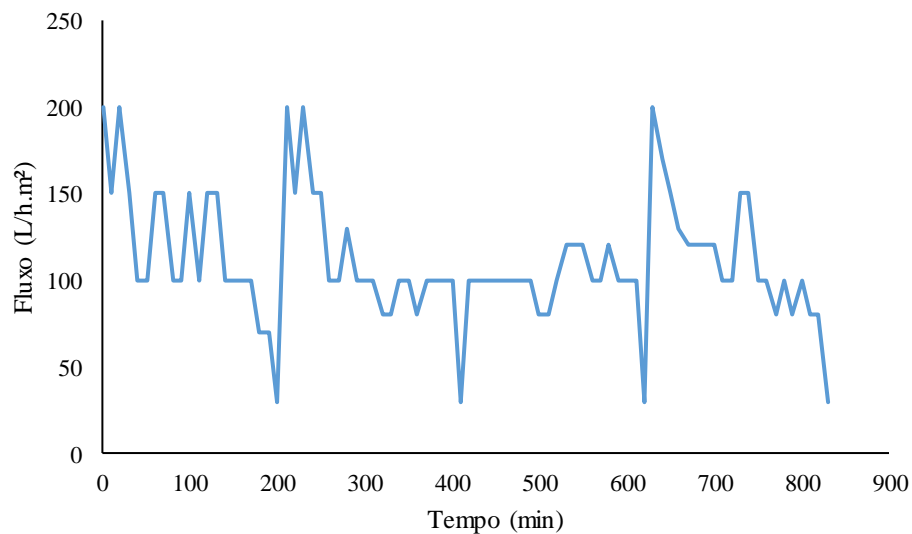
O volume líquido de permeado foi obtido pela diferença do volume filtrado subtraído do volume de retrolavagem. Esta medida é de suma importância para verificação do rendimento do sistema, visto que um baixo volume é resultado de um baixo fluxo, que pode estar ligado à colmatação da membrana. O volume acumulado ao fim do experimento foi de mais de 2 m³, salienta-se que o equipamento não trabalhou ininterruptamente, se caso fosse o volume ao fim do experimento seria superior ao obtido.

A membrana trabalha através do vácuo aplicado pela bomba que succiona a água pelos poros da membrana. O monitoramento do vácuo de operação é demonstrado na Figura 27, nos apêndices desta dissertação. Os resultados de pressão (bar) estão diretamente relacionados com o entupimento dos poros da membrana, ou seja, ocorrem em resultado à colmatação. Além disso, esse é um parâmetro crucial para a avaliação energética do sistema, pois pressão transmembrana é a força motriz para a passagem do permeado através da membrana e constituirá uma parcela importante na estimativa do consumo energético do sistema.

O vácuo médio aplicado foi de -0,75 bar ao longo do período de análise, e seu comportamento foi de acordo com o esperado, com uma baixa na sucção em momentos de qualidade de permeado baixa e com um comportamento regular nas demais análises.

Quanto ao fluxo de filtração, pode-se observar o fluxo para duas situações: por ciclo ao longo dos dias e para uma semana de ciclo com diferentes períodos de observação do fluxo. O fluxo ao longo de 830 min, aproximadamente uma semana de operação, pode ser observado na Figura 14.

Figura 14– Fluxo permeado ao longo do tempo de operação



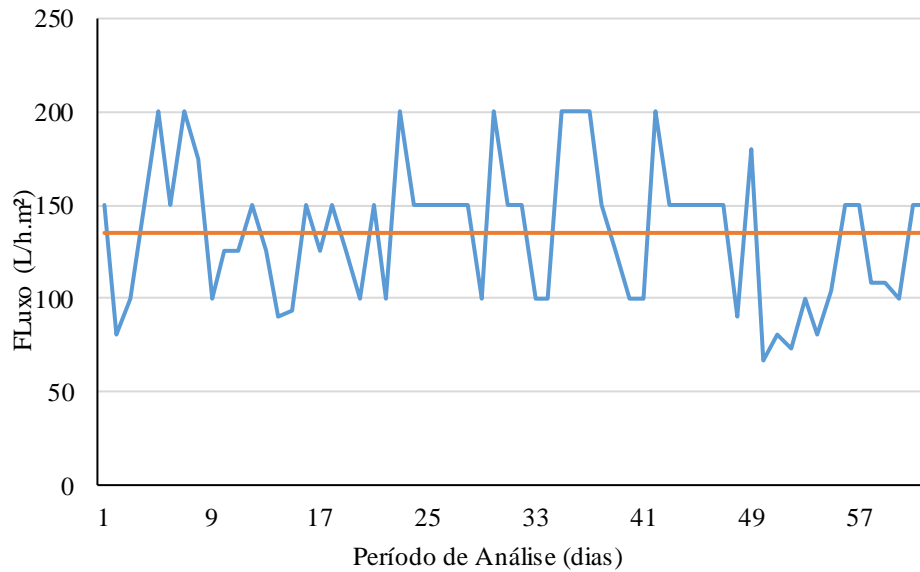
Fonte: O autor, 2019

O fluxo inicial (na ordem de 200 L/hm²) vai sendo reduzido devido à colmatação da membrana, e após 200 min de operação atinge cerca de 10% do valor inicial, sendo necessária a retrolavagem para a limpeza do sistema. Há a recuperação do fluxo até seu valor inicial, e com isso reduz-se a necessidade das limpezas químicas.

Nota-se que o fluxo ao longo de um ciclo apresenta diferentes registros, isso ocorre devido a qualidade do permeado que é succionado pela membrana. Os materiais em suspensão acabam por reduzir o fluxo da membrana em determinados pontos. Pode-se observar também que o ciclo de operação, escolhido com base em Miorando (2015), apresenta comportamento similar, onde em aproximadamente 120 min o fluxo começa a cair, motivo pelo qual optou-se por realizar retrolavagens a cada 90 minutos. A limpeza química foi feita em fevereiro e outubro de 2019, e garantiram o fluxo médio do permeado.

A Figura 15 mostra o fluxo médio da membrana de UF ao longo de todos os dias de filtração, estes dados foram obtidos através da média dos valores de fluxo por dia, onde o fluxo foi observado a cada 30 minutos.

Figura 15– Fluxo permeado ao longo dos dias

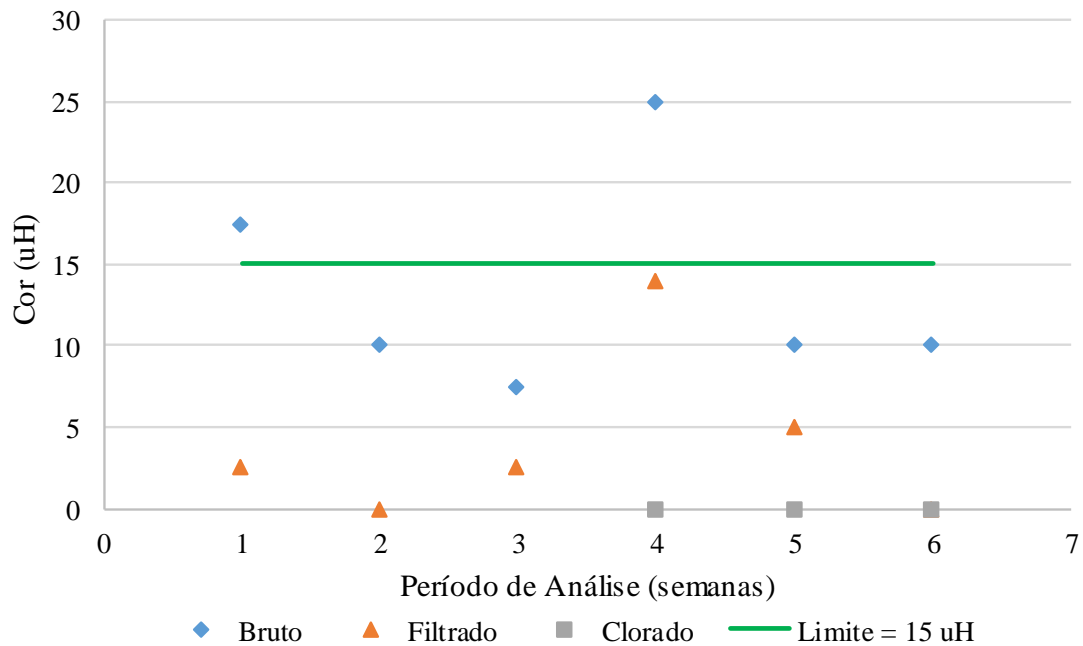


Fonte: O autor, 2019

Na figura acima pode-se notar a eficiência das limpezas ao fim dos experimentos na recuperação do fluxo (as limpezas regulares foram apenas lavar externamente a membrana). Um fluxo que chegou a 66 L/hm² conseguiu ser recuperado a 150 L/hm². O Fluxo médio obtido durante todos os meses de análise foi de 135 L/hm².

As análises de cor podem ser observadas na Figura 16 para a água de chuva, ultrafiltrada e tratada (ultrafiltrada e clorada). A cor pode ter sua origem de forma mineral ou vegetal, sendo originária de substâncias metálicas presentes nestes elementos, uma a ser destacada são as substâncias húmicas, também objeto de estudo desta dissertação (BRASIL, 2004). A legislação Brasileira prevê um limite superior de 15 uH para águas potáveis. Pode-se observar que após a ultrafiltração foi possível reduzir a cor às características necessárias para a potabilidade.

Figura 16 – Cor ao longo do tempo



Fonte: O autor, 2019

A Estação de Tratamento de Água de Novo Hamburgo possui um valor médio de cor presente na água de abastecimento de 2,11 uH para a água distribuída no ano de 2019. Observe-se que o valor após cloração da água ultrafiltrada é zero, sendo o processo de ultrafiltração com cloração mais eficiente que o tratamento convencional de águas.

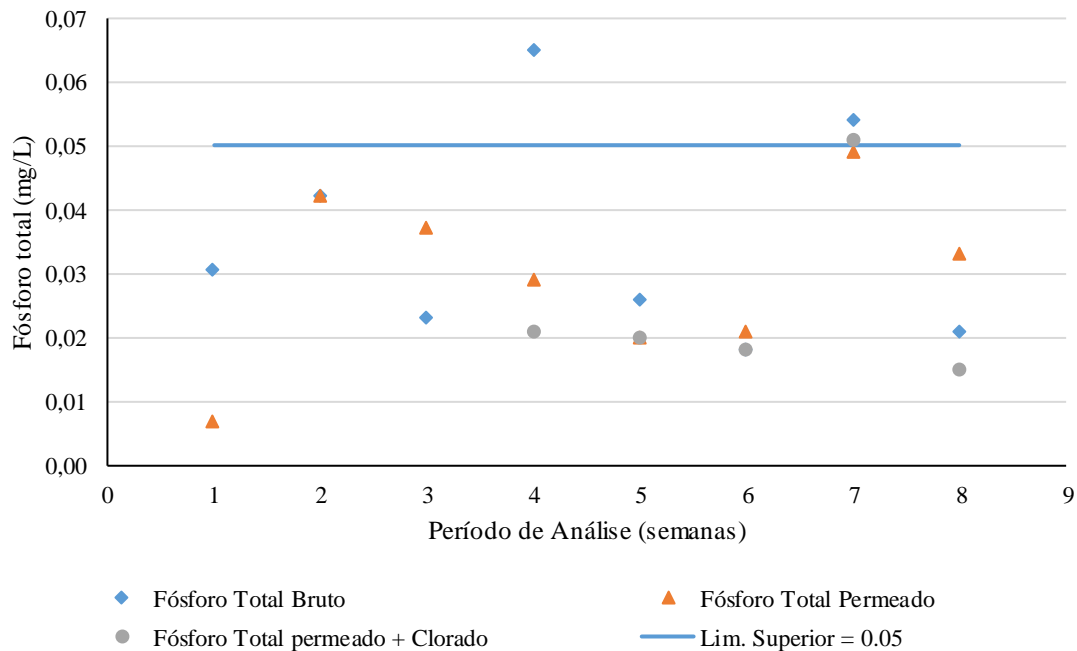
Foi observado que em períodos de pouca precipitação (três primeiras análises, realizadas no início de outubro de 2018), há o aumento da cor da água de chuva devido ao acúmulo de material no telhado e calhas, levando à decomposição da matéria orgânica e acarretando o aumento de cor. Este fato foi observado por Carvalho et al. (2012), Nakada e Moruzzi (2014) e Hagemann e Gastaldini (2016).

A quarta análise, realizada em maio de 2019 vem logo após um período de 6 dias sem chuva, onde anteriormente choveu apenas 5 mm ao longo de 3 dias. Como já fora citado anteriormente, após um período sem chuva, espera-se uma água bruta de qualidade reduzida, esta inferência pode ser observada na quarta análise, onde a água bruta apresenta uma cor de 25 uH.

O fósforo total tem sua concentração na água de chuva, ultrafiltrada e tratada (ultrafiltração com cloração) apresentada na Figura 17. O fósforo é um importante nutriente para microrganismos, e encontra-se em água de chuva devido ao depósito de partículas depositadas no telhado, material vegetal e fecal. Para águas consideradas não poluídas, a concentração de fósforo deve estar em uma faixa de 0,01 mg/L a 0,05 mg/L (MINISTÉRIO DA

SAÚDE, 2014). Em dois pontos do monitoramento realizado a água de chuva apresentou concentração superior a esse limite, mas a ultrafiltração foi capaz de reduzir esse valor. É provável que o fósforo presente na água de chuva esteja na forma de fósforo orgânico ou complexado em material coloidal, sendo removido pela UF.

Figura 17 – Fósforo ao longo do tempo



Fonte: O autor, 2019

A alcalinidade tem seu comportamento observado no apêndice desta dissertação, na Figura 28. A alcalinidade é a capacidade da água de manter o pH, ou seja, neutralizar os íons de hidrogênio e ácidos, sua presença em águas se dá através de bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2+}) e hidróxidos (OH^+) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014).

De acordo com Pereira, et al (2010), a alcalinidade não tem relação direta com a potabilidade de águas, mas uma água altamente alcalina pode trazer desconforto ao usuário quanto ao seu sabor. A determinação da alcalinidade se torna importante no controle dos processos de coagulação química e no controle à corrosão.

A dureza analisada apresenta seu comportamento na Figura 29, nos apêndices. A presença de dureza em águas indica concentração de cátions multivalentes em solução, o que acarreta em redução da formação de espumas de xampus e sabões, e incrustações nas tubulações de água quente, em corpos d'água com baixa dureza a biota se torna mais sensível à elementos tóxicos, visto que a dureza é inversamente proporcional a toxicidade. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014). De acordo com a Portaria de Consolidação nº 5, o limite de dureza para águas

potáveis é de 500 mg/L. Nenhuma das análises realizadas apresentou valor acima do estabelecido pela legislação.

As análises de sulfato, bem como a curva padrão encontram-se nos apêndices desta dissertação, na Figura 30 e Figura 31, respectivamente. Substâncias dissolvidas na água podem favorecer a eutrofização (crescimento excessivo de algas) além de, após precipitarem-se, esses compostos podem acabar alterando a cor da água para avermelhado e amarronzado, a presença de ânions (carbonatos, bicarbonatos, sulfatos e cloretos) na água pode levar a tal fenômeno. A presença de sulfatos na água indica presença de matéria orgânica em decomposição. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014). Segundo a Portaria de Consolidação nº 5, a concentração de sulfatos na água potável deve estar abaixo de 250 mg/L. Não foi detectado valor de sulfato acima do máximo permitido, o que indica que a matéria orgânica em decomposição no telhado, a lavagem de materiais da atmosfera e as fezes animais não têm influenciado o resultado em questão.

O comportamento do Nitrogênio Amônia pode ser observado nos apêndices, na Figura 32. A presença deste elemento na água está ligada com a capacidade da água em resistir a ação de cloros, ao inibir a ação de tal composto, o crescimento bacteriano é favorecido. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006). A Amônia (NH_3) pode aparecer em águas potáveis na concentração máxima de 1,5 mg/L segundo a Portaria de Consolidação nº 5.

A presença elevada de nitrogênio amoniacal na água indica a existência de matéria orgânica em decomposição e um ambiente pobre em oxigênio. Segundo Pádua (2010) faz-se importante a determinação e controle do nitrogênio amoniacal para identificar possíveis contaminações por despejo irregular de esgoto doméstico ou industrial em corpos hídricos. No caso de estudo desta dissertação o nitrogênio amoniacal estaria presente por excreção de aves, decomposição de folhas e material orgânico presente no telhado.

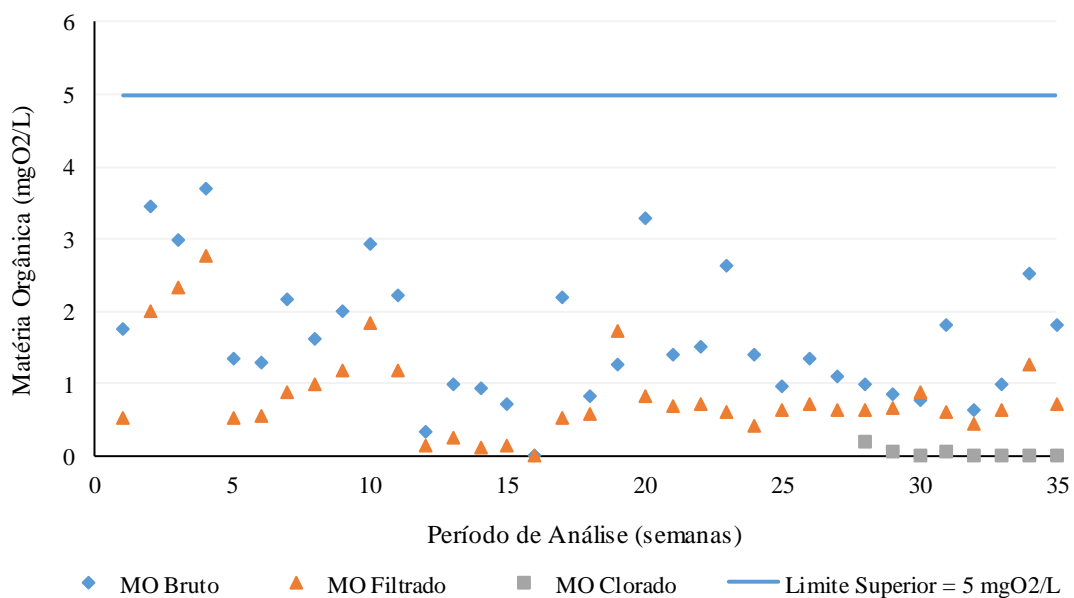
A partir da adoção de coleta de amostras cloradas, o resultado foi dentro do permitido pela legislação de Nitrogênio Amônia. Cabe-se salientar que o sistema possui limitações quanto a filtração de alguns componentes, como contaminantes iônicos de baixa massa molar, fazendo com que os mesmos estejam presentes na água filtrada.

Uma das análises de suma importância é a matéria orgânica, esta análise pode ser observada na Figura 18. O Ministério da Saúde (2006) descreve a Matéria Orgânica (também conhecida como oxidabilidade ou matéria orgânica carbonada) como estando associada aos processos físicos, químicos e biológicos nos corpos d'água. O seu resultado, além de garantir a sobrevivência de vida aquática representa a potabilidade da água em fatores como cor, odor,

sabor, etc. Segundo o Decreto Lei nº 306/2007 e a diretriz Europeia 98/83/CE, a oxidabilidade da água tem limite máximo de 5 mg O₂/L. Todos os resultados verificados nas análises foram dentro do limite estabelecido pela legislação, estando dentro dos padrões de potabilidade.

Pode-se ainda, observar que a partir das análises de maio de 2019, são adicionados novos parâmetros, como água já filtrada, armazenada em tanque de equalização, com cloro residual livre entre 0,2 e 2 mg/L. Observa-se que as análises já cloradas, apresentam valores ainda menores de Oxidabilidade.

Figura 18– Matéria Orgânica da água de chuva, permeado da UF e permeado após a cloração.



Fonte: O autor, 2019

Pode-se ainda relacionar às análises após cloração com as análises de cor e turbidez, que apresentaram o mesmo comportamento, sendo assim os elementos de cor e turbidez que foram removidos, possivelmente eram os mesmos elementos da matéria orgânica, que após a cloração reduziram-se para aproximadamente zero.

Os coliformes totais, bem como a bactéria *Escherichia coli* podem ter sua detecção observada nos apêndices, nos Quadro 3 e Quadro 4 respectivamente.

O cloro é um dos principais elementos que impedem a contaminação de coliformes na água. Os Coliformes Totais abrangem uma maior gama de bactérias, tendo elas origens no intestino humano ou na presença excessiva de nutrientes na água. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014). A normativa Brasileira limita os Coliformes Totais em valor 0,00 NMP (zero número de partículas) em 100 mL de amostra. Após implementação das análises do permeado clorado e equalizado os resultados de coliformes totais passaram a estar de acordo com a normativa.

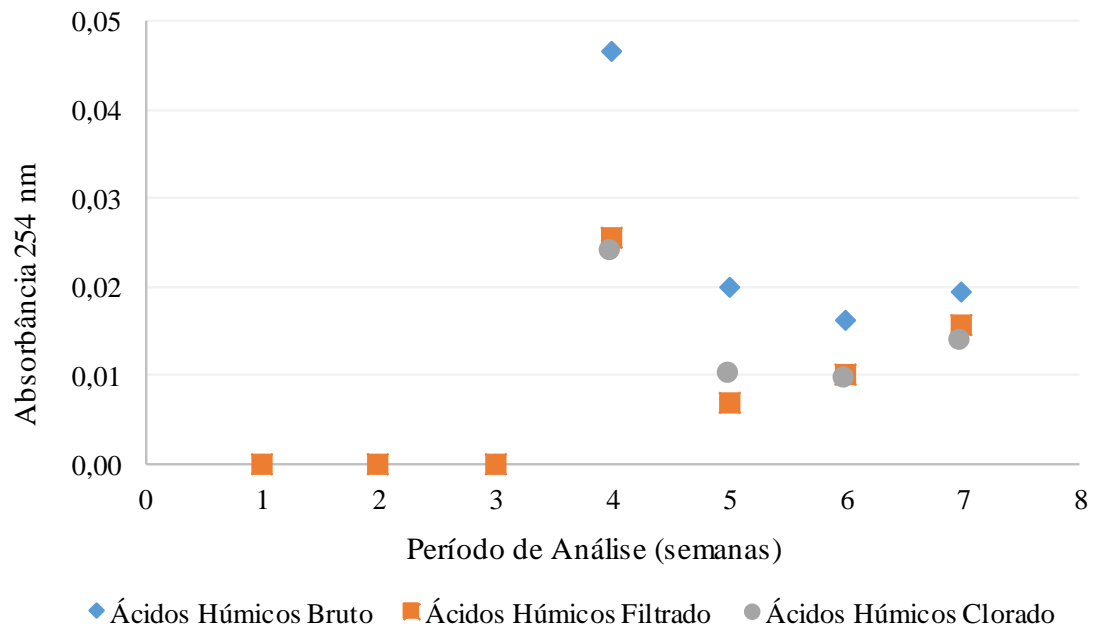
Nos experimentos de Miorando (2015), a ultrafiltração de água de chuva promoveu a remoção dos coliformes totais em todas as amostras, o que vai de encontro com as reduções vistas neste estudo. Cabe salientar que as amostras após filtradas e cloradas enquadraram-se nos padrões de potabilidade, sendo a cloração essencial neste processo de desinfecção da água.

A presença da bactéria *Escherichia coli* na água é o mais específico indicador de contaminação fecal atual, pode indicar além da contaminação a presença de organismos patogênicos. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014). A normativa Brasileira de qualidade de águas potáveis prevê a ausência desta bactéria em 100 mL de água. Após a adoção de análises cloradas foi possível verificar que a manutenção da qualidade da água com cloro zerou os valores desta bactéria, estando a água própria para consumo.

O comportamento das análises de Nitrogênio Kjeldahl pode ser observado nos apêndices, na Figura 33. O Nitrogênio Kjeldahl (TKN) tem por origem a determinação do nitrogênio de origem orgânica (aminas e amidas) e inorgânica (amônias), o TKN representa o menor estado de oxidação do nitrogênio. Na água ele pode ser considerado o inverso da capacidade de degradação da matéria orgânica adicionado da fração inorgânica. A normativa brasileira não estabelece limite para o Nitrogênio Kjeldahl, tampouco normativas estatais como de Minnesota (2013), California (2007) e o Standard Methods (1999).

Os ácidos húmicos tem seu comportamento demonstrado na Figura 19. Este elemento é um dos responsáveis pela alteração de cor na água, sua elevada presença acarreta em águas escuras. A partir da década de 70 diversos estudos relatam que a cloração de algumas águas leva a criação de subprodutos clorados, que é o caso dos trihalometanos (THM), potencialmente cancerígenos, a presença de substâncias húmicas na água indica a presença destes compostos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014; MAHVI et al., 2009).

Figura 19 – Ácidos Húmicos ao longo do tempo



Fonte: O autor, 2019

Pode-se observar que de acordo com o método da absorbância 254 nm, nenhuma amostra apresentou valor superior a 0,05 mg/L. De acordo com Brasil (2004) o limite de substâncias húmicas em águas potáveis é de 0,1 mg/L. Faz-se necessária análise deste composto devido à adição de cloro, que se adicionado em demasia pode acarretar em subprodutos clorados.

Os resultados obtidos de DBO podem ser observados na Figura 34, nos apêndices. A DBO refere-se à Matéria Orgânica estabilizada por atividade dos microorganismos, segundo o mesmo material, a DBO em ambientes não poluídos deve ser baixa, em torno de 1 a 10 mg/L, ou seja são necessários no máximo 10 miligramas de oxigênio para que em cinco dias, a 20 °C um litro de amostra se estabilize (BRASIL, 2006). De acordo com Ciese (2019) uma água com DBO entre 1 e 2 é considerada limpa, entre 3 e 5 moderadamente limpa e de 6 a 9 a água necessita de tratamento extra, e acima de 100 a água é considerada poluída com materiais orgânicos, porém a pesar destes critérios para águas superficiais, não há critérios para potabilidade de água com inferência à DBO, não sendo possível a inferência de potabilidade neste critério.

Os valores de Nitrato, bem como de Nitrito, podem ser observados nos apêndices na Figura 35 e Figura 36 respectivamente. O Valor Máximo Permitido (VMP) para Nitratos em águas potáveis é de 10 mg/L H (BRASIL, 2006). Os nitratos, assim como os sulfatos tem

origem da decomposição da matéria orgânica, que acabam por formar compostos minerais inorgânicos.

De acordo com Cardoso (2017) o Nitrito não pode ser ingerido em quantidades maiores que 1 mg/L devido ao seu risco à saúde. O nitrito é originário da decomposição da matéria orgânica. O processo químico ocorre a partir da oxidação da amônia em nitrato ocorrendo posteriormente a redução à nitrito. De acordo com as análises laboratoriais, tanto Nitrato quanto Nitrito apresentaram comportamento dentro dos padrões de potabilidade.

As análises de metais foram feitas em dois momentos, e podem ser observados seus resultados na Tabela 3. Dentre os metais analisados, nenhum elemento apresentou valor acima do valor máximo permitido (VMP).

Ressalta-se que o alumínio, que na primeira análise não foi possível detectar pelo método de kit Merck, passou a ser identificado na segunda análise, porém em valor 10 vezes menor que o máximo permitido pela legislação.

Tabela 3 - Análise de metais no período de estudo

| Metais | Bruto (mg/L) | | Filtrado (mg/L) | | Clorado (mg/L) | | VMP (mg/L) |
|---------------|--------------|-----------|-----------------|-----------|----------------|-----------|------------|
| | Análise 1 | Análise 2 | Análise 1 | Análise 2 | Análise 1 | Análise 2 | |
| Cobre (Cu) | <0,11 | <0,11 | <0,11 | <0,11 | 0,13 | <0,11 | 2 |
| Manganês (Mn) | 0,12 | 0,03 | 0,03 | <0,03 | <0,03 | <0,03 | 0,1 |
| Ferro (Fe) | <0,05 | 0,09 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0,08 | 0,3 |
| Zinco (Zn) | <0,23 | <0,23 | <0,23 | <0,23 | <0,23 | <0,23 | 5 |
| Alumínio (Al) | ND | <0,02 | ND | <0,02 | ND | <0,02 | 0,2 |
| Cádmio (Cd) | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 0,005 |
| Chumbo (Pb) | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 0,01 |
| Cromo (Cr) | 0,07 | 0,07 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,05 |

ND = Não detectável pelo método

Fonte: O autor, 2019

Os metais estão presentes na água de chuva devido à depósitos atmosféricos e o sistema de coleta da água (SILVA, 2018). O consumo de águas com elevado nível de metais pode causar problemas à saúde dos usuários. O excesso de ferro, por exemplo, pode causar diarreia, vômito, lesões no trato digestivo, se ingerido em excesso e por um longo período de tempo pode-se desenvolver cirrose, câncer de fígado entre outros. Já o Manganês em excesso afeta o sistema nervoso e pode apresentar sintomas semelhantes ao Parkinson (FUSATI, 2018).

Estudo de Montoya-Mayor (2013) caracterizou a água de chuva quanto a metais e encontrou os seguintes resultados: Alumínio 0,03 mg/L, Ferro 0,018 mg/L, Manganês 0,014 mg/L, Zinco 0,30 mg/L, Cobre 0,12 mg/L e Chumbo 0,001 mg/L. Observa-se que os valores

encontrados pelo autor, são semelhantes aos encontrados nesta pesquisa e ambos não apresentam resultados superiores ao máximo estabelecido pela legislação.

A membrana de UF foi capaz de reduzir o metal presente na água bruta para alumínio, cromo e ferro, as membranas de UF não tem características de remoção de metais, estes elementos possivelmente estavam em suspensão e não dissolvidos na água, o que favoreceu sua remoção pela membrana de UF, cabe-se salientar que todos os resultados obtidos, inclusive para a água bruta, estiveram abaixo do limite da legislação após ultrafiltração e cloração.

Quanto às análises laboratoriais, pode-se observar que a qualidade do permeado após filtração e cloração atinge os padrões de potabilidade em todas as análises realizadas.

Longos períodos de estiagem acabam por permitir o acúmulo de matéria em decomposição tanto nas calhas coletoras quanto no telhado, o que faz com que na primeira chuva após um período de seca esse material seja lavado para o reservatório da água bruta. É possível observar a queda da qualidade da água após esse fenômeno em análises como: 1ª análise de nitrito e DBO, 2ª análise de nitrato, 3ª análise de dureza e DBO, 4ª análise de cor, fósforo, ácidos húmicos e DBO, 6ª análise de nitrogênio amoniacal e 9ª análise de sulfatos, apesar dos valores apresentarem resultados insatisfatórios, após a filtração e cloração os padrões de potabilidade foram obtidos.

Aconselha-se neste caso a criação de um sistema automatizado que faz com que o reservatório quando atinge seu nível mínimo seja enchido de água potável fornecida pela concessionária, para que quando ocorra a primeira chuva, após a estiagem, o mesmo rejeite esta água através de um sistema de purga, o sistema de purga ao ser acionado pode fechar o abastecimento da concessionária assim que a chuva cessar. Com isso na próxima chuva a água a ser coletada tende a ter melhor qualidade.

4.2 ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica dividiu-se em três cenários baseados na área de cobertura de cada edificação, e para cada área foram consideradas situações sem e com a implementação de painéis fotovoltaicos. Todos os cenários são constituídos dos seguintes itens:

a) Investimento: Os investimentos iniciais do presente projeto referem-se à aquisição dos reservatórios que irão compor o sistema. Para isso considerou-se um sistema automatizado de ultrafiltração com acionamento de bombas com controle do nível da água por meio de válvulas solenoides. A água coletada nos tubos de queda é encaminhada para o primeiro reservatório e em seguida para a filtração que encaminha as águas para o segundo reservatório.

De acordo com a área de captação do telhado são necessárias quantidades diferentes de reservatórios para armazenamento da água.

Para os cenários com painéis fotovoltaicos levou-se em consideração a geração real dos painéis instalados na Universidade de Passo Fundo, a eficiência que normalmente é reduzida em projetos fotovoltaicos não foi reduzida neste caso, visto que os painéis geram um valor real de 210 Wh. A quantidade de horas média por dia de geração de energia foi de 5 h. Com base nesses dados, e realizando a multiplicação de todos os valores supracitados, tem-se uma produção mensal de energia, por painel, é de 31,50 kWh/mês;

b) Custos fixos e variáveis: Os custos fixos e variáveis aqui descritos possuem orçamentos presentes nos apêndices desta dissertação. São custos fixos os valores gastos anualmente com reagentes, reposição de membranas e manutenção do sistema de PSM e Fotovoltaico. São custos variáveis o valor gasto com energia elétrica e água tratada.

A membrana de UF possui um custo de U\$ 1.100,00. Logo, considerando-se a taxa de câmbio de R\$ 4,05, tem-se um custo de membrana de R\$ 4.455,00. A membrana orçada era de 20 m², com isso, o custo é R\$ 222,75/m².

c) Valor economizado: O sistema de UF supre o abastecimento de água para todos os cenários pelo menos parcialmente. Sendo assim pode-se afirmar que o valor que seria destinado à compra de água da concessionária, passa agora a ser economizado, sendo um valor positivo no fluxo de caixa.

4.2.1 ÁREA DE CAPTAÇÃO DE 230 M² SEM PAINEL

Neste item será possível observar os levantamentos de dados realizados, bem como planilhas finais da análise econômica sem a utilização de painéis fotovoltaicos para o cenário de 230 m². A seguir serão apresentados levantamento dos dados que compõe o fluxo de caixa desta análise.

4.2.1.1 INVESTIMENTO

O Gasto para a construção do equipamento automatizado é estimado em R\$ 1.822,75, os dois reservatórios, de mil litros, conforme orçamento disponível nos apêndices no valor unitário de R\$ 261,00 cada um, tem-se um investimento inicial de R\$ 2.343,95.

Tabela 4 – Investimento para área de 230 m²

| Descrição | Unidade | Valor unitário (R\$) | Valor total (R\$) |
|------------------------------|------------|----------------------|-------------------|
| Equipamento Automatizado | | | |
| Reservatório para a membrana | 1 unidade | 300,00 | 300,00 |
| Valvulas Solenóides | 6 unidades | 50,00 | 300,00 |
| Membrana de 1 m ² | 1 unidade | 222,75 | 222,75 |
| Tubulação e instalação | 1 unidade | 1000,00 | 1000,00 |
| Subtotal | | | 1822,75 |
| Reservatórios | | | |
| Reservatório 01 | 1 unidade | 260,60 | 260,60 |
| Reservatório 02 | 1 unidade | 260,60 | 260,60 |
| Subtotal | | | 521,20 |
| Total do Investimento | | | 2343,95 |

Fonte: O autor, 2019

4.2.1.2 CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS

Como pode ser observado nas análises laboratoriais a água clorada apresenta melhores resultados do que a que passa apenas pela ultrafiltração, com isso estimou-se um custo anual com reagentes e ensaios anuais de qualidade de água de R\$ 100,00. O que gera R\$ 8,33 por mês. Este custo de reagentes visa clorar a água tratada e quando ocorrer as manutenções suprir valores de ensaios laboratoriais.

As trocas de membrana foram previstas para ocorrerem em no máximo 2 anos (a vida útil da membrana é de no máximo 5 anos), para que não fosse prejudicada a qualidade da água, com isso, considerando-se que para a área de captação de 230 m² são necessários um metro quadrado de membrana, tem-se o custo anual de R\$ 111,00.

A manutenção do sistema será realizada por equipe técnica a cada 4 meses, estimou-se que o custo com manutenção tenha valor de 2% do valor do sistema, logo, tendo o equipamento valor de aproximadamente R\$ 2.000,00, o valor da manutenção anual será de R\$ 36,00.

O total para esta área de captação de custos fixos anuais é R\$ 248,00.

No item 3.2.2 desta dissertação foi possível observar a área de coleta de água da chuva, volume médio de coleta, população a ser atendida e consumo médio da população. Com base nestes dados, a produção média mensal de água através da UF é de 33.456 L/mês. Tendo em vista os mesmos dados, verifica-se que para atender a população em questão com a demanda sugerida, são necessários 5.400 L/mês, assim, estima-se que o sistema de UF, para a região de análise, supre totalmente a demanda hídrica.

O processo de UF por membranas, requer energia para a potabilização da água e, nos Apêndices desta dissertação tem-se o memorial de cálculo das etapas aqui presentes, pode-se

observar que para uma membrana de 1 m², a vazão de 33,45 m³/mês é necessária uma bomba de pelo menos 1 cv (kW).

Para a utilização de uma membrana de 1 m² o equipamento não necessitaria trabalhar ininterruptamente, logo, considerando que, se a membrana requerida de projeto de 0,48 m² tivesse que trabalhar ininterruptamente, e a adquirida seria de 1 m², seria necessário que a membrana trabalhasse somente 11,58 horas por dia.

A bomba utilizada consome, com base nos cálculos realizados, 1 kWh, sabendo-se que o equipamento de UF trabalharia por 11,58 h/dia, tem-se que o consumo da bomba é de 8,52 kW/dia, e 255,62 kW/mês.

De acordo com a concessionária de energia elétrica para a região de análise, o custo do kW é de R\$ 0,82236, acarretando em um custo mensal de R\$ 258,81 e um custo anual de R\$ 3.430,00.

Conhecendo-se todos os custos descritos aqui tem-se que o custo por ano para ultrafiltrar água de chuva garantindo-se padrões de qualidade e manutenção é de R\$ 3.678,00.

4.2.1.3 VALOR ECONOMIZADO

Sabendo-se que a membrana será capaz de produzir 33.465 L/mês e considerando-se que o valor por litro de água que deixará de ser adquirido é de R\$ 0,00798 /L, tem-se uma economia anual no valor de R\$ 3.205,00.

4.2.1.4 FLUXO DE CAIXA

O fluxo de caixa detalhado com os valores obtidos para o cenário proposto pode ser observado na Figura 20.

Figura 20 – Análise econômica sem painéis fotovoltaicos para a área de 230 m²

| ANÁLISE ECONÔMICA SEM UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA A ÁREA DE 230 M ² | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Descrição | Valor (R\$) | Período (anos) | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1.0 Investimento | | | | | | | | | | | |
| Equipamento Automatizado | -1.823 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 01 (1000L) | -261 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 02 (1000L) | -261 | | | | | | | | | | |
| Total | -2.344 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.0 Custos | | | | | | | | | | | |
| 2.1 Custo Fixo | | | | | | | | | | | |
| Reagentes | | -100 | -100 | -100 | -100 | -100 | -100 | -100 | -100 | -100 | -100 |
| Membrana | | -111 | -111 | -111 | -111 | -111 | -111 | -111 | -111 | -111 | -111 |
| Manutenção (2% bioreator) | | -36 | -36 | -36 | -36 | -36 | -36 | -36 | -36 | -36 | -36 |
| Total | | -248 | -248 | -248 | -248 | -248 | -248 | -248 | -248 | -248 | -248 |
| 2.2 Custo Variável | | | | | | | | | | | |
| Energia Elétrica | | -3.430 | -3.430 | -3.430 | -3.430 | -3.430 | -3.430 | -3.430 | -3.430 | -3.430 | -3.430 |
| Água da Concessionária | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | | -3.430 | -3.430 | -3.430 | -3.430 | -3.430 | -3.430 | -3.430 | -3.430 | -3.430 | -3.430 |
| Custo Total | | -3.678 | -3.678 | -3.678 | -3.678 | -3.678 | -3.678 | -3.678 | -3.678 | -3.678 | -3.678 |
| 3.0 Valor Economizado | | | | | | | | | | | |
| Água produzida | | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 |
| Total | | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 |
| Fluxo de Caixa Final | -2.344 | -473 | -473 | -473 | -473 | -473 | -473 | -473 | -473 | -473 | -473 |

| | |
|------------------|------------|
| TIR: | #NÚM! |
| Payback Simples: | Não ocorre |

| Payback Simples | | |
|-----------------|--------|---------|
| Ano | Saldo | Redução |
| 0 | -2.344 | 0 |
| 1 | -2.817 | -473 |
| 2 | -3.290 | -473 |
| 3 | -3.763 | -473 |
| 4 | -4.236 | -473 |
| 5 | -4.709 | -473 |
| 6 | -5.182 | -473 |
| 7 | -5.655 | -473 |
| 8 | -6.128 | -473 |
| 9 | -6.601 | -473 |
| 10 | -7.074 | -473 |

Fonte: O autor, 2019

A análise econômica para o cenário de 230 m² não apresentou viabilidade de implantação, isso porque o valor com energia elétrica faz com que o fluxo de caixa seja sempre negativo ao longo dos 10 anos de análise. O payback também não pode ser determinado para o período de análise.

4.2.2 ÁREA DE CAPTAÇÃO DE 230 M² COM PAINEL

Neste item será possível observar os levantamentos de dados realizados, bem como planilhas finais da análise econômica com a utilização de painéis fotovoltaicos para o cenário de 230 m². A seguir serão apresentados levantamento dos dados que compõe o fluxo de caixa desta análise.

4.2.2.1 INVESTIMENTO

O equipamento automatizado foi estimado no valor de R\$ 1.823,00 e os dois reservatórios, de mil litros, conforme orçamento disponível nos apêndices no valor unitário de R\$ 261,00 cada um.

Como já fora constatado anteriormente, o sistema funcionará por 11,58 h/dia, considerando-se que o sistema a ser energizado é de 1cv, são necessários 8,52 kWh/dia, logo um consumo mensal de 255,62 kWh/mês.

Se cada painel produz 31,50 kWh/mês e são necessários 255,62 kWh/mês, para suprir a demanda do sistema são necessários 8 painéis fotovoltaicos.

O custo por painel fotovoltaico, já considerando-se 30% do valor do painel em instalação, é de R\$ 1.520,90, logo, para a demanda energética da edificação de 230 m² é necessário o investimento de R\$ 12.342,00 no sistema fotovoltaico.

Tendo-se conhecimento do valor do sistema de membranas, dos reservatórios e do sistema fotovoltaico, tem-se o investimento total de R\$ 14.686,00.

Tabela 5 – Relação de equipamentos que compõe o Investimento Inicial para 230 m².

| Descrição | Unidade | Valor unitário (R\$) | Valor total (R\$) |
|------------------------------|------------|----------------------|-------------------|
| Equipamento Automatizado | | | |
| Reservatório para a membrana | 1 unidade | 300,00 | 300,00 |
| Valvulas Solenóides | 6 unidades | 50,00 | 300,00 |
| Membrana de 1 m ² | 1 unidade | 222,75 | 222,75 |
| Tubulação e instalação | 1 unidade | 1000,00 | 1000,00 |
| Subtotal | | | 1822,75 |
| Reservatórios | | | |
| Reservatório 01 | 1 unidade | 260,60 | 260,60 |
| Reservatório 02 | 1 unidade | 260,60 | 260,60 |
| Painéis Fotovoltaicos | 8 unidades | 1542,77 | 12342,18 |
| Subtotal | | | 12863,38 |
| Total do Investimento | | | 14686,13 |

Fonte: O autor, 2019

4.2.2.2 CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS

Os custos fixos de reagentes, membranas e manutenção do sistema de membranas possui os mesmos valores da análise sem painéis fotovoltaicos, totalizando um valor de R\$ 248,00

A manutenção do sistema fotovoltaico será realizada por equipe técnica pelo menos uma vez ao ano, estimou-se aqui que o custo com manutenção tenha valor de 2% do valor do sistema, logo, tendo o equipamento valor de dois mil reais, o valor da manutenção anual será de R\$ 247,00.

O total para esta área de captação de custos fixos anuais é R\$ 495,00

Os custos variáveis incluem a energia elétrica e a água adquirida da concessionária. Devido ao processo de separação por membranas suprir toda a demanda hídrica, e o sistema fotovoltaico suprir integralmente a demanda energética do sistema, o custo variável com energia elétrica e água tratada é de R\$ 0,00 (zero reais).

4.2.2.3 VALOR ECONOMIZADO

Sabendo-se que a membrana será capaz de produzir 33.465 L/mês e considerando-se que o valor por litro de água que deixará de ser adquirido é de R\$ 0,00798 /L, tem-se uma economia anual no valor de R\$ 3.205,00.

4.2.2.4 FLUXO DE CAIXA

O fluxo de caixa detalhado com os valores obtidos para o cenário proposto pode ser observado na Figura 21.

Figura 21 – Análise econômica com painéis fotovoltaicos para a área de 230 m²

| ANÁLISE ECONÔMICA COM UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA A ÁREA DE 230 M ² | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Descrição | Valor (R\$) | Período (anos) | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1.0 Investimento | | | | | | | | | | | |
| Equipamento Automatizado | -1.823 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 01 (1000L) | -261 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 02 (1000L) | -261 | | | | | | | | | | |
| Painéis Solares (8) | -12.342 | | | | | | | | | | |
| Total | -14.686 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.0 Custos | | | | | | | | | | | |
| 2.1 Custo Fixo | | | | | | | | | | | |
| Reagentes | | -100 | -100 | -100 | -100 | -100 | -100 | -100 | -100 | -100 | -100 |
| Membrana | | -111 | -111 | -111 | -111 | -111 | -111 | -111 | -111 | -111 | -111 |
| Manutenção (2% bioreator) | | -36 | -36 | -36 | -36 | -36 | -36 | -36 | -36 | -36 | -36 |
| Manutenção (2% painéis) | | -247 | -247 | -247 | -247 | -247 | -247 | -247 | -247 | -247 | -247 |
| Total | | -495 | -495 | -495 | -495 | -495 | -495 | -495 | -495 | -495 | -495 |
| 2.2 Custo Variável | | | | | | | | | | | |
| Energia Elétrica | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Água da Concessionária | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Custo Total | | -495 | -495 | -495 | -495 | -495 | -495 | -495 | -495 | -495 | -495 |
| 3.0 Valor Economizado | | | | | | | | | | | |
| Água produzida | | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 |
| Total | | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 | 3.205 |
| Fluxo de Caixa Final | -14.686 | 2.710 | 2.710 | 2.710 | 2.710 | 2.710 | 2.710 | 2.710 | 2.710 | 2.710 | 2.710 |

| | |
|-------------------------|---------------|
| TIR: | 13,03% |
| Payback Simples: | 6,00 |

| Payback Simples | | |
|-----------------|---------|---------|
| Ano | Saldo | Redução |
| 0 | -14.686 | 0 |
| 1 | -11.976 | 2.710 |
| 2 | -9.266 | 2.710 |
| 3 | -6.556 | 2.710 |
| 4 | -3.846 | 2.710 |
| 5 | -1.136 | 2.710 |
| 6 | 1.573 | 2.710 |
| 7 | 4.283 | 2.710 |
| 8 | 6.993 | 2.710 |
| 9 | 9.703 | 2.710 |
| 10 | 12.413 | 2.710 |

Fonte: O autor, 2019

Nota-se que após a adoção do sistema de painéis fotovoltaicos o cenário que anteriormente era inviável passa a ser viável com taxa interna de retorno de mais de 13% e um período de retorno do investimento de 6 anos. Este resultado vai de encontro ao comentado anteriormente, que o que inviabilizava a edificação residencial era o gasto com energia elétrica.

4.2.3 ÁREA DE CAPTAÇÃO DE 2.300 M² SEM PAINEL

Neste item será possível observar os levantamentos de dados realizados, bem como planilhas finais da análise econômica sem a utilização de painéis fotovoltaicos para o cenário de 2.300 m². A seguir serão apresentados levantamento dos dados que compõe o fluxo de caixa desta análise.

4.2.3.1 INVESTIMENTO

Sendo o equipamento automatizado estimado em valor de R\$ 11.540,20 e os dois reservatórios, de vinte mil litros, conforme orçamento disponível nos apêndices no valor unitário de R\$ 9.126,00 cada um, tem-se um investimento inicial de R\$ 29.793,10.

Tabela 6 – Investimento para área de 2.300 m²

| Descrição | Unidade | Valor unitário (R\$) | Valor total (R\$) |
|------------------------------|------------|----------------------|-------------------|
| Equipamento Automatizado | | | |
| Reservatório para a membrana | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Valvulas Solenóides | 6 unidades | 50,00 | 300,00 |
| Membrana de 5 m ² | 1 unidade | 1113,75 | 1113,75 |
| Tubulação e instalação | 1 unidade | 1000,00 | 1000,00 |
| Subtotal | | | 11540,20 |
| Reservatórios | | | |
| Reservatório 01 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Reservatório 02 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Subtotal | | | 18252,90 |
| Total do Investimento | | | 29793,10 |

Fonte: O autor, 2019

4.2.3.2 CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS

Como pode ser observado nas análises laboratoriais a água clorada apresenta melhores resultados do que a que passa apenas pela ultrafiltração, com isso estimou-se um custo anual com reagentes e ensaios anuais de qualidade de água de R\$ 200,00. O que gera R\$ 16,66 por mês. Este custo de reagentes visa clorar a água tratada e quando ocorrer as manutenções suprir valores de ensaios laboratoriais.

As trocas de membrana foram previstas para ocorrerem em no máximo 2 anos, para que não fosse prejudicada a qualidade da água, com isso, considerando-se que para a área de captação de 2.300 m² são necessários cinco metros quadrado de membrana, tem-se o custo anual de R\$ 557,00.

A manutenção do sistema será realizada por equipe técnica pelo menos a cada 4 meses, estimou-se aqui que o custo com manutenção tenha valor de 2% do valor do sistema, logo, tendo o equipamento valor de R\$ 12.000,00, o valor da manutenção anual será de R\$ 231,00.

O total para esta área de captação de custos fixos anuais é R\$ 988,00.

No item 3.2.2 desta dissertação foi possível observar a área de coleta de água da chuva, volume médio de coleta, população a ser atendida e consumo médio da população. Com base nestes dados, a produção média mensal de água através da UF é de 334.650 L/mês. Tendo em

vista os mesmos dados, verifica-se que para atender a população em questão com a demanda sugerida, são necessários 198.000 L/mês, assim, estima-se que o sistema de UF, para a região de análise, supre parcialmente a demanda hídrica, sendo necessária a aquisição de 1.924.200 L/ano, que gera um custo de R\$ 15.355,12.

O processo de UF por membranas, requer energia para a potabilização da água e, nos Apêndices desta dissertação tem-se o memorial de cálculo das etapas aqui presentes, pode-se observar que para uma membrana de 5 m², a vazão de 334,65 m³/mês é necessária uma bomba de pelo menos 1 cv (kW).

Para a utilização de uma membrana de 5 m² o equipamento não necessitaria trabalhar ininterruptamente, logo, considerando que, se a membrana requerida de projeto de 4,82 m² tivesse que trabalhar ininterruptamente, e a adquirida seria de 5 m², seria necessário que a membrana trabalhasse somente 23,17 horas por dia.

A bomba utilizada consome, com base nos cálculos realizados, 1 kWh, sabendo-se que o equipamento de UF trabalharia por 23,17 h/dia, tem-se que o consumo da bomba é de 17,04 kW/dia, e 511,24 kW/mês.

De acordo com a concessionária de energia elétrica para a região de análise, o custo do kW é de R\$ 0,82236, acarretando em um custo mensal de R\$ 571,63 e um custo anual de R\$ 6.860,00.

Conhecendo-se todos os custos descritos aqui tem-se que o custo por ano para ultrafiltrar água de chuva garantindo-se padrões de qualidade e manutenção é de R\$ 23.202,00.

4.2.3.3 VALOR ECONOMIZADO

Sabendo-se que a membrana será capaz de produzir 334.650 L/mês e considerando-se que o valor por litro de água que deixará de ser adquirido é de R\$ 0,00798 /L, tem-se uma economia anual no valor de R\$ 32.046,00.

4.2.3.4 FLUXO DE CAIXA

O fluxo de caixa detalhado com os valores obtidos para o cenário proposto pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 – Análise econômica sem painéis fotovoltaicos para a área de 2.300 m²

| ANÁLISE ECONÔMICA SEM UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA A ÁREA DE 2.300 M ² | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Descrição | Valor (R\$) | Período (anos) | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1.0 Investimento | | | | | | | | | | | |
| Equipamento Automatizado | -11.540 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 01 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 02 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Total | -29.793 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.0 Custos | | | | | | | | | | | |
| 2.1 Custo Fixo | | | | | | | | | | | |
| Reagentes | | -200 | -200 | -200 | -200 | -200 | -200 | -200 | -200 | -200 | -200 |
| Membrana | | -557 | -557 | -557 | -557 | -557 | -557 | -557 | -557 | -557 | -557 |
| Manutenção (2% bioreator) | | -231 | -231 | -231 | -231 | -231 | -231 | -231 | -231 | -231 | -231 |
| Total | | -988 | -988 | -988 | -988 | -988 | -988 | -988 | -988 | -988 | -988 |
| 2.2 Custo Variável | | | | | | | | | | | |
| Energia Elétrica | | -6.860 | -6.860 | -6.860 | -6.860 | -6.860 | -6.860 | -6.860 | -6.860 | -6.860 | -6.860 |
| Água da Concessionária | | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 |
| Total | | -22.215 | -22.215 | -22.215 | -22.215 | -22.215 | -22.215 | -22.215 | -22.215 | -22.215 | -22.215 |
| Custo Total | | -23.202 | -23.202 | -23.202 | -23.202 | -23.202 | -23.202 | -23.202 | -23.202 | -23.202 | -23.202 |
| 3.0 Valor Economizado | | | | | | | | | | | |
| Água produzida | | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 |
| Total | | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 |
| Fluxo de Caixa Final | -29.793 | 8.844 | 8.844 | 8.844 | 8.844 | 8.844 | 8.844 | 8.844 | 8.844 | 8.844 | 8.844 |

| | |
|-------------------------|---------------|
| TIR: | 26,95% |
| Payback Simples: | 4,00 |

| Payback Simples | | |
|-----------------|---------|---------|
| Ano | Saldo | Redução |
| 0 | -29.793 | 0 |
| 1 | -20.949 | 8.844 |
| 2 | -12.106 | 8.844 |
| 3 | -3.262 | 8.844 |
| 4 | 5.582 | 8.844 |
| 5 | 14.425 | 8.844 |
| 6 | 23.269 | 8.844 |
| 7 | 32.113 | 8.844 |
| 8 | 40.957 | 8.844 |
| 9 | 49.800 | 8.844 |
| 10 | 58.644 | 8.844 |

Fonte: O autor, 2019

O cenário de médio porte sem a implantação de sistema fotovoltaico mostrou-se viável economicamente, com uma TIR de 26,95% e um período de retorno do investimento de 4 anos, período este abaixo do encontrado nas bibliografias que como fora citado anteriormente pode chegar a 7,5 anos.

4.2.4 ÁREA DE CAPTAÇÃO DE 2.300 M² COM PAINEL

Neste item será possível observar os levantamentos de dados realizados, bem como planilhas finais da análise econômica com a utilização de painéis fotovoltaicos para o cenário de 2.300 m². A seguir serão apresentados levantamento dos dados que compõe o fluxo de caixa desta análise.

4.2.4.1 INVESTIMENTO

O equipamento automatizado foi estimado no valor de R\$ 11.540,00 e os dois reservatórios, de vinte mil litros, conforme orçamento disponível nos apêndices no valor unitário de R\$ 9.126,00 cada um.

Como já fora constatado anteriormente, o sistema funcionará por 23,17 h/dia, considerando-se que o sistema a ser energizado é de 1cv, são necessários 17,04 kWh/dia, logo um consumo mensal de 511,24 kWh/mês.

Se cada painel produz 31,50 kWh/mês e são necessários 511,24 kWh/mês, para suprir a demanda do sistema são necessários 16 painéis fotovoltaicos.

O custo por painel fotovoltaico, já considerando-se 30% do valor do painel em instalação, é de R\$ 1.520,90, logo, para a demanda energética da edificação de 2.300 m² é necessário o investimento de R\$ 24.684,00.

Tendo-se conhecimento do valor do sistema de membranas, dos reservatórios e do sistema fotovoltaico, tem-se o investimento total de R\$ 54.477,00.

Tabela 7 – Relação de equipamentos que compõe o Investimento Inicial para 2.300 m².

| Descrição | Unidade | Valor unitário (R\$) | Valor total (R\$) |
|---------------------------------|-------------|----------------------|-------------------|
| Equipamento Automatizado | | | |
| Reservatório para a membrana | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Valvulas Solenóides | 6 unidades | 50,00 | 300,00 |
| Membrana de 5 m ² | 1 unidade | 1113,75 | 1113,75 |
| Tubulação e instalação | 1 unidade | 1000,00 | 1000,00 |
| Subtotal | | | 11540,20 |
| Reservatórios | | | |
| Reservatório 01 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Reservatório 02 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Painéis Fotovoltaicos | 16 unidades | 1542,77 | 24684,36 |
| Subtotal | | | 42937,26 |
| Total do Investimento | | | 54477,46 |

Fonte: O autor, 2019

4.2.4.2 CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS

Os custos fixos de reagentes, membranas e manutenção do sistema de membranas possui os mesmos valores da análise sem painéis fotovoltaicos, totalizando um valor de R\$ 987,00

A manutenção do sistema fotovoltaico será realizada por equipe técnica pelo menos uma vez ao ano, estimou-se aqui que o custo com manutenção tenha valor de 2% do valor do sistema,

logo, tendo o equipamento valor de dois mil reais, o valor da manutenção anual será de R\$ 494,00.

O total para esta área de captação de custos fixos anuais é R\$ 1.481,00.

Os custos variáveis incluem a energia elétrica e a água adquirida da concessionária. A energia do sistema é suprida integralmente pelos painéis fotovoltaicos, porém a água ainda necessita ser adquirida da concessionária, que como pode-se observar na descrição dos custos variáveis da análise sem painéis, possui um custo de R\$ 15.355,00.

4.2.4.3 VALOR ECONOMIZADO

Sabendo-se que a membrana será capaz de produzir 334.650 L/mês e considerando-se que o valor por litro de água que deixará de ser adquirido é de R\$ 0,00798 /L, tem-se uma economia anual no valor de R\$ 32.046,00.

4.2.4.4 FLUXO DE CAIXA

O fluxo de caixa detalhado com os valores obtidos para o cenário proposto pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 – Análise econômica com painéis fotovoltaicos para a área de 2.300 m²

| ANÁLISE ECONÔMICA COM UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA A ÁREA DE 2.300 M ² | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Descrição | Valor (R\$) | Período (anos) | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1.0 Investimento | | | | | | | | | | | |
| Equipamento Automatizado | -11.540 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 01 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 02 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Painéis Solares (16) | -24.684 | | | | | | | | | | |
| Total | -54.477 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.0 Custos | | | | | | | | | | | |
| 2.1 Custo Fixo | | | | | | | | | | | |
| Reagentes | | -200 | -200 | -200 | -200 | -200 | -200 | -200 | -200 | -200 | -200 |
| Membrana | | -557 | -557 | -557 | -557 | -557 | -557 | -557 | -557 | -557 | -557 |
| Manutenção (2% bioreator) | | -231 | -231 | -231 | -231 | -231 | -231 | -231 | -231 | -231 | -231 |
| Manutenção (2% painéis) | | -494 | -494 | -494 | -494 | -494 | -494 | -494 | -494 | -494 | -494 |
| Total | | -1.481 | -1.481 | -1.481 | -1.481 | -1.481 | -1.481 | -1.481 | -1.481 | -1.481 | -1.481 |
| 2.2 Custo Variável | | | | | | | | | | | |
| Energia Elétrica | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Água da Concessionária | | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 |
| Total | | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 | -15.355 |
| Custo Total | | -16.836 | -16.836 | -16.836 | -16.836 | -16.836 | -16.836 | -16.836 | -16.836 | -16.836 | -16.836 |
| 3.0 Valor Economizado | | | | | | | | | | | |
| Água produzida | | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 |
| Total | | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 | 32.046 |
| Fluxo de Caixa Final | -54.477 | 15.210 | 15.210 | 15.210 | 15.210 | 15.210 | 15.210 | 15.210 | 15.210 | 15.210 | 15.210 |

| | |
|-------------------------|---------------|
| TIR: | 24,90% |
| Payback Simples: | 4,00 |

| Payback Simples | | |
|-----------------|---------|---------|
| Ano | Saldo | Redução |
| 0 | -54.477 | 0 |
| 1 | -39.268 | 15.210 |
| 2 | -24.058 | 15.210 |
| 3 | -8.849 | 15.210 |
| 4 | 6.361 | 15.210 |
| 5 | 21.571 | 15.210 |
| 6 | 36.780 | 15.210 |
| 7 | 51.990 | 15.210 |
| 8 | 67.199 | 15.210 |
| 9 | 82.409 | 15.210 |
| 10 | 97.619 | 15.210 |

Fonte: O autor, 2019

A implementação do painel fotovoltaico não prejudicou a viabilidade de implementação do cenário de 2.300 m², houve entretanto uma pequena redução da taxa interna de retorno de 26 para 24%, cabe salientar que o *payback* não apresentou alteração, ou seja, mesmo instalando-se painéis no cenário em questão o retorno do investimento ainda será aos 4 anos.

4.2.5 ÁREA DE CAPTAÇÃO DE 11.500 M² SEM PAINEL

Neste item será possível observar os levantamentos de dados realizados, bem como planilhas finais da análise econômica sem a utilização de painéis fotovoltaicos para o cenário de 11.500 m². A seguir serão apresentados levantamento dos dados que compõe o fluxo de caixa desta análise.

4.2.5.1 INVESTIMENTO

O equipamento automatizado tem um gasto estimado em R\$ 16.495,20 e os sete reservatórios, de vinte mil litros, conforme orçamento disponível nos apêndices no valor unitário de R\$ 9.126,00 cada um, tem-se um investimento inicial de R\$ 80.380,35.

Tabela 8 – Investimento para área de 11.500 m²

| Descrição | Unidade | Valor unitário (R\$) | Valor total (R\$) |
|---------------------------------|-------------|----------------------|-------------------|
| Equipamento Automatizado | | | |
| Reservatório para a membrana | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Valvulas Solenóides | 16 unidades | 50,00 | 800,00 |
| Membrana de 25 m ² | 1 unidade | 5568,75 | 5568,75 |
| Tubulação e instalação | 1 unidade | 1000,00 | 1000,00 |
| Subtotal | | | 16495,20 |
| Reservatórios | | | |
| Reservatório 01 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Reservatório 02 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Reservatório 03 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Reservatório 04 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Reservatório 05 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Reservatório 06 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Reservatório 07 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Subtotal | | | 63885,15 |
| Total do Investimento | | | 80380,35 |

Fonte: O autor, 2019

4.2.5.2 CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS

Como pode ser observado nas análises laboratoriais a água clorada apresenta melhores resultados do que a que passa apenas pela ultrafiltração, com isso estimou-se um custo anual com reagentes e ensaios anuais de qualidade de água de R\$ 300,00. O que gera R\$ 25,00 por mês. Este custo de reagentes visa clorar a água tratada e quando ocorrer as manutenções suprir valores de ensaios laboratoriais.

As trocas de membrana foram previstas para ocorrerem em no máximo 2 anos, para que não fosse prejudicada a qualidade da água, com isso, considerando-se que para a área de captação de 11.500 m² são necessários vinte e cinco metros quadrado de membrana, tem-se o custo anual de R\$ 2.784,00.

A manutenção do sistema será realizada por equipe técnica a cada 4 meses, estimou-se aqui que o custo com manutenção tenha valor de 2% do valor do sistema, logo, tendo o equipamento valor de vinte e três mil reais, o valor da manutenção anual será de R\$ 330,00.

O total para esta área de captação de custos fixos anuais é R\$ 3.414,00.

No item 3.2.2 desta dissertação foi possível observar a área de coleta de água da chuva, volume médio de coleta, população a ser atendida e consumo médio da população. Com base nestes dados, a produção média mensal de água através da UF é de 1.673.250 L/mês. Tendo em vista os mesmos dados, verifica-se que para atender a população em questão com a demanda sugerida, são necessários 1.200.000 L/mês, assim, estima-se que o sistema de UF, para a região de análise, supre parcialmente a demanda hídrica, sendo necessária a aquisição de 15.021.000 L/ano, que gera um custo de R\$ 127.049,58.

O processo de UF por membranas, requer energia para a potabilização da água, nos Apêndices desta dissertação tem-se o memorial de cálculo das etapas aqui presentes, pode-se observar que para uma membrana de 25 m², a vazão de 1.673,25 m³/mês é necessária uma bomba de pelo menos 1 cv (kW).

Para a utilização de uma membrana de 25 m² o equipamento não necessitaria trabalhar ininterruptamente, logo, considerando que, se a membrana requerida de projeto de 24,13 m² tivesse que trabalhar ininterruptamente, e a adquirida seria de 25 m², seria necessário que a membrana trabalhasse somente 23,17 horas por dia.

A bomba utilizada consome, com base nos cálculos realizados, 1 kWh, sabendo-se que o equipamento de UF trabalharia por 23,17 h/dia, tem-se que o consumo diário da bomba é de 17,04 kW/dia, e 511,24 kW/mês.

De acordo com a concessionária de energia elétrica para a região de análise, o custo do kW é de R\$ 0,82236, acarretando em um custo mensal de R\$ 571,63 um custo anual de R\$ 6.860,00.

Conhecendo-se todos os custos descritos aqui tem-se que o custo por ano para ultrafiltrar água de chuva garantindo-se padrões de qualidade e manutenção é de R\$ 137.323,00.

4.2.5.3 VALOR ECONOMIZADO

Sabendo-se que a membrana será capaz de produzir 1.673.250 L/mês e considerando-se que o valor por litro de água que deixará de ser adquirido é de R\$ 0,00798 /L, tem-se uma economia anual no valor de R\$ 160.230,00.

4.2.5.4 FLUXO DE CAIXA

O fluxo de caixa detalhado com os valores obtidos para o cenário proposto pode ser observado na Figura 24.

Figura 24 – Análise econômica sem painéis fotovoltaicos para a área de 11.500 m²

| ANÁLISE ECONÔMICA SEM UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA A ÁREA DE 11.500 M ² | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Descrição | Valor (R\$) | Período (anos) | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1.0 Investimento | | | | | | | | | | | |
| Equipamento Automatizado | -16.495 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 01 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 02 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 03 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 04 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 05 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 06 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 07 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Total | -80.380 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.0 Custos | | | | | | | | | | | |
| 2.1 Custo Fixo | | | | | | | | | | | |
| Reagentes | | -300 | -300 | -300 | -300 | -300 | -300 | -300 | -300 | -300 | -300 |
| Membrana 01 | | -2.784 | -2.784 | -2.784 | -2.784 | -2.784 | -2.784 | -2.784 | -2.784 | -2.784 | -2.784 |
| Manutenção (2% bioreator) | | -330 | -330 | -330 | -330 | -330 | -330 | -330 | -330 | -330 | -330 |
| Total | | -3.414 | -3.414 | -3.414 | -3.414 | -3.414 | -3.414 | -3.414 | -3.414 | -3.414 | -3.414 |
| 2.2 Custo Variável | | | | | | | | | | | |
| Energia Elétrica | | -6.860 | -6.860 | -6.860 | -6.860 | -6.860 | -6.860 | -6.860 | -6.860 | -6.860 | -6.860 |
| Água da Concessionária | | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 |
| Total | | -133.909 | -133.909 | -133.909 | -133.909 | -133.909 | -133.909 | -133.909 | -133.909 | -133.909 | -133.909 |
| Custo Total | | -137.323 | -137.323 | -137.323 | -137.323 | -137.323 | -137.323 | -137.323 | -137.323 | -137.323 | -137.323 |
| 3.0 Valor Economizado | | | | | | | | | | | |
| Água produzida | | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 |
| Total | | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 |
| Fluxo de Caixa Final | -80.380 | 22.907 | 22.907 | 22.907 | 22.907 | 22.907 | 22.907 | 22.907 | 22.907 | 22.907 | 22.907 |

| | |
|-------------------------|---------------|
| TIR: | 25,58% |
| Payback Simples: | 4,00 |

| Payback Simples | | |
|-----------------|---------|---------|
| Ano | Saldo | Redução |
| 0 | -80.380 | 0 |
| 1 | -57.473 | 22.907 |
| 2 | -34.566 | 22.907 |
| 3 | -11.659 | 22.907 |
| 4 | 11.248 | 22.907 |
| 5 | 34.155 | 22.907 |
| 6 | 57.062 | 22.907 |
| 7 | 79.969 | 22.907 |
| 8 | 102.876 | 22.907 |
| 9 | 125.782 | 22.907 |
| 10 | 148.689 | 22.907 |

Fonte: O autor, 2019

O terceiro cenário, de 11.500 m², apesar da elevada área de captação quando comparado aos demais, demonstrou-se viável com uma taxa interna de retorno de 25% e um retorno do investimento de 4 anos, assim como o cenário de 2.300 m².

4.2.6 ÁREA DE CAPTAÇÃO DE 11.500 M² COM PAINEL

Neste item será possível observar os levantamentos de dados realizados, bem como planilhas finais da análise econômica com a utilização de painéis fotovoltaicos para o cenário de 11.500 m². A seguir serão apresentados levantamento dos dados que compõe o fluxo de caixa desta análise.

4.2.6.1 INVESTIMENTO

O equipamento automatizado foi estimado no valor de R\$ 16.495,00 e os sete reservatórios, de vinte mil litros, conforme orçamento disponível nos apêndices no valor unitário de R\$ 9.126,00 cada um.

Como já fora constatado anteriormente, o sistema funcionará por 23,17 h/dia, considerando-se que o sistema a ser energizado é de 1cv, são necessários 17,04 kWh/dia, logo um consumo mensal de 511,24 kWh/mês.

Se cada painel produz 31,50 kWh/mês e são necessários 511,24 kWh/mês, para suprir a demanda do sistema são necessários 16 painéis fotovoltaicos.

O custo por painel fotovoltaico, já considerando-se 30% do valor do painel em instalação, é de R\$ 1.520,90, logo, para a demanda energética da edificação de 2.300 m² é necessário o investimento de R\$ 24.684,00 no sistema fotovoltaico.

Tendo-se conhecimento do valor do sistema de membranas, dos reservatórios e do sistema fotovoltaico, tem-se o investimento total de R\$ 105.065,00

Tabela 9 – Relação de equipamentos que compõe o Investimento Inicial para 11.500 m².

| Descrição | Unidade | Valor unitário (R\$) | Valor total (R\$) |
|---------------------------------|-------------|----------------------|-------------------|
| Equipamento Automatizado | | | |
| Reservatório para a membrana | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Valvulas Solenóides | 16 unidades | 50,00 | 800,00 |
| Membrana de 25 m ² | 1 unidade | 5568,75 | 5568,75 |
| Tubulação e instalação | 1 unidade | 1000,00 | 1000,00 |
| Subtotal | | | 16495,20 |
| Reservatórios | | | |
| Reservatório 01 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Reservatório 02 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Reservatório 03 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Reservatório 04 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Reservatório 05 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Reservatório 06 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Reservatório 07 | 1 unidade | 9126,45 | 9126,45 |
| Painéis Fotovoltaicos | 16 unidades | 1542,77 | 24684,36 |
| Subtotal | | | 88569,51 |
| Total do Investimento | | | 105064,71 |

Fonte: O autor, 2019

4.2.6.2 CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS

Os custos fixos de reagentes, membranas e manutenção do sistema de membranas possui os mesmos valores da análise sem painéis fotovoltaicos, totalizando um valor de R\$ 3.414,00

A manutenção do sistema fotovoltaico será realizada por equipe técnica pelo menos uma vez ao ano, estimou-se aqui que o custo com manutenção tenha valor de 2% do valor do sistema, logo, tendo o equipamento valor de dois mil reais, o valor da manutenção anual será de R\$ 494,00.

O total para esta área de captação de custos fixos anuais é R\$ 3.908,00

Os custos variáveis incluem a energia elétrica e a água adquirida da concessionária. A energia do sistema é suprida integralmente pelos painéis fotovoltaicos, porém a água ainda necessita ser adquirida da concessionária, que como pode-se observar na descrição dos custos variáveis da análise sem painéis, possui um custo de R\$ 127.050,00.

4.2.6.3 VALOR ECONOMIZADO

Sabendo-se que a membrana será capaz de produzir 1.673.250 L/mês e considerando-se que o valor por litro de água que deixará de ser adquirido é de R\$ 0,00798 /L, tem-se uma economia anual no valor de R\$ 160.230,00.

4.2.6.4 FLUXO DE CAIXA

O fluxo de caixa detalhado com os valores obtidos para o cenário proposto pode ser observado na Figura 25.

Figura 25 – Análise econômica com painéis fotovoltaicos para a área de 11.500 m²

| ANÁLISE ECONÔMICA COM UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA A ÁREA DE 11.500 M ² | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Descrição | Valor (R\$) | Período (anos) | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1.0 Investimento | | | | | | | | | | | |
| Equipamento Automatizado | -16.495 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 01 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 02 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 03 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 04 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 05 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 06 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Reservatório 07 (20000L) | -9.126 | | | | | | | | | | |
| Painéis Solares (16) | -24.684 | | | | | | | | | | |
| Total | -105.065 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.0 Custos | | | | | | | | | | | |
| 2.1 Custo Fixo | | | | | | | | | | | |
| Reagentes | | -300 | -300 | -300 | -300 | -300 | -300 | -300 | -300 | -300 | -300 |
| Membrana O1 | | -2.784 | -2.784 | -2.784 | -2.784 | -2.784 | -2.784 | -2.784 | -2.784 | -2.784 | -2.784 |
| Manutenção (2% bioreator) | | -330 | -330 | -330 | -330 | -330 | -330 | -330 | -330 | -330 | -330 |
| Manutenção (2% painéis) | | -494 | -494 | -494 | -494 | -494 | -494 | -494 | -494 | -494 | -494 |
| Total | | -3.908 | -3.908 | -3.908 | -3.908 | -3.908 | -3.908 | -3.908 | -3.908 | -3.908 | -3.908 |
| 2.2 Custo Variável | | | | | | | | | | | |
| Energia Elétrica | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Água da Concessionária | | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 |
| Total | | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 | -127.050 |
| Custo Total | | -130.958 | -130.958 | -130.958 | -130.958 | -130.958 | -130.958 | -130.958 | -130.958 | -130.958 | -130.958 |
| 3.0 Valor Economizado | | | | | | | | | | | |
| Água produzida | | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 |
| Total | | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 | 160.230 |
| Fluxo de Caixa Final | -105.065 | 29.273 | 29.273 | 29.273 | 29.273 | 29.273 | 29.273 | 29.273 | 29.273 | 29.273 | 29.273 |

| | |
|-------------------------|---------------|
| TIR: | 24,83% |
| Payback Simples: | 4,00 |

| Payback Simples | | |
|-----------------|----------|---------|
| Ano | Saldo | Redução |
| 0 | -105.065 | 0 |
| 1 | -75.792 | 29.273 |
| 2 | -46.519 | 29.273 |
| 3 | -17.246 | 29.273 |
| 4 | 12.027 | 29.273 |
| 5 | 41.300 | 29.273 |
| 6 | 70.573 | 29.273 |
| 7 | 99.845 | 29.273 |
| 8 | 129.118 | 29.273 |
| 9 | 158.391 | 29.273 |
| 10 | 187.664 | 29.273 |

Fonte: O autor, 2019

Assim como quando se comparou o cenário de 2.300 m² com e sem painel, neste cenário também houve redução da TIR, aqui de 25 para 24%, redução que demonstrou-se inferior ao que ocorreu no cenário de 2.300 m².

A implantação do painel fotovoltaico no sistema de 11.500 m² não prejudicou o período de retorno do investimento, que manteve-se em 4 anos. A sugestão para trabalhos futuros acerca desta área de implantação é realizar um levantamento do consumo energético para verificar a viabilidade de energizar-se outros equipamentos além do PSM.

4.2.7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE ECONÔMICA

Nota-se que com a adoção de painéis fotovoltaicos cenários que não eram atrativos, como o de 230 m², passaram a ser viáveis economicamente. Apesar do *payback* ser de 6 anos

para o cenário em questão, deve-se lembrar da autossuficiência do sistema proposto, que vai de encontro com a sustentabilidade que deve ser levada em consideração na tomada de decisão.

Os cenários de 2.300 e 11.500 m² após a implementação de painéis fotovoltaicos continuaram apresentando viabilidade de implantação, e mantiveram o mesmo período de retorno a pesar do investimento ser superior. Cabe ressaltar que não foi considerada a energia das edificações no consumo energético, apenas o do equipamento, sendo interessante para próximos trabalhos o dimensionamento completo do sistema fotovoltaico com base no consumo energético total dos cenários propostos.

Pode-se realizar a comparação do custo da água produzida para cada cenário. Considerando-se os custos e o investimento e dividindo-se este valor pelo volume de água produzido anualmente tem-se um valor por metro cúbico mais atrativo ao consumidor final do que o fornecido pela concessionária.

Atualmente a concessionária de água cobra o valor de R\$ 7,98 para fornecimento de 1 m³ de água, já com os cenários apresentados nesta dissertação tem-se os valores apresentados na Tabela 10. Pode-se observar que a medida que se aumenta a área de captação reduz-se o valor por metro cúbico da água tratada.

Tabela 10 – Valores do m³ do PSM para todos os cenários.

| Cenários | Com painel | Sem painel |
|---|------------------------------------|------------------------------------|
| | Valor do m³ (RS) | Valor do m³ (RS) |
| 230 m ² | 1,20 | 4,89 |
| 2.300 m ² | 0,99 | 1,73 |
| 11.500 m ² | 0,57 | 0,72 |
| Valor do m ³ da concessionária: R\$ 7,98 | | |

Fonte: O autor, 2019

De acordo com estudos a ETA de Meia Ponte apresenta um consumo médio de 35.443,73 KWh para potabilizar águas, este valor consideravelmente maior ao necessário pela membrana de UF apresentadas nesta dissertação, de cerca de 1 kWh, ainda, segundo Filho (2017) e Telles (2016) as membranas de ultrafiltração apresentam consumo energético inferior às demais como osmose reversa, o que vai de encontro com a viabilidade encontrada nesta dissertação ao adotar-se painéis fotovoltaicos para energização do sistema.

5 CONCLUSÃO

São apresentados neste tópico as conclusões obtidas levando-se em consideração os objetivos específicos deste projeto.

A ultrafiltração de água de chuva, seguida da cloração produz água potável a longo prazo. A viabilidade econômica foi obtida para todos os cenários apresentados quando adotados painéis fotovoltaicos para energizar o sistema. A alternativa proposta é uma solução segura para abastecimento de água em regiões remotas e também em áreas urbanas, possuindo um valor por metro cúbico de água mais atrativo que o ofertado pela concessionária local.

As limpezas realizadas na membrana foram eficientes na manutenção, não prejudicando os padrões de potabilidade e conseguindo manter um fluxo médio de 135 L/h m².

Em longos períodos de estiagem faz-se necessário o preenchimento do reservatório com água tratada para que seja mantida a qualidade do permeado após a primeira chuva.

A primeira chuva após grandes períodos de seca deve ser descartada por apresentar valores insatisfatórios e comprometer a colmatação da membrana, visto que os materiais em suspensão acabam estando mais presentes neste fluido. Os valores pós filtração e cloração da água da primeira chuva após a estiagem possuem padrões de potabilidade, porém para segurança do usuário aconselha-se o descarte desta água.

A análise econômica demonstrou o sistema proposto sem a instalação de painéis solares é viável financeiramente para os cenários de 2.300 m² de área de cobertura e 11.500 m², sendo mais rentável que investimentos em títulos públicos, como o Tesouro Direto.

As análises econômicas com a utilização de painéis foram atrativas para todos os cenários e tornando o cenário de 230 m² que não apresentava valor de taxa interna de retorno atrativo com TIR de 13%.

O valor por metro cúbico da água produzida pelo PSM, em todos os cenários foi mais em conta que o valor da água da concessionária, chegando a custar até R\$ 0,57/m³, valor este 14 vezes mais barato que o valor cobrado pela concessionária.

O metro cúbico mais caro dos cenários propostos foi para a água produzida sem painéis na área de 230 m², contudo, a água deste cenário custa quase a metade do valor da concessionária, possuindo um valor de R\$ 4,89 contra R\$ 7,98 da concessionária. Salienta-se aqui que para este cenário a água produzida supre integralmente a demanda da residência, não sendo necessário aquisição extra.

Conclui-se então que a implementação de ultrafiltração de água da chuva com energização por painéis fotovoltaicos é viável técnica e economicamente, sendo uma alternativa confiável para implementação a longo prazo.

Como sugestão para trabalhos futuros seria o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos para suprir a energia de toda a residência, não somente do sistema de UF, e analisar a viabilidade econômica dos cenários propostos para tal situação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACLARA. **Clarifying surface water**. Disponível em <http://aclara.com/en/clarifier-leau-de-surface/> Acesso em 16 jun 2019.

ALMEIDA, J. **Viabilidade técnica do uso e econômica da produção do agregado de RCD em pavimentação de vias urbanas**. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, 2015.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos do Brasil**. Informe 2017.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Regiões Hidrográficas**. Disponível em <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/RegioesHidrograficas.aspx>. Acesso em 28 out 2018.

APHA **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation; 2005.

ARMOA, M., JAFELICCI JR., M. **Princípios e aplicações de processos de separação por membranas inorgânicas**. Ciência e Tecnologia: FATEC-JB, Jaboticabal, v.2, n.1, p. 80-97, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Água de Chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas**. NBR 15.527. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação de Oxigênio Consumido - Método Do Permanganato de Potássio**. NBR 10.739. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. NBR 9.898. Rio de Janeiro, 1987.

AYDINER, Coskun et al. **Techno-economic viability of innovative membrane systems in water and mass recovery from dairy wastewater**. Journal of membrane science, v. 458, p. 66-75, 2014.

BARBOSA, R. K. R. C. et al. **Projeto de aproveitamento de água da chuva para o uso não potável domiciliar**. Curso Acadêmico, Belo Horizonte, v. 7, n. 13, jan./jun. 2017.

BLACKWOOD, J. et al. **Stochastic Optimization Model for Sustainable Water Treatment with Minimal Energy Use**. ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, 2017.

BRASIL. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Resolução 357 de 17 de março de 2005.

BRASIL. **Fundação Nacional da Saúde**. Manual prático de análise de água, 2013.

BRASIL. **Ministério da Economia**. Disponível em: <http://www.tesouro.fazenda.gov.br/-/taxa-de-custodia-do-tesouro-direto-caira-para-0-25-em-2019> Acesso em 07 de junho de 2019.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Portaria nº 518 de 2004.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA), 2018.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano, 2006.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/>. Acesso em 10 ago 2018.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia**. Plano Nacional de Energia 2030, 2007.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/agua.html>. Acesso em 18 out 2018.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Decreto de Lei nº 306/2007 de 27 de agosto de 2007.

BRIÃO, V. B. Universal Vandrê [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por eng.suelenregina@gmail.com em 14 nov 2018.

BRIÃO, V. B. Universal Vandrê [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por eng.suelenregina@gmail.com em 07 jun 2019.

CALIFORNIA. California Urban Water Agencies Central Valley Drinking Water Program. **Summary table for Evaluation of drinking water quality goals**. Out, 2007.

CARDOSO, J. M.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; RIBEIRO, L. G. **Análise de nitrito em água subterrânea de consumo humano em Campo Grande – MS**. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017.

CARVALHO, J. R. S.; LIMA, J. C. A. L.; FIGUEIRAS, M. L.; MEDEIROS, L. L.; SANTOS, S. M.; GAVAZZA, S. **Influência do descarte das primeiras águas de chuva sobre a qualidade da água encaminhada às cisternas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 8., 2012, Campina Grande. Anais... Campina Grande: ABCMAC, 2012.

CEPEL – Centro de pesquisas de energia elétrica; CRESESB – Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio Brito. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.

CHEN, S. et al. **Research on City Energy Conservation Basing Rainwater Utilization**. Procedia Environmental Sciences, v. 12, p. 72-78, 2012.

CIESE, **Center for Innovation in Engineering and Science Education**. Disponível em: <http://www.k12science.org/curriculum/waterproj/bod/> Acesso em 10 de junho de 2019.

CLIMATE DATA. Passo Fundo. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-sul/passo-fundo-3821/> Acesso em 24 de maio de 2019.

COELHO, A. L. A. **Viabilidade técnica e econômica do aproveitamento para consumo humano da água evaporada na industrialização de suco de laranja concentrado**. 154 f. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2013.

CPRM. **Serviço Geológico do Brasil**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em 23 ago 2018.

DASSI, J. A., et al. **Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil**. XXII Congresso Brasileiro de Custos – Foz do Iguaçu, PR, 2015.

DEB, D.; BRAHMBHATT, N. L. **Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water-free automated cleaning solution**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 82, p. 3306-3313, fev./2018

DESCONZI, M. I. et al. **Energia Solar Fotovoltaica**. In: SEPOC 2010, Santa Maria, 2010

DING, G. K. C. **Recycling and Reuse of Rainwater and stormwater**. University of Technology Sydney, Sidney, NSW, Australia dez./2017.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/app/principal/agromet.php>. Acesso em 10 ago de 2018.

FERREIRA, A. et al. **Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 81, n. 1, p. 181-191, jan./2018.

FILHO, M. B. G. **Análise da Implementação do sistema de membranas ultrafiltrantes em uma ETA de ciclo completo a partir do estudo de caso da ETA Meia Ponte**. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2017.

FILHO, N. C.; KOPITKE, B. H. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. Atlas, 11 edição, 2010.

FLORIANÓPOLIS. Lei Complementar nº 561, de 02 de junho de 2016. Código de Obras e Edificações de Florianópolis, 2016.

FREITAS, E. **"Água potável"**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/agua-potavel.htm>. Acesso em 18 nov 2018.

GAO, W. et al. **Membrane fouling control in ultrafiltration technology for drinking water production: A review**. *Desalination*, v. 272, p. 1-8, maio/2011.

GEHAKA. **A medida de pH e condutividade**. SANEPAR, ago 2013.

GITMAN, L. J. **Princípios da administração financeira**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.

GUEDES, Tiago Lemos. **Tratamento de água de chuva através de microfiltração tangencial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2012.

GUO, Y. et al. **Coupling continuous sand filtration to ultrafiltration for drinking water treatment: Improved performance and membrane fouling control**. *Journal of Membrane Science*, v. 567, p. 18-27, dez./2018.

HAGEMANN, Sabrina Elicker; GASTALDINI, Maria do Carmo Cauduro. **Variation of rainwater quality with precipitation: application to Santa Maria city-RS**. *RBRH*, v. 21, n. 3, p. 525-536, 2016.

JAQUES, R. C. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações**. 2005, 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

KAUFMANN, G. V. **Avaliação do Potencial de Geração Solar Fotovoltaica e Análise em Tempo Real da Operação de um Painel Fotovoltaico Instalado na Cidade de Lajeado/RS**. 2012. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado.

LENZ, A. M. et al. **Evaluation of three systems of solar thermal panel using low cost material, tested in Brazil**. *Journal of Cleaner Production*, v. 167, p. 201-207, nov./2017

MIERZWA, J. C. et al. **Tratamento de Água para Abastecimento Público por Ultrafiltração: Avaliação Comparativa Através dos Custos Diretos de Implantação e Operação com os Sistemas Convencional e Convencional com carvão ativado**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 1, p. 78-87, jan./mar. 2008.

MIORANDO, T. **Potabilização de água da chuva por ultrafiltração**. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, 2015.

MIORANDO, T., et al. **Potabilização de água da chuva por ultrafiltração**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 3, p. 481-490, maio/jun. 2017.

MPCA, Minnesota Pollution Control Agency. **A2. Nitrogen in Waters: Forms and Concerns**. Jun, 2013.

NAKADA, L. Y. K.; MORUZZI, R. B. **Variabilidade qualitativa de águas pluviais coletadas em telhados e sua importância na concepção do sistema de tratamento**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n. 1, p. 1-9, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522014000100001>.

NITTO, Innovation for costumers. Disponível em: <https://www.nitto.com/br/pt/products/group/membrane/about/>. Acesso em 17 nov 2018.

ONS, **Operador Nacional do Sistema Elétrico**. Disponível em: <http://ons.org.br/paginas/energia-agora/carga-e-geracao>. Acesso em 04 nov 2018.

ONU. **Organização nas Nações Unidas no Brasil**. Disponível em: <http://nacoesunidas.org>. Acesso em 13 ago 2018.

PAM Membranas Seletivas. Disponível em: <http://www.pam-membranas.com.br/>. Acesso em 18 abr 2019.

PEREIRA, S. F. P.; et al. **Condições de potabilidade da água consumida pela população de Abaetetuba-Pará**. Revista de Estudos Ambientais, v. 12, n. 1, p. 50-62, jan./jun., 2010.

PETER-VARBANETS. **Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology**. Water Research, v. 43, p. 245-265, nov. 2008.

PORTAL SOLAR. **Rio Grande do Sul é o 2º no ranking nacional em microgeração de energia solar**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/rio-grande-do-sul-e-o-2o-no-ranking-nacional-em-microgeracao-de-energia-solar.html> Acesso em 14 jun 2019.

REZENDE, A. T. **Reúso urbano de água para fins não potáveis no Brasil**. 106 f. Trabalho Final de Curso – Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

ROJAS, F. C. **Avaliação dos aspectos técnicos e da viabilidade econômica da nanofiltração aplicada a dessalinização de águas salobras para abastecimento potável**. 210 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, 2017.

SANDOVAL, A. D. O. et al. **Stormwater management by microfiltration and ultrafiltration treatment**. Journal of water process engineering. Ago./2017.

SÃO PAULO (Estado). Disponível em: <http://www.saopaulo.sp.gov.br/10507-51647-jpg/>. Acesso em 25 out 2018.

SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual nº 45.805, de 15 de maio de 2001. Programa Estadual de Uso Racional de Água Potável, 2001.

TEIXEIRA, C. J. et al. **Estudo Comparativo da Qualidade da Água da Chuva Coletada em Telhado com telhas de concreto e em telhado verde para usos não potáveis**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 135-155, abr./jun. 2017.

TELLES, J. P. G. **Avaliação Teórica da utilização de membranas semipermeáveis na filtragem de efluentes líquidos**. 30 f. Relatório Final de Pesquisa de Iniciação Científica – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, 2016.

THE DOW CHEMICAL COMPANY. Product Manual, Ultrafiltration, v.3, abr./2011.

UNICEF. **Fundação das Nações Unidas para a Infância**. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/pt/>. Acesso em 23 ago 2018.

UPF. **Faculdade de Engenharia e Arquitetura**. Disponível em: <https://www.upf.br/fear/noticia/inicia-funcionamento-do-parque-de-geracao-solar-fotovoltaica-da-upf> Acesso em 18 de abril de 2019.

WANDERLEY, A. C. F., CAMPOS, A.L. P. S. **Perspectivas de Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Geração de Energia Elétrica no Rio Grande do Norte**. HOLOS, Ano 29, vol 3, 2013.

WANG, Siyu et al. **Technology feasibility and economic viability of an innovative integrated ceramic membrane bioreactor and reverse osmosis process for producing ultrapure water from municipal wastewater**. Chemical Engineering Journal, p. 122078, 2019.

APÊNDICES

Nos apêndices desta dissertação podem ser conferidas a planilha utilizada para a análise econômica, os gráficos das análises laboratoriais, os memoriais de cálculo bem como curva de sulfatos.

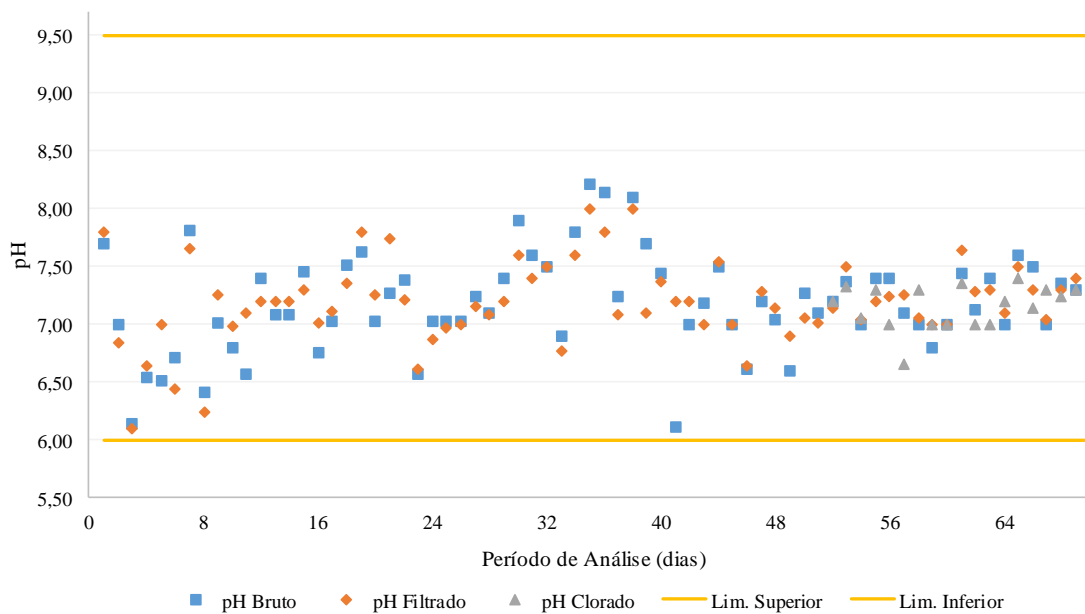
I. PLANILHA PARA ANÁLISE ECONÔMICA

A planilha utilizada para determinação da análise econômica pode ser visualizada, bem como testada através do link:

https://drive.google.com/file/d/14xnxpifEfpCcykzl7_rAmJZ63qvlIQjl/view

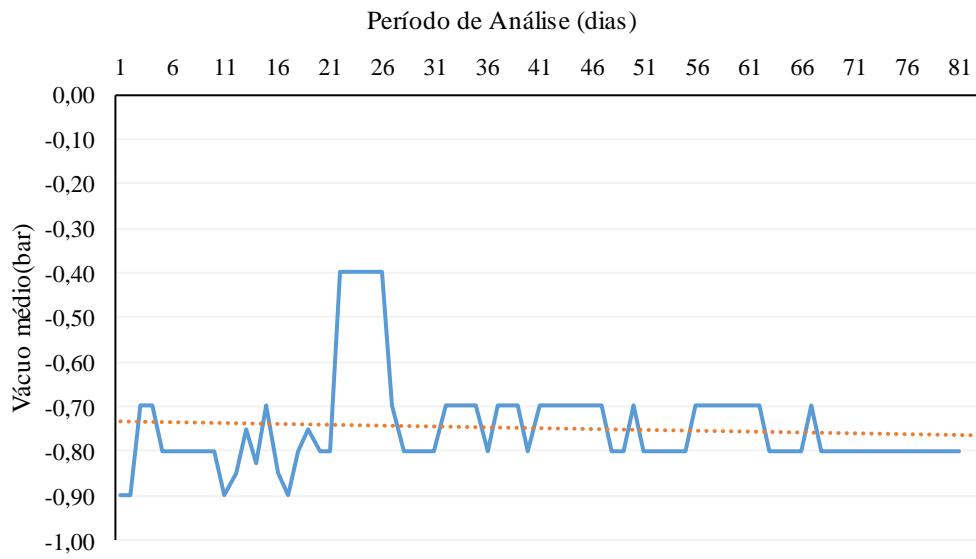
II. GRÁFICOS DAS ANÁLISES LABORATORIAIS

Figura 26– pH da água de chuva, ultrafiltrada e água tratada ao longo do tempo



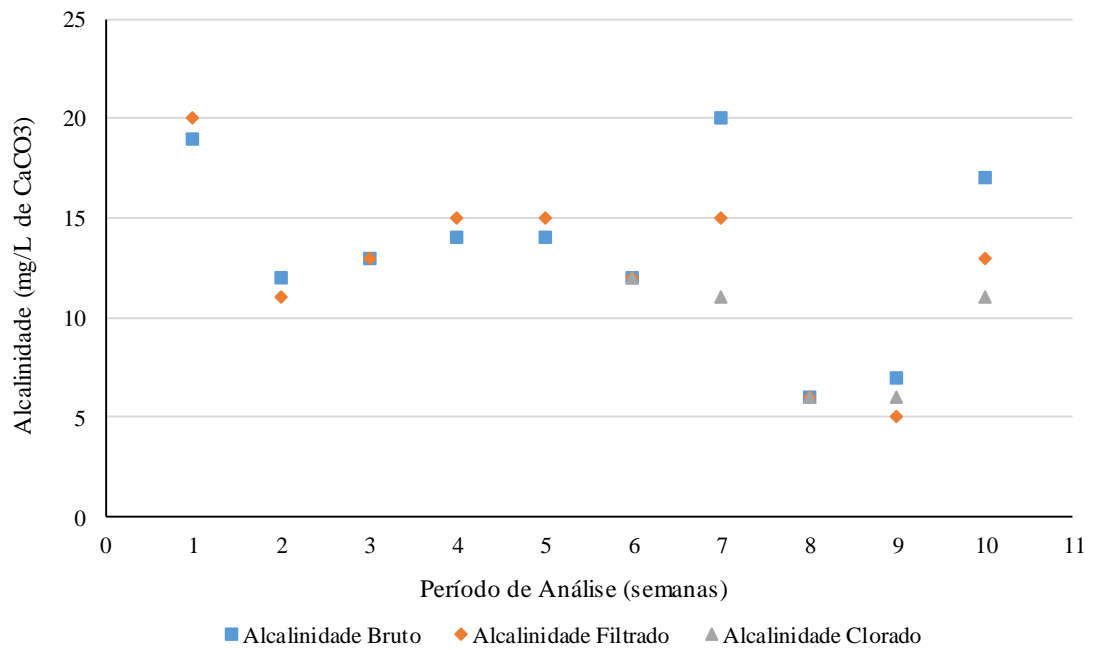
Fonte: O autor, 2019

Figura 27 – Vácuo aplicado à Ultrafiltração



Fonte: O autor, 2019

Figura 28– Alcalinidade ao longo do tempo



Fonte: O autor, 2019

Figura 29 – Dureza total ao longo do tempo

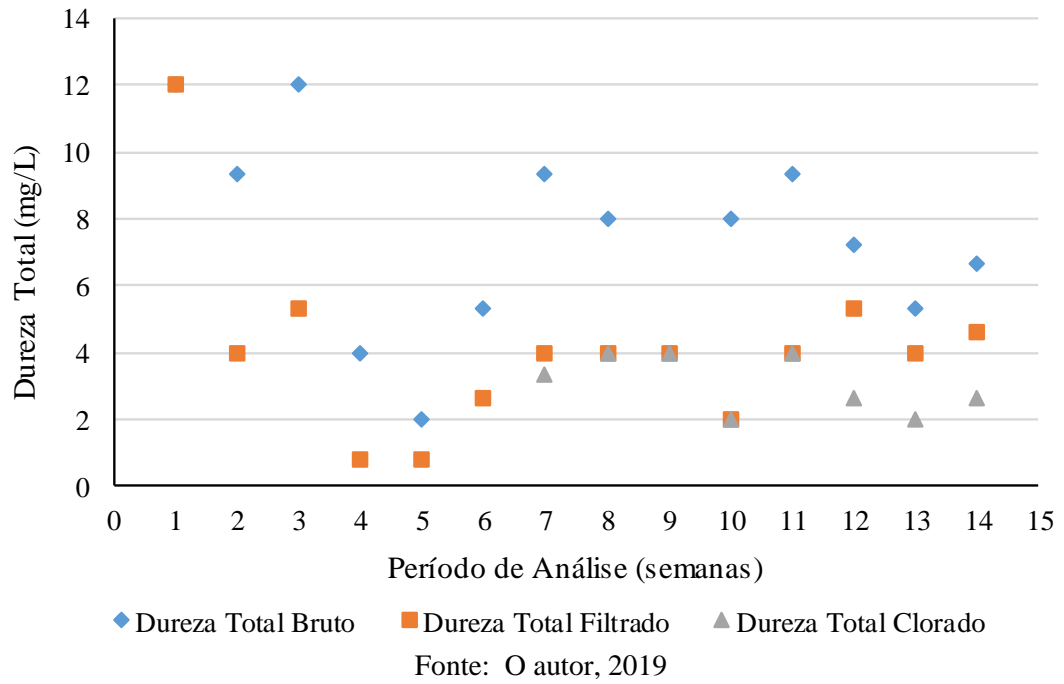


Figura 30 – Sulfatos ao longo do tempo

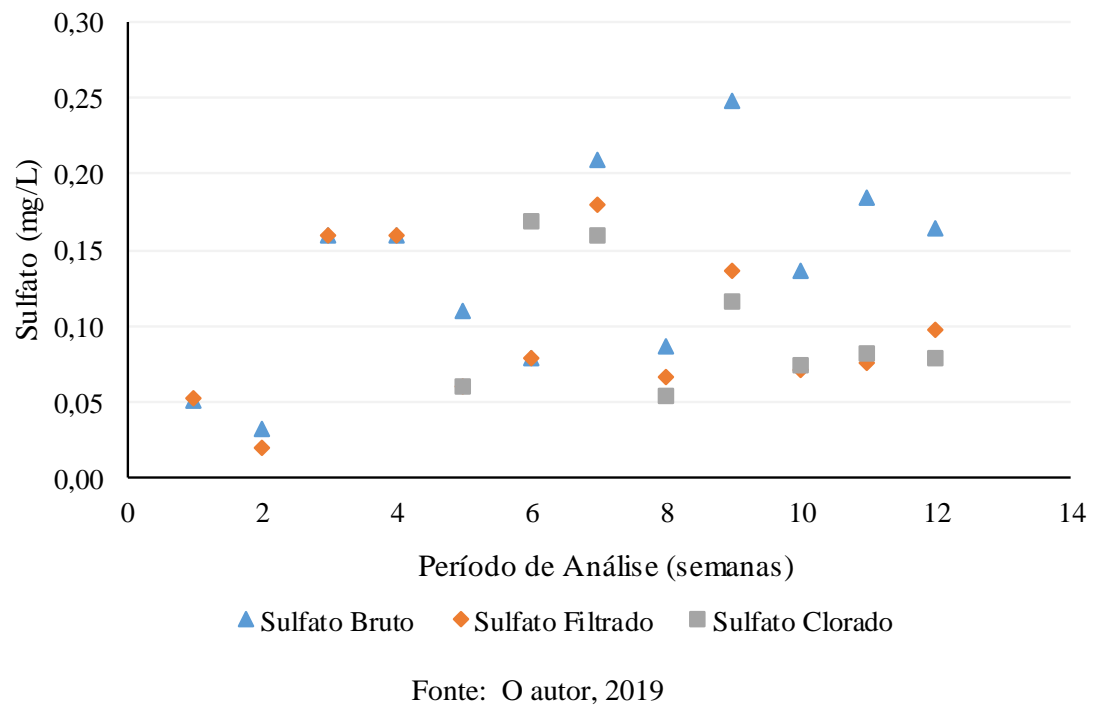
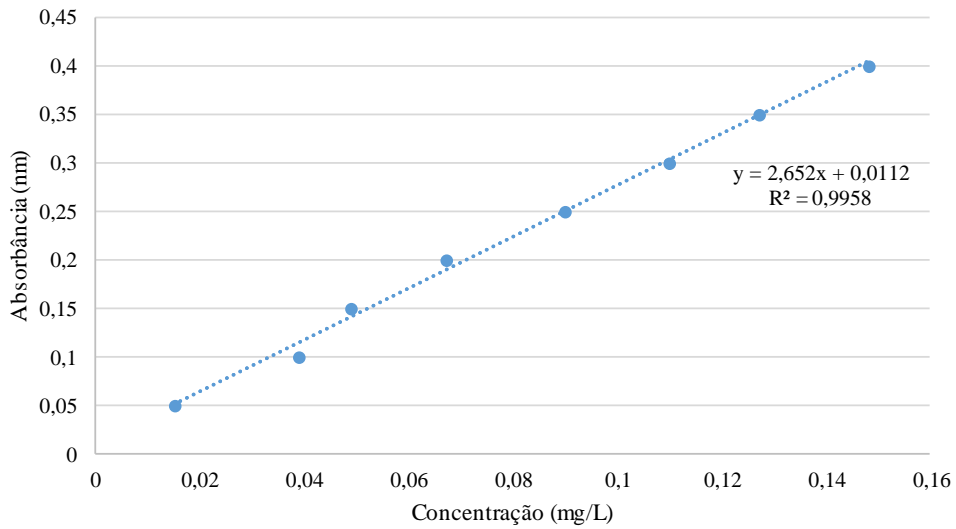
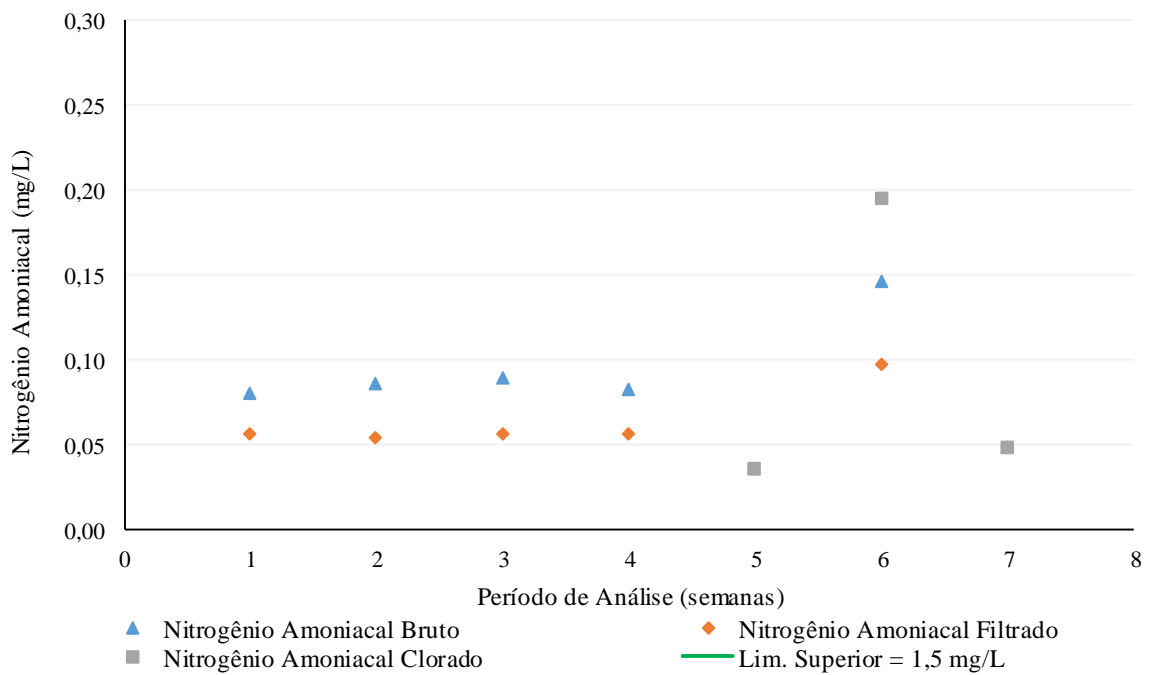


Figura 31 – Curva Padrão de Sulfatos



Fonte: O autor, 2019

Figura 32– Nitrogênio Amoniacal ao longo do tempo



Fonte: O autor, 2019

Quadro 3 - Coliformes Totais ao longo do tempo

| Cronograma | NMP/100 mL | | |
|---------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|
| | Coliformes Totais Bruto | Coliformes Totais Filtrado | Coliformes Totais Clorado |
| Semana 1 | 0,00 | 0,00 | N/R |
| Semana 2 | >23 | 2,20 | N/R |
| Semana 3 | >23 | 9,20 | N/R |
| Semana 4 | >23 | 0,00 | N/R |
| Semana 5 | >23 | 9,20 | N/R |
| Semana 6 | 9,20 | 9,20 | 0,00 |
| Semana 7 | >23 | 2,20 | 0,00 |
| Semana 8 | >23 | 2,20 | 0,00 |
| Semana 9 | >23 | 2,20 | 0,00 |
| Semana 10 | >23 | 0,00 | 0,00 |
| Semana 11 | >23 | 2,20 | 0,00 |
| Semana 12 | >23 | 0,00 | 0,00 |
| Semana 13 | >23 | >23 | 0,00 |
| Semana 14 | >23 | 5,10 | 0,00 |
| Semana 15 | >23 | 1,10 | 0,00 |
| N/R = Não realizado | | | |

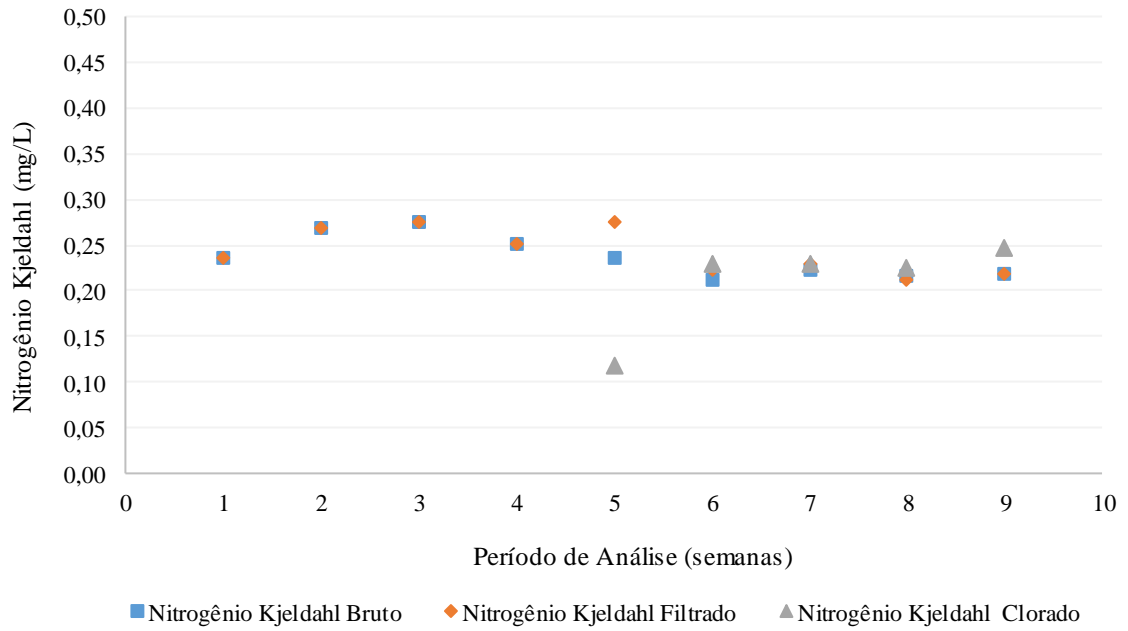
Fonte: O autor, 2019

Quadro 4 - *Escherichia coli* ao longo do tempo

| Cronograma | NMP/ 100 mL | | |
|---------------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | <i>Escherichia coli</i> Bruto | <i>Escherichia coli</i> Filtrado | <i>Escherichia coli</i> Clorado |
| Semana 1 | 0,00 | 0,00 | N/R |
| Semana 2 | >16 | 0,00 | N/R |
| Semana 3 | >16 | 0,00 | N/R |
| Semana 4 | >16 | 0,00 | N/R |
| Semana 5 | >16 | 0,00 | N/R |
| Semana 6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Semana 7 | >16 | <2,2 | 0,00 |
| Semana 8 | >16 | <2,2 | 0,00 |
| N/R = Não realizado | | | |

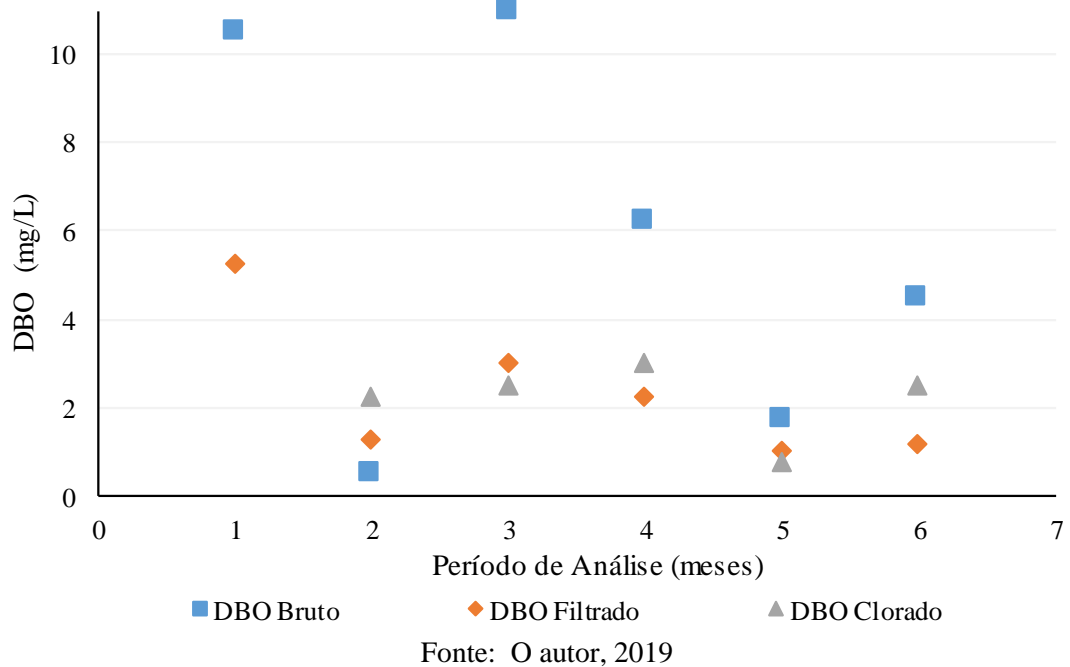
Fonte: O autor, 2019

Figura 33 – Nitrogênio Kjeldahl ao longo do tempo



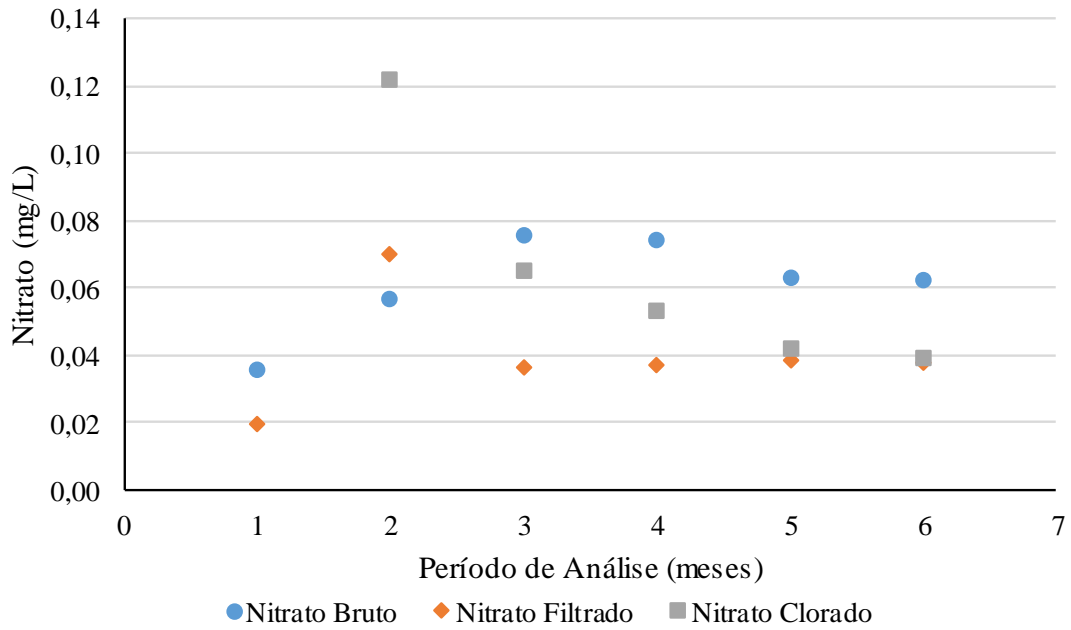
Fonte: O autor, 2019

Figura 34 – DBO ao longo do tempo



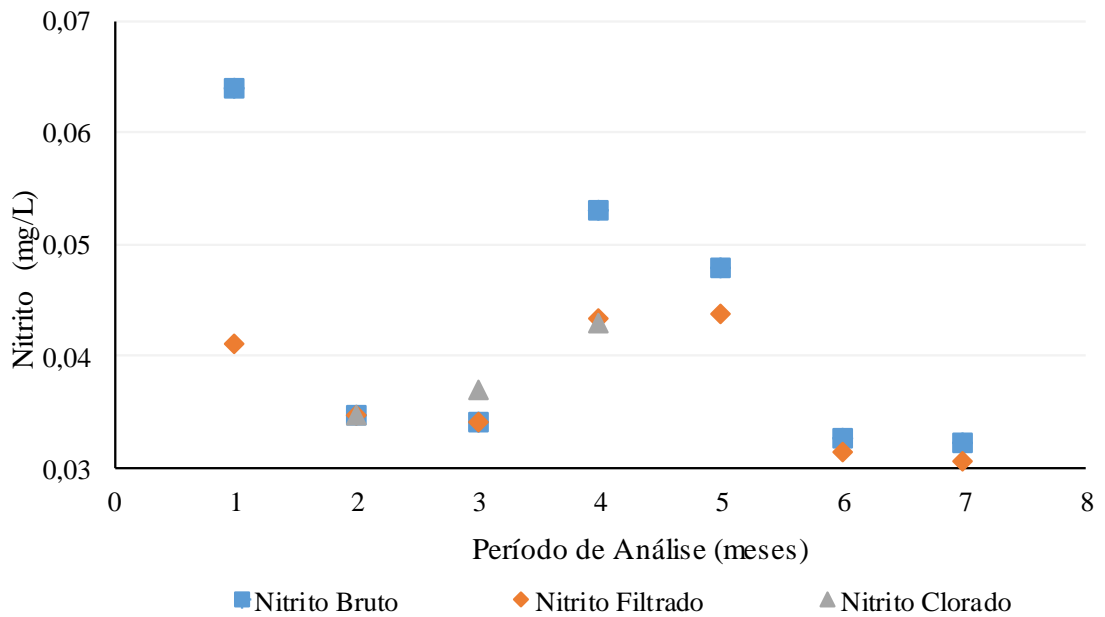
Fonte: O autor, 2019

Figura 35 – Nitrato ao longo do tempo



Fonte: O autor, 2019

Figura 36 – Nitrito ao longo do tempo



Fonte: O autor, 2019

III. MEMORIAL DE CALCULO

Neste item é possível observar os cálculos realizados no dimensionamento do modelo de médio porte.

1. Área de coleta

Considerando-se as dimensões da edificação modelo de médio porte em questão, tem-se que as medidas laterais são de 115 m x 20 m, logo a área de coleta será 2.300 m²

2. Precipitação anual média

De acordo com a bibliografia a média anual de precipitação para a cidade de Passo Fundo é de 1746 mm, isso gera uma precipitação mensal média de 145,50 mm/mês. Sendo assim a contribuição média mensal do telhado estudado para a região de análise é de:

$$Pme = 2300m^2 \times \frac{145,50mm}{mês} \times \frac{1m}{1000mm}$$

$$Pme = 334,65 m^3/mês$$

Pme = Precipitação média.

3. Precipitação máxima anual

Sabe-se que o mês de setembro é o mais chuvoso, com um volume médio mensal de 204 mm, considerando-se esta precipitação tem-se que no mês de setembro serão coletados um volume (m³) de:

$$Pma = 2300m^2 \times \frac{204mm}{mês} \times \frac{1m}{1000mm}$$

$$Pma = 469,20 m^3/mês$$

Pma = Precipitação máxima anual.

Considerando-se um mês padrão, tem-se que a precipitação diária em um mês de 30 dias é de: 15,64 m³/dia ou 651,66 L/h.

4. Área de membrana

Observando-se o fluxo da atual membrana de 0,1 m² tem-se uma média de 135 L/h de água sendo filtrada, estima-se assim a área necessária para a vazão em questão.

$$A = \frac{Q}{J} = \frac{651,66 L/h}{135 \frac{L}{m^2 \cdot h}}$$

$$A = 4,82m^2$$

Onde:

A= área de membrana;

Q = vazão máxima;

J = Fluxo existente;

Devido ao projeto padrão não ser um projeto piloto, seria inviável adquirir 4,82 m² de membrana, assim sendo, optou-se por adquirir a membrana de 20 m² da Toray, cujo orçamento segue abaixo.

Figura 37 – Orçamento de membrana

Prof. Vandré bom dia,

As informações do folheto técnico modelo HSU-1515 de 20m² é específico para 1 modulo submerso.

Em anexo você encontra o manual com detalhes de instalação, operação e manutenção deste modulo. Acredito que seja possível uma adaptação do seu sistema existente.

Como não mantemos este tipo de membrana em estoque no Brasil, a compra só está disponível via importação direta de nossa fábrica nos EUA. Abaixo segue a cotação:

- Quantidade: 1 peça
- Modelo: HSU-1515
- Preço unitário: USD 1,100
- Condição: EX Works Poway – California
- Material em estoque

Seguimos a disposição para esclarecimentos.

Sds,

Marcelo Bueno
Regional Manager – Membrane Technology

TORAY do Brasil Ltda.

Av. Paulista, 1048 – Conj. 71, 7º andar
Cep 01310-000 – São Paulo / Brazil
Tel.: +55 11 3171.0502
Cel.: +55 11 98843.3886
Fax: +55 11 2679.1516

Fonte: Brião, 2019

5. Potência Hidráulica da Bomba

Como pode-se observar nos itens anteriores, a membrana considerada neste projeto é consideravelmente maior do que o projeto requer. Para isso não será necessário que a membrana

trabalhe 24 h/dia para a vazão máxima, sendo assim a membrana da Toray de 20 m² irá trabalhar:

$$\text{Operação} = \frac{\text{hs de trabalho diária}}{\frac{A \text{ de Membrana Adquirida}}{A \text{ de Membrana de Projeto}}}$$

$$\text{Operação} = \frac{\frac{24 \text{ h / dia}}{20 \text{ m}^2}}{4,82 \text{ m}^2}$$

$$\text{Operação} = 5,79 \text{ h / dia} = 5 \text{ h } 47 \text{ min / dia}$$

Onde:

Operação = Quantidade de horas por dia em que a membrana irá operar;

Conhecendo-se a jornada de trabalho e a vazão máxima que a bomba terá que trabalhar, tem-se que a vazão por hora de trabalho será de:

$$Q_{\text{max Bomba}} = \frac{\text{Vazão diária}}{\text{Operação}}$$

$$Q_{\text{max Bomba}} = \frac{15,64 \text{ m}^3}{\text{dia}} \cdot \frac{1 \text{ dia}}{5,79 \text{ h}}$$


$$Q_{\text{max Bomba}} = \frac{2,70 \text{ m}^3}{\text{h}}$$

Para este projeto estimou-se que haverão dois reservatórios de 20 m³, um para água já filtrada e outro com água bruta. Como pode-se observar na figura a seguir, para tanques Fortlev de 20 m³ tem-se uma altura útil de 2,83 m.

Figura 38 – Dimensões reservatórios

FORTLEV 30 PRODUTOS DOWNLOADS VÍDEOS CLUBE FORT FORTLEV AVISA LISTA FORTLEV SIMULADOR INSTITUCIONAL CONTATO

TANQUE FORTLEV



| Capacidade (L) | Dimensões (m) | | | Adicionar a lista |
|----------------|---------------|------|------|----------------------------------|
| | A | B | C | |
| 310 | 0,52 | 0,60 | 1,00 | Qtde. <input type="checkbox"/> ✓ |
| 500 | 0,65 | 0,60 | 1,16 | Qtde. <input type="checkbox"/> ✓ |
| 1.000 | 0,80 | 0,60 | 1,48 | Qtde. <input type="checkbox"/> ✓ |
| 1.750 | 0,95 | 0,60 | 1,65 | Qtde. <input type="checkbox"/> ✓ |
| 2.000* | 1,13 | 0,60 | 1,68 | Qtde. <input type="checkbox"/> ✓ |
| 2.500 | 1,21 | 0,60 | 1,80 | Qtde. <input type="checkbox"/> ✓ |
| 3.000* | 1,29 | 0,60 | 1,90 | Qtde. <input type="checkbox"/> ✓ |
| 5.000 | 1,51 | 0,60 | 2,25 | Qtde. <input type="checkbox"/> ✓ |
| 10.000 | 1,93 | 0,60 | 2,78 | Qtde. <input type="checkbox"/> ✓ |
| 15.000 | 2,20 | 0,60 | 3,20 | Qtde. <input type="checkbox"/> ✓ |
| 20.000 | 2,83 | 0,60 | 3,17 | Qtde. <input type="checkbox"/> ✓ |

[Acesse sua lista](#)

L - litros
m - metros

Fonte: Fortlev, 2019

Figura 39 – Orçamento reservatórios




Vendido e entregue por Efizi

Tanque Fortlev-20000L

de: 9-126,45 por

9.126,45

à vista no cartão

ou 9.126,45 em até 12x de 760,53 sem juros

[Ver detalhes deste produto](#) Qtd 1 [Comprar](#)

Fonte: Efizi, 2019

Logo, no cálculo da potência hidráulica da bomba tem-se, para a pior hipótese:

$$Pot\ Hidraulica\ (cv) = \frac{Q \cdot Vazão \cdot \Delta P}{\eta}$$

$$Pot\ Hidraulica\ (cv) = \frac{8,33 \cdot 10^{-4} \cdot 80000}{0,5}$$

$$Pot\ Hidraulica\ (cv) = 133W\ a\ bomba\ será\ de: 1cv = 735,49\ W$$

6. Paineis Fotovoltaicos

A pesar do painel apresentado na Figura 40 possuir uma produção média de 335 Wh/mês e eficiência de 17%, para a região sul, de acordo com os painéis instalados na Universidade de Passo Fundo a geração média, real, mensal é de 210 Wh/mês, logo para obtenção da energia a ser produzida, considerando-se um período de insolação de 5 horas, tem-se:

$$\text{Energia Produzida} = \text{tempo de operação} \times \text{geração de energia}$$

$$\text{Energia Produzida} = 5 \times 210$$

$$\text{Energia Produzida} = 31,50 \text{ kW/mês}$$

Para o cenário de médio porte o período de operação da bomba é 23,17 h/dia, logo, uma bomba de 0,73 kWh trabalhando por esse tempo consome 17,04 kW/dia o que no fim de um mês gera um consumo de 511,24 kW/mês

Dividindo-se o consumo pela produção, ou seja, 511,24 por 31,50, tem-se que são necessários 16 painéis fotovoltaicos para suprir a demanda do sistema.

Salienta-se aqui que cada painel tem uma área de 2 m².

Figura 40 – Orçamento jogo de 6 painéis fotovoltaicos



Fonte: Geotrack, 2019

Os elementos que compõe o kit do painel fotovoltaico acima são:

- 4 staubli conector mc4 320016p0001-ur pv-kbt4/6ii-ur acoplador femea
- 4 staubli conector mc4 32.0017p0001-ur pv-kst4/6ii-ur acoplador macho
- 1 inversor solar ecosolys ecos-2000 plus potencia 2kw monofasico 220v mppt monitoramento

- d) 1 monitoramento ecosolys 052-17m cj webbox ecosolys plus
- e) 1 string box proauto dehn 20387 sb-1e/2e-1s-1000dc quadro 2 entradas/1 saída
- f) 50 cabo solar nexans 47064 energyflex afitox 0,6/1kv 1500v dc preto
- g) 50 cabo solar nexans 43221 energyflex afitox 0,6/1kv 1500v dc vermelho
- h) 6 painel solar byd 335phk-36 policristalino 144 cel. 335w half cell 17% eficiência

Salienta-se que a geração de energia fotovoltaica foi determinada com base na geração real dos painéis instalados na Universidade de Passo Fundo, sendo o orçamento aqui referente à análise econômica de tal equipamento.

ANEXOS

PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5, 2017

Os quadros abaixo foram obtidos no anexo vigésimo da portaria de consolidação número 5 do Ministério da Saúde de 03 de outubro de 2017, que tratam do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano.

Quadro 5 – Padrão Microbiológico da água para consumo humano.

| Tipo de água | | Parâmetro | | VMP(1) |
|--------------------------|---|---|--|---|
| Água para consumo humano | | Escherichia coli(2) | | Ausência em 100 mL |
| Água tratada | Na saída do tratamento | Coliformes totais (3) | | Ausência em 100 mL |
| | No sistema de distribuição (reservatórios e rede) | Escherichia coli | | Ausência em 100 mL |
| | | Coliformes totais (4) | Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes | Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo |
| | | Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes | Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês. | |

NOTAS: (1) Valor Máximo Permitido.

(2) Indicador de contaminação fecal.

(3) Indicador de eficiência de tratamento.

(4) Indicador de integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede).

Fonte: Portaria de Consolidação nº 5, 2017.

Quadro 6 – Padrão de Turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção.

| Tratamento da água | VMP(1) |
|--|---------------------------------|
| Desinfecção (para águas subterrâneas) | 1,0 uT(2) em 95% das amostras |
| Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta) | 0,5(3)uT(2) em 95% das amostras |
| Filtração lenta | 1,0(3)uT(2) em 95% das amostras |

NOTAS: (1) Valor Máximo Permitido.

(2) Unidade de Turbidez.

(3) Este valor deve atender ao padrão de turbidez de acordo com o especificado no § 2º do art. 30.

Fonte: Portaria de Consolidação nº 5, 2017.

Quadro 7 – Padrão de Potabilidade para substâncias químicas que apresentam risco à saúde.

| Parâmetro | CAS(1) | Unidade | VMP(2) |
|--------------------------------|--|---------|--------|
| INORGÂNICAS | | | |
| Antimônio | 7440-36-0 | mg/L | 0,005 |
| Arsênio | 7440-38-2 | mg/L | 0,01 |
| Bário | 7440-39-3 | mg/L | 0,7 |
| Cádmio | 7440-43-9 | mg/L | 0,005 |
| Chumbo | 7439-92-1 | mg/L | 0,01 |
| Cianeto | 57-12-5 | mg/L | 0,07 |
| Cobre | 7440-50-8 | mg/L | 2 |
| Cromo | 7440-47-3 | mg/L | 0,05 |
| Fluoreto | 7782-41-4 | mg/L | 1,5 |
| Mercúrio | 7439-97-6 | mg/L | 0,001 |
| Níquel | 7440-02-0 | mg/L | 0,07 |
| Nitrato (como N) | 14797-55-8 | mg/L | 10 |
| Nitrito (como N) | 14797-65-0 | mg/L | 1 |
| Selênio | 7782-49-2 | mg/L | 0,01 |
| Urânio | 7440-61-1 | mg/L | 0,03 |
| ORGÂNICAS | | | |
| Acrilamida | 79-06-1 | µg/L | 0,5 |
| Benzeno | 71-43-2 | µg/L | 5 |
| Benzo[a]pireno | 50-32-8 | µg/L | 0,7 |
| Cloreto de Vinila | 75-01-4 | µg/L | 2 |
| 1,2 Dicloroetano | 107-06-2 | µg/L | 10 |
| 1,1 Dicloroetano | 75-35-4 | µg/L | 30 |
| 1,2 Dicloroetano (cis + trans) | 156-59-2 (cis) 156-60-5 (trans) | µg/L | 50 |
| Diclorometano | 75-09-2 | µg/L | 20 |
| Di(2-etilhexil) ftalato | 117-81-7 | µg/L | 8 |
| Estireno | 100-42-5 | µg/L | 20 |
| Pentaclorofenol | 87-86-5 | µg/L | 9 |
| Tetracloroeto de Carbono | 56-23-5 | µg/L | 4 |
| Tetracloroetano | 127-18-4 | µg/L | 40 |
| Triclorobenzenos | 1,2,4-TCB (120-82-1) | µg/L | 20 |
| | 1,3,5-TCB (108-70-3) 1,2,3-TCB (87-61-6) | | |
| | | | |
| Tricloroetano | 79-01-6 | µg/L | 20 |

| AGROTÓXICOS | | | µg/L |
|--|---|------|------|
| 2,4 D + 2,4,5 T | 94-75-7 (2,4 D) 93-76-5 (2,4,5 T) | µg/L | 30 |
| Alaclor | 15972-60-8 | µg/L | 20 |
| Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido | 116-06-3 (aldicarbe) 1646-88-4 (aldicarbesulfona) 1646-87-3 (aldicarbe sulfóxido) | µg/L | 10 |
| Aldrin + Dieldrin | 309-00-2 (aldrin) 60-57-1 (dieldrin) | µg/L | 0,03 |
| Atrazina | 1912-24-9 | µg/L | 2 |
| Carbendazim + benomil | 10605-21-7 (carbendazim) 17804-35-2 (benomil) | µg/L | 120 |
| Carbofurano | 1563-66-2 | µg/L | 7 |
| Clordano | 5103-74-2 | µg/L | 0,2 |
| Clorpirifós + clorpirifós-oxon | 2921-88-2 (clorpirifós) 5598-15-2 (clorpirifós-oxon) | µg/L | 30 |
| DDT+DDD+DDE | p,p'-DDT (50-29-3) p,p'-DDD (72-54-8) p,p'-DDE (72-55-9) | µg/L | 1 |
| Diuron | 330-54-1 | µg/L | 90 |
| Endossulfan (a b e sais) (3) | 115-29-7; I (959-98-8); II (33213-65-9); sulfato (1031-07-8) | µg/L | 20 |
| Endrin | 72-20-8 | µg/L | 0,6 |
| Glifosato + AMPA | 1071-83-6 (glifosato) 1066-51-9 (AMPA) | µg/L | 500 |
| Lindano (gama HCH) (4) | 58-89-9 | µg/L | 2 |
| Mancozebe | 8018-01-7 | µg/L | 180 |
| Metamidofós | 10265-92-6 | µg/L | 12 |
| Metolacoloro | 51218-45-2 | µg/L | 10 |
| Molinato | 2212-67-1 | µg/L | 6 |
| Parationa Metilica | 298-00-0 | µg/L | 9 |
| Pendimentalina | 40487-42-1 | µg/L | 20 |
| Permetrina | 52645-53-1 | µg/L | 20 |
| Profenofós | 41198-08-7 | µg/L | 60 |
| Simazina | 122-34-9 | µg/L | 2 |
| Tebuconazol | 107534-96-3 | µg/L | 180 |
| Terbufós | 13071-79-9 | µg/L | 1,2 |
| Trifluralina | 1582-09-8 | µg/L | 20 |
| DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECÇÃO(5) | | | |
| Ácidos haloacéticos total | (6) | mg/L | 0,08 |
| Bromato | 15541-45-4 | mg/L | 0,01 |
| Clorito | 7758-19-2 | mg/L | 1 |
| Cloro residual livre | 7782-50-5 | mg/L | 5 |
| Cloraminas Total | 10599-903 | mg/L | 4,0 |
| 2,4,6 Triclorofenol | 88-06-2 | mg/L | 0,2 |
| Trihalometanos Total | (7) | mg/L | 0,1 |

NOTAS:

- (1) CAS é o número de referência de compostos e substâncias químicas adotado pelo Chemical Abstract Service.
- (2) Valor Máximo Permitido.
- (3) Somatório dos isômeros alfa, beta e os sais de endossulfan, como exemplo o sulfato de endossulfan,
- (4) Esse parâmetro é usualmente e equivocadamente, conhecido como BHC.
- (5) Análise exigida de acordo com o desinfetante utilizado.
- (6) Ácidos haloacéticos: Ácido monobromoacético (MCAA) - CAS = 79-11-8, Ácido monobromoacético (MBAA) - CAS = 79-08-3, Ácido dicloroacético (DCAA) - CAS = 79-43-6, Ácido 2,2 - dicloropropiônico (DALAPON) - CAS = 75-99-0, Ácido tricloroacético (TCAA) - CAS = 76-03-9, Ácido bromocloroacético (BCAA) CAS = 5589-96-3, 1,2,3, tricloropropano (PI) - CAS = 96-18-4, Ácido dibromoacético (DBAA) - CAS = 631-64-1, e Ácido bromodicloroacético (BDCAA) - CAS = 7113-314-7.
- (7) Trihalometanos: Triclorometano ou Clorofórmio (TCM) - CAS = 67-66-3, Bromodiclorometano (BDCM) - CAS = 75-27-4, Dibromoclorometano (DBCM) - CAS = 124-48-1, Tribromometano ou Bromofórmio (TBM) - CAS = 75-25-2.

Fonte: Portaria de Consolidação nº 5, 2017.

Quadro 8 – Padrões organolépticos de potabilidade.

| Parâmetro | CAS | Unidade | VMP ⁽¹⁾ |
|--------------------------------|------------|-------------|--------------------|
| Alumínio | 7429-90-5 | mg/L | 0,2 |
| Amônia (como NH ₃) | 7664-41-7 | mg/L | 1,5 |
| Cloreto | 16887-00-6 | mg/L | 250 |
| Cor Aparente ⁽²⁾ | | uH | 15 |
| 1,2 diclorobenzeno | 95-50-1 | mg/L | 0,01 |
| 1,4 diclorobenzeno | 106-46-7 | mg/L | 0,03 |
| Dureza total | | mg/L | 500 |
| Etilbenzeno | 100-41-4 | mg/L | 0,2 |
| Ferro | 7439-89-6 | mg/L | 0,3 |
| Gosto e odor ⁽³⁾ | | Intensidade | 6 |
| Manganês | 7439-96-5 | mg/L | 0,1 |
| Monoclorobenzeno | 108-90-7 | mg/L | 0,12 |
| Sódio | 7440-23-5 | mg/L | 200 |
| Sólidos dissolvidos totais | | mg/L | 1000 |
| Sulfato | 14808-79-8 | mg/L | 250 |
| Sulfeto de hidrogênio | 7783-06-4 | mg/L | 0,1 |
| Surfactantes (como LAS) | | mg/L | 0,5 |
| Tolueno | 108-88-3 | mg/L | 0,17 |
| Turbidez ⁽⁴⁾ | | uT | 5 |
| Zinco | 7440-66-6 | mg/L | 5 |
| Xilenos | 1330-20-7 | mg/L | 0,3 |

NOTAS:

- (1) Valor máximo permitido.
- (2) Unidade Hazen (mgPt-Co/L).
- (3) Intensidade máxima de percepção para qualquer característica de gosto e odor com exceção do cloro livre, nesse caso por ser uma característica desejável em água tratada.
- (4) Unidade de turbidez.

Fonte: Portaria de Consolidação nº 5, 2017.

Quadro 9 – Número mínimo de amostras e frequência para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial.

| Parâmetro | Tipo de Manancial | Saída do Tratamento | | Sistema de distribuição (reservatórios e redes) | | | | | |
|---|----------------------------|----------------------|---|---|------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------|
| | | Nº Amostras | Frequência | Número de amostras | | | Frequência | | |
| | | | | População abastecida | | | | | |
| | | | | <50.000 hab. | 50.000 a 250.000 hab. | >250.000 hab. | <50.000 hab. | 50.000 a 250.000 hab. | >250.000 hab. |
| Cor | Superficial | 1 | A cada 2 horas | 10 | 1 para cada 5 mil hab | 40 + (1 para cada 25 mil hab) | Mensal | | |
| | Subterrâneo | 1 | Semanal | 5 | 1 para cada 10 mil hab | 20 + (1 para cada 50 mil hab) | Mensal | | |
| Turbidez, Cloro Residual Livre ⁽¹⁾ , Cloraminas ⁽¹⁾ , Dióxido de Cloro ⁽¹⁾ | Superficial | 1 | A cada 2 horas | Conforme § 3º do Artigo 41 | | | Conforme § 3º do Artigo 41 | | |
| | Subterrâneo | 1 | 2 vezes por semana | | | | | | |
| pH e fluoreto | Superficial | 1 | A cada 2 horas | Dispensada a análise | | | Dispensada a análise | | |
| | Subterrâneo | 1 | 2 vezes por semana | | | | | | |
| Gosto e odor | Superficial | 1 | Trimestral | Dispensada a análise | | | Dispensada a análise | | |
| | Subterrâneo | 1 | Semestral | | | | | | |
| Cianotoxinas | Superficial | 1 | Semanal quando nº de cianobactérias 20.000 células/mL | Dispensada a análise | | | Dispensada a análise | | |
| Produtos secundários da desinfecção | Superficial | 1 | Trimestral | 1 ⁽²⁾ | 4 ⁽²⁾ | 4 ⁽²⁾ | Trimestral | | |
| | Subterrâneo | Dispensada a análise | Dispensada a análise | 1 ⁽²⁾ | 1 ⁽²⁾ | 1 ⁽²⁾ | Anual | Semestral | Semestral |
| Demais parâmetros ⁽³⁾ (4) | Superficial ou Subterrâneo | 1 | Semestral | 1(5) | 1(5) | 1(5) | Semestral | | |

NOTAS:

- (1) Análise exigida de acordo com o desinfetante utilizado.
- (2) As amostras devem ser coletadas, preferencialmente, em pontos de maior tempo de detenção da água no sistema de distribuição.
- (3) A definição da periodicidade de amostragem para o quesito de radioatividade será definido após o inventário inicial, realizado semestralmente no período de 2 anos, respeitando a sazonalidade pluviométrica.
- (4) Para agrotóxicos, observar o disposto no parágrafo 5º do artigo 41.
- (5) Dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento e, ou, no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

Fonte: Portaria de Consolidação nº 5, 2017.

Quadro 10 – Tabela de número mínimo de amostras e frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de solução alternativa coletiva, para fins de análises físicas, químicas e microbiológicas, em função do tipo de manancial e do ponto de amostragem.

| Parâmetro | Tipo de manancial | Saída do tratamento (para água canalizada) | Número de amostras retiradas no ponto de consumo (para cada 500 hab.) | Frequência de amostragem |
|---|----------------------------|--|---|--------------------------|
| Cor, turbidez, pH e coliformes totais ⁽¹⁾ e ⁽²⁾ | Superficial | 1 | 1 | Semanal |
| | Subterrâneo | 1 | 1 | Mensal |
| Cloro residual livre ⁽¹⁾ | Superficial ou Subterrâneo | 1 | 1 | Diário |

NOTAS:

(1) Para veículos transportadores de água para consumo humano, deve ser realizada uma análise de cloro residual livre em cada carga e uma análise, na fonte de fornecimento, de cor, turbidez, pH e coliformes totais com frequência mensal, ou outra amostragem determinada pela autoridade de saúde pública.

(2) O número e a frequência de amostras coletadas no sistema de distribuição para pesquisa de *Escherichia coli* devem seguir o determinado para coliformes totais.

Fonte: Portaria de Consolidação nº 5, 2017.



UPF

UNIVERSIDADE
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900
(54) 3316 7000 - www.upf.br