



**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**

**FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL**

**Adeli Beatriz Braun**

**PROPOSTA DE MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE  
PARA A REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS**

**Passo Fundo**

**2018**

Adeli Beatriz Braun

PROPOSTA DE MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE  
PARA A REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental 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. Antonio Thomé.

Passo Fundo

2018

Universidade de Passo Fundo  
Faculdade de Engenharia e Arquitetura  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e  
Ambiental

A Comissão Examinadora abaixo aprova a dissertação de mestrado intitulada “Proposta de método de avaliação da sustentabilidade para a remediação de áreas contaminadas”, elaborada por Adeli Beatriz Braun, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Data de aprovação: dia 14 de março de 2018

Membros componentes da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Antonio Thomé

Universidade de Passo Fundo – UPF

Orientador

Prof. Dr. Pedro Domingos Marques Prietto

Universidade de Passo Fundo – UPF

Prof. Dra. Luciana Londero Brandli

Universidade de Passo Fundo – UPF

PhD. Krishna R. Reddy

University of Illinois at Chicago

Passo Fundo

2018

## AGRADECIMENTOS

À Deus dedico o meu agradecimento maior, pelo dom da vida, pela coragem e por todos os acontecimentos e experiências que Ele tem proporcionado durante esta jornada.

Aos meus pais Luiz Alfredo Braun e Maria Elaine Heck Braun, por sempre acreditarem em mim, pelo incentivo em continuar minha caminhada acadêmica, pelas orações e palavras de carinho e pelo apoio incondicional nessa importante fase da minha vida. Qualquer conquista minha também é de vocês.

A minha irmã Taisa Andreia Braun que permaneceu sempre ao meu lado com palavras de carinho e apoio.

Ao meu noivo Augusto Cesar Junges pelo amor, companheirismo, incentivo e compreensão durante todo este período de desenvolvimento da pesquisa.

À Tita, que por um longo período foi minha companheira na escrita diária.

Ao meu orientador, professor Antonio Thomé, pela disponibilidade, dedicação e amizade, e principalmente pela confiança depositada em mim para a realização deste trabalho.

Ao grupo de pesquisa em Geotecnia Ambiental da UPF, em especial aos colegas do grupo de remediação sustentável, agradeço a imensa colaboração durante o desenvolvimento deste estudo.

À todos os professores do PPGEng pelas experiências e conhecimentos compartilhados.

Em especial aos professores Pedro Domingos Marques Prietto e Luciana Brandli, participantes das bancas examinadoras desde a fase de projeto e qualificação, por contribuírem tanto durante o desenvolvimento da pesquisa.

Aos demais amigos e colegas do PPGEng, pelas alegrias, angústias e conhecimentos compartilhados, e auxílio prestado durante estes dois anos de caminhada.

À Universidade de Passo Fundo (UPF) e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, seu corpo docente, direção e administração pela oportunidade da realização deste mestrado.

À secretária do PPGEng, Vânia Cristina Bacega, carinhosamente chamada de “Cris”, pelo carinho e amizade conquistados nestes dois anos de caminhada, além do auxílio e atenção para sanar as frequentes dúvidas e resolver as questões burocráticas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento da bolsa de estudo.

Fica aqui o meu sincero agradecimento a todos que fizeram parte desta conquista.

“Tudo parece impossível até estar pronto”  
(Nelson Mandela)

## RESUMO

A remediação de áreas contaminadas não é automaticamente sustentável. Assim, surge a remediação sustentável, com uma abordagem ampla e holística, considerando igualmente as três dimensões da sustentabilidade na tomada de decisão sobre a remediação de áreas contaminadas. Avalia tanto os impactos quanto os benefícios sobre os aspectos ambientais, econômicos e sociais durante todo o processo. Contudo, os fatores chave para a análise e aplicação da sustentabilidade neste contexto, em especial no que tange os métodos de apoio à decisão, ainda não possuem uma abordagem universalmente consolidada e normatizada. Neste sentido, este estudo objetivou definir um método de avaliação da sustentabilidade aplicado à remediação de áreas contaminadas que melhor representa o discurso da remediação sustentável. Para tanto, a metodologia consistiu de seis etapas principais, iniciando com a identificação e descrição dos métodos de remediação sustentável que vem sendo desenvolvidos no cenário mundial, seguido do diagnóstico e seleção de critérios importantes para avaliar os métodos quanto à efetiva abordagem da remediação sustentável. A terceira etapa consistiu na análise dos métodos quanto à estrutura e abordagem, bem como a sua comparação com os critérios selecionados, a fim de verificar o nível de satisfação destes pelos métodos. Na sequência, os critérios selecionados foram submetidos ao julgamento de *stakeholders* da área, por meio do processo de análise multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Na quinta etapa, as informações foram compiladas, e os níveis de ponderação obtidos na etapa anterior foram utilizados para calcular o grau de sustentabilidade de cada método identificado, o qual orientou a seleção do melhor método nas condições consideradas. E, por fim, foi sugerida uma otimização deste método selecionado a fim de obter o método ideal e que mais bem representa as premissas da remediação sustentável. Os resultados indicaram uma tendência entre os oito métodos identificados, em fornecer, em sua estrutura, uma representação gráfica para a tomada de decisão. A análise multicritério apontou, entre os nove critérios selecionados e analisados, a “Proteção da saúde humana e do ambiente em geral” como sendo o critério mais importante entre os julgamentos dos decisores participantes. Diante desta análise, o método do ITRC (*Interstate Technology and Regulatory Council*) obteve melhor desempenho, atingindo um grau de sustentabilidade de 87,5%, considerando os níveis de satisfação de todos os critérios, bem como os fatores de ponderação obtidos para os mesmos. Assim, o método do ITRC foi otimizado para uma abordagem 100% dos critérios considerados, o que o definiu como sendo o método ideal e que melhor representa o discurso da remediação sustentável. Portanto, o grau de sustentabilidade obtido serviu para verificar os aspectos relevantes e deficientes dos métodos, bem como identificar as áreas que necessitam de melhorias, tanto para os métodos existentes, mas principalmente para nortear o desenvolvimento dos métodos novos aplicados à remediação sustentável. Também concluiu-se que a análise dos métodos, em relação à critérios julgados e ponderados no contexto da remediação sustentável, fornece uma compreensão mais detalhada das contribuições dos mais diferentes métodos para resultados sustentáveis.

**Palavras chave:** locais contaminados; opções de remediação; processos sustentáveis; metodologias; tomada de decisão; .

## ABSTRACT

The remediation of contaminated areas is not automatically sustainable. Thus, sustainable remediation emerges with a broad and holistic approach, also considering the three dimensions of sustainability in the decision making on the remediation of contaminated areas. Evaluate both impacts and benefits on environmental, economic and social aspects throughout all the process. However, the key factors for the analysis and application of sustainability in this context, especially with regard to decision support methods, do not yet have a universally consolidated and standardized approach. In this sense, this study aimed to define a method of evaluation of sustainability applied to the remediation of contaminated areas that best represents the discourse of sustainable remediation. The methodology consisted of six main steps, starting with the identification and description of the sustainable remediation methods being developed in the world scenario, followed by the diagnosis and selection of important criteria to evaluate the methods for the effective approach to sustainable remediation. The third step consisted of analyzing the methods for the structure and approach, as well as their comparison with the selected criteria, in order to verify the level of satisfaction of these by the methods. In the sequence, the selected criteria were submitted to the judgment of stakeholders of the area, through the multicriteria analysis process, the Analytic Hierarchy Process (AHP). In the fifth step, the information was compiled, and the weighting levels obtained in the previous step were used to calculate the degree of sustainability of each identified method, which guided the selection of the best method under the conditions considered. And finally, an optimization of the selected method was suggested in order to obtain the ideal method and that better represents the premises of the sustainable remediation. The results indicated a tendency among the eight methods identified in providing, in their structure, a graphical representation for the decision making. The multicriteria analysis pointed out, among the nine criteria selected and analyzed, the "Protection of human health and the environment in general" being the most important criterion among the judgments of the participating decision makers. In this analysis, the method from ITRC (Interstate Technology and Regulatory Council) obtained a better performance, reaching a sustainability level of 87.5%, considering the levels of satisfaction of all the criteria, as well as the weighting factors obtained for them. Thus, the ITRC method was optimized to a 100% approach to the criteria considered, which defined it as the ideal method and that best represents the discourse of sustainable remediation. Therefore, the degree of sustainability obtained was to verify the relevant and deficient aspects of the methods, as well as to identify the areas that need improvement, both for existing methods, but mainly to guide the development of new methods applied to sustainable remediation. Also, it was concluded that the analysis of the methods, in relation to criteria judged and weighted in the context of sustainable remediation, provides a more detailed understanding of the contributions of the most different methods to sustainable results.

**Keywords:** contaminated sites; remediation options; sustainable processes; methodologies; decision-making.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ACI</b>	Área Contaminada sob Investigação
<b>ACRe</b>	Área Contaminada em Processo de Remediação
<b>ACRi</b>	Área Contaminada com Risco Confirmado
<b>ACRu</b>	Área Contaminada em Processo de Reutilização
<b>ACs</b>	Áreas Contaminadas
<b>ACV</b>	Análise do Ciclo de Vida
<b>AHP</b>	Processo de Análise Hierárquica ( <i>Analytic Hierarchy Process</i> – AHP)
<b>ALGA</b>	Associação Australiana de Terras e Águas subterrâneas ( <i>Australasian Land and Groundwater Association</i> - ALGA)
<b>AME</b>	Área em Processo de Monitoramento para Encerramento
<b>APs</b>	Áreas Potencialmente Contaminadas
<b>AR</b>	Área Reabilitada para o Uso Declarado
<b>ASs</b>	Áreas Suspeitas de Contaminação
<b>ASTM</b>	Sociedade Americana para Testes e Materiais ( <i>American Society for Testing and Materials</i> – ASTM)
<b>BMPs</b>	Melhores Práticas de Gestão ( <i>Best Management Practices</i> - BMPs)
<b>C1</b>	Critério 1: Avaliação dos elementos centrais da remediação verde
<b>C2</b>	Critério 2: Garantia de equidade intergeracional
<b>C3</b>	Critério 3: Avaliação das opções de remediação
<b>C4</b>	Critério 4: Abordagem de ciclo de vida
<b>C5</b>	Critério 5: Preocupação com o uso futuro da área
<b>C6</b>	Critério 6: Consideração e Integração do tripé da sustentabilidade
<b>C7</b>	Critério 7: Proteção da saúde humana e do ambiente em geral
<b>C8</b>	Critério 8: Participação das partes interessadas
<b>C9</b>	Critério 9: Registro e documentação do processo de tomada de decisão
<b>CETESB</b>	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
<b>CL:AIRE</b>	Terra Contaminada: Aplicações em Ambientes Reais ( <i>Contaminated Land: Applications in Real Environments</i> - CL:AIRE)
<b>CLR11</b>	Relatório 11 de Terras Contaminadas: Modelo de Procedimentos para a Gestão da Contaminação do Solo ( <i>Contaminated Land Report 11: Model procedures for the Management of Land Contamination</i> - CLR11)
<b>COMMON FORUM</b>	Fórum Comum sobre Terra Contaminada ( <i>Common Forum on Contaminated Land</i> – Common Forum)
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional de Meio Ambiente
<b>COVs</b>	Componentes orgânicos voláteis
<b>CRC</b>	Centro Cooperativo de Investigação sobre Contaminação, Avaliação e
<b>CARE</b>	Remediação do Ambiente ( <i>Cooperative Research Centre for Contamination, Assessment and Remediation of the Environment</i> - CRC CARE)
<b>CI</b>	Índice de Consistência ( <i>Consistency Index</i> - CI)
<b>CR</b>	Taxa de Consistência ( <i>Consistency Ratio</i> – CR)
<b>CSM</b>	Modelo Conceitual do Local ( <i>Conceptual Site Model</i> - CSM)



<b>DEFRA</b>	Departamento de Alimento Ambiental e Assuntos Rurais ( <i>Department for Environment Food and Rural Affairs – DEFRA</i> )
<b>DoD</b>	Departamento de Defesa dos Estados Unidos ( <i>US Department of Defense – DoD</i> )
<b>ECOS</b>	Conselho Ambiental dos Estados ( <i>Environmental Council of the States - ECOS</i> )
<b>EA</b>	Agência Ambiental ( <i>Environment Agency – EA</i> )
<b>EEA</b>	Agência da União Européia ( <i>European Environment Agency - EEA</i> )
<b>EPB</b>	Gabinete de Proteção Ambiental ( <i>Environmental Protection Bureau - EPB</i> )
<b>ERIS</b>	Instituto de Pesquisa Ambiental dos Estados ( <i>Environmental Research Institute of the States - ERIS</i> )
<b>USEPA</b>	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos ( <i>Environmental Protection Agency - USEPA</i> )
<b>FEPAM</b>	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
<b>FEAM</b>	Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais
<b>FORESBr</b>	Fórum Brasileiro de Remediação Sustentável
<b>GAC</b>	Gerenciamento de Áreas Contaminadas
<b>GEE</b>	Gases de Efeito Estufa
<b>GoldSet</b>	Ferramenta de Avaliação de Sustentabilidade da associação Golder ( <i>Golder Sustainability Evaluation Tool – GoldSet</i> )
<b>GREM</b>	Avaliação de Remediação Verde ( <i>Green Remediation Evaluation Matrix – GREM</i> )
<b>GSR</b>	Remediação Verde e Sustentável ( <i>Green and Sustainable Remediation - GSR</i> )
<b>GTZ</b>	Sociedade de Cooperação Técnica ( <i>Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit – GTZ</i> )
<b>INEA</b>	Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro
<b>IPCC</b>	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas ( <i>Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC</i> )
<b>ISO</b>	Organização dos Padrões Internacionais ( <i>International Standards Organisation - ISO</i> )
<b>ITRC</b>	Conselho Interestadual de Tecnologia e Regulação ( <i>Interstate Technology &amp; Regulatory Council - ITRC</i> )
<b>IUCN</b>	União Internacional para a Conservação da Natureza ( <i>International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources - IUCN</i> )
<b>MNA</b>	Atenuação Natural Monitorada ( <i>Monitored Natural Attenuation – MNA</i> )
<b>NAPLs</b>	Componentes orgânicos da fase líquida não aquosa
<b>NICOLE</b>	Rede de Locais Industrialmente Contaminados na Europa ( <i>Network for Industrially Contaminated Land in Europe - NICOLE</i> )
<b>NICOLA</b>	Rede de Locais Industrialmente Contaminadas na África ( <i>Network for Industrially Contaminated Land in Africa – NICOLA</i> )
<b>NICOLE Brasil</b>	Rede Latino-Americana de Gerenciamento de Solos e Águas ( <i>Latin America Network for Soil and Water Management – NICOLE Brasil</i> )
<b>NS</b>	Não Satisfeito
<b>PS</b>	Parcialmente Satisfeito

<b>REC</b>	Redução de risco, mérito ambiental e custo ( <i>Risk reduction, Environmental merit and Cost – REC</i> )
<b>RECONnet</b>	Rede Italiana de Gestão e Remediação de Sítios Contaminados ( <i>Italian Network on the Management and Remediation of Contaminated Sites – RECONnet</i> )
<b>RI</b>	Índices de Consistência Aleatória ( <i>Random Index – RI</i> )
<b>SRT</b>	Ferramenta de Remediação Sustentável ( <i>Sustainable Remediation Tool - SRT</i> )
<b>SuRF</b>	Fórum de Remediação Sustentável ( <i>Sustainable Remediation Forum - SuRF</i> )
<b>SuRF-ANZ</b>	Fórum de Remediação Sustentável da Austrália e Nova Zelândia ( <i>Sustainable Remediation Forum of Australia and New Zealand - SuRF-ANZ</i> )
<b>SuRF-NL</b>	Fórum de Remediação Sustentável da Holanda ( <i>Sustainable Remediation Forum of Netherlands - SuRF-NL</i> )
<b>SuRF-UK</b>	Fórum de Remediação Sustentável do Reino Unido ( <i>Sustainable Remediation Forum of United Kingdom - SuRF-UK</i> )
<b>SuRF-US</b>	Fórum de Remediação Sustentável do Estados Unidos ( <i>Sustainable Remediation Forum of United States - SuRF-US</i> )
<b>SustRem</b>	Conferência Internacional de Remediação Sustentável ( <i>International Conference on Sustainable Remediation - SustRem</i> )
<b>RBCA</b>	Ação Corretiva Baseada no Risco ( <i>Risk-Based Corrective Action - RBCA</i> )
<b>SSEM</b>	Matriz de Avaliação da Sustentabilidade Social ( <i>Social Sustainability Evaluation Matrix – SSEM</i> )
<b>THG</b>	O Grupo Horinko ( <i>The Horinko Group - THG</i> )
<b>TS</b>	Totalmente Satisfeito

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fontes e vias de contaminação de uma área industrial abandonada.....	23
Figura 2 - Fontes e vias de contaminação de uma antiga área de disposição de resíduos.....	24
Figura 3 - Evolução do número de áreas contaminadas no Estado de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro .....	26
Figura 4 - Fluxograma das etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) .....	29
Figura 5 - Etapas de remediação do processo de recuperação de áreas contaminadas (ACs)..	31
Figura 6 - Componentes principais que sustentam a concepção do desenvolvimento sustentável .....	36
Figura 7 – Desenvolvimento sustentável na dinâmica dos projetos de remediação.....	37
Figura 8 - Cinco elementos fundamentais na abordagem da remediação verde .....	38
Figura 9 - Evolução temporal da produção científica sobre Remediação Sustentável.....	41
Figura 10 - Organizações SuRF em todo o mundo .....	44
Figura 11 - Elementos do processo de tomada de decisão .....	61
Figura 12 - Modelos mais comuns de processos de análise multicritério .....	63
Figura 13 - Etapas comuns de um processo de análise multicritério.....	64
Figura 14 – Estrutura hierárquica genérica do método AHP.....	65
-Figura 15 - Fluxograma das etapas para o desenvolvimento da pesquisa.....	70
Figura 16 – Exemplo de matriz com três critérios para comparação par a par .....	75
Figura 17 – Procedimentos de aplicação da metodologia AHP para a ponderação dos critérios de decisão .....	78
Figura 18 – Característica temporal dos documentos analisados para a revisão dos métodos.	81
Figura 19 - Método USEPA .....	84
Figura 20 – Método ASTM .....	87
Figura 21 – Processo de seleção e implementação de BMPs no método ASTM.....	88
Figura 22 – Método ITRC .....	90
Figura 23 - Método SuRF-US .....	94
Figura 24 - Plataforma do modelo conceitual sustentável voltado ao método SuRF-US .....	95
Figura 25 - Processo de gestão de áreas contaminadas do CRL11 alinhado com a avaliação de remediação sustentável do método SuRF-UK.....	98
Figura 26 - Método SuRF-UK.....	99
Figura 27 - Utilização do método SuRF-UK para diferentes cenários de remediação.....	100

Figura 28 - Fases A1 e A2 de avaliação do método SuRF-UK para o cenário de remediação de <i>brownfields</i> .....	101
Figura 29 - Fase A de avaliação do método SuRF-UK para os cenários de remediação de áreas operacionais e restauração de áreas .....	101
Figura 30 - Abordagem escalonada para avaliar a sustentabilidade da remediação no método SuRF-UK.....	102
Figura 31 - Fluxograma das etapas de avaliação da sustentabilidade do método SuRF-UK .	103
Figura 32 - Método SuRF-ANZ .....	105
Figura 33 – Método nacional de remediação na Austrália .....	106
Figura 34 – Abordagem GSR considerada no método SuRF-Taiwan.....	107
Figura 35 - Método SuRF-Taiwan .....	109
Figura 36 - Roteiro 1 do Método NICOLE: gestão da sustentabilidade .....	113
Figura 37 - Roteiro 2 do Método NICOLE: avaliação da sustentabilidade.....	114
Figura 38 - Classificação <sup>1</sup> dos critérios em relação ao nível de satisfação pelos métodos ....	132
Figura 39 – Classificação <sup>1</sup> dos métodos considerando apenas o número de critérios satisfeitos .....	134
Figura 40 – Taxa de consistência dos julgamentos dos decisores do Grupo 1.....	136
Figura 41 - Taxa de consistência dos julgamentos dos decisores do Grupo 2 .....	136
Figura 42 - Taxa de consistência dos julgamentos dos decisores do Grupo 3 .....	137
Figura 43 - Fatores de ponderação e ordem de prioridade final dos critérios .....	141
Figura 44 - Classificação final dos métodos de remediação sustentável analisados quanto ao grau de sustentabilidade alcançado.....	146
Figura 45 – Proposta do método ideal e que melhor representa o discurso da remediação sustentável .....	147

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tecnologias de remediação de solos e águas subterrâneas contaminadas .....	34
Quadro 2 - Requisitos de integração da sustentabilidade .....	52
Quadro 3 - Indicadores ambientais, econômicos e sociais da remediação sustentável .....	54
Quadro 4 - Métricas de sustentabilidade aplicadas à remediação de áreas contaminadas .....	56
Quadro 5 - Ferramentas de avaliação da sustentabilidade em projetos de remediação.....	57
Quadro 6 - Escala fundamental de Saaty.....	66
Quadro 7 - Índices de consistência aleatória (RI).....	68
Quadro 8 - Quadro resumo da análise dos métodos em relação à satisfação dos critérios .....	73
Quadro 9 - Linha do tempo das iniciativas da USEPA .....	82
Quadro 10 – Cinco elementos centrais considerados pelo Método USEPA na avaliação da sustentabilidade em projetos de remediação .....	83
Quadro 11 – Avaliação quantitativa e BMPs consideradas pela ASTM em projetos de remediação.....	86
Quadro 12 - Avaliação escalonada da sustentabilidade integrada no método SuRF-US .....	94
Quadro 13 – Conjunto dos critérios selecionados para a análise dos métodos .....	117
Quadro 14 - Aspectos gerais dos métodos identificados neste estudo .....	121
Quadro 15 - Desempenho dos métodos com base na satisfação dos critérios de decisão.....	131
Quadro 16 - Ponderação obtida para os critérios analisados pelo Grupo 1, antes e depois do descarte dos julgamentos inconsistentes.....	137
Quadro 17 - Ponderação obtida para os critérios analisados pelo Grupo 2, antes e depois do descarte dos julgamentos inconsistentes.....	138
Quadro 18 - Ponderação obtida para os critérios analisados pelo Grupo 3, antes e depois do descarte dos julgamentos inconsistentes.....	139
Quadro 19 - Ponderação final obtida para os critérios analisados pelos três Grupos, antes e depois do descarte dos julgamentos inconsistentes .....	140
Quadro 20 - Classificação final dos critérios quanto a sua ponderação .....	141
Quadro 21 – Classificação dos critérios quanto à satisfação pelos métodos e após a sua ponderação.....	142
Quadro 22 – Grau de sustentabilidade atingido pelos métodos após a aplicação dos fatores de ponderação dos critérios .....	143
Quadro 23 – Diferenças nas classificações dos métodos quando comparados os níveis de satisfação dos critérios e após sua ponderação .....	143

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	Problema e questões da pesquisa .....	17
1.2	Justificativa .....	18
1.3	Objetivos .....	20
1.3.1	Objetivo geral .....	20
1.3.2	Objetivos específicos .....	20
1.4	Estrutura da dissertação .....	21
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>22</b>
2.1	Áreas contaminadas .....	22
2.1.1	Contextualização e cenário mundial.....	23
2.1.2	Gerenciamento e remediação.....	27
2.2	Desenvolvimento Sustentável.....	35
2.3	Remediação Verde.....	38
2.4	Remediação sustentável.....	39
2.4.1	Principais iniciativas no cenário mundial.....	42
2.4.1.1	Fóruns de Remediação Sustentável ( <i>Sustainable Remediation Forums – SuRFs</i> ) .....	43
2.4.2	Princípios e critérios .....	51
2.4.3	Indicadores.....	53
2.4.4	Métricas .....	55
2.4.5	Ferramentas .....	56
2.4.6	Métodos .....	59
2.5	Processos de tomada de decisão .....	60
2.5.1	Análise multicritério .....	62
2.5.1.1	Processo de Análise Hierárquica ( <i>Analytic Hierarchy Process - AHP</i> ).....	64
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>69</b>
3.1	Identificação dos métodos voltados para a aplicação da remediação sustentável .....	70
3.2	Seleção de critérios de avaliação direcionados à remediação sustentável.....	71

3.3	Análise dos métodos identificados.....	72
3.3.1	Estrutura e abordagem .....	72
3.3.2	Critérios de decisão .....	72
3.4	Ponderação dos critérios selecionados.....	73
3.5	Compilação das informações e seleção do método.....	79
3.6	Proposta de um método otimizado.....	79
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>80</b>
4.1	Identificação dos métodos voltados para a aplicação da remediação sustentável ....	80
4.1.1	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos ( <i>US Environmental Protection Agency - USEPA</i> ).....	81
4.1.2	Sociedade Americana para Testes e Materiais ( <i>American Society for Testing and Materials - ASTM</i> ).....	85
4.1.3	Conselho Interestadual de Tecnologia e Regulação ( <i>Interstate Technology and Regulatory Council - ITRC</i> ).....	89
4.1.4	Fóruns de Remediação Sustentável ( <i>Sustainable Remediation Forums – SuRFs</i> ) .....	92
4.1.4.1	SuRF-US.....	92
4.1.4.2	SuRF-UK .....	96
4.1.4.3	SuRF-ANZ.....	104
4.1.4.4	SuRF-Taiwan .....	106
4.1.5	Rede de Locais Industrialmente Contaminados na Europa ( <i>Network for Industrially Contaminated Land in Europe - NICOLE</i> ) .....	110
4.2	Seleção dos critérios de avaliação direcionados à remediação sustentável .....	115
4.3	Análise dos métodos identificados.....	119
4.3.1	Estrutura e abordagem .....	119
4.3.2	Critérios de decisão .....	122
4.3.2.1	Avaliação dos elementos centrais da remediação verde (C1).....	122
4.3.2.2	Garantia de equidade intergeracional (C2) .....	123
4.3.2.3	Avaliação das opções de remediação (C3) .....	124
4.3.2.4	Abordagem de ciclo de vida (C4) .....	125
4.3.2.5	Preocupação com o uso futuro da área (C5) .....	125

4.3.2.6	Consideração e Integração dos elementos do tripé da sustentabilidade (C6)	126
4.3.2.7	Proteção da saúde humana e do ambiente em geral (C7)	127
4.3.2.8	Participação das partes interessadas (C8)	128
4.3.2.9	Registro e documentação do processo de tomada de decisão (C9)	130
4.4	Ponderação dos critérios selecionados	135
4.4.1	Grupo 1 - Profissionais e pesquisadores vinculados à Universidade de Passo Fundo	137
4.4.2	Grupo 2 - Especialistas e técnicos	138
4.4.3	Grupo 3 - Profissionais e pesquisadores internacionais	139
4.4.4	Global - Grupo 1, 2 e 3	140
4.5	Compilação das informações e seleção do método	142
4.6	Proposta de um método otimizado	146
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>149</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>152</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>153</b>
	<b>APÊNDICE I</b>	<b>167</b>
	<b>Questionário para aplicação do método AHP - Grupos 01 e 02</b>	<b>167</b>
	<b>APÊNDICE II</b>	<b>171</b>
	<b>Questionário para aplicação do método AHP - Grupo 03</b>	<b>171</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O solo, além de constituir recurso ambiental essencial para a manutenção dos sistemas ecológicos e socioeconômicos, os quais suportam os meios de subsistência da sociedade, é considerado meio fundamental na proteção das águas subterrâneas, visto que, possui capacidade de agir como filtro natural, meio de adsorção, degradação e transformação de substâncias químicas (BRASIL, 2009). Contudo, o seu uso indiscriminado fez surgir muitos problemas, sendo a contaminação destas áreas a mais preocupante, uma vez que, além de acarretar em profundas transformações negativas ao meio ambiente e aos ecossistemas naturais, as substâncias tóxicas presentes neste meio podem chegar às águas subterrâneas, trazendo graves riscos à saúde humana.

A poluição do ambiente emergiu quando o homem iniciou suas atividades produtivas, porém, as consequências agravaram-se com a revolução industrial, e o conseqüente aumento na utilização de recursos naturais e a produção de resíduos. Isso, em função de que o meio ambiente tornou-se o receptor destes resíduos e de várias substâncias tóxicas e perigosas, resultando em inúmeras áreas contaminadas e impactos negativos sobre a saúde humana e ao ambiente (MORAES et al., 2014).

As questões ambientais por muito tempo não receberam a atenção devida. A disposição de resíduos e as descargas industriais eram realizadas sem nenhuma discriminação ou regulação, provocando um rápido aumento de cargas poluentes no ar, água e solo, aniquilando a capacidade do meio ambiente de absorver esses lançamentos, sem provocar algum efeito adverso. Portanto, surgiu uma contaminação que não poderia mais ser corrigida somente por processos naturais, sendo então necessária a aplicação de tecnologias de remediação nestas áreas (REDDY; ADAMS, 2015).

Contudo, conforme Reddy e Adams (2015), a legislação que aborda as questões ambientais, em especial a degradação e a contaminação de áreas e a sua conseqüente remediação, é ainda bastante precária e recente no contexto mundial. Embora os regulamentos que existem sejam bem-intencionados, a sua efetividade ainda não está totalmente concretizada, acelerando as práticas de degradação do ar, solo, águas superficiais e subterrâneas.

No Brasil, por exemplo, há apenas uma legislação que orienta sobre o controle da qualidade da água subterrânea e dos solos em função da sua contaminação, a qual corresponde à Resolução nº 420 de dezembro de 2009, emitida pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Em relação aos Estados, existem algumas ações voltadas ao gerenciamento e reabilitação de áreas contaminadas no Estado de São Paulo, através da Companhia Ambiental

do Estado de São Paulo (CETESB), e algumas iniciativas nos Estados de Minas Gerais e do Rio de Janeiro.

Neste sentido, conforme Hou et al. (2016), têm-se ainda no cenário mundial, discrepâncias quanto à consciência e a prática na adoção de medidas corretivas sustentáveis. Enquanto países como os Estados Unidos e o Reino Unido, por exemplo, já apresentam altas taxas de conscientização e adoção da remediação sustentável, países em desenvolvimento, além de apresentarem menor sensibilização, também possuem baixas taxas de adoção da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas (HOU et al., 2016).

A remediação sustentável, a qual considera igualmente os aspectos ambientais, econômicos e sociais nas tomadas de decisão, consiste em um tema que está em fase de adequação no gerenciamento de áreas contaminadas (MORAES et al., 2014). No Brasil, por exemplo, ainda não há uma abordagem concisa acerca da aplicação da remediação sustentável em áreas contaminadas, com estudos centrados na avaliação de impacto ambiental dos processos de remediação, voltando-se para a eficiência ou porcentagem de remoção do contaminante, custos de operação e análise de risco (SOUZA et al., 2014; AGUIAR et al., 2015).

### **1.1 Problema e questões da pesquisa**

As grandes preocupações das abordagens tradicionais propostas para um cenário de remediação, estão centradas no custo e facilidade de implementação do projeto, o tempo necessário para a remediação e a eficiência para atender às metas de descontaminação (HARCLERODE et al., 2015a). Conforme Favara e Gamelin (2017) estas abordagens tradicionais ignoram os impactos econômicos e sociais associados, além de impactos ambientais mais amplos, situação esta, que está vinculada ao fato de que as tecnologias de remediação desenvolvidas até então, estão muito vinculadas às questões da indústria tradicional e não foram projetadas com a sustentabilidade em mente.

Outro problema enfrentado neste cenário está vinculado ao fato de que os grandes debates nacionais ou internacionais citam o desenvolvimento sustentável como um princípio fundamental e orientador, porém, em sua maioria, carecem em fornecer especificações, ou elaborar estratégias para o colocar em prática, o que reflete inclusive no gerenciamento e reabilitação de áreas contaminadas (IPCC, 2007).

Portanto, ainda são muitos os obstáculos a serem superados neste contexto, sendo que, as principais dificuldades incluem: o desenvolvimento de novas técnicas de remediação que

sejam efetivamente sustentáveis; a avaliação do perfil de sustentabilidade das tecnologias de remediação existentes; a ausência de metodologias para avaliar os impactos sociais da remediação; falta de métodos mais abrangentes e transparentes; e carência de avaliações de sustentabilidade realizadas na etapa de concepção do projeto e caracterização da área (BARDOS et al., 2011; HARCLERODE et al., 2013; HARCLERODE et al., 2015b; MARINOVICH et al., 2016; SONG et al., 2018). Estes desafios ocorrem, na maioria dos casos, em função de que a avaliação da sustentabilidade ainda está muito voltada para a seleção e otimização de alternativas de remediação por meio da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), a qual orienta somente para a análise dos impactos ambientais dos resultados (HUYSEGOMS; CAPPUYNS, 2017; SONG et al., 2018).

Desta forma, não existe um método universalmente normatizado e aceito para avaliar a sustentabilidade no que diz respeito aos processos de remediação, além destes ainda não satisfazerem todos os princípios/critérios de avaliação da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas (REDDY; ADAMS, 2015; RIDSDALE; NOBLE, 2016; HUYSEGOMS; CAPPUYNS, 2017).

A partir destas realidades, este estudo busca responder à seguinte questão: Quais são os métodos aplicados à remediação sustentável? Quais são os critérios que melhor definem a abordagem da remediação sustentável? É possível hierarquizar os métodos em relação ao nível de sustentabilidade? E existe algum método que melhor representa o discurso da remediação sustentável?

## **1.2 Justificativa**

A importância da remediação de áreas contaminadas sustenta-se principalmente na influência desta contaminação na saúde humana e no meio ambiente. Da mesma forma, é de grande relevância que as tecnologias de remediação sejam selecionadas e implementadas de forma adequada, com uma fundamentação técnica e um pensamento sustentável conciso e concomitante, uma vez que, caso contrário, os impactos negativos podem superar os aspectos positivos da sua aplicação (MORAES et al., 2014; FAVARA; GAMLIN, 2017).

Neste sentido, a remediação sustentável já é considerada base essencial para o processo de tomada de decisão, em relação principalmente às medidas de intervenção a serem adotadas, evitando cada vez mais a possibilidade de geração de inconvenientes sobre o ecossistema e a saúde humana (MORAES et al., 2014; REDDY; ADAMS, 2015).

Segundo Pollard et al. (2004), a remediação sustentável surge como uma nova mudança de paradigma. Traz em sua essência o objetivo de não transferir simplesmente o problema para outro meio, localização geográfica ou geração, ou focar somente nos resultados de remoção. A remediação sustentável proporciona, considerando os impactos ambientais, sociais e econômicos em todas as fases das atividades de remediação, uma avaliação em longo prazo de riscos, benefícios e de retorno destas áreas através de seus usos futuros (POLLARD et al., 2004).

A complexidade da avaliação da sustentabilidade, e a exigência cada vez mais coesa em alcançar o equilíbrio entre impactos e benefícios econômicos, sociais e ambientais, na determinação da solução mais adequada para a remediação de locais contaminados, são fatores que também confirmam a importância do tema proposto. Além disto, considerar aspectos isoladamente já não é mais suficiente, sendo que, a remediação sustentável exige a integração tanto dos três aspectos – ambiental, econômico e social - do tripé da sustentabilidade, quanto de ferramentas na avaliação e tomada de decisão (POLLARD et al., 2004; CAPPUYNS, 2016).

Neste contexto, alguns progressos consideráveis quanto a orientação para a remediação sustentável já vem sendo percebidos, tanto no meio acadêmico quanto por parte das organizações (BARNETT, 2001). Ao longo dos anos algumas iniciativas pelo mundo, como o Fórum de Remediação Sustentável (*Sustainable Remediation Forum - SuRF*), voltaram seus esforços para a disseminação das abordagens sustentáveis na gestão e remediação de áreas contaminadas. Além disso, agências e organizações de vários países, como a USEPA, ASTM e ITRC, bem como a comunidade científica, vêm desenvolvendo documentos voltados para a avaliação e aplicação prática da sustentabilidade em projetos de remediação.

O presente estudo objetivou trazer a abordagem da remediação sustentável para uma discussão mais ampla, envolvendo todo o contexto na qual ela se insere, com um enfoque no diagnóstico e avaliação dos métodos voltados para esta temática.

Os estudos até então desenvolvidos com esta abordagem de análise dos métodos aplicados à remediação sustentável (RIDSDALE; NOBLE, 2016; RIZZO et al., 2016) indicam que há uma diversidade de critérios que podem ser utilizados para examinar como a sustentabilidade se reflete nestes métodos. Porém, esta avaliação é realizada apenas considerando a satisfação dos critérios pelos métodos, sem definir claramente o grau de sustentabilidade alcançado por cada um. Isto sugere que há espaço para melhorias e estudos mais aprofundados. Neste sentido, a pesquisa buscou contribuir por meio de um julgamento mais aprofundado dos critérios, com vista para uma compreensão detalhada das contribuições dos mais diferentes métodos para resultados sustentáveis.

O Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, em sua linha de pesquisa Infraestrutura Sustentável através do grupo em Geotecnia Ambiental, no qual este estudo está inserido, tem desenvolvido diversos trabalhos voltados para a remediação de áreas contaminadas. Contudo, esta dissertação traz um tema novo na linha e no grupo de pesquisa, que contribuirá para expandir e incluir o tema e as questões da sustentabilidade também na remediação de áreas contaminadas.

### **1.3 Objetivos**

Diante do contexto estabelecido nos itens anteriores, foram definidos o objetivo geral e os respectivos objetivos específicos.

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Definir uma metodologia de avaliação da sustentabilidade aplicada à remediação de áreas contaminadas que melhor represente o discurso da remediação sustentável.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

Para o alcance deste objetivo geral, alguns objetivos específicos foram propostos:

- a) Identificar e descrever os métodos de análise da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas, que vem sendo desenvolvidos e aplicados no cenário mundial;
- b) Selecionar critérios de decisão que refletem as premissas da remediação sustentável;
- c) Caracterizar e analisar os métodos identificados quanto à sua estrutura e abordagem, e em relação à satisfação dos critérios selecionados;
- d) Julgar e ponderar os critérios selecionados quanto a sua importância no contexto da remediação sustentável;
- e) Avaliar os métodos identificados em relação aos níveis de ponderação dos critérios, a fim de obter uma ordem de classificação para os métodos no que se refere ao grau de sustentabilidade atingido;
- f) Analisar o método de melhor desempenho e propor uma abordagem ideal para o cenário considerado, quanto aos critérios e julgamento dos métodos.

## **1.4 Estrutura da dissertação**

O presente trabalho está dividido em seis capítulos, conforme segue:

Neste primeiro capítulo apresenta-se a introdução do trabalho, com algumas considerações sobre a temática do estudo, bem como o problema e as questões da pesquisa, a respectiva justificativa e os objetivos propostos.

O segundo capítulo é composto pela revisão bibliográfica. Nesta, é desenvolvida a fundamentação teórica, com a apresentação dos conceitos básicos necessários para o entendimento do trabalho realizado. No primeiro momento foi contextualizado o cenário mundial sobre áreas contaminadas, o seu gerenciamento e remediação. Na segunda parte foram elencadas as principais abordagens do desenvolvimento sustentável. Em seguida foram descritos os principais tópicos acerca da remediação verde e da remediação sustentável, com a explanação das principais iniciativas no que se refere a remediação sustentáveis, os princípios orientadores, os indicadores, métricas, ferramentas e métodos relacionados. Já na última etapa deste capítulo foram caracterizados os mais diversos processos de tomada de decisão, com enfoque para um processo de análise multicritério.

No terceiro capítulo são descritos os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa, sendo estes específicos para cada etapa realizada.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos, bem como as respectivas discussões para cada uma das seis etapas definidas na metodologia.

No quinto capítulo relacionam-se as conclusões obtidas através do desenvolvimento desta dissertação.

E finalmente, constam no sexto e último capítulo algumas sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão abordadas as temáticas consideradas importantes para a fundamentação teórica do trabalho e também para o embasamento da aplicação metodológica. Cinco temas principais serão apresentados, conceitualizados e discutidos, sendo estes: áreas contaminadas; desenvolvimento sustentável; remediação verde; remediação sustentável; e processos de tomada de decisão. Além disto, para uma abordagem mais ampla e uma compreensão mais criteriosa sobre o assunto, algumas seções estão subdivididas.

### 2.1 Áreas contaminadas

De acordo com BEAULIEU (1998), o mundo industrializado começou a tomar conhecimento e se conscientizar dos problemas causados pelas áreas contaminadas no final da década de 70 e início da década de 80, após a ocorrência de casos espetaculares, como por exemplo, o *Love Canal*, nos Estados Unidos; *Lekkerkerk*, na Holanda; e *Ville la Salle*, no Canadá. Após esses eventos foram criadas políticas e legislações em vários países, províncias e estados voltadas à problemática das áreas contaminadas.

Uma área contaminada, além de determinar impactos negativos sobre os bens a proteger, localizados na própria área ou em seus arredores, pode ser definida como sendo uma:

Área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação, causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural (CETESB, 2001, p. 100/03).

Este conceito de área contaminada apresentado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) traz duas concepções, a “poluição” e a “contaminação”. Segundo a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, a poluição é resultante de atividades que direta ou indiretamente: (a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; (b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; (c) afetem desfavoravelmente a biota; (d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e (e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981). Já a contaminação, segundo a Resolução nº 420 de 2009, corresponde à presença, decorrentes de atividades antrópicas, de substâncias químicas nos recursos ambientais como ar, água ou solo, em concentrações que restrinjam a sua utilização para usos atuais ou pretendidos. Esta restrição quanto ao uso está baseada em avaliações de risco à saúde humana (BRASIL, 2009).

Na literatura são empregados vários termos que podem ser considerados sinônimos do termo "área contaminada", como, por exemplo, "sítio contaminado", "terrenos contaminados", "solos contaminados" e "solo poluído", além de que, para áreas de mineração e de grandes obras civis, também é comumente utilizado o termo "área degradada" (SÁNCHEZ, 1998). No entanto, segundo Sánchez (1998), a "degradação" é um termo mais amplo, sendo que, uma área degradada pode ser definida como uma área onde ocorrem alterações das propriedades físicas e/ou químicas de um ou mais compartimentos do meio ambiente. Desta forma, uma área contaminada pode ser considerada um caso particular de uma área degradada, na qual ocorrem alterações principalmente das propriedades químicas, ou seja, a contaminação.

### 2.1.1 Contextualização e cenário mundial

Em um área contaminada uma grande variedade e complexidade de contaminantes podem estar presentes, sendo que, as fontes desta contaminação podem ser das mais diversas, como pode ser visualizado nas Figuras 1 e 2. A disposição inadequada de resíduos sólidos e líquidos; disposição de lodo de esgoto; áreas industriais abandonadas; derramamentos acidentais; aplicação de fertilizantes e pesticidas; aterros; lixiviados gerados na decomposição de resíduos dispostos inadequadamente; além de fossas sépticas, são as fontes principais de contaminação e degradação de áreas no cenário mundial (REDDY; ADAMS, 2015).

**Figura 1** - Fontes e vias de contaminação de uma área industrial abandonada



Fonte: Adaptada de CETESB (2001)



**Figura 2** - Fontes e vias de contaminação de uma antiga área de disposição de resíduos



Fonte: Adaptada de CETESB (2001)

Estes contaminantes podem ser transportados e propagar por diferentes vias e meios, ar, solo, águas superficiais e subterrâneas, alterando suas características naturais e qualidade. Estas alterações determinam impactos negativos e/ou riscos sobre os bens a proteger, tanto aos ecossistemas naturais quanto à saúde humana, localizados na própria área ou em seus arredores (CETESB, 2001; MORAES et al., 2014).

Um dos primeiros problemas associados às áreas contaminadas e a ser reconhecido como de grande importância, é a contaminação das águas subterrâneas utilizadas para abastecimento público e domiciliar, além do comprometimento de aquíferos ou reservas importantes de águas subterrâneas (CETESB, 2001).

Contudo, Sánchez (1998) destaca quatro principais problemas gerados pelas áreas contaminadas, os quais se manifestam, em sua maioria, a longo prazo, provocando: riscos à segurança das pessoas e das propriedades; riscos à saúde pública e dos ecossistemas; limitações dos usos possíveis do solo e conseqüentemente restrições ao desenvolvimento urbano e redução do valor imobiliário das propriedades. Portanto, a conseqüência mais relevante da existência de áreas contaminadas é a geração de danos ou riscos à saúde das pessoas e aos ecossistemas (SÁNCHEZ, 1998).

Diante disto, o contexto das áreas contaminadas já é considerada uma questão séria e preocupante pela maioria dos países, e atraiu ao longo dos anos universidades e centros de pesquisa que, por meio de pesquisas básicas e aplicadas, proporcionaram o desenvolvimento de novas e mais adequadas tecnologias de investigação e de remediação (MORAES et al., 2014).

No entanto, a consciência política no que tange este problema ainda é muito baixa ou até mesmo inexistente, e poucos países possuem uma regulamentação consistente, o que promove uma grande lacuna entre a consciência e a ação efetiva (EEA, 2016).

No Brasil, as iniciativas voltadas ao gerenciamento de áreas contaminadas tiveram como pioneira a CETESB, juntamente com a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) em Minas Gerais e também o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) no Rio de Janeiro (MORAES et al., 2014). Em âmbito nacional, destacam-se algumas normas principais que auxiliam no regulamento e gerenciamento das áreas contaminadas:

- A Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009, que consiste até o momento a legislação referencial quanto à preocupação com a qualidade do solo, bem como o estabelecimento de diretrizes para a prevenção e gerenciamento de áreas contaminadas. Além disto, esta resolução uniformiza os procedimentos a serem adotados pelos órgãos ambientais competentes em todos os estados e municípios (BRASIL, 2009);
- O Decreto Lei nº 1.413 de 14 de Agosto de 1975, o qual trata do controle da poluição provocada pelas atividades industriais no Brasil, e define algumas responsabilidades do poder público e as diretrizes para o gerenciamento de áreas de risco (BRASIL, 1975);
- A Lei Federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, a qual dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências (BRASIL, 1981);
- A Lei Federal nº 10.165 de 27 de dezembro de 2000, que alterou a Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, e dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação (BRASIL, 2000); e,
- A Lei Federal nº. 12.305 de 02 de agosto de 2010, a qual institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

De acordo com levantamentos realizados pela CETESB, FEAM e INEA, ocorreu uma evolução no número de áreas contaminadas registradas nos últimos anos, conforme ilustrado na Figura 3.

A CETESB registra e divulga desde o ano de 2002 a lista de áreas reabilitadas, monitoradas e contaminadas do Estado de São Paulo, sendo que, no primeiro ano a lista trazia

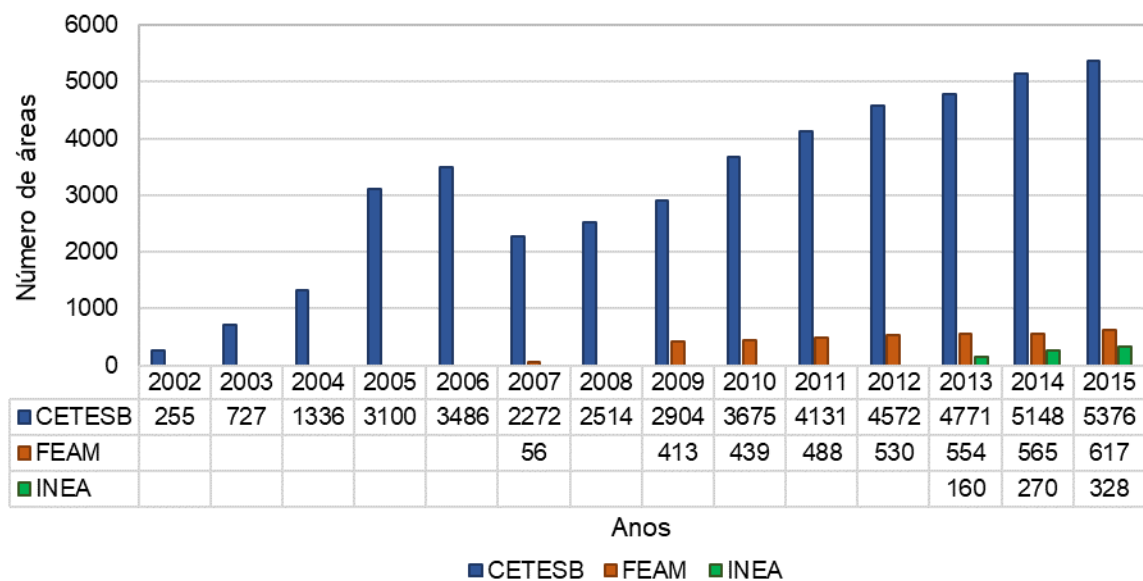
cerca de 255 áreas. Desde 2002 houve uma evolução e um acréscimo anual no registro destas áreas (Figura 3), sendo que, no ano de 2015 foram registradas a existência de em torno de 5.376 áreas contaminadas no Estado. Este aumento tem influência direta com a adoção de ações rotineiras de fiscalização e de licenciamento (CETESB, 2015).

Dentre as atividades com maior influência na contaminação destas áreas (5.376 áreas) estão os postos de combustíveis (74%), seguidos da indústria (17%), comércio (5%), resíduos (3%), e, acidentes, agricultura e fontes desconhecidas (1%) (CETESB, 2015).

A FEAM, a partir do ano de 2007, passou a manter um banco de dados com informações sobre as áreas suspeitas de contaminação e contaminadas cadastradas no Estado de Minas Gerais. Em 2007 foram registradas 56 áreas contaminadas. Já no ano de 2015 este número aumentou para 617 áreas contaminadas ou reabilitadas no Estado (Figura 3). O maior número de áreas contaminadas corresponde aos postos de combustíveis (73%), seguido da indústria metalúrgica (10,5%), o transporte ferroviário (7%) e a indústria química (4,5%) (FEAM, 2015).

O INEA, em 2013, lançou pela primeira vez o cadastro de áreas contaminadas no Estado do Rio de Janeiro, contando com 160 áreas contaminadas e reabilitadas. Já nos anos 2014 e 2015 foi realizada uma revisão deste cadastro, totalizando 270 e 328 áreas, respectivamente, distribuídas entre as atividades da indústria, aterros de resíduos, postos de combustíveis e viação (INEA, 2016).

**Figura 3** - Evolução do número de áreas contaminadas no Estado de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro



Fonte: CETESB (2015); FEAM (2015) e INEA (2016)  
Elaborada pela Autora

Na Europa, a Agência da União Européia (*European Environment Agency – EEA*) estima, a partir de investigações aprofundadas e registros até 2011, em torno de 2,5 milhões de áreas potencialmente contaminadas. Destas áreas, cerca de 45% (1,17 milhões) foram identificadas, e em torno de 14% (340 mil) necessitam de tratamento ou medidas corretivas urgentes, sendo que destas, cerca de 15% (58,3 mil) foram remediados nos últimos anos. Estas estimativas estão aumentando em função do progresso nas investigações, monitoramentos e levantamento de dados. De acordo com projeções com base na análise das alterações observadas, o número total de sítios contaminados com necessidade de correção pode aumentar em mais de 50% até 2025 (EEA, 2016).

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency – USEPA*) estima que existem milhares de áreas que tenham sido contaminadas nos últimos anos, sendo que destas, mais de 294 mil necessitam urgentemente de medidas corretivas, com estimativa de um custo para a remediação de 209 bilhões de dólares. Os contaminantes comumente encontrados nestas áreas incluem principalmente compostos orgânicos, metais pesados e radionuclídeos (USEPA, 2012a).

Na China aproximadamente 90% das águas subterrâneas encontram-se contaminadas, devido principalmente às atividades industriais, sendo que alguns lugares do país são conhecidos como “vilas da morte” em virtude das altas taxas de câncer e mortalidade (QIU, 2011; ZHENG; CAO, 2011).

Já um levantamento realizado na Holanda no ano de 2007 mostrou a existência de aproximadamente 6.500 a 7.500 áreas potencialmente contaminadas no país (VERSLUIJS et al., 2007). Já o Governo do Canadá identificou mais de 21 mil áreas contaminadas, enquanto que no Reino Unido foram constatados que mais de 300 mil hectares de terra estão contaminados em virtude de atividades industriais (GOVERNMENT OF CANADA, 2014; HOU; AL-TABBAA, 2014).

### **2.1.2 Gerenciamento e remediação**

Diante deste cenário e em função da gravidade dos impactos causados pelas áreas contaminadas, o seu gerenciamento se faz necessário, em especial no que tange o uso atual ou planejado da área. No entanto, devido à complexidade quanto às propriedades, distribuição e comportamento dos contaminantes no solo, a recuperação das áreas contaminadas ainda é uma tarefa difícil.

O Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) objetiva a minimização das ameaças potenciais e os riscos à saúde humana e o meio ambiente, e a tomada de medidas para satisfazer os padrões ambientais de acordo com os requisitos legais em vigor, possibilitando a contínua ocupação e recuperação destas áreas contaminadas (MORAES et al., 2014).

O Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001), primeiro protocolo brasileiro sobre áreas contaminadas, resultante da cooperação técnica entre a CETESB e o governo da Alemanha, através da Sociedade de Cooperação Técnica (*Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit - GTZ*), definiu o processo de GAC como sendo:

Um conjunto de medidas tomadas com o intuito de minimizar o risco proveniente da existência de áreas contaminadas, à população e ao meio ambiente. Essas medidas devem proporcionar os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas (CETESB, 2001, p. 0200/03).

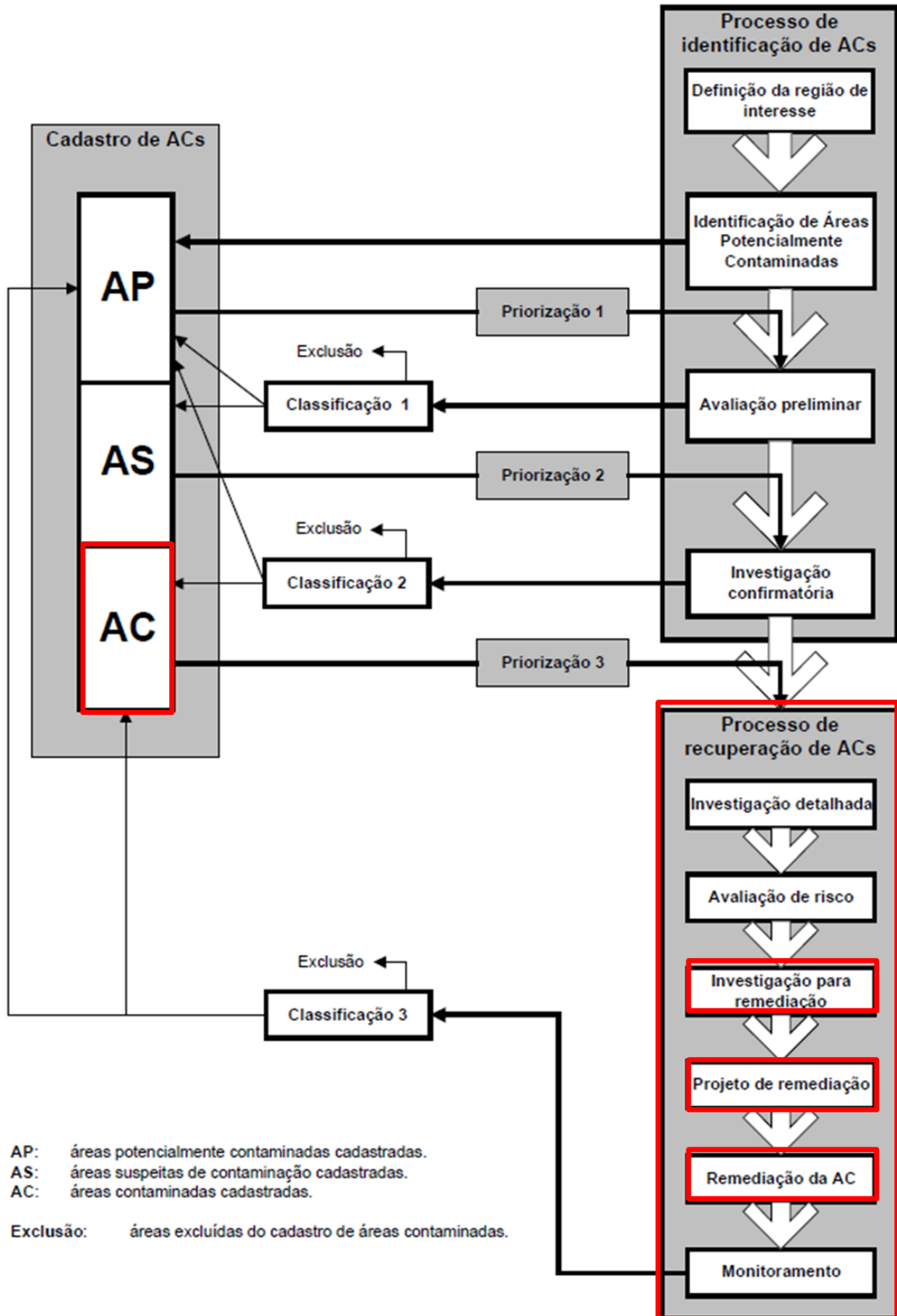
A metodologia utilizada nos processos de gerenciamento é constituída de etapas sequenciais, em que a informação obtida em cada etapa é a base para a execução da etapa posterior. Durante a execução destas etapas, em função do nível de informação referente a cada uma das áreas em estudo, estas podem ser classificadas como áreas potencialmente contaminadas (APs), áreas suspeitas de contaminação (ASs) e áreas contaminadas (ACs) (CETESB, 2001). A Figura 4 demonstra o fluxograma da sequência das etapas do gerenciamento, destacando a classificação das áreas, os caminhos pelos quais os dados obtidos são registrados, e também o posicionamento das diferentes etapas de priorização.

As APs são aquelas áreas onde ocorre ou ocorreu o desenvolvimento de atividades com manejo de substâncias cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas podem causar danos e/ou riscos aos bens a proteger. As ASs consistem em áreas nas quais foram constadas e observadas na avaliação preliminar, falhas no projeto, problemas na forma de construção, manutenção ou operação do empreendimento e indícios ou constatação de vazamentos, levando a suspeita da presença de contaminação no solo, nas águas subterrâneas e/ou em outros compartimentos do meio ambiente (CETESB, 2001).

Já as ACs, conforme definições apresentadas na Subseção 2.1, corresponde a uma área onde a contaminação está confirmada e que pode determinar danos e/ou riscos à saúde humana e aos bens a proteger. Estas áreas foram classificadas pelo Decreto 59.263 de 05 de junho de 2013, em seis classes principais (SÃO PAULO, 2013):

1. Área Contaminada sob Investigação (ACI), na qual foram constatadas concentrações de contaminantes que colocam, ou podem colocar em risco os bens a proteger;

**Figura 4 - Fluxograma das etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC)**



Fonte: Adaptada de CETESB (2001)

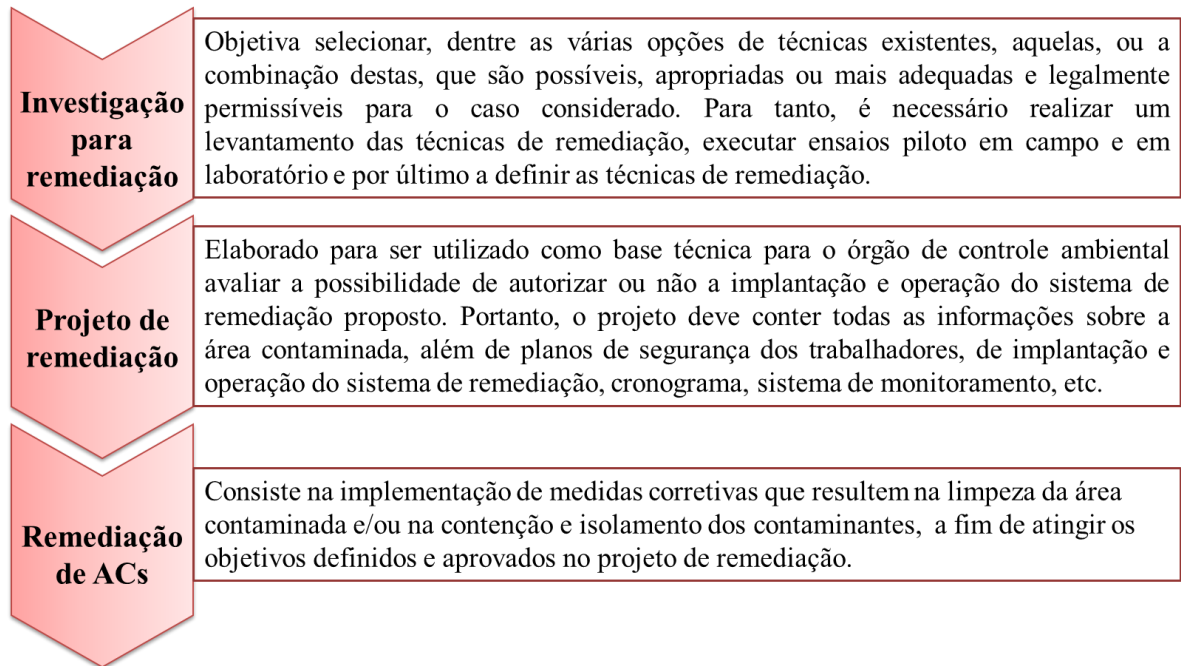
2. Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi), onde foram ultrapassados os padrões legais aplicáveis e foi constatada a contaminação no solo ou em águas subterrâneas, com existência de risco à saúde ou à vida humana;
3. Área Contaminada em Processo de Remediação (ACRe), na qual estão sendo aplicadas medidas de remediação visando a eliminação da massa de contaminantes ou, a sua redução ou ainda a sua contenção e/ou isolamento;
4. Área em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME), consiste na área a qual se encontra em processo de monitoramento para verificação da manutenção das concentrações em níveis aceitáveis após a implementação das medidas de remediação;
5. Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR): na qual, depois de submetida às medidas de intervenção, mesmo que não totalmente eliminada a massa de contaminação, tem-se restabelecido o nível de risco aceitável à saúde humana, ao meio ambiente e a outros bens a proteger; e,
6. Área Contaminada em Processo de Reutilização (ACRu), corresponde a área contaminada onde se pretende estabelecer um uso do solo diferente daquele que originou a contaminação, com a eliminação, ou a redução dos riscos aos bens a proteger decorrentes da contaminação.

Conforme a FEAM (2015), das 617 áreas contaminadas registradas no Estado de Minas Gerais no ano de 2015, 14% correspondem às áreas contaminadas sob investigação, 19% às áreas reabilitadas para uso declarado, 32% estão sob intervenção e 35% em monitoramento para reabilitação. Já segundo a CETESB (2015), das 5.376 áreas contaminadas cadastradas no Estado de São Paulo, em sua maioria (30%) já estão em processo de remediação (ACRe), seguidas das AME (24%), ACI (20%), AR (13%), ACRi (11%), e por último com apenas 2% encontram-se as ACRu.

Ainda, conforme a Figura 4, os dois processos que constituem a base do GAC são o processo de identificação e o processo de recuperação. O processo de identificação de áreas contaminadas objetiva principalmente a localização das áreas contaminadas, sendo constituído por quatro etapas: (1) definição da região de interesse; (2) identificação de áreas potencialmente contaminadas; (3) avaliação preliminar; e (4) investigação confirmatória. Já o processo de recuperação de áreas contaminadas tem como objetivo principal a adoção de medidas corretivas que possibilitem recuperar estas áreas para uso futuro, sendo constituído por seis etapas: (1) investigação detalhada; (2) avaliação de risco; (3) investigação para remediação; (4) projeto de remediação; (5) remediação; e (6) monitoramento (CETESB, 2001).

Como o foco deste trabalho está sobre as etapas destacadas em vermelho na figura 4, que correspondem ao processo de recuperação de ACs, em especial às fases de remediação. As etapas deste processo foram apresentadas com mais detalhes na Figura 5.

**Figura 5 -** Etapas de remediação do processo de recuperação de áreas contaminadas (ACs)



Fonte: CETESB (2001) e BRASIL (2009)  
Elaborada pela Autora

A remediação de áreas contaminadas consiste na adoção de medidas de intervenção e aplicação de técnicas para, remover, conter ou reduzir as concentrações dos contaminantes, e consequentemente eliminar ou reduzir os riscos para o uso declarado ou futuro da área. Desta forma, as técnicas podem ser divididas com o intuito de tratar, remover ou reduzir a massa de contaminante, ou com o objetivo de conter e isolar, evitando a migração do contaminante (BRASIL, 2009). De uma forma mais ampla, Diamond et al. (1999) define a remediação como sendo a redução da contaminação de uma área para níveis seguros dentro do ecossistema, a fim de proteger a saúde humana, e restaurar os usos da terra e as funções ecológicas e hidrológicas.

Conforme Bardos et al. (2002) os principais motivos pelos quais os trabalhos de remediação iniciam concentram-se fundamentalmente, na proteção da saúde humana e do ambiente, redução da toxicidade, mobilidade e volume da contaminação, além da possibilidade de reabilitação das áreas contaminadas e limitar potenciais passivos. Diante disto, o planejamento e a proposta de uma estratégia de remediação para uma determinada área pode combinar três abordagens basicamente: a mudança do uso definido da área para minimizar o



risco; a remoção ou destruição dos contaminantes para a eliminação do risco; e a redução da concentração dos contaminantes ou contenção desses para eliminar ou minimizar o risco (CETESB, 2001).

O processo de remediação, de acordo com os autores Reddy e Adams (2015), deve ser efetuado por meio de uma abordagem sistemática, a qual inclui algumas etapas fundamentais, como a caracterização do local (1), a avaliação de riscos (2), e a seleção de uma ação corretiva eficaz (3).

A caracterização da área contaminada consiste na fase preliminar das estratégias de remediação, uma vez que, cada local sob investigação é único, e, portanto, necessita de um levantamento e avaliação de vários dados, tais como: tipo e distribuição da contaminação; revisão das práticas passadas; informação histórica; e, localização geográfica, geológica, hidrogeológica e topográfica. Os resultados obtidos formam a base para a avaliação dos riscos e tomada de decisão quanto à concepção, implementação e acompanhamento dos sistemas de correção (REDDY; ADAMS, 2015).

Quando a contaminação está confirmada e a caracterização efetuada, conforme Reddy e Adams (2015), é realizada a avaliação de risco ou de impacto, a qual é usada para determinar o risco potencial da contaminação para a saúde humana e para o meio ambiente, tanto para as condições presentes quanto futuras. Caso esta avaliação revele que existem riscos potenciais e inaceitáveis devido à contaminação, estratégias de reparação devem ser desenvolvidas e analisadas para a aplicação.

Já a última etapa dos processos de remediação consiste na seleção e implantação de alternativas de reparação, sendo que, esta escolha é afetada por alguns fatores principais, como a utilização futura da área contaminada, e os custos, benefícios e a flexibilidade das várias ações de correção consideradas (REDDY; ADAMS, 2015).

A remediação, muitas vezes, é dificultada em função da impossibilidade de responsabilização dos poluidores, o que ocorre no caso de áreas - instalações industriais e comerciais - abandonadas, comumente denominadas de "*Brownfields*". Na Europa, por exemplo, devido a estas situações, ocorrem gastos de grandes somas de dinheiro público, mais de 35% do total dos gastos, no financiamento de tecnologias de remediação, sendo que, em média, os custos para projetos de remediação variam de 50 mil a 500 mil euros (EEA, 2016).

Além desta dificuldade, conforme CETESB (2001), a aplicabilidade de uma técnica de remediação depende de vários fatores, com destaque para as características do meio contaminado, dos contaminantes, os objetivos da remediação, localização da área, tempo e recursos disponíveis.

As tecnologias de remediação podem ser classificadas sob diversos aspectos como, por exemplo, em termos de seu objetivo (contenção x tratamento), localização (*in situ* x *ex situ*), processo de tratamento (físico, químico, biológico, termal), meio contaminado (ar, água ou solo), mecanismo operacional (recuperação de líquidos e vapores, imobilização, degradação), entre outros (SCHMIDT, 2010). Se o tratamento ocorre *in situ*, não há necessidade de escavação/ remoção física do meio contaminado, já o tratamento *ex situ* contempla a remoção do solo contaminado e realização do tratamento fora do local, em condições controladas (SHARMA; REDDY, 2004).

Historicamente, as técnicas tradicionalmente utilizadas para a remediação de áreas contaminadas estão associadas às medidas de contenção, escavação e tratamento *ex situ*. Como prática tradicional para solos destaca-se a escavação seguida da destinação para aterros (com ou sem tratamento do solo contaminado). No que diz respeito às águas subterrâneas, o bombeamento seguido do tratamento (*pump-and-treat*) tem sido tradicionalmente aplicada como medida de remediação. No entanto, com o aumento das áreas contaminadas, a eficácia destes métodos diminui, e conseqüentemente, as tecnologias de remediação *in situ* vem ganhando espaço na remoção de contaminantes (MORAES et al., 2014).

A grande preocupação da contaminação de áreas está centrada ao potencial de infiltração dos contaminantes por meio do solo, e conseqüentemente, atingirem as águas subterrâneas. Desta forma, a aplicação de técnicas de remediação vem com o intuito maior de minimizar, retardar ou até mesmo evitar que ocorra a migração destes contaminantes para as zonas saturadas (REDDY; ADAMS, 2015).

As técnicas de remediação vêm evoluindo rapidamente, com esforços voltados para o desenvolvimento de novas tecnologias e a otimização das já existentes. Desta forma, diversos estudos envolvendo a aplicação de tecnologias para a remediação de áreas contaminadas já foram realizados (CARBERRY; WIK, 2001; GESTEL et al., 2003; RUBERTO et al., 2003; SARKAR et al., 2005; OWSIANIAK et al., 2009; CORSEUIL et al., 2011; MENEGHETTI et al., 2012; THOMÉ et al., 2014; SMITH et al., 2015; RAMOS et al., 2016; MULLER et al., 2017).

Desta forma, um número considerável de tecnologias pode ser utilizado para a remediação de solos e águas contaminadas, para os mais diversos contaminantes presentes, como pode ser observado no Quadro 1. Conforme Reddy e Adams (2015), devido à complexidade do local a ser remediado e a diversidade de contaminantes presentes, a utilização de apenas uma técnica pode não ser o adequado, recorrendo nestes casos, para a integração de tecnologias de remediação, com a utilização seqüencial de mais de uma técnica.

**Quadro 1 - Tecnologias de remediação de solos e águas subterrâneas contaminadas**

Técnica	Meio remediado		Aplicação		Aplicabilidade
	Solo	Água subterrânea	<i>In situ</i>	<i>Ex situ</i>	
Extração de vapores do solo	x		x		Componentes orgânicos voláteis (COVs)
Dessorção térmica	x			x	
<i>Air sparging</i>		x		x	
Lavagem do solo	x		x	x	Componentes orgânicos, metais e radionuclídeos. Diesel e óleo bruto
Solidificação/estabilização	x		x	x	Metais e componentes orgânicos
Eletrocínética	x	x	x	x	Metais, componentes orgânicos e radionuclídeos
Vitrificação	x		x	x	
Fitorremediação	x		x	x	
Barreiras reativas		x			
Aquecimento do solo	x		x		Gasolina e Diesel
Extração com solventes	x			x	Componentes orgânicos
Incineração	x			x	
Biorremediação	x	x	x		
Compostagem	x			x	
Controle fase sólida	x			x	
<i>Landfarming</i>	x			x	
Extração fase dupla		x			Componentes orgânicos da fase líquida não aquosa (NAPLs)
Imobilização		x			Metais e radionuclídeos

Fonte: VIK; BARDOS (2002), SCHMIDT (2010); SHARMA; REDDY (2004)  
Elaborado pela Autora

Neste sentido, embora que de uma forma geral, qualquer tecnologia de remediação resulta em efeitos colaterais, sejam estes intencionais ou não, existem alguns aspectos fundamentais os quais devem ser observados no momento da escolha da técnica a ser aplicada, sendo que, aquela que cumprir os dez quesitos listados a seguir, pode ser considerada a tecnologia de remediação ideal: (1) Minimizar os riscos para a saúde pública e o meio ambiente; (2) Minimizar os impactos aos ecossistemas naturais; (3) Minimizar o potencial de geração de resíduos secundários, e evitar a transferência de massa de contaminantes de uma fase para outra; (4) Fornecer uma solução eficaz em longo prazo; (5) Facilitar o uso benéfico e apropriado da terra; (6) Minimizar ou eliminar a entrada de energia; (7) Procurar usar fontes de energia renovável, por exemplo, energia solar e eólica; (8) Minimizar as emissões de poluentes

atmosféricos e Gases de Efeito Estufa (GEE); (9) Minimizar os impactos sobre corpos hídricos naturais, eliminando o uso de água potável e incentivando o uso de águas pluviais e recicladas; e (10) Diminuir o uso de materiais, facilitando a reciclagem e o uso de materiais recicláveis (REDDY; ADAMS, 2015).

## 2.2 Desenvolvimento Sustentável

A década de 1970 foi marcada por um pessimismo extremo no que tange aos impactos do sistema econômico sobre o meio ambiente e o futuro da humanidade. Esta situação despertou e se agravou em função principalmente do receio do esgotamento de recursos energéticos como o petróleo, a poluição dos grandes centros urbanos, e as agressões aos ecossistemas globais (MEADOWS et al., 1972). Contudo, a percepção e a necessidade de se enfrentar os problemas ambientais tiveram suas primeiras iniciativas por volta dos anos 1980, quando o desenvolvimento sustentável deixou de ser somente um modelo ideal, para ser considerada uma meta, reconhecida por grande parte da política internacional, incluindo a política de mudança climática (IPCC, 2007).

O conceito de desenvolvimento sustentável tem suas raízes na ideia de uma sociedade sustentável, e na gestão de recursos renováveis e não renováveis. Esta concepção foi introduzida na Estratégia Mundial para a Conservação, pela União Internacional para a Conservação da Natureza (*International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources - IUCN*), sendo que, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento adotou o conceito e lançou a sustentabilidade em discursos políticos, públicos e acadêmicos (IUCN, 1980; BROWN, 1982).

Uma das primeiras definições e largamente aceita foi apresentada no Relatório Brundtland (1987). O desenvolvimento sustentável foi definido como aquele que satisfaz as necessidades das presentes gerações, sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. Esta definição trazia dois conceitos-chave, sendo um deles o de "necessidades", em particular dando prioridade absoluta aquelas essenciais aos pobres do mundo, e o segundo de "limitações", impostas pelo estado da tecnologia e à capacidade do ambiente de satisfazer as necessidades presentes e futuras (BROWN, 1982; BOJO et al., 1992).

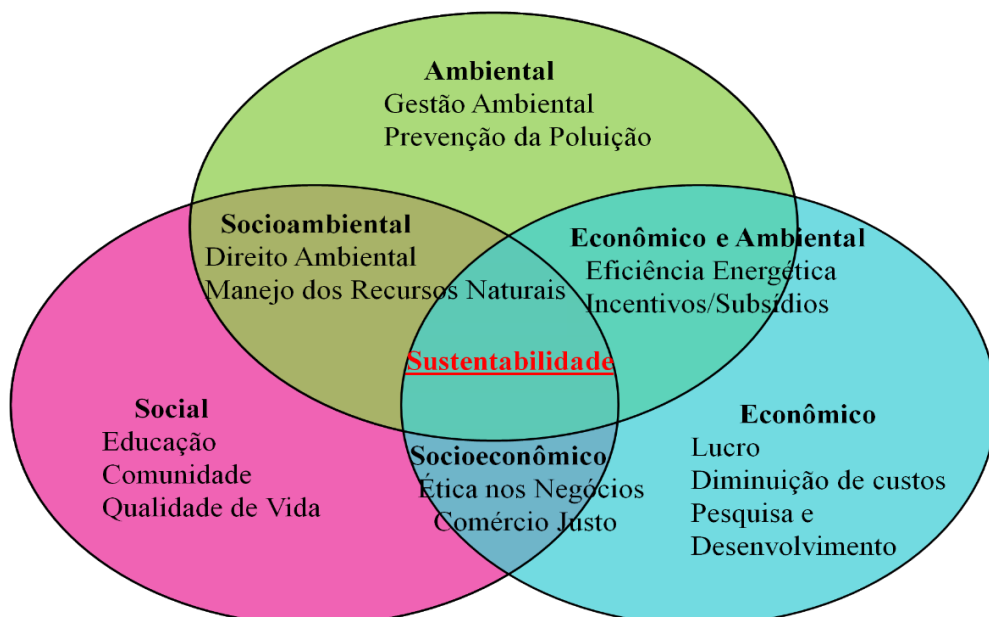
O crescimento econômico, político e industrial envolve, de alguma forma, mudanças no ecossistema físico por meio da exploração dos recursos naturais, podendo comprometer a sua capacidade de satisfazer as necessidades essenciais presentes e futuras. Além disto, as

interações ecológicas não respeitam os limites políticos ou de propriedade individual, assim, uma poluição local pode facilmente tornar-se regional ou global. Neste mesmo sentido, as desigualdades também tendem a aumentar, uma vez que, quando algum recurso, água, ar e/ou solo sofre deterioração, a vulnerabilidade é sempre dos menos favorecidos, da mesma forma, que as nações desenvolvidas estão em melhor posição financeira e tecnológica para lidar com os efeitos da possível mudança climática (BRUNDTLAND, 1987).

Nesta perspectiva, vem o desenvolvimento sustentável, que conforme Brundtland (1987) propõe uma proteção eficaz do ambiente, com a utilização prudente, exploração planejada e discriminada dos recursos, com o intuito de não pôr em risco os sistemas naturais que sustentam a vida na Terra, e a integridade global dos ecossistemas, como atmosfera, as águas, os solos, as espécies vegetais e os seres vivos. Nesta abordagem, o crescimento econômico, a conservação dos recursos naturais e do ambiente, e o desenvolvimento social e tecnológico devem estar em harmonia, e caminhar para um interesse comum dentro e entre as nações, para melhorar tanto o potencial atual e futuro, na direção de atender às necessidades humanas (BRUNDTLAND, 1987).

Portanto, o desenvolvimento sustentável traz na sua essência, aspectos sociais, ambientais e econômicos, os quais devem ser considerados de forma igual, sendo que, esta sustentabilidade é somente alcançada quando os três aspectos estão em equilíbrio, como pode ser visualizado na Figura 6 (VIRKUTYTE; VARMA, 2014).

**Figura 6** - Componentes principais que sustentam a concepção do desenvolvimento sustentável



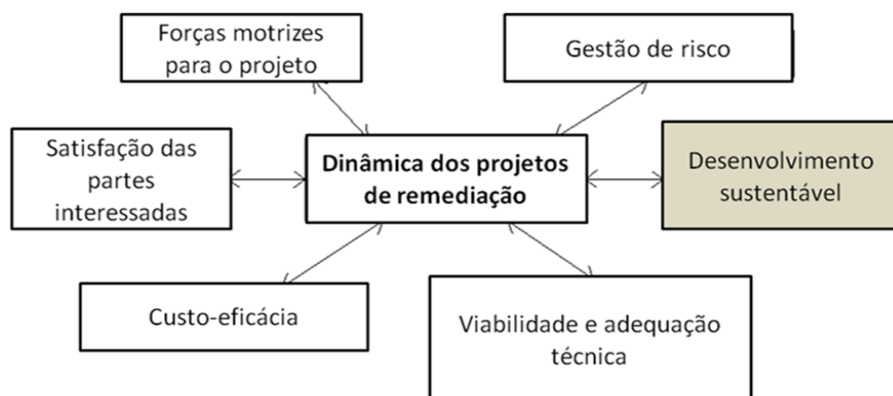
Fonte: Adaptado de VIRKUTYTE; VARMA (2014) (Tradução da Autora)

Um sistema ambientalmente sustentável deve manter uma base de recursos estável, com a manutenção da biodiversidade, estabilidade atmosférica, e outras funções do ecossistema natural. Os recursos não renováveis devem ser explorados na medida em que investimentos sejam feitos para a sua substituição adequada, contendo o seu esgotamento, e deve-se incentivar o uso de recursos renováveis, porém, evitando a sua exploração desenfreada. Já um sistema economicamente sustentável deve ser capaz de produzir bens e serviços em uma base contínua, para evitar desequilíbrios setoriais extremos que danifiquem a produção agrícola ou industrial. E por último, para alcançar um sistema socialmente sustentável, este deve atingir a equidade distributiva, adequada prestação de serviços sociais, incluindo saúde e educação, igualdade de gênero, prestação de contas e participação da comunidade em geral (HOLMBERG, 1992; SERAGELDIN et al., 1994).

A sustentabilidade traz o conceito global de uma distribuição igual de todos os recursos do planeta entre os seus habitantes, a minimização dos impactos ambientais do desenvolvimento econômico, a manutenção do bem-estar a curto e longo prazo, e a igualdade de oportunidades para todas as espécies para crescer e sustentar-se ao longo de gerações (BRUNDTLAND, 1987). Contudo, esta concepção ainda possui algumas ambigüidades, sendo a sua incorporação um desafio ao pensamento e à prática convencional, embora que, as abordagens preventivas se fazem necessárias (GIBSON et al., 2005).

Esta flexibilidade conceitual, ao mesmo tempo em que gera diversas críticas, é o fator chave da adoção quase universal do desenvolvimento sustentável como um princípio orientador. Isto em função de que, permite os países adotarem estratégias diferentes para avançar nos objetivos do desenvolvimento sustentável, e conseqüentemente aumentar a sua abordagem e aplicabilidade nas diferentes situações, como por exemplo, a sua inserção na remediação de áreas contaminadas, como ilustrado na Figura 7 (IPCC, 2007).

**Figura 7** – Desenvolvimento sustentável na dinâmica dos projetos de remediação



Fonte: Adaptada de BARDOS et al. (2002) (Tradução da Autora)

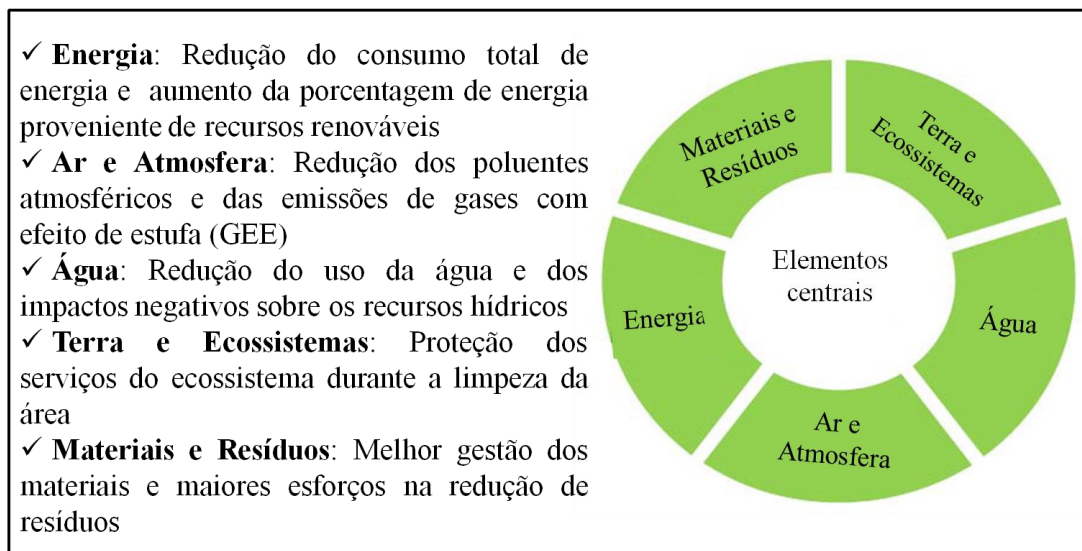
## 2.3 Remediação Verde

As primeiras perspectivas de inserção da sustentabilidade nos contextos da remediação, surgiram por meio da disseminação dos conceitos de remediação verde, oferecendo uma oportunidade para integrar considerações sobre controle de risco, regeneração de áreas contaminadas, pegada de carbono, pegada de água, energia renovável, entre outras (HOU et al., 2014a).

A remediação verde leva em consideração todos os efeitos e aspectos ambientais da aplicação da medida corretiva, buscando opções para maximizar o benefício ambiental, com a utilização de fontes alternativas/renováveis de energia sempre que possível, além de considerar cinco elementos fundamentais para alcançar tais objetivos, os quais estão elencados na Figura 8 (FORUM, 2009).

Conforme USEPA (2008), a remediação verde baseia-se em práticas ambientalmente conscientes e promove a incorporação de métodos para conservar e melhorar a qualidade da água, aumentar a eficiência energética, minimizar a geração e disposição de resíduos e substâncias tóxicas, e reduzir a emissão de poluentes atmosféricos.

**Figura 8** - Cinco elementos fundamentais na abordagem da remediação verde



Fonte: Adaptada de USEPA (2011) (Tradução da Autora)

Neste sentido, considerando que a remediação verde possui foco nas questões ambientais do processo, ignorando os fatores sociais e econômicos envolvidos, segundo Reddy e Adams (2015), surge o uso do termo Remediação Verde e Sustentável, (*Green and*

*Sustainable Remediation – GSR*), trazendo uma abordagem mais ampla quanto à sustentabilidade.

Este conjunto de práticas e soluções verdes e sustentáveis tem alguns objetivos principais, tais como: minimizar o uso total de energia, e promover o uso de energias renováveis para operações e transporte; preservar os recursos naturais e reduzir os impactos negativos sobre o meio ambiente; minimizar a geração de resíduos, maximizando a reciclagem de materiais; reduzir o desperdício de forma geral; minimizar ou eliminar a poluição na sua fonte; proteger e beneficiar a comunidade em geral; e, promover a reutilização futura da área contaminada. Desta forma, além do meio ambiente, as tecnologias verdes e sustentáveis procuram maximizar os benefícios sociais e econômicos, na mesma proporção em todas as fases do processo de remediação (FORUM, 2009; ITRC, 2011a).

Diante disto, para afirmar a integração efetiva da sustentabilidade nos projetos de remediação, surgiu a remediação sustentável, como uma nova perspectiva neste contexto, apresentando uma abordagem mais ampla e holística.

## **2.4 Remediação sustentável**

A remediação sustentável envolve a avaliação, gestão, eliminação e/ou controle, de maneira segura e oportuna, dos riscos significativos para a saúde humana e o meio ambiente. Ao mesmo tempo otimiza o valor ambiental, social e econômico do trabalho, tanto a nível local quanto para a comunidade em geral (ISO, 2017), de forma a identificar e integrar os benefícios e impactos ambientais, sociais e econômicos das estratégias e opções de remediação (ITRC, 2011b).

Com vista para a melhor solução, a remediação sustentável procura maximizar o benefício global, através de um equilibrado e transparente processo de tomada de decisão, a fim de demonstrar às partes envolvidas na remediação, em termos de indicadores ambientais, econômicos e sociais, que o benefício é maior do que o seu impacto (SuRF-UK, 2010).

Conforme Cundy et al. (2013), a remediação sustentável possui definições variáveis, porém, há um consenso comum sobre o seu amplo propósito de reduzir os impactos ambientais, econômicos e sociais, e maximizar os benefícios a longo prazo dos projetos de remediação.

A adoção da remediação sustentável apresenta benefícios específicos que torna sua abordagem importante e cada vez mais necessária neste meio. Os benefícios que se destacam são: redução de custos através da eliminação da correção desnecessária ou insustentável, otimizando o benefício global; gestão eficaz dos riscos associados à saúde humana e ao meio



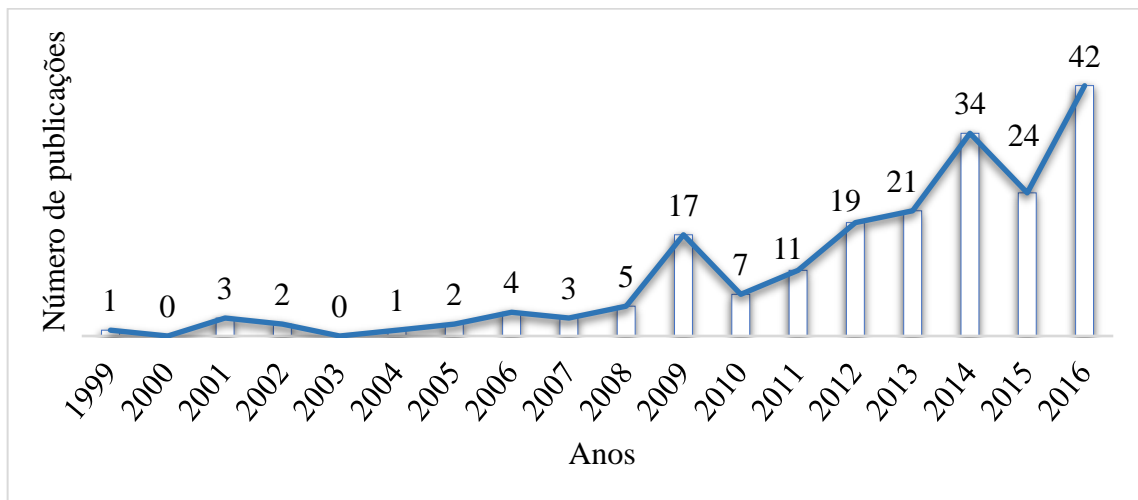
ambiente; minimização do impacto das obras de reparação no ambiente e comunidades vizinhas; compromisso em assegurar os princípios do desenvolvimento sustentável em todas as fases das obras de remediação; e melhora da robustez na tomada de decisões quanto à remediação (SuRF-UK, 2010).

A incorporação da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas foi marcada por mudanças nos últimos anos e ocorreu de forma gradual. Na abordagem centrada somente no custo em meados dos anos 1970, passou para o critério que adiciona a disponibilidade e viabilidade das tecnologias, na década de 1980, e para as abordagens baseadas no risco em meados dos anos 1990 (POLLARD et al., 2004). A partir dos anos 2000, houve um crescente interesse em incorporar a sustentabilidade nos processos de tomada de decisão quanto à remediação de áreas contaminadas, por meio da disseminação do termo "remediação sustentável", refletindo uma percepção de que as atividades de remediação podem trazer impactos ambientais, sociais e econômicos, tanto positivos quanto negativos (RIZZO et al., 2016).

A importância das considerações da sustentabilidade na gestão de áreas contaminadas, já é destaque em quadros políticos, organizacionais e empresariais de todo o mundo. Desta forma, há uma crescente preocupação na abordagem de contextos regulatórios voltados ao crescimento das práticas de remediação sustentável, e a adoção de um comportamento sustentável em países como EUA, Reino Unido (HOU et al. 2014a), Finlândia (REINIKAINEN et al., 2016), Austrália e Nova Zelândia (SMITH; NADEBAUM, 2016), bem como na avaliação, por meio de valores motivacionais, da consciência na incorporação de processos de remediação sustentável na Austrália (PRIOR, 2016).

Esta evolução nas abordagens, orientações, estruturas e estudos de caso focados no discurso da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas também pode ser percebida no cenário da produção científica. Levando em consideração a base de dados *Scopus* do *Institute for Scientific Information* (ISI) no período entre 1980 e 2016, as primeiras publicações iniciaram no ano de 1999, sendo que, este número aumentou gradativamente ao longo dos anos. A partir de 2009 o total de artigos publicados começou a crescer, atingindo o ápice nos anos de 2014, 2015 e principalmente 2016, conforme Figura 9 (BRAUN et al., 2017).

Kearney et al., (1999) são os responsáveis pela primeira publicação voltada exclusivamente para a remediação sustentável, realizando uma abordagem a cerca de um método para remediação de áreas contaminadas, o qual considerava os efeitos ambientais das técnicas, permitindo uma comparação entre duas ou mais técnicas.

**Figura 9** - Evolução temporal da produção científica sobre Remediação Sustentável

Fonte: Adaptada de BRAUN et al. (2017)

Os principais movimentos da remediação sustentável em curso, estão voltados: ao seu progresso no cenário mundial (BARDOS, 2014); a justificativa da sua aplicação e o estado da arte das avaliações e gestões da sustentabilidade na prática da remediação de áreas contaminadas (BARDOS et al., 2016); para a apresentação das estruturas que vem sendo desenvolvidas para continuar propagando conceitos, definições, descrições e princípios da remediação sustentável (BARDOS et al., 2011; RIZZO et al., 2016;); além de examinar como a sustentabilidade pode ser integrada e representada nestas estruturas, a fim de fornecer orientações para a aplicação prática (RIDS DALE; NOBLE, 2016).

Neste mesmo sentido, visões holísticas das considerações de sustentabilidade na remediação são apresentadas, e avaliações empíricas da tendência global na remediação sustentável são realizadas, a fim de fornecer conhecimento para os investigadores, decisores políticos e profissionais envolvidos na remediação, sobre o comportamento sustentável e os quadros integrados de avaliação da sustentabilidade e tomada de decisão (HOU; AL-TABBAA, 2014; HOU et al., 2016).

O envolvimento das partes interessadas durante todo o processo de remediação, já é identificado como um aspecto crítico e importante no processo de gestão e seleção da tecnologia de remediação que será aplicada (BONANO et al., 2000; TAM; BYER, 2002), examinando a atitude, a ação e a interação destes atores no que tange às práticas de remediação com vista para a sustentabilidade (HOU et al., 2014c). Conforme Cundy et al. (2013), as partes interessadas correspondem a uma organização, grupo ou pessoa, o proprietário da área, as autoridades legislativas, os planejadores, pesquisadores ou os remediadores, que potencialmente podem ser

afetadas, direta ou indiretamente, por alguma das etapas do projeto de remediação, ou aquelas que possuem um interesse na solução do problema.

Levando em consideração todas estas abordagens voltadas à remediação sustentável, as mais recentes em destaque já evidenciam, de forma concisa, que a remediação sustentável consiste em uma ação ampla e complexa. Sugerem que a remediação sustentável deve garantir que os riscos inaceitáveis sejam abordados, os pontos de vista das partes interessadas sejam incorporados e o uso futuro da área seja considerado antecipadamente, além de promover a seleção da opção corretiva que representa o equilíbrio ideal de todos os fatores, incluindo a manutenção à longo prazo (SLENDERS et al., 2017).

De uma forma geral, conforme pesquisa realizada por Braun et al. (2017), os EUA é o detentor do maior número de publicações na área da remediação sustentável, cerca de 36% do total registrado no período entre 1980 e 2016, sendo seguido pelos países como Reino Unido, Austrália, China, Alemanha, Canadá, Bélgica, Itália, Suécia e Índia, sendo que o Brasil possui apenas uma publicação direcionada ao tema. Ainda, conforme esta pesquisa, o pesquisador Deyi Hou e a *University of Cambridge* do Reino Unido se destacam no número de publicações voltadas à remediação sustentável, no que tange os autores e instituições, respectivamente. Quanto às áreas temáticas das publicações, existe uma grande multidisciplinaridade na abordagem da remediação sustentável, sendo que, a mesma vem sendo foco principalmente da área de ciências ambientais (BRAUN et al., 2017).

A importância da remediação sustentável é múltipla, mas de forma geral, está relacionada com a efetiva gestão de riscos para proteger a saúde humana e o ambiente como um todo (HOU; ALTABBAA, 2014). Além disto, segundo Harclerode et al. (2015b), a avaliação da sustentabilidade não tem a intenção de causar um atraso nos processos de remediação de áreas contaminadas, mas ao contrário, a remediação sustentável contribui para soluções de um ponto de vista ambiental, econômico e social, levando em consideração as preocupações e necessidades presentes e futuras.

#### **2.4.1 Principais iniciativas no cenário mundial**

Uma série de organizações em todo o mundo está debatendo sobre como alcançar o desenvolvimento sustentável ao remediar áreas contaminadas, a fim de alcançar à remediação sustentável. A maioria das organizações estão associadas ao governo, embora algumas exceções notáveis sejam evidentes, sendo que, são as organizações profissionais e as agências federais externas à jurisdição reguladora, os principais defensores da incorporação de princípios e

práticas de sustentabilidade na remediação ambiental (BARDOS et al., 2013; HADLEY; HARCLERODE, 2015).

Estas organizações incluem principalmente iniciativas nos Estados Unidos, como USEPA (*Environmental Protection Agency*), ASTM internacional (*American Society for Testing and Materials*) e ITRC (*Interstate Technology & Regulatory Council*), grandes redes europeias tais como a NICOLE (*Network for Industrially Contaminated Land in Europe*) e *Common Forum*, bem como o Fórum de Remediação Sustentável (*Sustainable Remediation Forum - SuRF*), o qual já possui associações espalhadas por todo o mundo (BARDOS et al., 2013; THG, 2014).

#### **2.4.1.1 Fóruns de Remediação Sustentável (*Sustainable Remediation Forums – SuRFs*)**

O SuRF, com início nos Estados Unidos, foi criado no ano de 2006 por profissionais inseridos em projetos de remediação, pesquisadores e indústrias, resultando na primeira coalizão dedicada especificamente à remediação sustentável (RIDS DALE; NOBLE, 2016, SuRF, 2017).

O SuRF corresponde a um fórum internacional sem fins lucrativos, que tem como objetivo principal de aplicar os conceitos de sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de projetos de remediação, desde a investigação do local até o fechamento. Portanto, tem como finalidade principal promover o uso de práticas sustentáveis durante a investigação, construção, remediação, remodelação e monitoramento de áreas em remediação, equilibrando a viabilidade econômica, a conservação dos recursos naturais e a biodiversidade, bem como a melhoria da qualidade de vida nas comunidades vizinhas (SuRF, 2017).

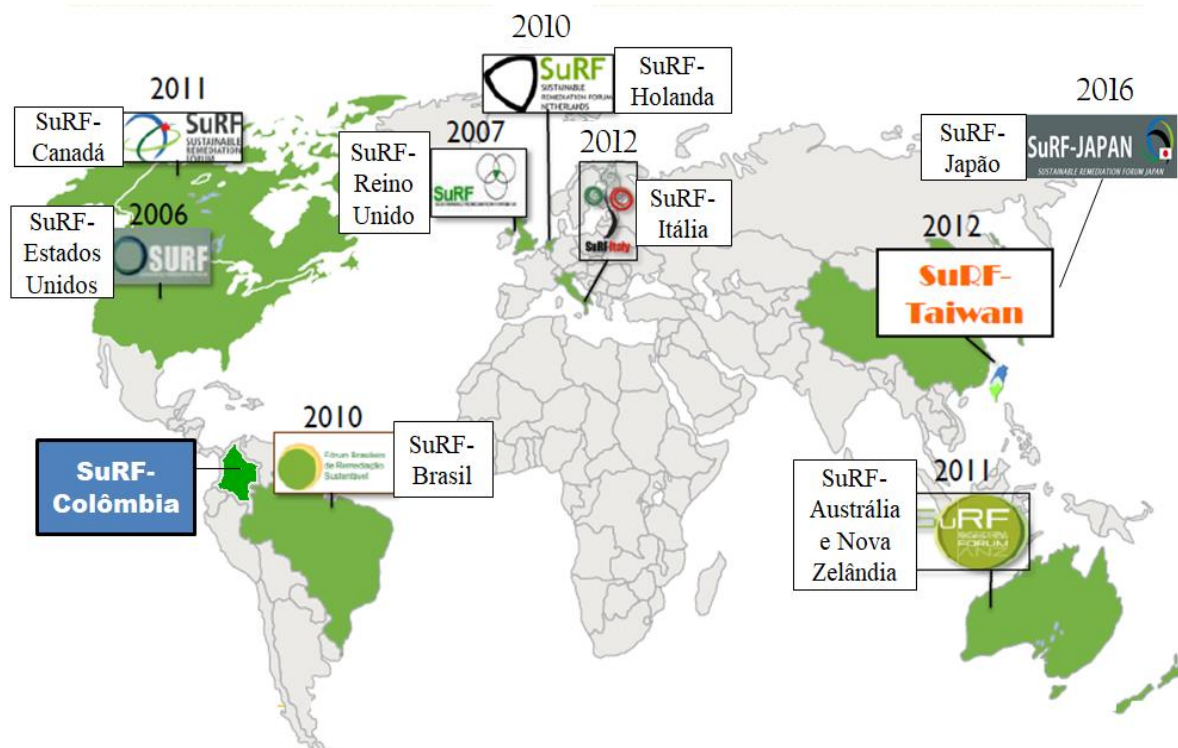
Os esforços atuais do SuRF concentram-se na compilação de estudos de casos existentes de remediação sustentável, trabalhando para uma melhor integração da remediação sustentável e redensolvimento sustentável. Além isto, atuam no exame de práticas mais sustentáveis para o uso e reuso da água, com vista para a conservação e reutilização das águas subterrâneas; na avaliação dos aspectos sociais da remediação sustentável; e explorando as mudanças climáticas e a resiliência na remediação (SuRF, 2017).

O SuRF iniciou seus trabalhos com um grupo de apenas 20 indivíduos, com reuniões apenas nos EUA, porém, atualmente já se comunica regularmente com mais de 700 praticantes de remediação verde e sustentável, e inspirou a criação de vários grupos internacionais de remediação sustentável, como pode ser visualizado na Figura 10 (SuRF, 2017). Desta forma, além dos Estados Unidos (SuRF-US), o SuRF já possui organizações e grupos parceiros

associados no Reino Unido (SuRF-UK), Brasil (SuRF-Brasil), Holanda (SuRF-NL), Nova Zelândia e Austrália (SuRF-ANZ), Canadá (SuRF-Canadá), Itália (SuRF-Itália), China (SuRF-Taiwan), Japão (SuRF-Japão), Colômbia (SuRF-Colômbia). Estes SuRFs compartilham o progresso, o aprendizado e o trabalho que cada grupo está a realizar nos seus diferentes países (SuRF, 2017; CL:AIRE, 2017).

O intercâmbio internacional dos SuRFs ocorre por meio de Conferências Internacionais sobre Remediação Sustentável (*International Conference on Sustainable Remediation - SustRem*), as quais objetivam, além de estimular este encontro, proporcionar um local para profissionais e partes interessadas de vários contextos a compartilhar experiências e perspectivas sobre como áreas contaminadas podem ser remediadas com menor pegada ambiental e como sua reutilização pode contribuir para um desenvolvimento mais sustentável do local. Estas conferências já tiveram quatro edições, sendo que, a última edição ocorreu no ano de 2016 no Canadá (SustRem, 2016).

**Figura 10 - Organizações SuRF em todo o mundo**



Fonte: Adaptada de WANG (2017)

### ***SuRF-Estados Unidos***

O Fórum de Remediação Sustentável dos Estados Unidos (*Sustainable Remediation Forum of United States/SuRF-US*) iniciou suas atividades em 2006 juntamente com os

primeiros encontros e reuniões do SuRF realizadas nos Estados Unidos, constituindo o SuRF pioneiro e base desta organização (SuRF, 2017).

Para consolidar e formalizar a abordagem geral definida pelo SuRF, o SuRF-US publicou em 2009 o “Livro branco sobre Remediação Sustentável: Integrando Princípios, Práticas e Métricas Sustentáveis em Projetos de Remediação Sustentável”, centralizando, agregando e documentando pela primeira vez os vários esforços sobre a remediação sustentável (FORUM, 2009). As recomendações contidas neste documento são principalmente focadas em mudanças nos Estados Unidos, porém, podem ser aplicadas a outros países.

O documento avalia e descreve a situação atual da remediação sustentável, identificando as várias perspectivas pró e/ou contra, apresentando evidências dos benefícios e fornecendo exemplos onde métricas sustentáveis foram incorporadas na seleção e implementação de soluções de remediação (FORUM, 2009).

A remediação sustentável é amplamente definida em Forum (2009) como sendo a combinação de técnicas cujo benefício líquido para a saúde humana e o meio ambiente é maximizado através do uso criterioso de recursos limitados. Para tanto, SuRF-US adota abordagens sustentáveis de remediação que proporcionam um benefício ao meio ambiente, como a minimização ou eliminação do consumo de energia ou o consumo de outros recursos; redução das liberações para o ambiente, especialmente para o ar; reutilização ou reciclagem de terrenos ou de materiais indesejáveis; e incentivo no uso de tecnologias corretivas que destruam permanentemente os contaminantes (FORUM, 2009).

Quanto às práticas de remediação sustentável, estas são definidas não apenas como aquelas que reduzem os impactos globais (por exemplo, a emissão de poluentes atmosféricos) atribuídos às atividades de remediação. Mas também, aquelas que reduzem os efeitos atmosféricos locais, os impactos potenciais na segurança dos trabalhadores e da comunidade, no consumo de recursos naturais e de energia e quanto ao consumo de combustível (FORUM, 2009).

Contudo, o “Livro Branco” publicado no ano de 2009, além de apresentar o estado das práticas de remediação sustentável, destaca a necessidade de um *Framework*, ou seja, um método bem definido para incorporar projetos sustentáveis na remediação (FORUM 2009), desta forma, o SuRF-US publicou em 2011 um “Método para a integração da sustentabilidade em projetos de remediação” (HOLLAND et al., 2011).

### ***SuRF-Reino Unido***

O Fórum de Remediação Sustentável do Reino Unido (*Sustainable Remediation Forum of United Kingdom/SuRF-UK*) foi criado em 2007, sob a coordenação da instituição de “Terra contaminada: aplicações em ambientes reais” (*Contaminated Land: Applications in Real Environments – CL:AIRE*).

O SuRF-UK, desde o início, manteve seus esforços no sentido de desenvolver um método para integrar uma tomada de decisão equilibrada na seleção das estratégias de remediação (CL:AIRE, 2017). Neste sentido, no ano de 2010, o SuRF-UK publicou o “método para a avaliação da sustentabilidade na remediação de solos e águas subterrâneas” (SuRF-UK, 2010).

A Remediação Sustentável é definida em SuRF-UK (2010) como sendo a prática de demonstrar, em termos de indicadores ambientais, econômicos e sociais, que o benefício da remediação é maior do que seu impacto e que a solução ótima de remediação é selecionada através do uso de um processo de tomada de decisão equilibrado. Portanto, embora que a remediação é destinada a solucionar a contaminação e reduzir os riscos para a saúde humana e/ou meio ambiente, se as atividades de remediação forem mal selecionadas e implementadas podem causar maior impacto do que a contaminação que elas buscam solucionar. Portanto, a melhor solução é a Remediação Sustentável, a qual elimina ou controla riscos inaceitáveis de forma segura e oportuna e que maximiza os benefícios ambientais, sociais e econômicos gerais do trabalho de remediação (SuRF-UK, 2010).

Além disto, SuRF-UK (2010) destaca como princípio chave a otimização do equilíbrio entre custos e benefícios ambientais, sociais e econômicos na identificação das soluções de remediação, juntamente com os princípios de garantia de proteção da saúde humana e do ambiente em geral; práticas de trabalho seguras; processos de decisão consistentes, claros e reprodutíveis; manutenção de registros e relatórios transparentes; boa governança e envolvimento das partes interessadas; e, tomada de decisão com bases científicas.

### ***FORESBr/SuRF-Brasil***

O Fórum Brasileiro de Remediação Sustentável-FORESBr (*Sustainable Remediation Forum of Brazil/SuRF-Brasil*) foi fundado no ano de 2010, mas com atuação desde 2011, com a finalidade de promover e discutir a remediação sustentável no país, a qual foi definida por FORESBr/SuRF-Brasil (2017) como sendo o conceito aplicado à remediação de áreas

contaminadas e fundamentado na busca do equilíbrio entre as variáveis econômica, social e ambiental.

O SuRF-Brasil surgiu com alguns focos principais, tais como: aceitação da sociedade; reutilização da terra; reutilização de recursos hídricos; saúde e segurança; efeito econômico; avaliação quantitativa, incluindo as três dimensões da sustentabilidade, por meio de diagramas de cálculo de custos para uma gestão de riscos (à saúde humana e o meio ambiente) adequada (WANG, 2017). No entanto, ainda está muito baseada em redes sociais, organizada em torno de grupos de discussão e sem estrutura organizacional formal (SuRF, 2017).

Atualmente o SuRF-Brasil conta com mais de 30 membros de diversos setores, porém, ainda com pouca interação com as indústrias. O Fórum coopera estreitamente com a CETESB e já obteve algum sucesso em persuadir políticas a nível regional e estadual para incluir considerações de sustentabilidade e o conceito de remediação sustentável, sendo que, este envolvimento se dá através de grupos de discussão técnica e fóruns legislativos (BARDOS, 2014; SuRF, 2017).

### ***SuRF-Holanda***

O Fórum de Remediação Sustentável da Holanda (*Sustainable Remediation Forum of Netherlands/SuRF-NL*) começou os trabalhos nos anos de 2010 e 2011 como um ramo nacional para estimular o debate sobre a remediação sustentável na Holanda, além de incentivar e facilitar o desenvolvimento e implementação de práticas sustentáveis. O SuRF-NL surgiu como um grupo informal entre empresas, consultorias, autoridades públicas e instituições de pesquisa, com o objetivo de fazer uso das informações disponíveis e já realizadas neste contexto (SuRF-NL, 2011).

O foco principal do SuRF-NL é a melhoria da qualidade do solo e a sua gestão e uso sustentável por meio de uma abordagem verde (SuRF-NL, 2017). No entanto, o SuRF-NL realiza uma distinção clara entre a “remediação verde” e a “remediação sustentável”. A remediação verde é vista por SURF-NL como a otimização de uma opção de remediação em termos de execução, com a redução da produção de gás carbônico e de resíduos e a minimização do uso de energia e matérias-primas. Já a remediação sustentável é vista como uma abordagem mais ampla do que apenas a técnica de remediação, é considerar todo o sistema para tomar as medidas preventivas e corretivas, desde o contexto do local até os objetivos que se pretende alcançar (SuRF-NL, 2011).



Ainda com algumas raízes no SuRF-UK, o SuRF-NL traz alguns princípios subjacentes, que são considerados relevantes para a situação holandesa, contudo, não prescreve normas ou indicadores. Os princípios do SuRF-NL indicam os limites dentro dos quais escolhas podem ser chamadas de sustentáveis, sendo que, estas escolhas devem satisfazer ou considerar, no mínimo, os seguintes princípios: riscos inaceitáveis (saúde e segurança) para o homem; adequação do solo para as utilizações previstas; efeitos inaceitáveis no ambiente; tomada de decisão transparente e reproduzível com base no conhecimento científico; e participação das partes interessadas (SuRF-NL, 2011).

### ***SuRF- Austrália e Nova Zelândia***

O Fórum de Remediação Sustentável da Austrália e Nova Zelândia (*Sustainable Remediation Forum of Australia and New Zealand/SuRF-ANZ*) é sucessor do SuRF-Austrália criado em 2009. O SuRF-ANZ é uma organização recente, fundada em 2011, mas, lançada oficialmente em 2012, sob a coordenação inicial do Centro Cooperativo de Investigação sobre Contaminação, Avaliação e Remediação do Ambiente (*Cooperative Research Centre for Contamination, Assessment and Remediation of the Environment – CRC CARE*), mas atualmente apoiada pela Associação Australiana de Terras e Águas subterrâneas (*Australasian Land and Groundwater Association – ALGA*) (SuRF, 2012).

O SuRF-ANZ foi criado para ajudar a promover o uso de práticas sustentáveis na Austrália e na Nova Zelândia, em termos de indicadores ambientais, econômicos e sociais, durante a remediação para aplicação em projetos de solos e águas subterrâneas contaminadas. Os objetivos e as conquistas de SuRF-ANZ incluem: desenvolver continuamente um método para a remediação sustentável; encorajar e gerir as atividades dos vários grupos de trabalho; fornecer orientação e ferramentas de remediação sustentável baseadas em páginas da internet; organizar encontros e fóruns em que se discuta a mediação sustentável; facilitar o contato dos membros com associações internacionais de remediação sustentável e desenvolvimento; e contribuir para um método nacional de remediação (SuRF, 2012; ALGA, 2017).

No ano de 2011 o SuRF-ANZ desenvolveu, juntamente com as partes interessadas e após entender os interesses das indústrias de remediação da Austrália e da Nova Zelândia, um projeto de um método de integração da sustentabilidade em projetos de remediação, com fundamentos básicos do método SuRF-UK (SMITH; NADEBAUM, 2016).

### ***SuRF-Canadá***

O Fórum de Remediação Sustentável do Canadá (*Sustainable Remediation Forum of Canada*) nasceu em 2011, com a missão de reunir organizações públicas e privadas para estabelecer uma rede canadense de sensibilização, informação e promoção da remediação sustentável no país, considerando sistematicamente as três dimensões da sustentabilidade (social, econômica e ambiental) em decisões de gestão e remediação de áreas contaminadas (SuRF-Italy; RECONnet, 2015).

Contudo, mais informações e atualizações sobre os trabalhos do SuRF-Itália não foram possíveis de serem obtidas, uma vez que, a página oficial do fórum no momento em que a pesquisa foi realizada estava sem acesso (SuRF-Canada, 2017).

### ***SuRF-Itália***

O Fórum de Remediação Sustentável da Itália (*Sustainable Remediation Forum of Italy*) foi criado em 2012 por um grupo de pessoas e organizações interessadas em disseminar o conceito de sustentabilidade, e que este seja atendido e aplicado consistentemente em todos os campos onde é nomeado, incluindo o setor de remediação (SuRF-Italy; RECONnet, 2015).

Os trabalhos realizados pelo SuRF-Itália são formalizados pela “Rede Italiana de Gestão e Remediação de Áreas Contaminadas” (*Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati* - RECONnet), a qual é destinada a contribuir para a resolução das principais questões técnicas e regulamentares em aberto sobre a gestão e remediação de locais contaminados (ALBANO et. al., 2014).

O fórum italiano surgiu com alguns objetivos principais, sendo que, dentre destes destacam-se: apoiar o andamento dos projetos por meio de avaliações de sustentabilidade, considerando as prioridades se as partes interessadas; passar gradualmente do atual conceito de "remediação" para o de "remediação sustentável"; compartilhar e apoiar a evolução regulatória do setor, para enfrentar as realidades europeias e internacionais, criando círculos para o intercâmbio de informações sobre as boas práticas e os resultados alcançados (SuRF-Italy, 2017).

Diante deste contexto, foi publicado no ano de 2015 um “Livro Branco”, que objetivou apresentar os princípios, o alcance e as principais atividades que coincidem com uma abordagem sustentável para o processo de remediação na Itália, caracterizando o primeiro passo concreto de uma jornada ainda em processo (SuRF-Italy; RECONnet, 2015).

O SuRF-Itália define a remediação sustentável como sendo o processo de remediação e gestão de locais contaminados, com o objetivo de identificar a melhor solução quando se considera fatores ambientais, sociais e econômicos, por meio de um processo de decisão compartilhada pelas partes interessadas (ALBANO et. al, 2014; SuRF-Italy; RECONnet, 2015; SuRF-Italy, 2017). Neste conceito alguns fatores essenciais estão destacados, como por exemplo, a importância de considerar as três dimensões (ambiental, social e econômica), a necessidade de envolver as partes interessadas, e a de se ter um processo de tomada de decisão para orientar a escolha de forma compartilhada (SuRF-Italy; RECONnet, 2015).

Conforme Albano et. al (2014) a interação pró ativa entre as diferentes partes "afetadas" pela remediação da área, a minimização e reutilização de resíduos, a adoção de tecnologias *in situ* de baixo custo e menos impactantes, a criação de empregos locais e remodelação após a remediação de áreas muitas vezes sujeitas a desafios econômicos devido à desindustrialização, e a redução do consumo de terra para novos empreendimentos (*Greenfields versus Brownfields*), são alguns dos aspectos sociais, ambientais e econômicos que se destacam na abordagem do SuRF-Itália.

### ***SuRF-Taiwan***

O Fórum de Remediação Sustentável de Taiwan (*Sustainable Remediation Forum of Taiwan*) foi fundado em 2012 como defensor do conceito de Remediação Sustentável (WANG, 2017). O principal objetivo deste fórum é fornecer as agências governamentais nacionais, universidades, indústrias e grupos ambientalistas uma plataforma de intercâmbio e discussão para promover a adoção de pensamentos verdes e sustentáveis no plano da remediação de locais contaminados, a fim de manter a regulação dos aspectos ambientais, equilibrando o lado social e econômico durante o trabalho (SuRF-Taiwan, 2017).

O SuRF-Taiwan incorpora em sua abordagem a Remediação Verde e Sustentável - GSR objetivando principalmente reduzir o impacto ambiental global, em linha com os interesses comuns da comunidade, redução do impacto negativo sobre o desenvolvimento econômico e o uso sustentável dos recursos do solo e da água subterrânea (SuRF-Taiwan, 2017). Neste sentido, o SuRF-Taiwan conduziu e realizou um estudo piloto de adoção da GSR, em vista para um método de incorporação da GSR em todas as fases de um projeto de remediação (CHEN et. al, 2014).

Desta forma, segundo Wang (2017), o SuRF-Taiwan enfoca em integrar tecnologias ou processos de gestão aptos a serem utilizados para resolver problemas de contaminação de solos

e águas subterrâneas, elevar a qualidade de vida e satisfazer as necessidades de desenvolvimento social e econômico, sempre equilibrando os fatores ambientais, sociais e econômicos.

### ***SuRF-Japão***

O Fórum de Remediação Sustentável do Japão (*Sustainable Remediation Forum of Japan*) iniciou suas atividades recentemente, no ano de 2016, após as discussões e estudos sobre a remediação sustentável começarem a ser incorporados em algumas organizações públicas e empresas de consultoria no Japão (SuRF-Japan, 2017).

O SuRF-Japão surgiu então com o intuito de proporcionar uma plataforma para uma discussão mais aprofundada sobre a remediação sustentável, com vista para a sua padronização, a troca de conhecimentos profissionais entre as partes interessadas, o intercâmbio de experiências com as abordagens internacionais, a colaboração entre os diferentes parceiros, e a divulgação dos trabalhos realizados (SuRF-Japan, 2017).

Neste sentido, o SuRF-Japão define a remediação sustentável como sendo um processo de tomada de decisão equilibrado que visa maximizar os benefícios ambientais, sociais e econômicos globais das atividades associadas com a remediação de locais contaminados. Além disto, destaca que o objetivo da remediação sustentável pode ser alcançado através de uma análise abrangente de vários indicadores relacionados com aspectos ambientais, sociais e econômicos, e selecionando as melhores práticas ou otimizando as técnicas de reparação com a colaboração das várias partes interessadas (SuRF-Japan, 2017).

### ***SuRF-Colômbia***

O Fórum de Remediação Sustentável da Colômbia (*Sustainable Remediation Forum of Colombia*), no momento em que a pesquisa foi realizada, não estava com a sua página oficial atualizada para que as informações sobre seus trabalhos e iniciativas pudessem ser obtidas (SuRF-Colombia, 2017).

## **2.4.2 Princípios e critérios**

A sustentabilidade é aberta e dinâmica, prosseguida por um conjunto de princípios a serem aplicados e processos a serem seguidos (GIBSON et al., 2005). Segundo Gibson et al.

(2005), os princípios juntamente com a elaboração de critérios de decisão (Quadro 2), são componentes fundamentais com vista para uma tomada de decisão mais centrada na sustentabilidade, os quais compõe um pacote integrado, sujeito a ajustamento.

**Quadro 2 - Requisitos de integração da sustentabilidade**

<b>Requisitos</b>	<b>Abordagem</b>
1- Integridade dos sistemas sócio ecológicos	Estabelecer e manter em longo prazo a proteção à vida das futuras gerações.
2- Equidade intrageracional	Garantir a equidade intrageracional por meio da distribuição dos impactos e benefícios de opções de remediação, considerando àquelas eficazes que reduzem as lacunas da desigualdade em saúde, segurança e reconhecimento social.
3 - Equidade intergeracional	Assegurar a equidade intergeracional, também por meio da distribuição dos impactos e benefícios, favorecendo opções mais propensas a manter ou melhorar a capacidades das futuras gerações viverem de forma sustentável.
4 - Uso eficiente dos recursos	Propiciar o uso eficiente dos recursos naturais e energéticos.
5 – Governança democrática	Mobilizar participantes como a comunidade e outros órgãos de decisão, em direção a aplicação da sustentabilidade.
6 - Precaução e adaptação	Precaver sobre os riscos associados aos sistemas sociais e ambientais, principalmente, gerenciando na direção da adaptação.
7 - Integração imediata e de longo prazo	Integrar simultaneamente todos os princípios da sustentabilidade, uma vez que, as áreas não são independentes, sendo que, o que acontece numa afeta diretamente o seguimento das outras.

Fonte: GIBSON et al. (2005)

Elaborado pela Autora

Os projetos são sempre específicos e não há um único processo ou conjunto universal de princípios ou critérios para incorporar a sustentabilidade na remediação e avaliar a eficácia desta integração (HOU; AL-TABBA, 2014), uma vez que, os princípios de sustentabilidade são muitas vezes diversos ou de contexto específico (GIBSON et al., 2005).

Contudo, os princípios normalmente abordam uma série de questões comuns, tais como, a integridade ecológica, a igualdade social, o tripé da sustentabilidade, suficiência imediata e de longo prazo e processos democráticos (RIDSDALE; NOBLE, 2016), minimizando a possibilidade de geração de barreiras na percepção dos resultados da aplicação da sustentabilidade na remediação, em função da falta de padronização dos princípios (FORUM, 2009).

Para compreender em que medida as estruturas de remediação incorporam e abordam a sustentabilidade, é necessário primeiro identificar os princípios fundamentais de sustentabilidade (GIBSON et al., 2005). Neste sentido, vários autores e organizações já fornecem listas de princípios orientadores para os tomadores de decisão (GIBSON et al., 2005; PINTÉR et al., 2012), bem como ilustram a forma pela qual os princípios podem auxiliar na avaliação e tomada de decisão quanto à estruturas mais sustentáveis (RIDS DALE; NOBLE, 2016).

Neste sentido, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (*US Department of Defense – DoD*) também elenca alguns princípios chave para a remediação sustentável, tais como: (1) Proteção da saúde humana e do ambiente através da eliminação de riscos inaceitáveis; (2) Práticas de trabalho seguras para trabalhadores, e de proteção à comunidade e o meio ambiente; (3) Obtenção de benefícios líquidos por meio da consideração equilibrada dos fatores ambientais, sociais e econômicos, bem como dos princípios da equidade intergeracional e do princípio da precaução; (4) Registro e documentação do processo de decisão da remediação quanto aos pressupostos e dados utilizados para alcançar a estratégia final de remediação; (5) Boa governança e envolvimento das partes interessadas; (6) Estratégia de remediação baseada em princípios e fontes científicas sólidos, utilizando dados relevantes e precisos e suposições bem documentadas (DoD, 2010).

Estes princípios devem ser considerados em todas as fases do projeto de remediação, tanto nos estágios iniciais planejamento e investigação, quanto na escolha das opções de remediação e análise de viabilidade (DoD, 2010). Além disto, os princípios aproximam a remediação sustentável para uma ferramenta orientadora no processo de integração dos aspectos do tripé da sustentabilidade, uma vez que, são amplamente aplicáveis a qualquer processo que orienta a tomada de decisão em relação à sustentabilidade e facilitam o alcance de benefícios líquidos globais dentro do contexto das áreas contaminadas (RIDS DALE; NOBLE, 2016).

### **2.4.3 Indicadores**

De acordo com Reddy e Adams (2015), no momento em que uma análise da sustentabilidade das alternativas de remediação é realizada, é importante identificar os indicadores-chave que podem ser usados para avaliar o projeto. Os indicadores são as medidas específicas que serão usadas para monitorar um desempenho na gestão de métricas de sustentabilidade relevantes (VIRKUTYTE; VARMA, 2014).

Os indicadores de sustentabilidade são aspectos mensuráveis de sistemas ambientais, econômicos ou sociais que são úteis para monitorar mudanças nas características do sistema relevantes para a continuação do bem-estar humano e ambiental (por exemplo, emissões de gases de efeito estufa) e permitem a identificação das diferenças entre opções comparáveis ou mensuráveis (REDDY et al., 2014; SLENDERS, 2017).

Além da mensurabilidade, o indicador de sustentabilidade devem apresentar alguns outros atributos: específico, pois deve segmentar uma área específica para consideração e análise; acionável ou realizável, sendo que, deve ter um objetivo de desempenho claro que seja facilmente compreensível e possa ser realmente alcançado com os métodos a serem aplicados no projeto; relevante, uma vez que, deve ser selecionado com vista em uma contribuição significativa para a meta geral ou estratégia associada ao projeto de remediação; e, oportuno, porque deve ser alcançado dentro de um prazo adequado ou sujeito às limitações do tempo do projeto (REDDY; ADAMS, 2015).

Ao considerar os aspectos sustentáveis de um projeto de remediação, é essencial considerar indicadores representativos de todas as três dimensões do tripé da sustentabilidade, ambiental, econômica e social, como poder ser visualizado no Quadro 3. No entanto, conforme Colantonio (2007) e Reddy e Adams (2015), comparados com as dimensões ambientais e econômicas, os indicadores sociais ainda não foram incorporados tão amplamente na avaliação da sustentabilidade,

**Quadro 3** - Indicadores ambientais, econômicos e sociais da remediação sustentável

<b>Indicadores</b>	<b>Abordagem</b>
Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impactos no ar, solo, águas superficiais ou subterrâneas e sobre os aspectos ecológicos;</li> <li>• GEE e outras emissões atmosféricas;</li> <li>• Contribuições para a mudança climática;</li> <li>• Utilização de recursos naturais e geração de resíduos;</li> <li>• Uso de materiais reciclados ou reutilizados;</li> <li>• Desvio de resíduos de/ou para instalações de aterro sanitário.</li> </ul>
Econômicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos e benefícios econômicos diretos e indiretos;</li> <li>• Vida útil e riscos do projeto de remediação;</li> <li>• Investimentos e criação direta e indireta de empregos na comunidade;</li> <li>• Aquisição facilitada de subsídios governamentais para o projeto e a comunidade como um todo;</li> <li>• Geração de receita dentro da comunidade;</li> <li>• Alcance de um grau de uso maior e melhor pela propriedade remediada.</li> </ul>

Continua...

Sociais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impactos na saúde e segurança humana;</li> <li>• Considerações éticas e de equidade;</li> <li>• Participação do público na tomada de decisões;</li> <li>• Satisfação da comunidade;</li> <li>• Reforços estéticos na comunidade;</li> <li>• Melhoria das características de qualidade de vida dos membros da comunidade, por meio de instalações recreativas, por exemplo;</li> <li>• Oportunidades educacionais e de formação profissional;</li> <li>• Fortalecimento das instituições comunitárias existentes (organizações recreativas, fundações de caridade e casas de adoração, por exemplo).</li> </ul>
---------	---

Fonte: DoD (2010); REDDY; ADAMS (2015)

Elaborado pela Autora

#### 2.4.4 Métricas

Os indicadores apresentados na Seção anterior (2.3.2) podem não ser facilmente mensuráveis, exigindo que métricas, que correspondem a valores numéricos, sejam integradas para que possam ser avaliados de forma objetiva e precisa em relação à sustentabilidade do projeto de remediação. As métricas podem ser usadas para determinar o grau de sucesso, o desempenho e progresso que um projeto ou alternativa em particular pode realizar em relação às dimensões da sustentabilidade (REDDY; ADAMS, 2015).

Ainda, segundo Reddy e Adams (2015), as métricas que podem ser usadas para avaliar a sustentabilidade da remediação são, no caso das dimensões ambientais e econômicas, formas de medição bastante simples e precisas, porém, assim como os indicadores, as métricas de sustentabilidade social ainda não foram tão amplamente definidas ou desenvolvidas. De acordo com a USEPA (2012) as métricas ambientais comumente avaliadas incluem emissões de gases de efeito estufa, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e partículas grosseiras, bem como a energia total e a água consumida.

As métricas existentes são divididas em tradicionais, complementares, combinadas numa base por unidade de massa ou volume de solo ou água tratada, e aquelas acopladas com tempo ou unidade monetária para determinar o custo ambiental agregado (Quadro 4). Desta forma, a lista de métricas de sustentabilidade para projetos de remediação é bastante extensa, e portanto, conforme Holland et al. (2011), as métricas para cada caso em específico devem ser selecionadas de acordo com as considerações específicas de sustentabilidade pelas quais as principais partes interessadas no projeto de remediação manifestarem interesse para a aplicação.



**Quadro 4 - Métricas de sustentabilidade aplicadas à remediação de áreas contaminadas**

<b>Métricas</b>	<b>Abordagem</b>
Tradicionalis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área remediada (m<sup>2</sup> ou ft<sup>2</sup>);</li> <li>• Massa de contaminante removida e solo tratado (kg ou toneladas);</li> <li>• Volume de solo ou água subterrânea tratada (ft<sup>3</sup> e galões, ou, m<sup>3</sup> e litros).</li> </ul>
Complementares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de energia renovável ou total (kWh ou BTU)</li> <li>• Consumo de água, potável ou recuperada (galões ou litros)</li> <li>• Geração de resíduos (toneladas ou kg)</li> <li>• Emissões atmosféricas (toneladas ou kg)</li> <li>• Emissões de GEE (equivalente de gás carbônico - CO<sub>2</sub>eq, ou kg)</li> <li>• Uso de materiais reciclados (toneladas ou kg).</li> </ul>
Base por unidade de massa ou volume	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia por unidade de massa tratada (kWh kg<sup>-1</sup>);</li> <li>• Água utilizada por unidade de massa de solo tratada (m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>);</li> <li>• Emissões de CO<sub>2</sub> por unidade de massa de solo tratada (toneladas kg<sup>-1</sup>).</li> </ul>
Base por unidade monetária	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo por unidade de área remediada (\$ m<sup>-2</sup>);</li> <li>• Custo por unidade de massa de contaminante tratada (\$ kg<sup>-1</sup>);</li> <li>• Custo por unidade de massa de solo tratada (\$ kg<sup>-1</sup>).</li> </ul>

Fonte: REDDY; ADAMS (2010 e 2015)

Elaborado pela Autora

#### 2.4.5 Ferramentas

De acordo com Reddy e Adams (2015), quando os indicadores e as métricas para a análise da sustentabilidade estiverem determinados, estes poderão ser formalmente avaliados e de forma objetiva, utilizando uma ferramenta de análise qualitativa relativamente simples de melhores práticas, semiquantitativa, ou quantitativa mais complexa de múltiplas métricas (Quadro 5).

Várias ferramentas sejam de domínio público, vendidas como software para fins lucrativos, ou limitadas ao uso dentro de uma organização particular, as quais oferecem diferentes níveis de abrangência, complexidade e análise, foram desenvolvidas especificamente para ajudar os tomadores de decisão a realizarem avaliações de sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas (HOLLAND et al., 2011). Beames et al. (2014) analisaram quatro ferramentas de avaliação da sustentabilidade mais utilizados na indústria de remediação, sendo estas, CO<sub>2</sub> calculadora, SRT (*Sustainable Remediation Tool* - Ferramenta de Remediação Sustentável), REC (*Risk reduction, Environmental Merit and Cost* - Redução de risco, mérito ambiental e custo), e GoldSet (*Golder Sustainability Evaluation Tool* - Ferramenta de Avaliação de Sustentabilidade da associação Golder).

**Quadro 5 - Ferramentas de avaliação da sustentabilidade em projetos de remediação**

Avaliação	Descrição
Qualitativa	As ferramentas de avaliação qualitativa têm como finalidade selecionar a tecnologia de remediação, e as alternativas de melhores práticas de gestão ( <i>Best Management Practices</i> - BMPs <sup>1</sup> ), com base nos impactos antecipados nas dimensões ambiental, econômica e social. As BMPs são relativamente simples de serem identificadas e implementadas, fornecendo uma avaliação direta dos benefícios e desvantagens. Além disto, estas ferramentas consistem geralmente em documentos ou manuais de orientação quanto à seleção adequada das alternativas, incluindo critérios relevantes.
Semiquantitativa	As ferramentas de avaliação semiquantitativa oferecem um maior grau de rigor e análise quanto à sustentabilidade na seleção do projeto de remediação, podendo ser utilizadas tanto para avaliação de viabilidade quanto para aplicações alternativas. De forma geral, estas ferramentas classificam e pontuam potenciais fatores quantitativos, resultando em uma média ponderada ou pontuação cumulativa, que permite uma comparação numérica direta entre várias alternativas de remediação.
Quantitativa	<p>As ferramentas de avaliação quantitativa, as quais fornecem uma análise avançada, e mais detalhada e criteriosa dos impactos ambientais, sociais e econômicos da remediação, são utilizadas especialmente no caso de projetos de remediação mais complexos, onde uma ampla gama de parâmetros precisa ser cuidadosamente avaliada.</p> <p>Estas ferramentas requerem extensas entradas de dados específicos da área, podendo ser usadas para avaliar a sustentabilidade quanto aos impactos de diferentes tecnologias, processos ou métodos de implementação em qualquer estágio da remediação.</p> <p>Algumas destas ferramentas focam em abordar apenas em um tipo de impacto, como por exemplo, pegadas de carbono ou emissões de GEE. Já outras permitem uma avaliação abrangente das dimensões ambiental, econômica e social da sustentabilidade.</p>

<sup>1</sup> BMPs são atividades que, se aplicáveis à situação, normalmente irão reduzir a pegada ambiental de uma atividade de remediação (ASTM, 2013a).

Fonte: REDDY; ADAMS (2015)  
Elaborado pela Autora

As ferramentas desenvolvidas, em sua maioria, combinam formas qualitativas e quantitativas de avaliação da sustentabilidade dos projetos de remediação: análise de multicritérios e/ou sob várias perspectivas (JANIKOWSKI et al., 2000; AN et al., 2016); análise do ciclo de vida (ACV) (DIAMOND et al., 1999; HOU et al., 2014b); e, análise de custo-benefício (SMITH; KERRISON, 2013; HARCLERODE et al., 2015b; SÖDERQVIST et al., 2015). Segundo Harclerode et al. (2013) as avaliações através da realização de análise de pegada ambiental, ACV, e análise custo-benefício de projetos de remediação, embora sejam métodos comuns para avaliar as implicações ambientais, apresentam-se ineficazes na captação dos impactos dos aspectos sociais e econômicos das ações de reparação.

Segundo Reddy e Adams (2010), a ACV, que apresenta uma avaliação rápida e simples, é recomendada a ser utilizada quando objetiva-se a análise da pegada de carbono e outros impactos ambientais associados ao projeto de remediação. Isto em função de que a ACV fornece uma análise comparativa dos sistemas existentes; identifica oportunidades para reduzir os impactos futuros da remediação e onde melhorias específicas seriam mais vantajosas; e, compara diferentes opções de correção durante o seu processo de seleção.

Em virtude desta variedade de ferramentas existentes, segundo Pollard et al. (2004), a integração destas ferramentas se faz útil e necessária para a tomada de decisão. Reddy e Chirakkara (2013) utilizaram a avaliação das BMPs, associada a uma matriz de avaliação semiquantitativa, para realizar uma comparação das tecnologias de remediação, com vista para a sustentabilidade e a melhoria das pegadas ambientais, sociais e econômicas de um projeto de remediação.

Outra preocupação em relação às ferramentas de apoio à decisão é quanto à limitada consideração dos aspectos sociais. Embora que, um claro aumento é notado em ferramentas mais recentemente desenvolvidas, são necessários métodos mais transparentes para avaliar a esfera social da remediação sustentável. A primeira fase deste tipo de abordagem é de apenas investigar, como os aspectos sociais são atualmente considerados em metodologias e avaliações da sustentabilidade de projetos de remediação (HARCLERODE et al., 2015b), seguindo para uma posterior tentativa de inclusão dos indicadores sociais nas ferramentas de tomada de decisão, para a seleção das opções de remediação sustentável de áreas contaminadas (CAPPUYNS, 2016).

Reddy et al. (2014) desenvolveram uma Matriz de Avaliação da Sustentabilidade Social (*Social Sustainability Evaluation Matrix - SSEM*), a qual corresponde a uma ferramenta quantitativa que avalia os impactos nas quatro dimensões sociais fundamentais, para compreender os efeitos sociais em projetos de remediação: o sócio individual (1); sócio institucional (2); socioeconômico (3); e, socioambiental (4).

A predominância de fatores subjetivos, e a falta de informação quantitativa, são vistos como barreiras para a integração de indicadores sociais nas ferramentas de avaliação da remediação sustentável. O cálculo do custo suportado pela sociedade devido aos impactos ambientais, econômicos e sociais associados às atividades de remediação (HARCLERODE et al., 2013), seja por meio da quantificação, em termos de dióxido de carbono, das emissões de GEE, ou pela inclusão da monetização dos benefícios e custos sociais (HARCLERODE et al., 2015a), embora ainda remotas, já se mostram alternativas mais objetivas na avaliação da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas.

Na literatura, uma ampla variedade de abordagens tem sido utilizada no que tange as ferramentas de avaliação da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas, e na escolha de alternativas de reparação. Passando de uma simples revisão das ferramentas de análise das pegadas ambientais, econômicas e sociais para o monitoramento da sustentabilidade (ČUČEK et al., 2012), para a aplicação de diferentes ferramentas qualitativas e quantitativas para estimar e comparar os impactos ambientais das atividades de remediação de solos e águas subterrâneas, com o intuito maior de melhorar os instrumentos já existentes (CAPPUYNS, 2013). Além disto, evoluindo para o desenvolvimento de ferramentas para avaliar e facilitar a comparação dos impactos ambientais, econômicos e sociais associados com as várias medidas de remediação (YASUTAKA et al., 2016), até à implementação dos princípios da sustentabilidade na seleção destas opções de correção em prol da tomada de decisão quanto à remediação sustentável (DÖBERL et al., 2013; AN et al., 2016).

De forma geral, as ferramentas de avaliação da sustentabilidade podem ser aplicadas tanto aos solos quanto às águas freáticas, auxiliando diretamente na escolha da alternativa de remediação (BEAMES et al., 2014), variando de simples árvores ou planilhas de decisão, para avaliações completas do ciclo de vida (REDDY; ADAMS, 2015). Portanto, segundo Huysegoms e Cappuyns (2017) já existem várias ferramentas de apoio à decisão para a escolha de alternativas de remediação mais sustentável, no entanto, são necessárias visões mais abrangentes para apoiar as escolhas sustentáveis, as quais consideram abordagens sustentáveis dos três pilares em todo o processo de remediação, desde a concepção do projeto até o reuso da área.

#### **2.4.6 Métodos**

Os métodos de avaliação da sustentabilidade são formas sistemáticas que auxiliam na tomada de decisão quanto aos aspectos ambientais, sociais e econômicos. A sua concepção antecede todas as análises voltadas à remediação sustentável, uma vez que, contribuem de forma significativa e decisiva na avaliação dos indicadores, métricas e ferramentas pelas quais a sustentabilidade de um projeto de remediação é analisada (REDDY; ADAMS, 2015).

Um dos primeiros modelos desenvolvidos foi o REC (*Risk, Environmental Benefits and Costs*), o qual considera a redução de risco, o custo e os benefícios ambientais para comparar diferentes cenários de remediação (SLENDERS, 2017). Contudo, do ponto de vista sustentável, o modelo REC está baseado quase em sua totalidade em apenas um pilar, o ambiental, uma vez que, os principais indicadores considerados são: consumo de energia, emissões de gás

carbônico, produção de resíduos e perda de solo, além de ser utilizado, fundamentalmente, como uma ferramenta para apoiar a escolha de alternativas de remediação mais sustentáveis.

Desde então, os esforços estão voltados para o desenvolvimento de metodologias que integrem a análise da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas, ou seja, métodos que representam efetivamente o discurso da remediação sustentável, considerando de forma equilibrada os impactos ambientais, econômicos e sociais nos processos de tomada de decisão (RIDSDALE; NOBLE, 2016; RIZZO et al., 2016; SLENDERS, 2017).

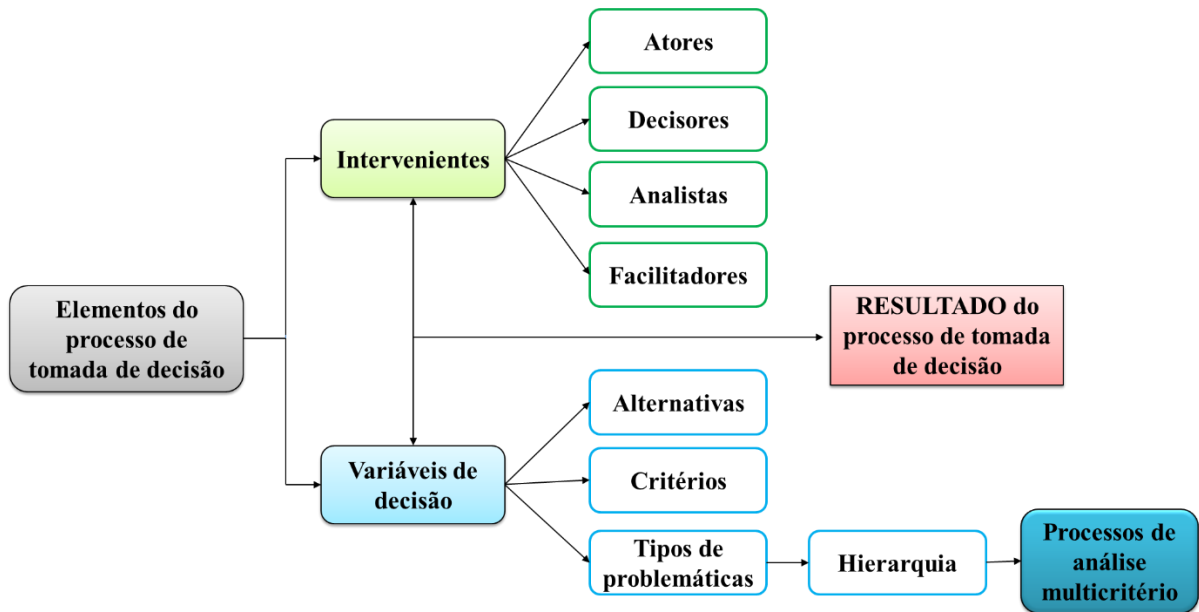
## 2.5 Processos de tomada de decisão

O processo de tomada de decisão é um conjunto de atividades que objetiva subsidiar os decisores em suas decisões no que diz respeito à identificação e resolução de problemas (ENSSLIN et al., 2001). Estas decisões podem ser tomadas em diferentes níveis, seja individual, em grupo ou em uma organização, de forma racional, emotiva ou intuitiva, em busca sempre da “decisão perfeita”. Segundo Campos (2011), para situações simples, este processo pode acontecer intuitivamente, mas em situações mais complexas, com muitas opções e/ou critérios, é importante um tratamento adequado dos dados.

Na área ambiental, o processo de tomada de decisão é ainda mais complexo, uma vez que, requer base de conhecimento multidisciplinar e o envolvimento de uma grande variedade de atores, sendo que, cada parte interessada possui seu ponto de vista referentes às questões naturais, físicas, sociopolíticas, econômicas e éticas envolvidas (HUANG et al., 2011).

Para entender melhor o funcionamento do processo de decisão é preciso conhecer todos os componentes, elementos e conceitos importantes envolvidos (CAMPOS, 2011). Conforme Torres (2014), a definição dos elementos do processo conduz em uma análise mais estruturada do problema e uma avaliação mais consistente na obtenção da melhor solução. Assim, a Figura 11 descreve os elementos que fazem parte do processo decisório, sendo que, como intervenientes têm-se os atores, decisores, analistas e facilitadores, e como variáveis de decisão têm-se as alternativas, os critérios e os tipos de problemáticas.

Os atores ou *stakeholders* são indivíduos, entidades ou grupos de pessoas que têm interesse na decisão a ser tomada, pois estão envolvidos de forma direta ou indireta pelas consequências da decisão. Os decisores ocupam o papel mais importante no processo de tomada de decisão, sendo a sua função de avaliar as alternativas do problema de acordo com sua relação de preferência, seja pelo poder ou o interesse em relação à tomada de decisão (ENSSLIN et al., 2001; CAMPOS, 2011).

**Figura 11** - Elementos do processo de tomada de decisão

Fonte: CAMPOS (2011); TORRES (2014)  
Elaborada pela Autora

Os analistas ou consultores, são aquelas pessoas ou equipe especialista e com experiência no processo de tomada de decisão, com função de sistematizar o processo e modelar as preferências a fim de auxiliar no processo decisório. E, por fim, tem-se o facilitador, que diferente do analista não é necessariamente especialista na metodologia, mas auxilia os demais atores durante o processo por meio de esclarecimentos, negociações e informações (CAMPOS, 2011).

As alternativas ou ações potenciais são opções possíveis por meio das quais o decisor irá fazer sua escolha. Já os critérios ou atributos são parâmetros sob os o conjunto de alternativas é avaliado, podendo ser de natureza quantitativa ou qualitativa, subjetiva ou objetiva e podem ter maior ou menor importância para a decisão (EKEL et al., 2009; CAMPOS, 2011). E por fim, é necessário compreender o tipo de problemática em que a decisão está inserida.

Conforme Campos (2011) o tipo de problemática direciona a escolha do processo multicritério a ser utilizado para o processo de tomada de decisão, sendo que, são quatro os tipos principais: o de seleção, no qual a melhor alternativa é selecionada; o de classificação, que objetiva alocar cada ação conforme uma classe ou categoria; descritivo, que possui a finalidade de descrever as consequências das ações; e de hierarquia, o qual consiste em estabelecer uma ordem para as ações.

Portanto, após definidos os componentes e estruturado o problema decisório, deve-se proceder para a seleção e estruturação de processos específicos, sendo um destes a análise multicritério (ENSSLIN et al., 2001). Segundo Ensslin et al. (2001) os processos multicritério

de tomada de decisão diferem dos outros métodos principalmente porque consideram diversos aspectos e avaliam as ações por meio de um conjunto de critérios, o que proporciona o desempenho de cada ação.

### **2.5.1 Análise multicritério**

A análise multicritério surgiu com o objetivo de auxiliar os tomadores de decisão na organização das informações disponíveis, na análise e comparação de várias alternativas ou ações sob vários pontos de vista, na ponderação das consequências e na redução de possíveis inconvenientes após a tomada de decisão (BELTON; STEWART, 2002), sendo usualmente utilizada para classificar um número finito de opções com base em um conjunto de critérios de avaliação (AN et al., 2017).

Portanto, segundo Torres (2014) o método de análise multicritério se caracteriza como uma ferramenta com base matemática, eficaz para resolução de problemas complexos em que o nível de conflito entre os critérios é muito alto, ou seja, este método utiliza em sua estrutura múltiplos critérios capazes de avaliar um conjunto de alternativas para alcançar a decisão mais próxima da ideal.

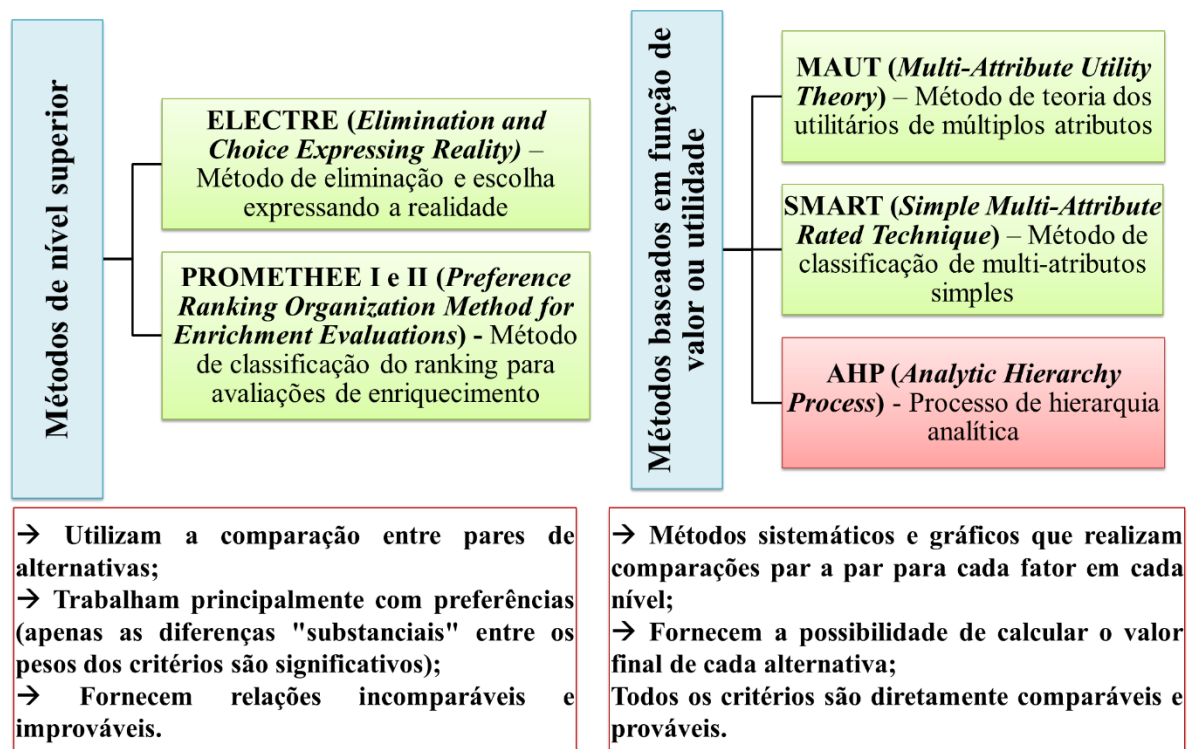
Os métodos de análise multicritério surgiram por volta da década de 70, visando principalmente auxiliar o processo de selecionar, ordenar ou classificar alternativas de escolha, além de incorporar nas análises os múltiplos aspectos de um problema complexo, que as metodologias comuns não conseguias atender de forma satisfatória. Sendo assim, estes métodos são atualmente utilizados por inúmeros pesquisadores para a tomada de decisão de problemas diversificados em todo o mundo (MONTIBELLER NETO, 2000; TORRES, 2014)

As principais vantagens que os métodos multicritério propiciam para os processos de tomada de decisão foram apontadas por Gomes et al. (2004), sendo que entre estas pode-se destacar: a possibilidade de diálogo entre os intervenientes do processo; a facilidade de incorporação de vários pontos de vistas dos indivíduos envolvidos; a análise de cada solução proposta confrontando objetivos e conflitos; e a possibilidade de debate sobre possíveis ações, considerando todos os aspectos (critérios).

Contudo, conforme Kumar et al. (2017) a aplicação destes métodos é sempre complexa, uma vez que, envolve diversos fatores, incluindo técnicos, instituições, padrões sociais e econômicos e partes interessadas. Além disto, os objetivos podem levar a diferentes soluções em momentos diferentes, dependendo da prioridade estabelecida pelos tomadores de decisão ou pessoas envolvidas no procedimento.

Desta forma, todo problema em particular pode ser solucionado por diferentes processos de análise multicritério (KUMAR et al., 2017), sendo que, várias metodologias já foram publicadas na literatura (Figura 12), e existem diversos estudos recentes na área ambiental nos quais estes métodos foram abordados e utilizados (POLATIDIS et al., 2006; HAJKOWICZ; COLLINS, 2006; MOGHADDAM et al., 2011; AN et al., 2017; HERAVI et al., 2017; KUMAR et al., 2017).

**Figura 12** - Modelos mais comuns de processos de análise multicritério



Fonte: POLATIDIS et al. (2006); MOGHADDAM et al. (2011)  
 Elaborado pela Autora

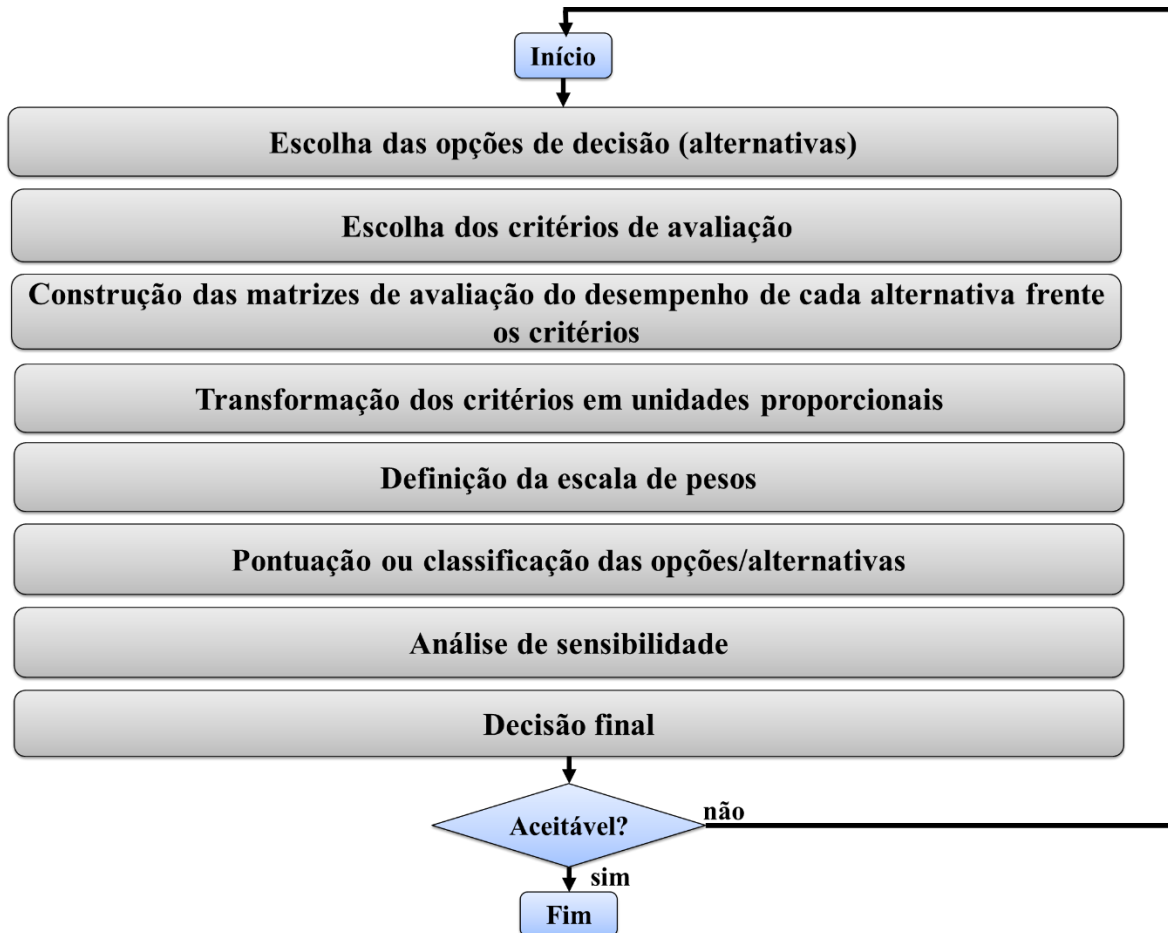
Contudo, embora que cada processo ou modelo possui suas próprias aplicações, finalidades, vantagens e restrições, alguns passos comuns constitem o procedimento geral do processo de decisão multicritério, os quais são apresentados na Figura 13. Os estágios apresentados na Figura 13 podem ser revisados à medida que a análise se desenrola (HAJKOWICZ; COLLINS, 2006), sendo que, a última etapa requer julgamento humano, visto que os métodos apenas informam um resultado com base nas alternativas e critérios, cabendo ao decisor fazer a avaliação final, se a decisão final é aceitável ou não (KUMAR et al., 2017).

De forma geral, a escolha entre um método e outro depende do tipo de problema com o qual se está lidando, do objetivo da decisão e a experiência do usuário com as técnicas, o AHP constitui um dos primeiros e mais utilizados processo de apoio à decisão multicritério vistos



nos trabalhos científicos, particularmente em problemas envolvendo avaliações subjetivas, sendo então, o AHP utilizado para calcular o valor numérico de cada alternativa (MOGHADDAM et al., 2011; TORRES, 2014).

**Figura 13** - Etapas comuns de um processo de análise multicritério



Fonte: HAJKOWICZ; COLLINS (2006); KUMAR et al. (2017)

Elaborada pela Autora

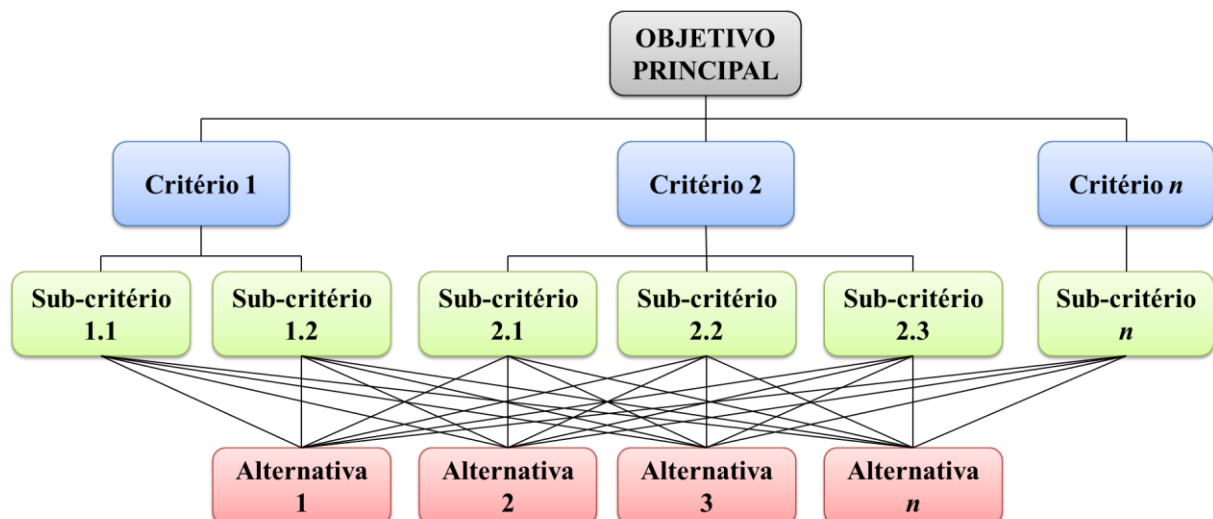
### 2.5.1.1 Processo de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* - AHP)

O método multicritério de análise hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* – AHP), idealizado pelo matemático Thomas L. Saaty no início da década de 70 (SAATY, 1980), consiste em uma ferramenta muito difundida no meio empresarial e acadêmico, devido a sua simplicidade e possibilidade de ser utilizada com múltiplos grupos de decisores, atores, cenários e elementos de decisão (critérios e alternativas). Desta forma, Vilas Boas (2005), destaca que o AHP é tão utilizado em função das vantagens de facilidade de uso, base matemática sólida e capacidade de avaliar fatores qualitativos e quantitativos, tangíveis ou intangíveis, além de refletir de forma concisa as preferências dos tomadores de decisão.

O AHP fornece um meio de decompor o problema em uma hierarquia de subproblemas que podem ser mais facilmente compreendidos e avaliados subjetivamente. Estas avaliações subjetivas são convertidas em valores numéricos e índices quantitativos, e processadas para classificar cada alternativa em uma escala numérica (BHUSHAN; RAI, 2004). Portanto, conforme Torres (2014), o AHP é caracterizado por duas fases fundamentais: (1) decomposição do problema de tomada de decisão em diversos níveis hierárquicos, e (2) avaliação dos elementos constituintes.

A estruturação hierárquica deve ser composta por todos os elementos envolvidos no processo e importantes para a resolução do problema, incluindo, no topo da hierarquia, o objetivo principal da decisão, nos níveis inferiores os critérios e/ou sub-critérios de avaliação e, na base da hierarquia, as alternativas (ações) para solucionar o problema e alcançar o objetivo proposto, como pode ser visualizado na Figura 14 (MATSUMOTO, 2010; TORRES, 2014). Campos (2011) destaca que nesta estrutura hierárquica, os critérios e/ou sub-critérios devem ser independentes em relação aos elementos dos níveis mais baixos, ou seja, a sua importância não depende das alternativas, já por outro lado, a preferência por alternativas depende dos níveis de critérios.

**Figura 14** – Estrutura hierárquica genérica do método AHP



Fonte: Adaptada de MATSUMOTO (2010); BHUSHAN; RAI (2004)

Conforme Gomes e Moreira (1998) este tipo de ordenação hierárquica fornece uma rápida visão global do problema a ser resolvido e da relação de complexidade, ajudando o decisor na avaliação da dimensão e do conteúdo dos critérios, através de sua comparação.

A fase de avaliação consiste basicamente na comparação par a par de todos os elementos de mesmo nível hierárquico que constituem o processo de tomada de decisão, ou seja, a

comparação par a par de critérios e/ou sub-critérios, e de alternativas mediante critérios e/ou sub-critérios, quando for necessário no processo (MATSUMOTO, 2010; TORRES, 2014). Esta fase de avaliação inclui, portanto, a construção de uma matriz de julgamento para formalizar o processo de decisão, e a análise de consistência destes julgamentos (TORRES, 2014).

Os dados são coletados de especialistas no assunto ou tomadores de decisão que analisam/julgam os critérios e as alternativas por meio da utilização de uma escala que referencia a importância relativa de cada elemento em relação aos demais (MALHOTRA et al, 2007; MATSUMOTO, 2010), sendo que, a opinião pode ser coletada em um formato especialmente projetado para a situação em específico (BHUSHAN; RAI, 2004).

Esta escala, chamada de Escala Fundamental de Saaty e composta por uma relação numérica e verbal correspondente para a avaliação par a par, varia de 1 a 9, sendo que os valores pares deste intervalo são considerados valores intermediários (Quadro 6).

**Quadro 6** - Escala fundamental de Saaty

<b>Intensidade de importância (escala numérica)</b>	<b>Condição</b>	<b>Definição</b>
1	Igual importância	Os dois elementos contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente um elemento em relação ao outro
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um elemento em relação ao outro
7	Importância muito grande	Um elemento é muito fortemente favorecido em relação ao outro
9	Importância extrema ou absoluta	A evidência favorece absolutamente um elemento em relação ao outro, com o mais alto grau de segurança
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura um julgamento mais preciso entre dois elementos.
Recíproco dos valores acima	Se o elemento <i>i</i> recebe um dos valores acima quando comparado com o elemento <i>j</i> , então <i>j</i> recebe o valor recíproco se comparado a <i>i</i>	

Fonte: Adaptado de SAATY (1980) (Tradução da Autora)

As comparações realizadas são organizadas em uma matriz quadrada  $n \times n$ , onde as linhas e colunas correspondem aos “ $n$ ” critérios ou alternativas analisadas para o problema em questão. À linha diagonal é atribuído o valor 1, uma vez que, estas células compõem o cruzamento do mesmo elemento na linha e coluna (MATSUMOTO, 2010).

Para o restante da matriz, se o critério na  $i$ -ésima linha é melhor do que o critério na coluna  $j$ , o valor do elemento  $(i, j)$  é mais que 1, caso contrário, deve-se utilizar os valores inversos do Quadro 7 (1/3, 1/5, 1/7, ou 1/9, por exemplo). Já o valor do elemento  $(j, i)$  da matriz é o recíproco do elemento  $(i, j)$ . Portanto, o número de comparações (NC) é diretamente proporcional ao número de elementos “ $n$ ” que compõem a matriz, conforme a Equação 1, já desconsiderando as células diagonais de valor fixo 1 e a parte da matriz de valores recíprocos (BHUSHAN; RAI, 2004; MATSUMOTO, 2010).

$$NC = \frac{n(n - 1)}{2} \quad \text{Equação 1}$$

Após todas as comparações realizadas, a discussão dos resultados gerados inclui a análise de consistência, análise de sensibilidade e análise de performance. A primeira diz respeito à verificação da razão de consistência dos julgamentos realizados. A segunda consiste em avaliar a variação das alternativas escolhidas caso houvessem mudanças nos julgamentos dos critérios. Já a análise de performance avalia e verifica de forma mais aprofundada o comportamento de cada critério individualmente e o seu impacto nas alternativas escolhidas (SILVA, 2012; ARAGONÉS-BELTRÁN et al., 2014).

A avaliação da consistência da matriz, ou seja, o grau de consistência dos julgamentos, é realizada, uma vez que, por se tratar de avaliações que envolvem o julgamento humano é tolerada a existência de pequenas inconsistências. Contudo, caso esse índice de consistência não atingir um nível exigido, as respostas das comparações devem ser reexaminadas (BHUSHAN; RAI, 2004), ou então, conforme Matsumoto (2010) uma possibilidade para aumentar a confiabilidade dos resultados é utilizar-se de um número maior de critérios.

Para o cálculo da taxa de consistência, algumas operações anteriores são necessárias, tais como, o cálculo do índice de consistência da matriz analisada e de uma matriz aleatória.

O índice de consistência (*Consistency Index* - CI) é calculado através da Equação 2, onde “ $n$ ” é o número de elementos que compõem a matriz, e “ $\gamma_{\max}$ ” o maior autovalor da matriz (BHUSHAN; RAI, 2004).

$$CI = \frac{(\gamma_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad \text{Equação 2}$$

Este valor do CI pode ser comparado com o índice de consistência de uma matriz aleatória, (*Random Index* - RI), o qual está diretamente relacionado com o número de elementos “n” da matriz, conforme Quadro 7 (MATSUMOTO, 2010).

**Quadro 7 - Índices de consistência aleatória (RI)**

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>RI</b>	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de MATSUMOTO (2010)

Por fim, para obter a consistência, é medida a taxa de consistência (*Consistency Ratio* – CR), representada pela Equação 3, a qual consiste na razão entre o CI e o RI, sendo que, Saaty sugere como valores aceitáveis para CR inferiores a 0,1 ( $CR < 0,1$ ) (BHUSHAN; RAI, 2004).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{Equação 3}$$

De uma forma geral, o AHP produz um índice quantitativo de valores de peso e prioridade relativa de cada elemento em relação aos demais, para a escolha da melhor opção dentre as analisadas, sendo muito utilizado para ponderar e classificar critérios de avaliação da sustentabilidade nos mais diversos cenários (KUMAR et al., 2017).

### 3 METODOLOGIA

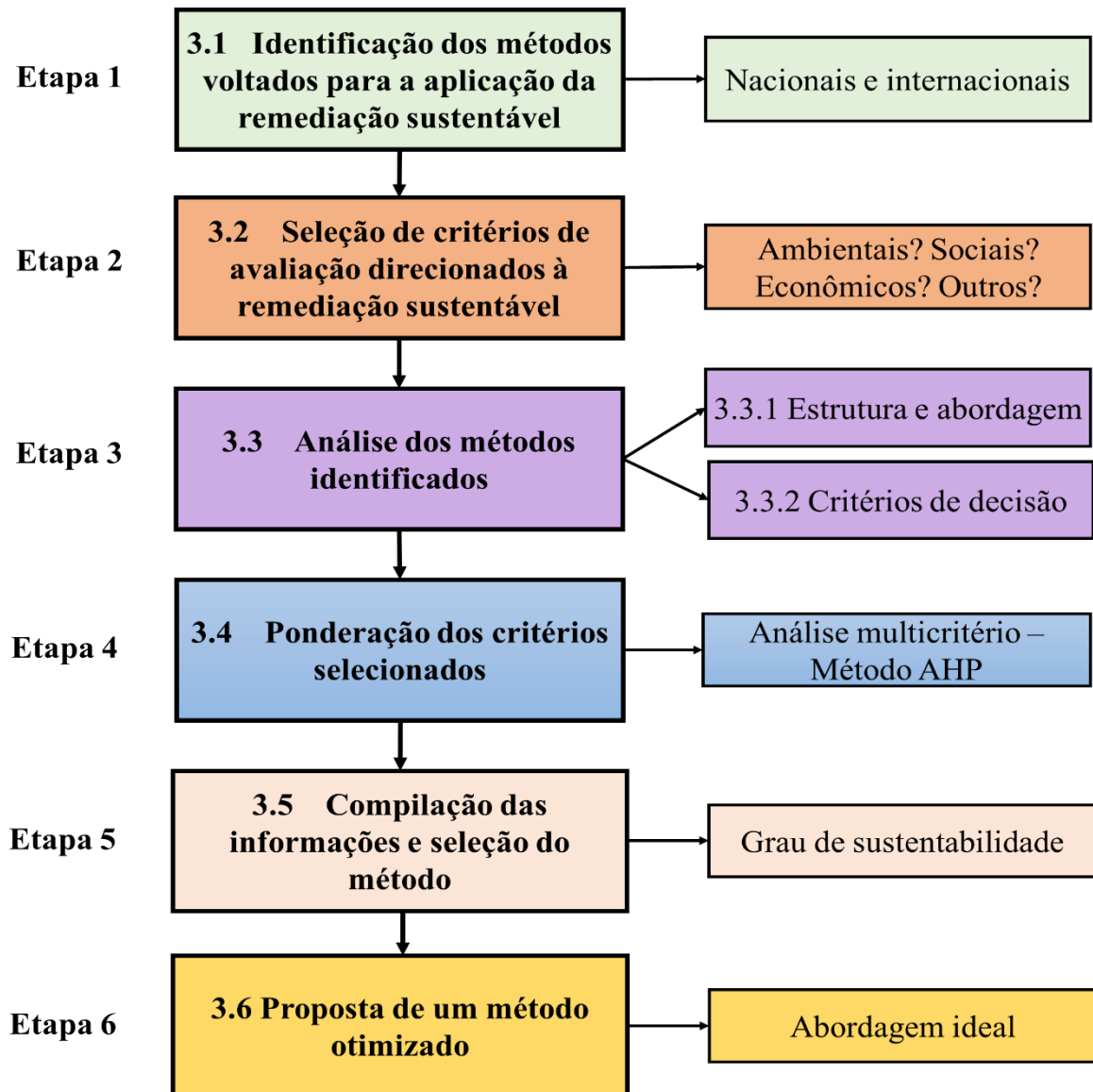
Esta pesquisa classifica-se, quanto aos seus objetivos, em exploratória descritiva, conforme Gil (2002). A pesquisa exploratória visa o aprimoramento de ideias ou conceitos sobre um determinado assunto, sendo recomendado quando há pouco conhecimento sobre o problema estudado. Este tipo de pesquisa envolve levantamentos bibliográficos, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado, e análise de exemplos que estimulam a compreensão do tema estudado (GIL, 2002). Esta classificação se deve em função de que, devido ao caráter recente e pouco explorado do tema escolhido, fez-se o levantamentos de todos os métodos existentes e o diagnóstico dos critérios aplicáveis no contexto considerado.

A pesquisa descritiva objetiva principalmente determinar as características de determinada população, grupo ou fenômeno, além de observar, analisar e correlacionar diferentes variáveis (GIL, 2002). Desta forma, esta pesquisa caracterizou-se por ser descritiva, uma vez que, descreveu detalhadamente as características de cada método, analisando os resultados obtidos quanto à sua relação com os critérios definidos.

Neste sentido, esta Seção subdividiu-se em seis etapas principais para descrever o estudo realizado e alcançar os objetivos propostos (Figura 15).

A primeira etapa constitui-se da identificação e descrição dos métodos de avaliação da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas. A segunda etapa corresponde à seleção de critérios específicos voltados à abordagem da remediação sustentável. A terceira etapa está voltada para a análise dos métodos identificados e descritos na primeira etapa, primeiramente quanto à estrutura e abordagem, e em seguida quanto à satisfação dos critérios selecionados. A quarta etapa consiste na realização dos julgamentos e posterior ponderação dos critérios selecionados. Já a quinta etapa baseia-se na análise e compilação das informações levantadas nas etapas anteriores, para a seleção do melhor método diante das condições consideradas. E por último, foi sugerida uma otimização do método selecionado a fim de obter o método ideal e que melhor representa o discurso da remediação sustentável.

-Figura 15 - Fluxograma das etapas para o desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Elaborada pela Autora

### 3.1 Identificação dos métodos voltados para a aplicação da remediação sustentável

A identificação destes métodos no cenário mundial foi realizada por meio de uma revisão bibliográfica sistemática, com buscas nas páginas da rede mundial de computadores e em bases de dados de periódicos científicos, tais como *Web Of Science*, *Scopus*, *Science Direct* e *Google Scholar*.

Esta busca foi realizada com palavras chave direcionadas às formas de avaliação da remediação sustentável, sendo a pesquisa efetuada tanto em português quanto na língua inglesa, abordando assuntos tais como: quadros/estruturas de remediação sustentável (*frameworks of Sustainable remediation*); métodos/metodologias de avaliação da sustentabilidade na

remediação de áreas contaminadas (*methods/methodologies for assessing sustainability in the remediation of contaminated areas*); ferramentas de avaliação da remediação sustentável (*tools for sustainable remediation assessment*), entre outros, pertinentes ao alcance do objetivo desta etapa.

A revisão bibliográfica sistemática é o processo de mapear, coletar, conhecer, compreender, analisar e sintetizar um conjunto de trabalhos científicos publicados com o propósito de criar um embasamento teórico-científico sobre um determinado tópico ou assunto pesquisado (LEVY; ELLIS, 2006). Ainda conforme Brereton et al. (2007) uma revisão sistemática permite ao pesquisador uma avaliação rigorosa e confiável das pesquisas realizadas dentro de um tema específico, além de aumentar a confiabilidade e a acuracidade das conclusões e resultados do estudo.

Os métodos pesquisados foram listados e descritos detalhadamente quanto a sua origem, abordagem e estrutura utilizada na análise da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas.

### **3.2 Seleção de critérios de avaliação direcionados à remediação sustentável**

O desenvolvimento sustentável depende de muitas variáveis, da mesma forma que existem vários critérios para medir o desempenho de sustentabilidade. Desta forma, a avaliação da sustentabilidade é um problema multicritério complexo, na qual a seleção de critérios de avaliação da sustentabilidade ainda não possui uma resposta sólida (ONAT; BAYAR, 2010; AN et al., 2017). Contudo, a seleção dos critérios para a avaliação da sustentabilidade já foi discutida em detalhes em alguns estudos (WANG et al., 2009).

Diante disto, para este estudo, a fim de compreender em que medida os métodos de remediação sustentável abordam e incorporam a sustentabilidade, a definição dos critérios específicos baseou-se em fontes de pesquisa que já abordaram ou aplicaram neste contexto (RIDSDAILE; NOBLE, 2016; RIZZO et al., 2016; AN et al., 2017; SONG et al., 2018), levando em consideração os princípios fundamentais da remediação sustentável, identificados na Seção 2.4.2 deste trabalho.

A escolha de cada critério considerou a sua importância e representatividade na análise da sustentabilidade voltada aos métodos identificados e descritos, e o seu efetivo auxílio na orientação para tal análise. Os critérios foram operacionalizados em critérios de decisão e de avaliação, sendo descritos e sintetizados em um quadro que serviu como base para as análises seguintes.



### **3.3 Análise dos métodos identificados**

Esta etapa caracterizou-se pelo caráter mais qualitativo das análises, sendo subdividida em duas fases, a fim de verificar a maneira como a sustentabilidade é representada e abordada nos métodos identificados. Primeiramente, por meio da avaliação das estruturas e abordagens de cada método, e por último pela análise de cada critério em relação a cada método descrito.

#### **3.3.1 Estrutura e abordagem**

Nesta fase foram identificadas e descritas detalhadamente as semelhanças e diferenças na origem, estrutura e abordagem de cada método, e dos parâmetros mais relevantes e significativos da aplicação de cada um em direção à remediação sustentável. Estes diagnósticos foram realizados por meio de uma análise de conteúdo dos documentos que trazem a descrição dos métodos identificados.

Conforme Bowen (2009), a análise de conteúdo documental é uma estratégia de pesquisa que envolve fundamentalmente um exame superficial, seguido de uma leitura completa, e finalizando com a interpretação do conteúdo, em vista ao objetivo proposto, estando vinculada e esta etapa da pesquisa, uma vez que, propõe-se uma avaliação do conteúdo dos métodos elencados no que tange a sua relação com os critérios de decisão, para posterior seleção.

#### **3.3.2 Critérios de decisão**

Nesta fase, a base para a análise foram os critérios de decisão identificados e selecionados na Seção 3.2. Uma análise comparativa entre critérios e métodos foi realizada, sendo que, para esta avaliação, foram assumidos pesos e importâncias iguais para todos os critérios. Cada critério foi investigado em relação aos métodos, por meio de uma análise minuciosa do conteúdo e da abordagem de cada método descrito. Conforme apresentado por Bowen (2009), este tipo de análise, de conteúdo documental e/ou análise temática, pode ser utilizada como mecanismo para a avaliação dos métodos quanto à satisfação dos critérios.

Os resultados desta seção foram apresentados qualitativamente, com base em cada critério de decisão estar totalmente satisfeito (TS), parcialmente satisfeito (PS), ou não satisfeito (NS) em relação a cada método analisado, segundo a abordagem utilizada por Ridsdale e Noble (2016). Para um critério estar plenamente satisfeito, considerou-se que o método levantou

explicitamente a questão em sua abordagem, e forneceu a direção ou orientação sobre tal. Para o critério estar parcialmente satisfeito, considerou-se que a questão foi abordada de forma complementar ao método. Já para o critério não estar satisfeito, não houve abordagem à questão no contexto geral do método.

As informações foram organizadas em uma planilha para agrupamento e realização de uma análise comparativa entre métodos e critérios (Quadro 8), sendo que, este tipo de análise, baseou-se única e exclusivamente no nível de satisfação, considerando-se para fins de classificação, tanto para os critérios quanto para os métodos, primeiramente o maior número de critérios TS, seguido dos PS e por último os NS.

**Quadro 8** - Quadro resumo da análise dos métodos em relação à satisfação dos critérios

<b>Critérios</b>	<b>Métodos</b>	<b>Resumo dos critérios</b>
C1	Para cada método elencado foi atribuído a avaliação de estar TS, PS, ou, NS quanto a cada critério de decisão.	Para cada critério foram contabilizadas a quantidade de avaliações TS, PS, ou, NS.
C2		
C3		
C4		
C5		
C6		
C7		
C8		
C9		
<b>Resumo dos Métodos</b>	Para cada método foram contabilizadas a quantidade de critérios TS, PS, ou, NS.	

Fonte: Elaborado pela Autora

Abordagem semelhante a esta foi utilizada por Ridsdale e Noble (2016), os quais destacam que embora esta abordagem apresenta-se simples na sua concepção, ela fornece uma rápida avaliação dos pontos fortes, e prevê as principais fraquezas das estruturas analisadas, e as áreas onde melhorias ainda são necessárias quanto à percepção dos princípios, em direção à sustentabilidade. Contudo, esta análise oferece uma deficiência, uma vez que, considera pesos iguais para todos os critérios, o que pode não ser verdadeiro, quando estes forem submetidos a uma avaliação mais criteriosa. Desta forma, partiu-se para o julgamento e valoração dos critérios selecionados.

### 3.4 Ponderação dos critérios selecionados

A fim de obter uma análise mais quantitativa para o processo de tomada de decisão, os critérios selecionados na Seção 3.2 foram ponderados por meio da aplicação do processo

hierárquico de análise multicritério, o AHP. A utilização do AHP deu-se em função de todos os aspectos, apresentados na Seção 2.5.1.1 deste trabalho, favoráveis à finalidade proposta, mas, principalmente pela sua simplicidade no uso e grande aceitabilidade no meio acadêmico.

Esta etapa seguiu a sistemática de operações do método AHP, conforme apresentado na Figura 17 que se encontra no final desta Seção, a qual resume todo o procedimento realizado. Primeiramente, o problema foi decomposto e ordenado em uma hierarquia, sendo que, para o contexto considerado não foram analisadas alternativas, portanto, a hierarquização ocorreu somente em dois níveis: (1) da definição do objetivo para nortear a análise, e (2) os critérios que serão valorados, sendo estes os selecionados na Seção 3.2.

Em relação ao número adequado de critérios selecionados para serem julgados há divergências na literatura, sendo que, conforme Franek e Kresta (2014) quanto maior o número de critérios, maior número de comparações e julgamentos precisam ser feitos e isso pode implicar em uma maior inconsistência nos resultados. Já por outro lado Matsumoto (2010) ressalta que utilizar um número maior de critérios possibilita aumentar a confiabilidade dos resultados. Desta forma, para este trabalho não foram estabelecidas restrições quanto ao número de critérios, portanto, foram utilizados todos os critérios selecionados e descritos na Seção 3.2.

O próximo passo consistiu na identificação dos decisores que participaram do processo de decisão. Foram selecionados 03 grandes grupos de decisores: (1) profissionais e pesquisadores das áreas de geotecnia ambiental, remediação de áreas contaminadas, ciências ambientais e sustentabilidade, vinculados à Universidade de Passo Fundo (UPF); (2) especialistas e técnicos da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM) do município de Passo Fundo, com atuação prática na área de interesse; e (3) profissionais e pesquisadores internacionais vinculados à *University of Illinois at Chicago*, na qual o professor responsável pelas pesquisas na área objeto deste estudo possui vínculo com a UPF como professor visitante, além de estar ativamente participando do grupo de pesquisa em geotecnia ambiental, no qual este estudo foi desenvolvido.

A etapa seguinte consistiu na definição da escala de importância para o julgamento dos critérios de decisão quanto à atribuição dos pesos, sendo que, para esta pesquisa foram utilizadas as 09 intensidades da escala fundamental de Saaty, conforme Quadro 6 apresentado na Seção 2.5.1.1. Foram utilizados os valores numéricos correspondentes à preferência igual, moderada, forte, muito forte e absoluta (1, 3, 5, 7 e 9), bem como os valores intermediários (2, 4, 6, 8), visto a necessidade de um julgamento mais preciso e criterioso dos critérios, e considerando que o ser humano, no seu limite psicológico, possui a capacidade de julgar corretamente  $7 \pm 2$  pontos (COSTA e BELDERRAIN, 2009).

Por conseguinte foram construídas as matrizes de comparação par a par dos critérios selecionados, sendo estas, portanto, encaminhadas para os decisores realizarem seus julgamentos, expressando a sua preferência quanto aos critérios, por meio da atribuição de valor numérico da escala fundamental de Saaty (Quadro 6). A quantidade de comparações realizadas pelos decisores teve dependência direta com o número de critérios selecionados na Seção 3.2.

A facilitadora do processo, no caso a autora desta pesquisa, teve a função de aplicar e/ou enviar o questionário com as matrizes e as explanações necessárias aos decisores dos grupos participantes da pesquisa, além de coletar todas as respostas obtidas e aplicar as resoluções necessárias para a análise dos resultados.

Os eixos (x;y) da matriz, os quais orientam a ordem de análise dos pares de critérios, foram definidos seguindo a leitura cartesiana (x-horizontal e y-vertical), conforme Figura 16, a fim de facilitar a análise dos decisores. Do mesmo modo, para facilitar a análise e otimizar o tempo de resposta, somente foi exigida a atribuição de valores para os pares de critérios do lado superior direito da matriz, como demonstrado na Figura 16, uma vez que, os valores do lado inferior esquerdo são recíprocos.

**Figura 16** – Exemplo de matriz com três critérios para comparação par a par

		Eixo X		
		Critério 1	Critério 2	Critério n
Eixo Y	Critério 1	1	(2;1)	(n;1)
	Critério 2		1	(n;2)
	Critério n			1

Fonte: Elaborada pela Autora

Após a aplicação das matrizes, utilizou-se o software Excel juntamente com o software *Expert Choice* (desenvolvido por Saaty e baseado no método AHP) para a análise dos resultados obtidos. Conforme Torres (2014), a resolução e a avaliação das matrizes pode ser feita no software Excel, porém, para problemas envolvendo muitos critérios ou alternativas são indicados softwares específicos.

A utilização de ambos os softwares deu-se com o objetivo de alcançar a validação dos dados obtidos por meio das resoluções manuais realizadas no Excel, e consequentemente atingir um maior grau de confiabilidade nas análises realizadas, uma vez que, em função do grande número de decisores envolvidos, algumas análises combinadas não puderam ser realizadas somente no *Expert Choice*, sendo necessária a utilização do Excel.

Quanto a discussão dos resultados gerados nos softwares, este pode incluir três análises, de consistência, sensibilidade e performance, conforme exposto na Seção 2.5.1.1. Contudo, visto que neste estudo não foram definidas alternativas, uma vez que, objetivou-se apenas a ponderação de critérios, foi realizada somente a análise da consistência dos julgamentos, por meio do cálculo da taxa de consistência (CR) das respostas obtidas.

Diante disto, através do uso dos softwares *Expert Choice* e Excel, obteve-se tanto as inconsistências individuais e por grupo analisado, além da combinação destes, e conseqüentemente o vetor de prioridades final dos critérios. No software *Expert Choice* os dados das matrizes, referentes às comparações pareadas, foram inseridos, gerando automaticamente as taxas de consistência (CR) e os vetores de prioridades individuais e para cada grupo.

No software Excel os dados das matrizes com os julgamentos também foram inseridos, porém, para a obtenção das taxas de consistência individuais, por grupo e global, e do vetor de prioridades final, foram necessárias algumas metodologias de cálculo, que segundo Gomes et al. (2004) podem ser efetuadas através de médias aritméticas ou geométricas das linhas da matriz. Desta forma, para o cálculo das taxas de consistências (CR) as colunas referentes aos pesos dos critérios foram somadas, em seguida, calculou-se a média geométrica de cada linha da matriz e estes dados foram normalizados (dividiu-se cada valor pela soma total). Após foram aplicadas as Equações 2 e 3 do método AHP, apresentadas na Seção 2.5.1.1 deste trabalho.

$$CI = \frac{(\gamma_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad (2)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

As CRs foram analisadas a fim de diagnosticar a confiança e coerência dos julgamentos realizados, sendo que, um exemplo de resposta consistente é dizer que se o critério A é preferível ao critério B, e B é preferível ao critério C, A também é preferível a C.

Como já visto na Seção 2.5.1.1, Saaty sugere uma CR inferior à 0,10, sendo que, para valores superiores os julgamentos são considerados inconsistentes e as comparações devem ser reavaliadas pelos decisores, no entanto, estas reavaliações nem sempre são possíveis, principalmente quando se tem diversos decisores envolvidos no processo.

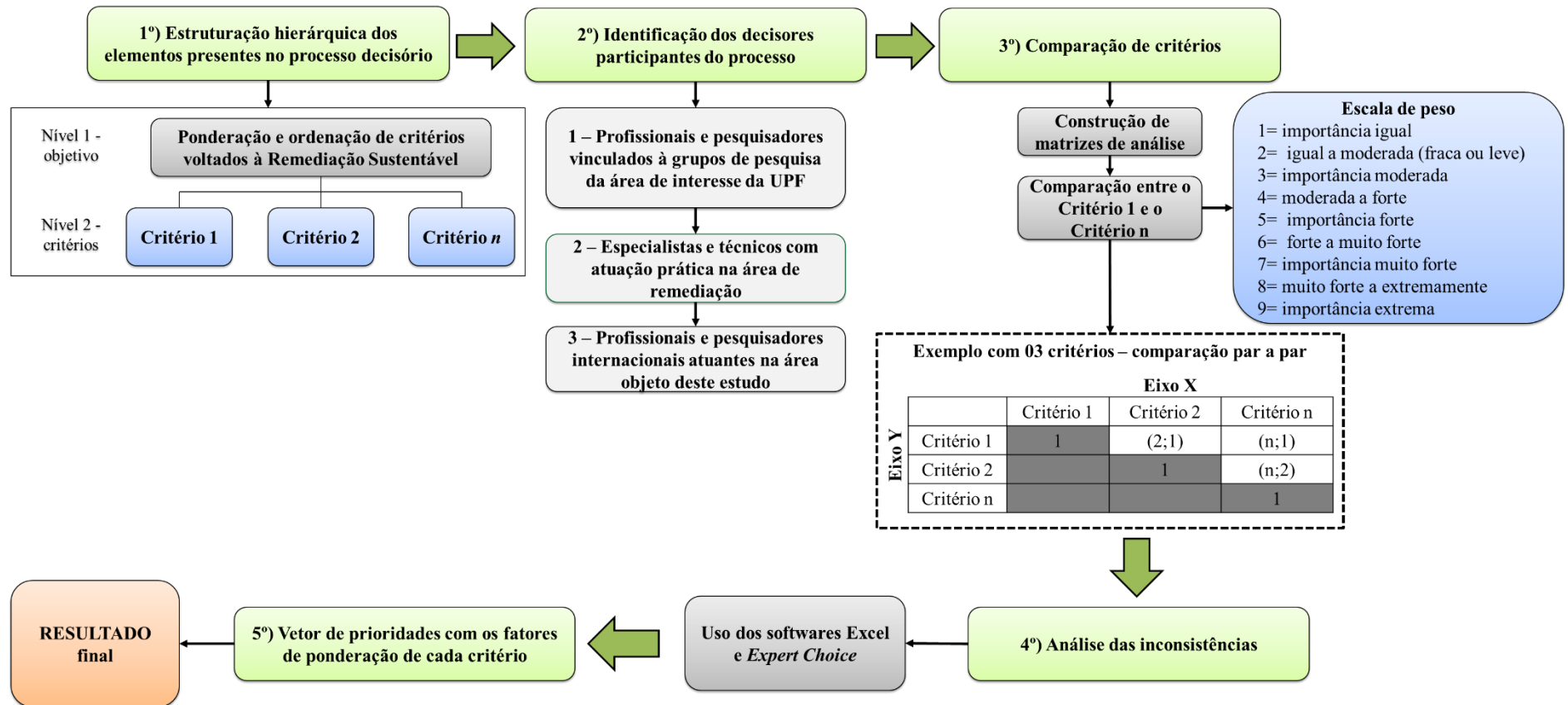
Além disto, conforme Scala et al. (2010), o limite de 0,10 é apenas uma recomendação de Saaty, e valores superiores não indicam erro no método, sendo que, o uso de uma CR de 0,20 como limite máximo ainda assegura resultados confiáveis quando os julgamentos finais

são combinados. Por estes motivos, considerou-se para este estudo uma taxa de consistência de 0,20 (20%).

E por fim, após a análise dos resultados inconsistentes, obteve-se o vetor de prioridades final dos critérios, constituído pelos fatores de ponderação resultantes dos julgamentos combinados de todos os grupos de decisores. O vetor de prioridades dos critérios representou a importância relativa de cada elemento em relação aos demais, resultando na classificação dos critérios quanto a sua ponderação obtida por meio da análise dos decisores.

A Figura 17 traz um resumo de todos os passos desta Seção para o alcance do resultado final.

**Figura 17** – Procedimentos de aplicação da metodologia AHP para a ponderação dos critérios de decisão



Fonte: Elaborada pela Autora

### **3.5 Compilação das informações e seleção do método**

Os resultados obtidos nas etapas anteriores, foram compilados e analisados, a fim de verificar a consistência destas informações quanto aos objetivos da remediação sustentável e a sua influência no processo de seleção/definição do método de melhor representatividade quanto a avaliação da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas.

Estes aspectos foram sintetizados em quadros e gráficos de análise e classificação, sendo que, foi utilizada a ponderação dos critérios para a tomada de decisão quanto a seleção do método.

Com base no número de critérios satisfeitos por cada método, os fatores de ponderação foram multiplicados pelos níveis de satisfação e posteriormente somados a fim de obter o grau de sustentabilidade de cada método. Para base de cálculo, os critérios totalmente satisfeitos (TS) foram considerados com o valor inteiro do fator de ponderação, já para os critérios parcialmente satisfeitos utilizou-se a metade do valor do fator de ponderação, e por último, para os critérios não satisfeitos considerou-se como zero o fator de ponderação.

O grau de sustentabilidade proporcionou uma medida quantitativa em relação à performance sustentável de cada método, sendo determinado pela relação entre o número de critérios satisfeitos pelos métodos e a sua ponderação obtida, e resultando na classificação e ordenamento final dos métodos quanto ao grau de sustentabilidade atingido. O método que obteve o maior grau de sustentabilidade foi selecionado para as análises posteriores.

### **3.6 Proposta de um método otimizado**

O método que obteve o maior grau de sustentabilidade foi submetido à uma análise mais criteriosa dos pontos fortes e fracos, com vista para a obtenção de um grau de sustentabilidade de 100%, o qual definiu o método ideal e que melhor representa o discurso da remediação sustentável, e se caracteriza pela abordagem de todos os critérios de decisão considerados.

Desta forma, por meio do grau de sustentabilidade foram identificados os pontos fortes e deficientes do método de maior grau de sustentabilidade. Os pontos fortes foram compilados a fim de suprir as deficiências do método, com uma proposta de abordagem de todos os critérios considerados. Portanto, com base nas premissas originais do método e nas otimizações sugeridas, definiu-se o método ideal para a avaliação da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas, e que conseqüentemente, melhor representa o discurso da remediação sustentável.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos serão apresentados na mesma ordem que as etapas da metodologia, uma vez que são diretamente decorrentes destas e contribuem para o alcance dos objetivos específicos da pesquisa.

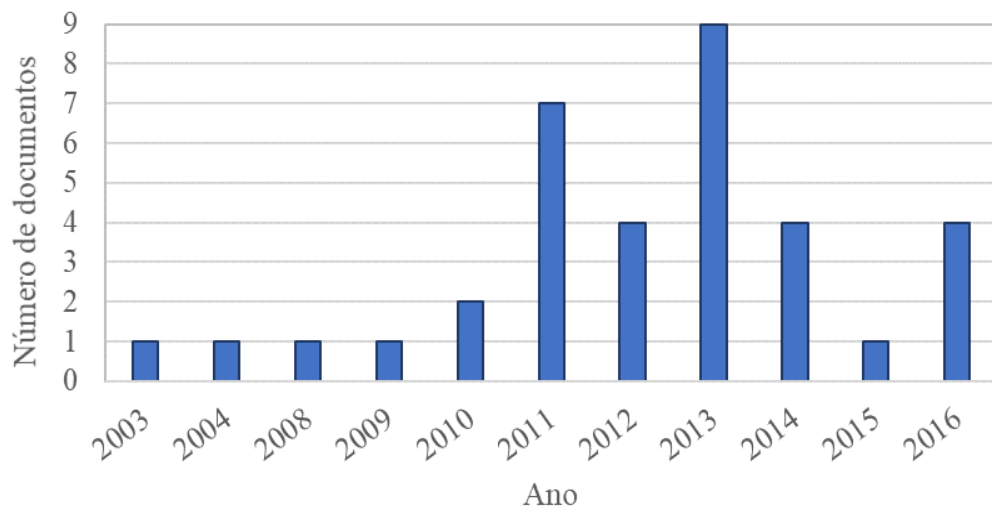
### 4.1 Identificação dos métodos voltados para a aplicação da remediação sustentável

No cenário nacional, embora existem algumas iniciativas voltadas à remediação sustentável como o SuRF-Brasil e NICOLE Brasil, a abordagem voltada às questões de sustentabilidade e às ações efetivas ainda são bastante limitadas, sendo que, não foram identificados métodos de análise da sustentabilidade aplicados na remediação de áreas contaminadas.

Já no cenário internacional, no qual as discussões sobre a remediação sustentável estão em um processo mais avançado, várias agências e organizações trabalham no desenvolvimento de *Frameworks* para a análise da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas, correspondendo aos métodos mencionados e elencados nesta seção.

O levantamento destas informações quanto a identificação e descrição dos métodos, realizado por meio de uma pesquisa sistemática, resultou em 35 documentos coletados, analisados e utilizados neste processo de revisão dos métodos, sendo que, entre estes tem-se 01 livro, 07 periódicos científicos e o restante (27) proveniente diretamente dos *sites* eletrônicos das agências ou organizações correspondentes.

Já quanto as características temporais destes documentos analisados, o recorte correspondeu a 11 anos distintos, conforme Figura 18, iniciando no ano de 2003 e estendendo-se até o ano de 2016. Os dados obtidos no ano de 2017 não entraram nesta análise, uma vez que, não correspondem à documentos específicos para extração do método, mas de informações das organizações e agências coletadas diretamente em seus *sites* eletrônicos. Desta forma, os anos com o maior número de documentos analisados e utilizados para a revisão dos métodos foram 2013 e 2011 com 09 e 07 documentos, respectivamente. Em seguida, vêm os anos 2012, 2014 e 2016 com 04 documentos cada um.

**Figura 18** – Característica temporal dos documentos analisados para a revisão dos métodos

Fonte: Elaborada pela Autora

#### 4.1.1 Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*US Environmental Protection Agency* - USEPA)

A USEPA iniciou seus esforços no desenvolvimento de um método para a incorporação de práticas ambientais na remediação de locais contaminados no ano de 2008 (REDDY; ADAMS, 2015), por meio da publicação da “Cartilha Técnica de Remediação Verde: incorporação de práticas ambientais sustentáveis na remediação de locais contaminados”, conforme “O Grupo Horinko” de trabalhos para a sustentabilidade (*The Horinko Group* - THG) (THG, 2014). Contudo, outras iniciativas também tiveram grandes contribuições no delineamento deste método, como pode ser visualizado no Quadro 9, além de que a USEPA também mantém disponível um *site* eletrônico (USEPA, 2017a) que fornece informações atualizadas sobre os últimos desenvolvimentos sobre remediação verde

Ainda em 2003, a USEPA publicou um documento que orienta o uso de uma “abordagem tripla ou tríade” para simplificar a avaliação e a remediação de *brownfields*. Esta abordagem concentra-se no gerenciamento das incertezas nas tomadas de decisão, incorporando: (1) planejamento sistemático de projetos, (2) estratégias dinâmicas de planos de trabalho, e (3) uso de tecnologias de medição em tempo real para acelerar e melhorar o processo de remediação. De forma geral, esta abordagem leva em consideração o histórico da contaminação do local, os resultados em tempo real dos métodos analíticos aplicados a campo, e a opinião de todos os envolvidos no processo de remediação (USEPA, 2003).

**Quadro 9 - Linha do tempo das iniciativas da USEPA**

<b>Linha do tempo</b>	
1980	Início do programa <i>Superfund</i> <sup>1</sup>
2008	Publicação da “Cartilha técnica de remediação verde: Incorporação de práticas ambientais sustentáveis na remediação de locais contaminados”
	Criação do grupo de trabalho padrão de limpeza mais verde
	Primeira publicação de melhores práticas de gestão ( <i>Best Management Practices - BMPs</i> ) na remediação verde
2009	Publicação dos “Princípios da limpeza mais verde”
2010	Publicação da “Estratégia <i>Superfund</i> de remediação verde”
2012	Desenvolvimento de uma “Metodologia para entender e reduzir a pegada ambiental de um projeto”

1 – Programa responsável pela despoluição de algumas das áreas mais contaminadas dos EUA, além de responder à emergências ambientais, derramamentos de óleo e desastres naturais locais e nacionais significativos (USEPA, 2017b).

Fonte: Adaptado de THG (2014) (Tradução da Autora)

Com ênfase na remediação verde, a USEPA (2008) a define como sendo a prática de considerar todos os efeitos ambientais da implementação de alternativas de remediação, incorporando opções para minimizar as pegadas ambientais das ações de limpeza. Além disto, é centrada no uso de práticas ambientalmente conscientes durante todo o processo de remediação, com base normalmente em BMPs para reduzir o impacto ambiental de uma ação corretiva (USEPA, 2008).

O método desenvolvido pela USEPA (Figura 19) enfatiza os conceitos e técnicas da remediação verde, com destaque apenas aos aspectos ambientais, sem consideração explícita de aspectos sociais e econômicos (REDDY; ADAMS, 2015). Neste sentido, esta abordagem inclui os cinco elementos principais da remediação verde para a avaliação das alternativas de remediação (Quadro 10), com destaque para os impactos gerados pela poluição atmosférica, emissões dos gases de efeito estufa (GEE), consumo de água e danos ecológicos. Além de incluir programas de limpeza que usam recursos naturais e reduzem o consumo de energia e a geração de resíduo, os quais contribuem para a mudança climática (USEPA, 2008).

A cada um dos elementos centrais da remediação verde, elencados no Quadro 10, aplicam-se métricas de remediação verde, as quais incentivam comportamentos ambientalmente amigáveis e enfatizam parâmetros que a equipe de um projeto de remediação provavelmente terão a capacidade de mudar. Estas métricas consideram os materiais utilizados no local, o conteúdo reciclado desses materiais, e os resíduos gerados no local, que posteriormente poderão ser reutilizados ou reciclados (USEPA, 2012b).

**Quadro 10** – Cinco elementos centrais considerados pelo Método USEPA na avaliação da sustentabilidade em projetos de remediação

<b>Elementos</b>	<b>Avaliação da alternativa de remediação</b>
<p><b>Energia:</b> Minimização do consumo total de energia com a maximização do uso de energia renovável</p>	As alternativas de remediação são avaliadas pelo uso de equipamentos eficientes do ponto de vista energético, com capacidade de maximizar a utilização de energias renováveis e minimizar o consumo total de energia.
<p><b>Ar e Atmosfera:</b> Minimização dos poluentes atmosféricos e emissões dos GEE</p>	As alternativas de remediação são avaliadas pelo uso de técnicas que minimizam a geração e transporte de partícula e poeira, e o uso de equipamentos com baixo consumo de combustível, que utilizam combustíveis limpos e que possuem dispositivos que controlam as emissões atmosféricas totais em todas as fases do projeto.
<p><b>Água:</b> Minimização do uso da água e os impactos sobre o recurso hídrico</p>	Alternativas de remediação que incluem a conservação da água utilizada em processos de campo e da qualidade da água em recursos hídricos próximos; o uso de produtos eficientes em termos de água; a captura e recuperação de água para reciclagem e/ou reutilização durante as operações diárias; o uso de vegetação tolerante à seca, e eficientes práticas de manejo para águas pluviais, a erosão e o controle de sedimentação.
<p><b>Materiais e Resíduos:</b> Redução, reutilização e reciclagem de materiais e resíduos</p>	Ênfase em alternativas de remediação que utilizam materiais rapidamente renováveis e que minimizem a geração de resíduos e a utilização de materiais virgens, através do uso de materiais reciclados gerados no local ou reutilização de materiais residuais, desviando os detritos gerados da eliminação.
<p><b>Terra e Ecossistemas:</b> Proteção dos solos e dos ecossistemas</p>	Uso de alternativas de remediação passivas e não invasivas, as quais minimizam a pegada da atividade de remediação; limitam as perturbações sobre a vegetação nativa, solos (compactação) e habitats (resgate e realocação de animais selvagens sensíveis ou ameaçados) no local de limpeza; e reutilizam a vegetação saudável dentro ou fora do local. Nesta abordagem destacam-se as tecnologias que administram a remediação a longo prazo, não apenas com foco na redução imediata do contaminante, como exemplo têm-se as técnicas <i>in situ</i> de atenuação natural, biorremediação, fitorremediação, evapotranspiração e barreiras reativas permeáveis.

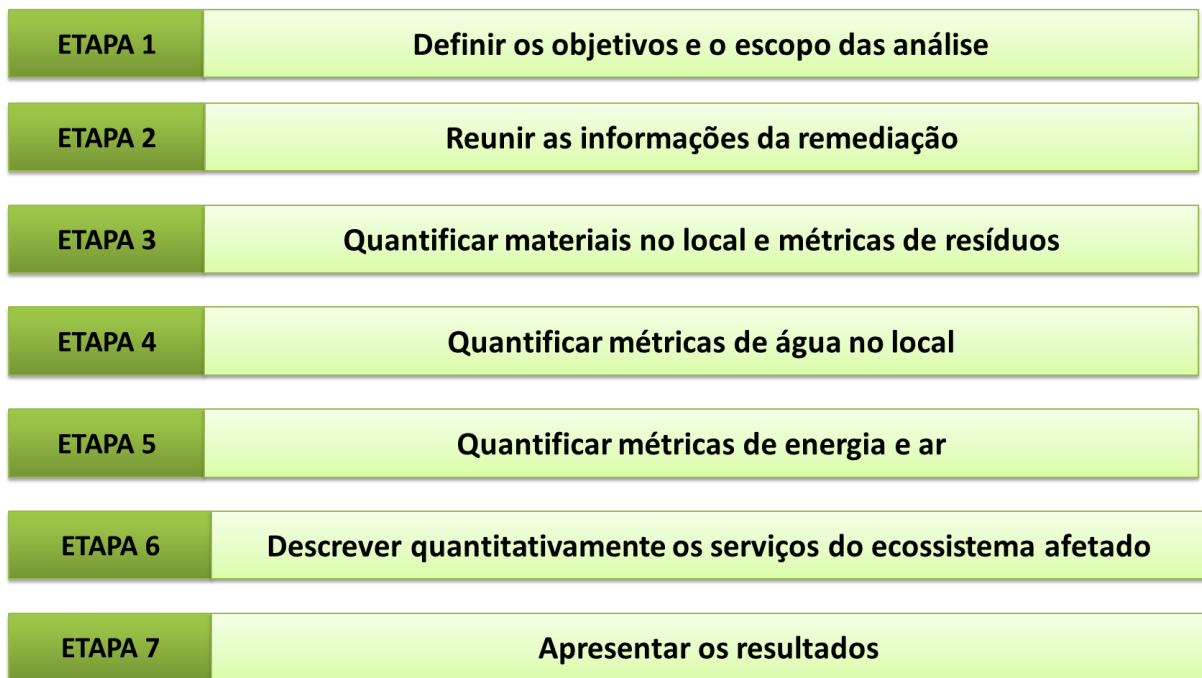
Fonte: USEPA (2008 e 2011); REDDY e ADAMS (2015)

Elaborado pela Autora

Com ênfase nos efeitos ambientais, o método, apresentado na Figura 19, objetiva avaliar e selecionar alternativas e opções de remediação que maximizam a pegada ambiental de um projeto, ou seja, o benefício ambiental líquido durante todas as fases do projeto de remediação, desde a caracterização do local, implementação e operação do sistema de remediação até o monitoramento pós-remediação (USEPA, 2008). Neste sentido, os projetos de revitalização

devem dar preferência principalmente a: produtos com conteúdo reciclado; combustíveis alternativos e veículos híbridos; substâncias que não destroem a camada de ozônio; energia renovável; equipamentos que maximizam a eficiência energética; e, todos os serviços que incluem o fornecimento ou a utilização destes produtos (USEPA, 2008).

**Figura 19 - Método USEPA**



Fonte: USEPA (2012b) (Tradução da Autora)

Conforme ilustrado na Figura 19, o método da USEPA é um processo de sete passos, que começa com a definição das metas e o escopo da análise, com a sequência da coleta e organização das informações sobre a remediação a ser considerada, sendo estas em geral publicamente disponíveis. Esta informação é usada para quantificar os materiais no local e as métricas de resíduos e de água, sendo que, as informações de materiais, resíduos e água, além de outras informações da remediação, são usadas para quantificar as métricas de energia e de ar (USEPA, 2012b).

Depois que as métricas foram calculadas, os serviços do ecossistema que são afetados durante a implementação da remediação são descritos de forma qualitativa, finalizando o processo com a apresentação dos resultados, os quais ainda poderão ser analisados para identificar grandes contribuintes para as métricas, e avaliar as oportunidades de redução da pegada ambiental (USEPA, 2012b).

#### **4.1.2 Sociedade Americana para Testes e Materiais (*American Society for Testing and Materials* - ASTM)**

A ASTM, criada em 1898, representa uma das maiores organizações de desenvolvimento de normas técnicas do mundo. Além de normas técnicas, publica também especificações, métodos de teste, periódicos, livros eletrônicos, manuais e documentos de conferências. A ASTM corresponde a um setor privado, independente e sem fins lucrativos, sendo financiado em sua totalidade pelas vendas das publicações (ASTM, 2017).

A ASTM, no ano de 2013 publicou dois guias padrão voltados para a remediação sustentável de áreas contaminadas. O guia ASTM E2893, focado especialmente em remediação verde (ASTM, 2013a), e o guia ASTM E2876, desenvolvido para a integração de objetivos sustentáveis neste contexto (ASTM, 2013b).

O padrão E2893 fornece uma lista abrangente de melhores práticas de gestão (BMPs) para a remediação verde, com a descrição de um processo de avaliação destas BMPs, o emprego de uma avaliação quantitativa quando apropriado, documentando e relatando o desempenho relacionado à sustentabilidade. Tanto o processo de avaliação do BMP, quanto a avaliação quantitativa, ou uma combinação das duas, podem ser implementadas ao longo de todo o ciclo do projeto de remediação ou em uma ou mais fases do projeto (ASTM, 2013a).

Enquanto que a avaliação de BMPs inclui as etapas para identificar, avaliar, priorizar, selecionar e incorporar as BMPs apropriadas, a avaliação quantitativa descreve um processo de avaliação mais detalhado, que pode incluir uma análise de pegada ambiental ou avaliação do ciclo de vida (ACV), a qual facilite uma redução global do impacto ambiental associada aos projetos de remediação. Além disto, enquanto que o processo de avaliação de uma BMP depende do julgamento profissional para priorizar e selecionar atividades que provavelmente reduzirão a pegada ambiental, a avaliação quantitativa baseia-se em limites de sistemas adequadamente selecionados, além de dados estimados para quantificar as reduções antecipadas da pegada ambiental antes da implementação das BMPs (ASTM, 2013a).

Contudo, uma avaliação quantitativa também pode ser realizada para ajudar na seleção de BMPs apropriadas, sendo que, esta avaliação calcula o componente ambiental em cada fase do projeto de remediação e constitui sete etapas principais, conforme Quadro 11, semelhante às avaliações do tipo ACV. As BMPs aplicáveis a um projeto específico devem ser organizadas e priorizadas para otimizar a seleção e implementação de tecnologias de remediação apropriadas, com a devida consideração dos custos e benefícios associados, e considerando os cinco elementos principais da remediação verde elencados pela USEPA. Estas BMPs estão

organizadas em algumas categorias principais, conforme Quadro 11, porém, BMPs adicionais, se julgados necessárias, também podem ser identificadas e implementadas, nas condições do local, para reduzir ainda mais a pegada ambiental do projeto (ASTM, 2013a).

**Quadro 11** – Avaliação quantitativa e BMPs consideradas pela ASTM em projetos de remediação

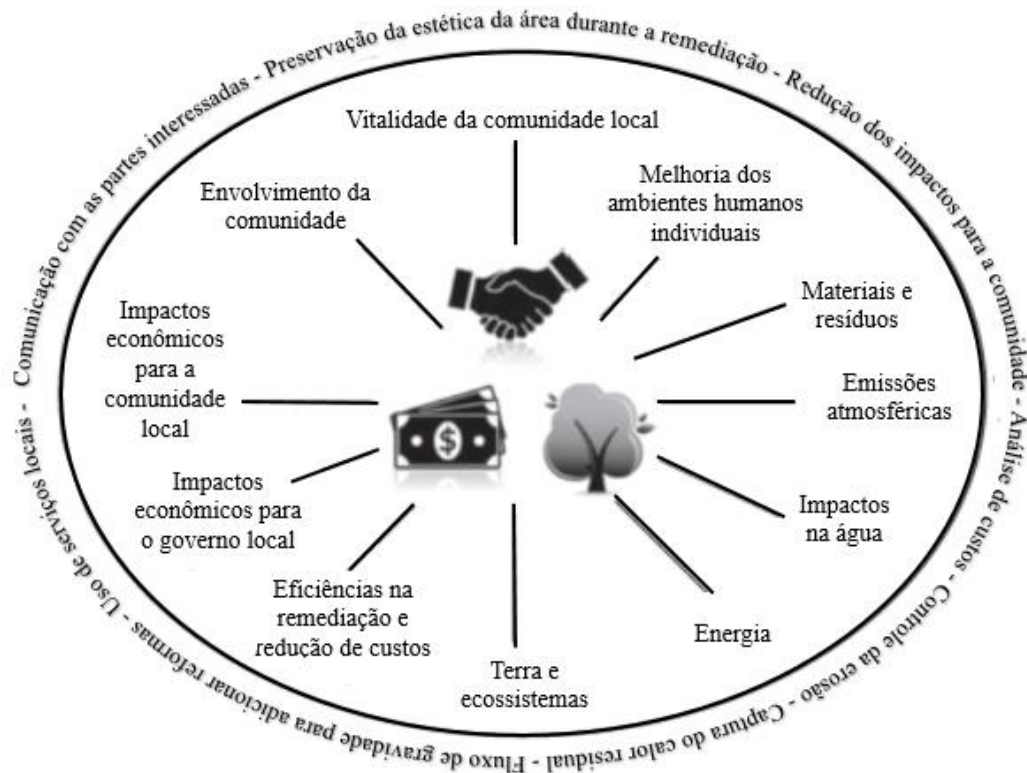
<b>Etapas da avaliação quantitativa</b>	<b>Categorias de BMPs</b>
<p>Etapa 1</p> <p><i>Definição da meta e do escopo:</i> Identificação do escopo da avaliação e dos parâmetros desejados a serem tratados.</p>	<p>Construção</p> <p>Materiais</p>
<p>Etapa 2</p> <p><i>Definição de limites:</i> Estabelecimento dos limites físicos e temporários a serem incorporados ao estudo, incluindo atividades específicas a serem avaliadas.</p>	<p>Energia e combustível</p> <p>Planejamento do projeto e gerenciamento da equipe</p>
<p>Etapa 3</p> <p><i>Elementos centrais e contribuintes para estes elementos:</i> Identificação dos elementos centrais que serão avaliados no estudo, bem como os principais contribuintes a serem avaliados.</p>	<p>Resíduos sólidos e líquidos</p> <p>Amostragem e Análise</p>
<p>Etapa 4</p> <p><i>Coleta e organização de informações:</i> Desenvolvimento de um sistema regular no qual os dados e informações pertinentes serão recolhidos e organizados de modo a poderem ser adequadamente avaliados.</p>	<p>Preparação e Restauração do terreno</p> <p>Água superficial e pluvial</p>
<p>Etapa 5</p> <p><i>Cálculos para avaliação quantitativa:</i> Seleção de um mecanismo de cálculo apropriado, como uma análise de pegada ambiental ou ACV, para avaliação de dados.</p>	<p>Veículos e equipamentos</p>
<p>Etapa 6</p> <p><i>Análises de sensibilidade e de incertezas:</i> Análises apropriadas de sensibilidade e incertezas para o cálculo e avaliação.</p>	
<p>Etapa 7</p> <p><i>Documentação:</i> Registro das decisões e conclusões adequadas para que as recomendações apropriadas possam ser feitas para o projeto de remediação, de forma que o benefício ambiental global seja otimizado. Estes resultados podem então ser utilizados para selecionar as BMPs apropriadas para o projeto.</p>	

Fonte: ASTM (2013a)  
Elaborado pela Autora

Já no que tange aos processos de documentação, existem dois passos distintos: o primeiro consiste em documentar o processo para cada fase da remediação; e o segundo em relatar a documentação ao público, juntamente com um resumo técnico e uma declaração afirmando que o usuário seguiu o processo descrito no guia (ASTM, 2013a).

Neste contexto de aspectos somente ambientais, viu-se a necessidade de abordagens para dimensões sustentáveis, como aquelas relacionadas a preocupações sociais e econômicas. Desta forma, foi desenvolvido a norma ASTM E2876, que fornece um método para implementar BMPs que incorporam os três aspectos da sustentabilidade (ambiental, econômica e social) em projetos de remediação, os quais são projetados para abordar os riscos à saúde humana, à segurança pública e ao meio ambiente. O método elencado na Figura 20 traz a relação entre os aspectos sustentáveis (centro), elementos fundamentais (raios) e alguns exemplos de BMPs (margem externa do círculo) (ASTM, 2013b).

**Figura 20 – Método ASTM**



Fonte: ASTM (2013b) (Tradução da Autora)

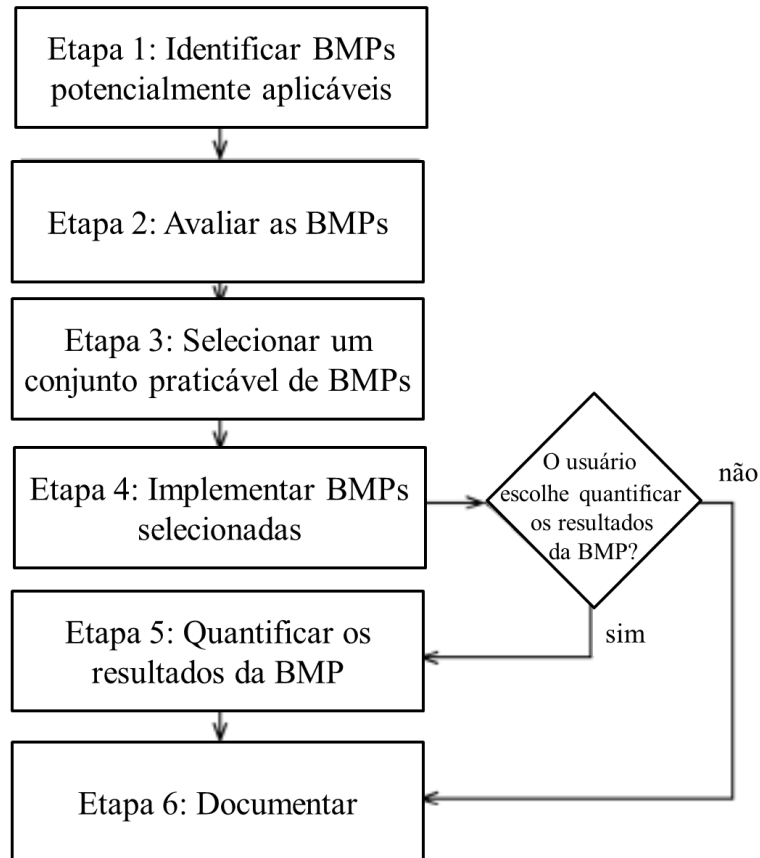
O objetivo principal do método é fornecer uma estrutura em escala, com uma visão abrangente e consistente para ajudar o usuário, sozinho ou por meio da contratação de um profissional da área ambiental, ou uma equipe de trabalho, a medir, identificar e incorporar as BMPs durante o processo de avaliação e remediação das áreas contaminadas. A fase da remediação em que ocorre esta aplicação também é sob responsabilidade do usuário (ASTM, 2013b).

Portanto, o usuário exerce papel fundamental no processo de seleção e implementação de BMPs, uma vez que, é o usuário que considera a informação coletada no planejamento e no



escopo para determinar as atividades que serão realizadas ao selecionar e implementar as BMPs. Para tal implementação, seis passos devem ser seguidos, conforme representado na Figura 21 (ASTM, 2013b).

**Figura 21** – Processo de seleção e implementação de BMPs no método ASTM



Fonte: ASTM (2013b) (Tradução da Autora)

Ainda, conforme o guia ASTM E2876 (ASTM, 2013b), as BMPs devem ser selecionadas nas dimensões ambiental, social e econômica, para proporcionar o maior benefício líquido sustentável associado ao projeto de remediação proposto, sendo que, para tanto, na medida do possível, as BMPs devem ser quantificadas em termos de impactos e benefícios associados.

As BMPs ambientais se alinham com os elementos centrais da remediação verde. As BMPs sociais relacionadas enfocam no envolvimento da comunidade, sendo este, dependente da complexidade e tamanho do local, e no grau em que os interesses da comunidade são afetados pela área impactada e o projeto de remediação proposto. Contudo, o envolvimento desta grande gama de partes interessadas nas discussões e nos processos de tomada de decisão, deve objetivar principalmente a busca das metas comuns entre os proponentes do projeto e da comunidade

como um todo, e direcioná-las para resultados que reflitam os interesses de cada grupo constituinte (ASTM, 2013b).

Já em relação as BMPs na dimensão econômica, a ênfase deve ser a maximização dos impactos econômicos positivos para a comunidade local, por meio principalmente de investimentos locais diretos, como por exemplo, optar em utilizar fornecedores locais de materiais para o projeto de remediação, o que pode beneficiar diversos setores, inclusive o social (ASTM, 2013b).

#### **4.1.3 Conselho Interestadual de Tecnologia e Regulação (*Interstate Technology and Regulatory Council - ITRC*)**

O ITRC é um programa estabelecido pelo estatuto do Instituto de Pesquisa Ambiental dos Estados (*Environmental Research Institute of the States - ERIS*), e uma organização incorporada no Distrito de Columbia nos Estados Unidos e administrada pelo Conselho Ambiental dos Estados (*Environmental Council of the States - ECOS*). O ECOS é responsável por fornecer as informações para as comissões estaduais do meio ambiente, promover a coordenação na gestão ambiental, e articular posições do estado sobre questões ambientais às agências federais e ao público (ITRC, 2017).

O ITRC consiste em uma coalizão público-privada, composta por profissionais da área ambiental, incluindo reguladores estaduais e federais, representantes de agências federais, especialistas da indústria, partes interessadas da comunidade, e comunidade acadêmica, incluindo membros de todos os 50 estados e do Distrito de Columbia, fornecendo uma perspectiva nacional. As equipes do ITRC desenvolvem documentos de orientação e cursos de treinamento, que ampliam e aprofundam os conhecimentos técnicos e agilizam as tomadas de decisões, ao mesmo tempo em que protegem a saúde humana e o meio ambiente (ITRC, 2017).

O objetivo principal da equipe ITRC é reduzir as barreiras ao uso de tecnologias ambientais inovadoras, reduzindo custos de conformidade e maximizando a eficácia de limpeza. Desde 1995, o ITRC publicou centenas de documentos e chegou a dezenas de milhares de participantes por meio da publicação destes produtos e dos cursos de formação sobre diversos tópicos, com destaque para as abordagens da remediação verde e sustentável (*Green and Sustainable Remediation – GSR*) (ITRC, 2017).

Neste contexto, no ano de 2011, publicou seus principais documentos abordando a GSR. O primeiro consistiu em um documento de visão geral sobre a GSR (ITRC, 2011a), e o segundo

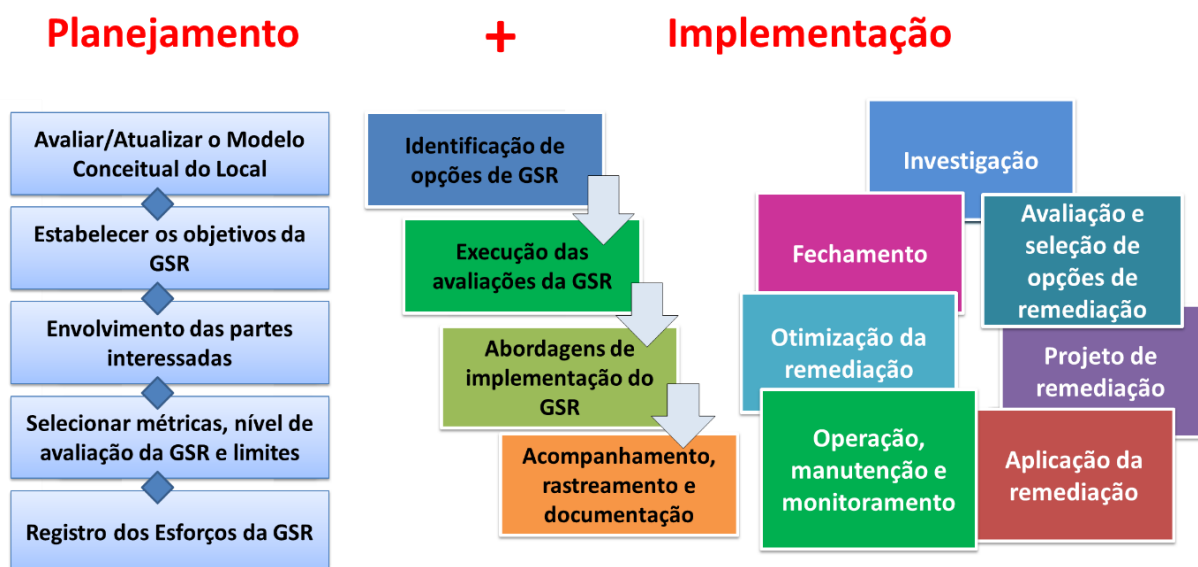
um documento de orientação técnica para os usuários interessados na aplicação de abordagens da GSR (ITRC, 2011b).

Em relação ao conceito de GSR, o ITRC assume uma abordagem integrada, definindo-a como sendo uma estratégia escalonada para avaliar e implementar elementos verdes e sustentáveis além dos tradicionais fatores de tomada de decisão. Escalonada em função de que pode ser aplicada em qualquer ponto ou em vários pontos no processo de limpeza, permitindo ao usuário identificar, avaliar, equilibrar e quantificar aspectos ambientais, econômicos e sociais, maximizando-os a curto e longo prazo, com contínua proteção à saúde humana e o meio ambiente (ITRC, 2011a).

Os princípios da GSR levam em consideração uma série de questões ambientais e impactos locais, visando maximizar as considerações ambientais, sociais e econômicas conforme apropriado, e tentando unir os conceitos da remediação verde com os conceitos da remediação sustentável. É considerado fundamental a proteção da saúde humana e do meio ambiente, bem como o cumprimento das regulamentações federais, estaduais e locais (ITRC, 2011a).

Neste sentido, em novembro de 2011 foi publicado um método prático para a incorporação da GSR em projetos de remediação, o qual inclui, em primeiro lugar, o processo de planejamento, seguido da implementação dos princípios e práticas de GSR em todas as fases do processo de remediação, conforme ilustrado na Figura 22 (ITRC, 2011b).

**Figura 22 – Método ITRC**



Fonte: ITRC (2011b) (Tradução da Autora)

O processo de planejamento constitui cinco passos, que podem ser executados em diferentes graus durante cada fase do projeto. Estes passos são flexíveis e não precisam necessariamente serem realizados de uma forma linear, sendo que, a ordem pode ser alterada, em função por exemplo, da entrada de partes interessadas, mudanças nas condições do local, entre outros fatores (ITRC, 2011b).

O primeiro passo que consiste no modelo conceitual do local (*Conceptual Site Model - CSM*), sintetiza o que já é conhecido sobre o local e que é pertinente para a tomada de decisão quanto ao projeto e seleção da remediação, sendo que, quando novas informações e dados válidos se tornam disponíveis, o CSM deve ser avaliado e atualizado de acordo. Além disto, o CSM indica potenciais oportunidades onde a GSR pode ser considerada e possivelmente implementada, e fornece, por exemplo, uma descrição de como os contaminantes liberados em um local interagem com o ambiente e com potenciais receptores humanos e ecológicos (ITRC, 2011b).

O estabelecimento de metas de GSR pode ser influenciado por uma série de fatores, contudo, deve ocorrer logo no início, durante o processo de planejamento. Os exemplos mais comuns de objetivos de GSR consistem em: projetar uma abordagem de baixa energia para a remediação; incorporar considerações sociais e econômicas no processo de seleção da remediação; reduzir os resíduos derivados; reduzir o consumo de energia em 20% durante a otimização da remediação; e assegurar a contínua proteção à saúde humana e o meio ambiente (ITRC, 2011b).

O terceiro passo do método se inicia com a identificação com vista para o envolvimento e participação das partes interessadas. As partes interessadas podem incluir reguladores federais e estaduais, governo local, proprietário do local, moradores locais afetados, comunidade em geral, e responsáveis pela remediação do local. Depois que todas as partes interessadas foram identificadas, é preciso verificar o papel de cada grupo participante no projeto de remediação, o impacto de cada grupo sobre as tomadas de decisão, o momento do envolvimento das partes, como serão contratadas e como as informações sobre a implementação da GSR serão divulgadas (ITRC, 2011b).

As métricas, que podem ser objetivas ou subjetivas, são usadas para fornecer uma base para a avaliação das ações sob consideração, ou aquelas implementadas durante qualquer fase da remediação do local, desde a investigação até a conclusão do projeto, podendo abordar os aspectos ambientais, sociais e econômicos de um projeto e ajudar a move-lo de uma remediação meramente verde para sustentável (ITRC, 2011b).

Já quanto aos níveis de avaliação, o ITRC desenvolveu uma abordagem de três níveis para a realização de avaliações de GSR. O Nível 1 consiste apenas em adotar BMPs para promover a conservação de recursos e eficiência do processo. O Nível 2 aborda a combinação, seleção e aplicação de BMPs juntamente com uma avaliação simples, qualitativa e/ou semiquantitativa. O Nível 3 também aborda a combinação, seleção e aplicação de BMPs, mas com uma avaliação quantitativa rigorosa, baseada na ACV ou análise de pegada ambiental (ITRC, 2011b).

A quinta e última etapa do planejamento consiste na documentação dos esforços da GSR, a qual fornece as informações e as orientações sobre os resultados da avaliação da GSR, os progressos dos trabalhos, e o alcance dos objetivos propostos, sendo que, caso as metas não estão sendo alcançadas, as partes interessadas podem repetir as avaliações, reconsiderar outros itens de ação, e/ou revisar os objetivos (ITRC, 2011b).

Já no processo de implementação da GSR, o método recomenda que os usuários devem abraçar o processo de planejamento e incorporar em cada fase da remediação, em especial considerando a comunidade e as partes interessadas. Portanto, para implementar a GSR em todas as fases da remediação, desde a investigação até o fechamento do local, algumas considerações devem ser abordadas e realizadas em cada fase, tais como: identificar as opções de GSR disponíveis no contexto dos níveis de avaliação da GSR; avaliação da GSR; implementação da GSR; rastreamento e documentação das atividades de GSR, como visualizado na Figura 22 (ITRC, 2011b).

#### **4.1.4 Fóruns de Remediação Sustentável (*Sustainable Remediation Forums* – SuRFs)**

Os vários grupos associados ao SuRF foram identificados e apresentados na Seção 2.4.1 da revisão, no entanto, somente alguns trouxeram resultados quanto ao desenvolvimento de métodos de remediação sustentável, e portanto, apresentados aqui, tais como: SuRF-US (Estados Unidos), SuRF-UK (Reino Unido), SuRF-ANZ (Austrália e Nova Zelândia) e SuRF-Taiwan.

##### **4.1.4.1 SuRF-US**

O “método para a integração da sustentabilidade em projetos de remediação”, publicado em 2011 pelo SuRF-US, objetivou principalmente proporcionar uma abordagem holística sistemática, baseada em processos, para a consideração, aplicação e documentação de

parâmetros de sustentabilidade a serem integrados e equilibrados ao longo do ciclo de vida do projeto de remediação (HOLLAND et al., 2011).

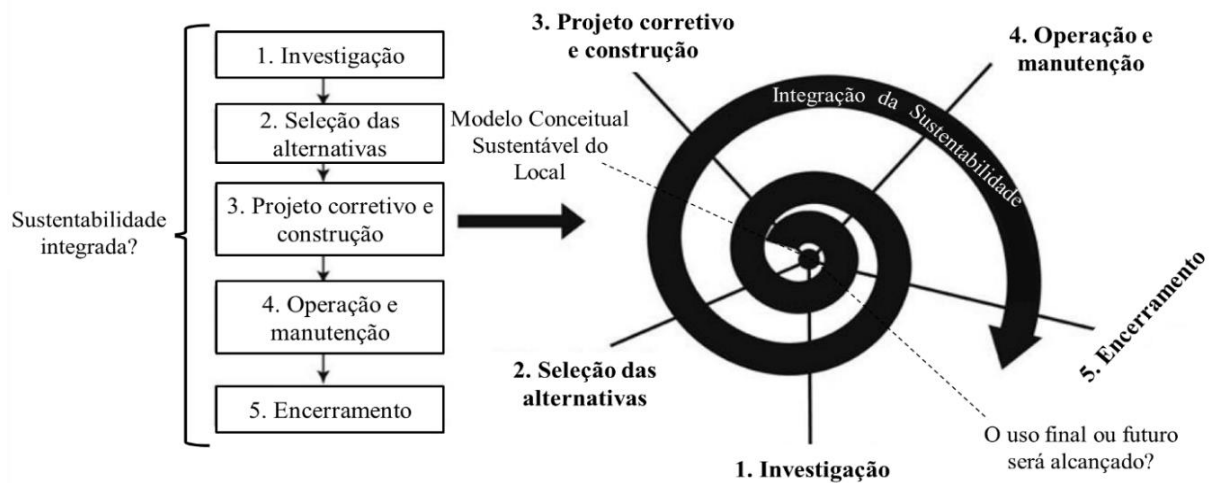
Conforme Holland et al. (2011), o método destina-se a auxiliar para que as considerações ambientais, sociais e econômicas sejam equilibradas e otimizadas no que diz respeito ao escopo de um projeto de remediação. Também enfatiza que as metas de remediação e a sustentabilidade devem ser simultaneamente asseguradas e alcançados, não comprometendo a proteção da saúde humana e do ambiente a longo prazo e a obtenção de uma aceitação pública e regulamentar.

O método foi concebido para ser acessível e útil para todas as partes interessadas que podem ser afetadas pelo projeto de remediação, e também para ser aplicável nas diferentes fases de um projeto de remediação, e em diferentes programas regulatórios. Além disto, o método incentiva e estimula a comunicação entre os profissionais envolvidos na correção, ajudando-os a atingir os objetivos regulatórios e maximizar a integração dos parâmetros de sustentabilidade em todas as fases do processo de remediação, desde o início do projeto, até o uso final ou futuro da área, em especial (HOLLAND et al., 2011).

Neste sentido, Holland et al. (2011) destaca que o método foi projetado para incluir todas as fases de um projeto de remediação, desde a investigação e caracterização do local, seleção das alternativas de remediação, projeto e construção do sistema de remediação, operação e manutenção, até o encerramento, em uma abordagem fase-a-fase. Desta forma, estas fases estão interligadas e hierarquizadas no processo de tomada de decisão, ou seja, uma determinada fase do projeto precisa ser concluída para que a próxima possa ser realizada, por exemplo, a seleção das alternativas de remediação só pode ser iniciada após a conclusão da fase de investigação.

De forma geral, o método proposto pelo SuRF-US (Figura 23), proporciona uma abordagem em quatro processos principais: (1) realizar uma avaliação escalonada da sustentabilidade, em três camadas/níveis, permitindo avaliações qualitativas, semiquantitativas e quantitativas nas diferentes fases do projeto de remediação, conforme explicitado no Quadro 12, (2) atualizar o modelo conceitual do local (CSM) com base nos resultados da avaliação de sustentabilidade, como pode ser visualizado na Figura 24, (3) identificar e implementar medidas de impacto de sustentabilidade, por meio de uma ação corretiva baseada no risco (*Risk-Based Corrective Action* - RBCA), o qual consiste em um processo que permite tomar decisões com base nos riscos para a saúde humana e o meio ambiente e (4) equilibrar a sustentabilidade e outras considerações durante o processo de tomada de decisão quanto a remediação (HOLLAND et al., 2011).

**Figura 23 - Método SuRF-US**



Fonte: Adaptada de HOLLAND et al. (2011) (Tradução da Autora)

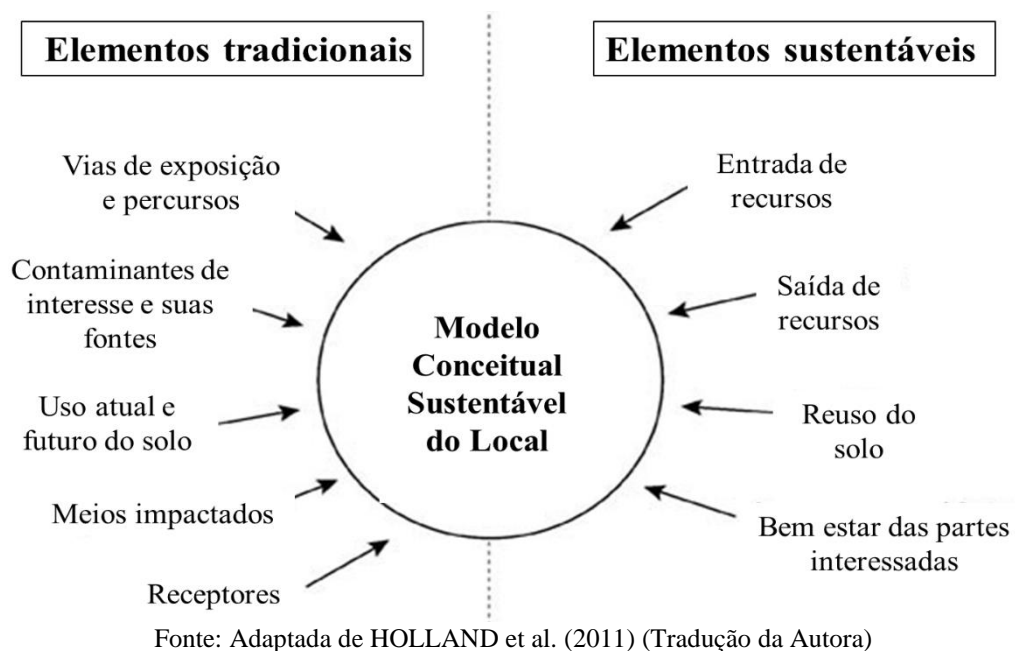
**Quadro 12 - Avaliação escalonada da sustentabilidade integrada no método SuRF-US**

<b>Níveis/ Camadas</b>	<b>Tipo de análise</b>	<b>Aplicabilidade</b>	<b>Abordagens disponíveis</b>
Nível 1	<i>Avaliação qualitativa</i> - Baseada nos elementos de sustentabilidade - Participação das partes interessadas	<i>Locais de menor escala</i> com restrições de tempo, orçamento e recursos, e que demonstram baixo risco ou reduzida complexidade.	- Matrizes para BMPs - Diretrizes da indústria - Resultados e experiências de projetos passados - Sistema de classificação
Nível 2	<i>Análise Semiquantitativa</i> - Informação específicas do local - Complementa os resultados de avaliação do Nível 1	<i>Locais moderadamente complexos</i> ou que exigem maior consideração e envolvimento das partes interessadas	- Sistemas de pontuação e ponderação - Caracterização específica do local - Projeções de risco - Simulações de exposição - Análise simples de custo-benefício
Nível 3	<i>Análise quantitativa</i> - Enfoque mais abrangente e detalhado de práticas, processos e tecnologias para a sustentabilidade específicas do local	<i>Locais significativamente complexos</i> , com projetos em grande escala e de longo prazo. Podem exigir um envolvimento maior de partes interessadas, e uma grande disponibilidade de dados específicos.	- ACV - Análise custo-benefício detalhada - Avaliação de fronteiras espaciais e temporais - Contabilidade social e auditoria - Modelos de benefícios líquidos

Fonte: Adaptado de HOLLAND et al. (2011) (Tradução da Autora)

Conforme HOLLAND et al. (2011) é recomendado que no mínimo seja realizada uma avaliação de Nível 1 para qualquer projeto na sua fase inicial, sendo que, em seguida, os profissionais podem mudar para uma camada mais detalhada dentro de uma fase específica do projeto com o progresso do projeto, ou, até mesmo retornar para um nível de avaliação anterior. Portanto, o método oferece flexibilidade para se adaptar a qualquer projeto, e diferentes combinações de camadas podem ser usadas para várias etapas de um projeto de remediação, permitindo a incorporação e a avaliação do grau de sustentabilidade.

**Figura 24** - Plataforma do modelo conceitual sustentável voltado ao método SuRF-US



Os elementos tradicionais e os elementos sustentáveis são complementares e formam o Modelo Conceitual Sustentável do Local (*Sustainable Conceptual Site Model – CSM Sustainable*). Esta ferramenta pode ser utilizada durante a tomada de decisão para abordar diferentes questões, como por exemplo: (1) o local está adequadamente caracterizado? (2) qual é a concentração e a massa total de contaminação presente no local? (3) as águas subterrâneas tratadas ou não tratadas podem ser utilizadas benéficamente no local? (4) o encerramento é possível com base na abordagem de remediação implementada no local? (5) Como o alcance do objetivo de remediação mudará o risco no local? (HOLLAND et al., 2011).

Visto isto, o método proposto pelo SuRF-US é composto por três principais abordagens para a integração da sustentabilidade em projetos de remediação, conforme Figura 24: (1) a integração fase-a-fase da sustentabilidade no ciclo de vida do projeto de remediação, (2) a



inserção do planejamento do uso final ou futuro da área no ciclo de vida do projeto de remediação, e (3) a incorporação da melhoria contínua do CSM.

De acordo com HOLLAND et al. (2011), o grande destaque do método elaborado é o reconhecimento da participação das partes interessadas, uma vez que, este permite que os profissionais de remediação consideram e equilibram diferentes pontos de vista na tomada de decisão, tanto ao longo de todo o ciclo de vida do projeto de remediação quanto para a reutilização do local.

#### **4.1.4.2 SuRF-UK**

O SuRF-UK trabalhou no sentido de desenvolver um método para integrar uma tomada de decisão equilibrada na seleção das estratégias de remediação, além de desenvolver os indicadores de remediação e demonstrar a aplicação deste método através de uma série de exemplos, logo, este trabalho foi realizado através de uma abordagem em fases (CL:AIRE, 2017).

Na primeira fase ocorreu a elaboração do método em específico, para abordar a contaminação de áreas como parte integrante do desenvolvimento sustentável, sendo concluída no ano de 2010, com a publicação do documento "método para a avaliação da sustentabilidade na remediação de solos e águas subterrâneas" (SuRF-UK, 2010). Na segunda fase, finalizada em 2011 com a publicação do "Anexo 1: conjunto de indicadores SuRF-UK para avaliação da remediação sustentável" (SuRF-UK, 2011), foi realizada a avaliação da implementação prática do método a fim de fornecer aos interessados uma lista de indicadores para permitir avaliações claras e eficazes de remediação sustentável, sendo que, o projeto testou a abordagem genérica por meio de estudos de casos reais, tanto para divulgar os principais pontos quanto para refinar a estrutura, se necessário (CL:AIRE, 2017).

Já a fase 3 centrou-se em desenvolver e publicar: uma série de estudos de caso ilustrativos (SuRF-UK, 2013a,b,c), relatórios e artigos (BARDOS et al., 2011; SMITH; KERRISON, 2013; BARDOS et al., 2016) sobre iniciativas de remediação sustentável; documentos de definição e preparação para a elaboração de uma avaliação de sustentabilidade (SuRF-UK, 2013d), e orientação sobre práticas de gestão sustentável que possam encorajar a utilização de abordagens mais sustentáveis em projetos de remediação (SuRF-UK, 2014a); e orientações para avaliações de sustentabilidade de Nível 1 – qualitativo (SuRF-UK, 2013e). A terceira fase terminou em 2015 com a publicação de um boletim que fornece um resumo e uma

visão geral do trabalho realizado nesta fase (SuRF-UK, 2014b), sendo que, outras fases serão desenvolvidas quando necessárias (CL:AIRE, 2017).

O método do SuRF-UK foi desenvolvido para se adequar a gama de regimes reguladores do Reino Unido e complementar as orientações técnicas existentes sobre a gestão de riscos em locais afetados pela contaminação, descritas no “Relatório 11 de Terras Contaminadas: Modelos de Procedimentos para a Gestão da Contaminação do Solo” (*Contaminated Land Report 11: Model procedures for the Management of Land Contamination - CLR11*) (EA; DEFRA, 2004), conforme Figura 25. No entanto, é suficientemente genérico e foi preparado para ser aplicado em outros locais e sob diferentes sistemas regulatórios além do Reino Unido, como Inglaterra, País de Gales, Escócia e Irlanda (SuRF-UK, 2010).

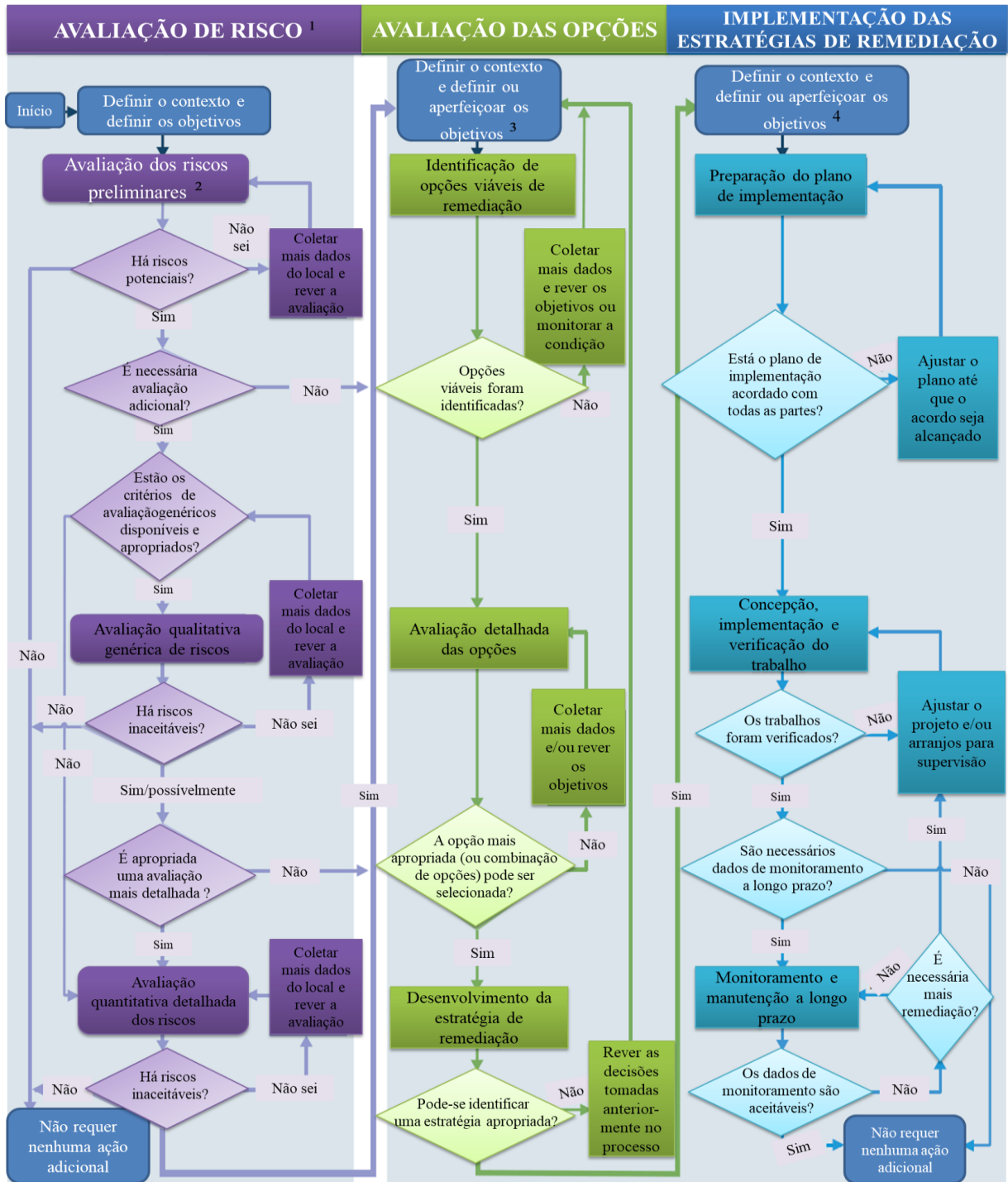
As etapas de "avaliação de risco", "avaliação das opções" e "implementação da estratégia de remediação" do CLR11 (Figura 25), estão alinhadas com os pontos chaves da avaliação da gestão de áreas contaminadas realizada no método do SuRF-UK (Figura 26).

O processo apresentado na Figura 24 pode aplicar-se a uma ou mais ligações de poluentes, cada uma das quais pode seguir uma rota diferente. Dependendo da ligação, pode ser possível parar em uma fase inicial ou será necessário percorrer todo o caminho através do processo, sendo que, o nível de complexidade de cada estágio pode também variar e em alguns casos pode ser muito simples (EA; DEFRA, 2004). A etapa de implementação da estratégia de remediação, fornece um meio de levar em conta a sustentabilidade ao comparar diferentes usos da terra e os impactos e benefícios mais amplos do gerenciamento de riscos.

Contudo, o método do SuRF-UK, apresentado na Figura 26, se estende em considerações mais amplas do desenvolvimento sustentável aplicada à remediação, como por exemplo, planejamento do local para minimizar a necessidade de remediação; processos de construção e remediação com minimização de resíduos; integração de um sistema de remediação com energia renovável; e, integrar o trabalho de remediação com o fornecimento de drenagem sustentável e medidas de proteção contra inundações (SuRF-UK, 2010).

Mais especificamente, o método SuRF-UK identifica duas fases fundamentais em que a sustentabilidade pode ser considerada (Figura 26): a Fase A de planejamento e concepção do projeto, e a Fase B de seleção e implementação da remediação. O método reconhece um claro ponto de ruptura entre as duas fases, sendo a oportunidade de rever a decisão, uma vez que, o marco do projeto é muitas vezes limitado (SuRF-UK, 2010).

**Figura 25** - Processo de gestão de áreas contaminadas do CRL11 alinhado com a avaliação de remediação sustentável do método SuRF-UK



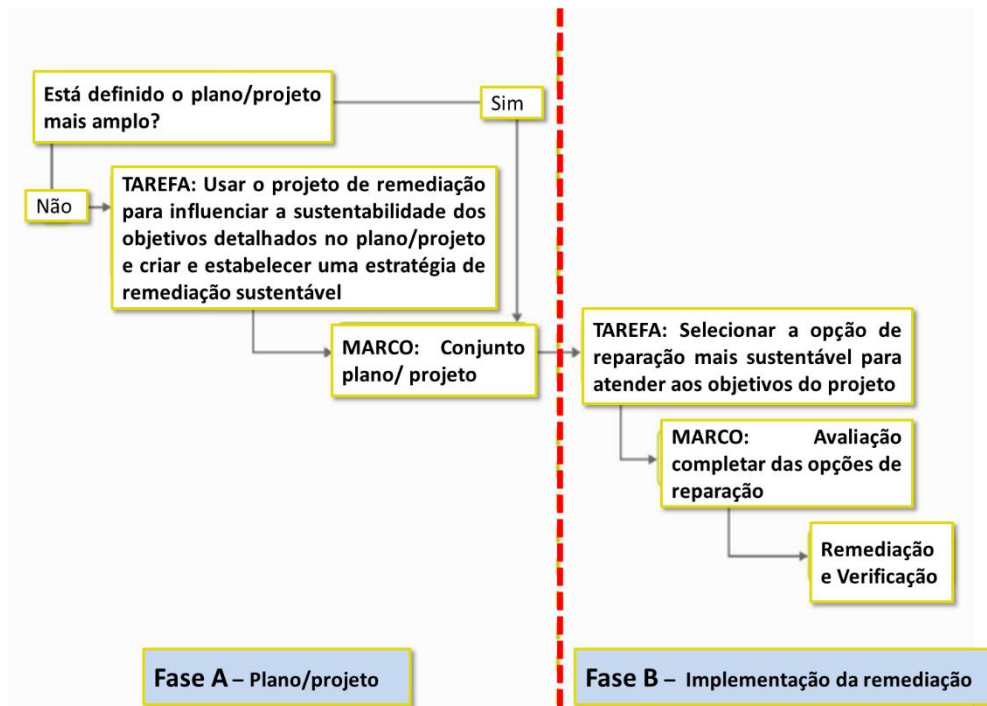
<sup>1</sup> Lidar com os riscos da contaminação de forma sustentável.

<sup>2</sup> A avaliação custo-benefício é uma parte inerente da gestão ambiental sustentável, e uma exigência de regimes regulatórios.

<sup>3</sup> Objetivos ligados à sustentabilidade da estratégia - energia, recursos, materiais, minimizar os efeitos ambientais adversos, etc.

<sup>4</sup> O projeto deve ser sustentável.

**Figura 26 - Método SuRF-UK**



Fonte: SuRF-UK (2010) (Tradução da Autora)

O ponto de partida do método é o plano ou projeto que está sob consideração. Dentro da Fase A existe uma oportunidade de inclusão de requisitos e incorporação de uma estratégia de remediação sustentável (tarefa A), sendo esta etapa relativamente flexível, permitindo várias iterações em um esforço para integrar a estratégia de remediação ideal no projeto. A conclusão da Fase A fornece um plano/projeto acordado e final (marco A) (SuRF-UK, 2010).

No término do marco A há um ponto de retorno limitado/ponto de ruptura, sendo que, em termos contratuais, o ponto de ruptura pode ser o momento de assinar um contrato, independentemente da forma de acordo em consideração, já em outros projetos, pode ser o ponto em que os profissionais de remediação se envolvem pela primeira vez, embora o envolvimento anterior seja incentivado e benéfico (SuRF-UK, 2010).

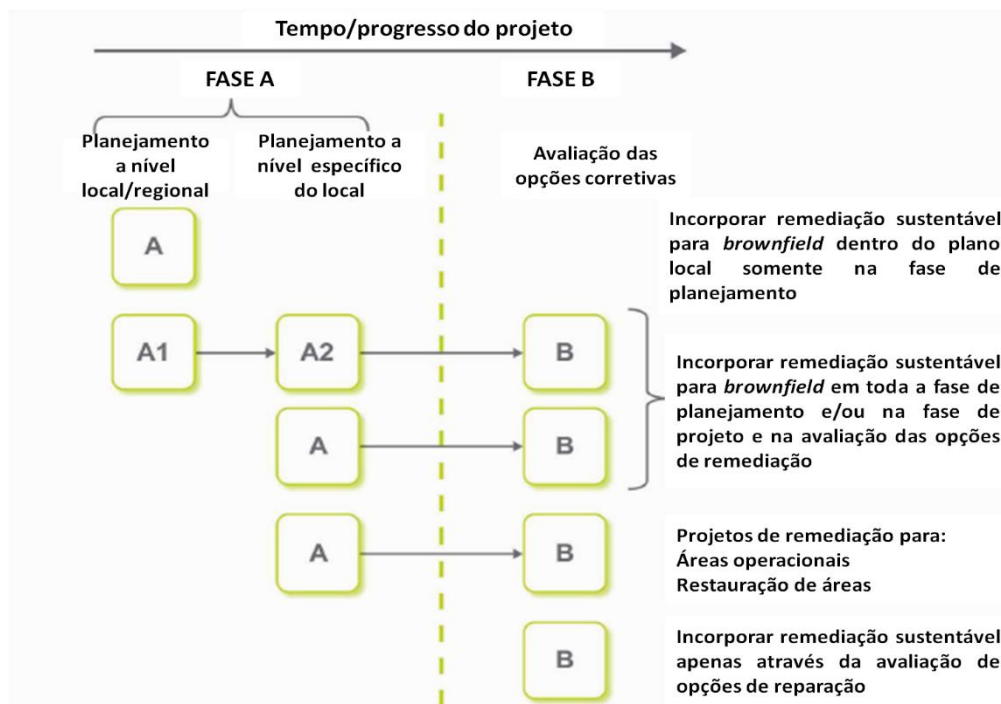
Após esse ponto, o projeto é definido e se inicia a Fase B do método, sendo que a única tarefa relevante desta fase é selecionar a opção de remediação mais sustentável (tarefa B). O marco final consiste na realização de uma avaliação completa das opções de reparação (marco B), a qual resulta na seleção de uma solução de remediação preferencial que pode ser implementada e posteriormente verificada (SuRF-UK, 2010).

Conceitualmente, o método SuRF-UK apresentado na Figura 26 é extremamente flexível, podendo ser aplicado: a qualquer tipo de projeto (redefinição de aterros industriais, remediação de locais operacionais, regeneração de áreas contaminadas); para diferentes

tamanhos de projeto e área (plano local, mega local industrial ou local pequeno); e a vários cenários de tomada de decisão e de remediação dentro do ciclo de vida de um projeto ou propriedade, conforme Figura 27 (SuRF-UK, 2010).

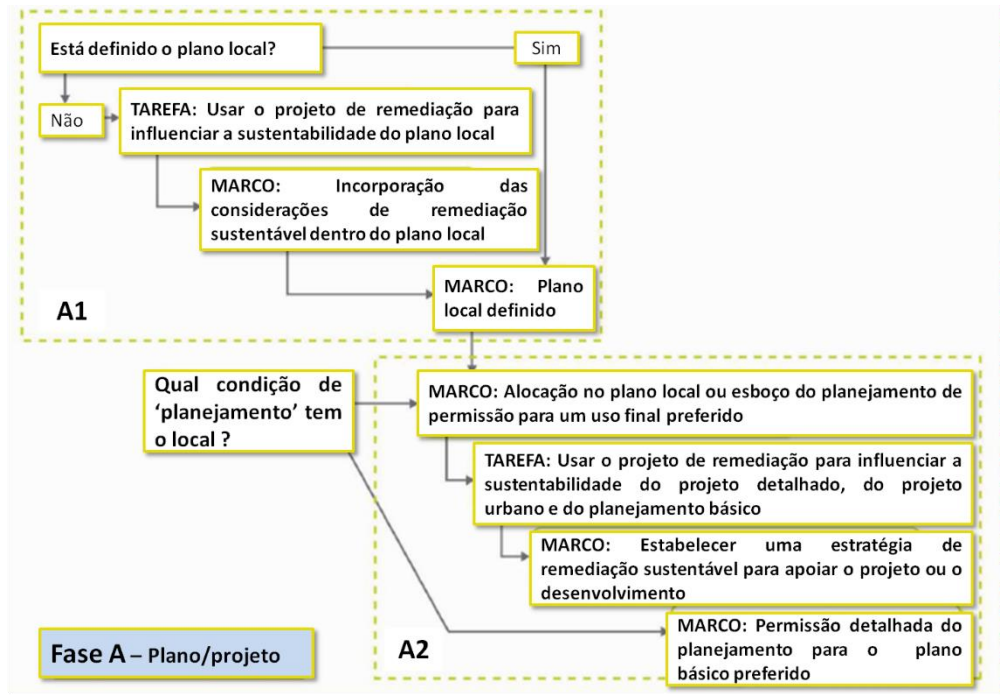
A Figura 27 ilustra como o método SuRF-UK pode ser aplicado a diferentes cenários de remediação, usando uma ou ambas as fases (A e B). Dentro de uma avaliação de *brownfields* (terrenos degradados abandonados) a nível local/regional, somente a Fase A é realizada, não estando vinculado à implementação de remediação da Fase B, sendo o marco final o plano local. Em outra avaliação de *brownfields*, a Fase A pode ser dividida em etapas A1 (planejamento em escala regional) e A2 (nível específico do local), como está elencado na Figura 28, ou com uma avaliação das opções de remediação (Fase B), ou ainda, com apenas uma avaliação de projeto (Fase A) e outra avaliação das opções corretivas (Fase B).

**Figura 27** - Utilização do método SuRF-UK para diferentes cenários de remediação



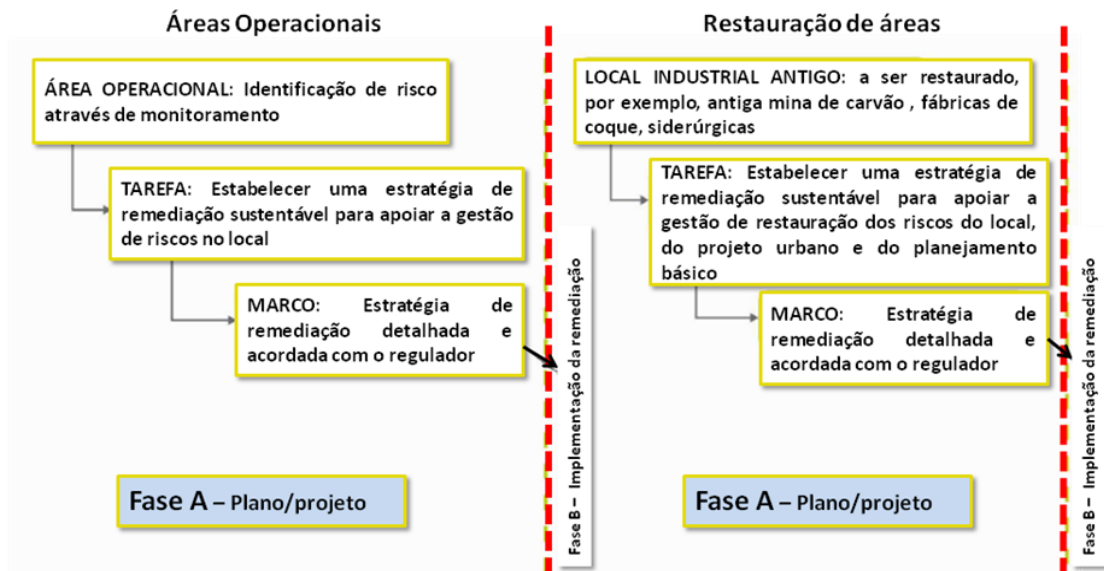
Os trabalhos de remediação em áreas operacionais, por exemplo, onde não há mudança do uso e a remediação faz parte de um programa de gerenciamento de passivos, os trabalhos de remediação para a restauração da área são realizados em duas fases (A e B). Nestes dois cenários de remediação, na Fase A o estabelecimento de uma estratégia de remediação sustentável para incorporar dentro do projeto e a concordância com o projeto geral são parte do mesmo marco (Figura 29).

**Figura 28** - Fases A1 e A2 de avaliação do método SuRF-UK para o cenário de remediação de *brownfields*



Fonte: SuRF-UK (2010) (Tradução da Autora)

**Figura 29** - Fase A de avaliação do método SuRF-UK para os cenários de remediação de áreas operacionais e restauração de áreas



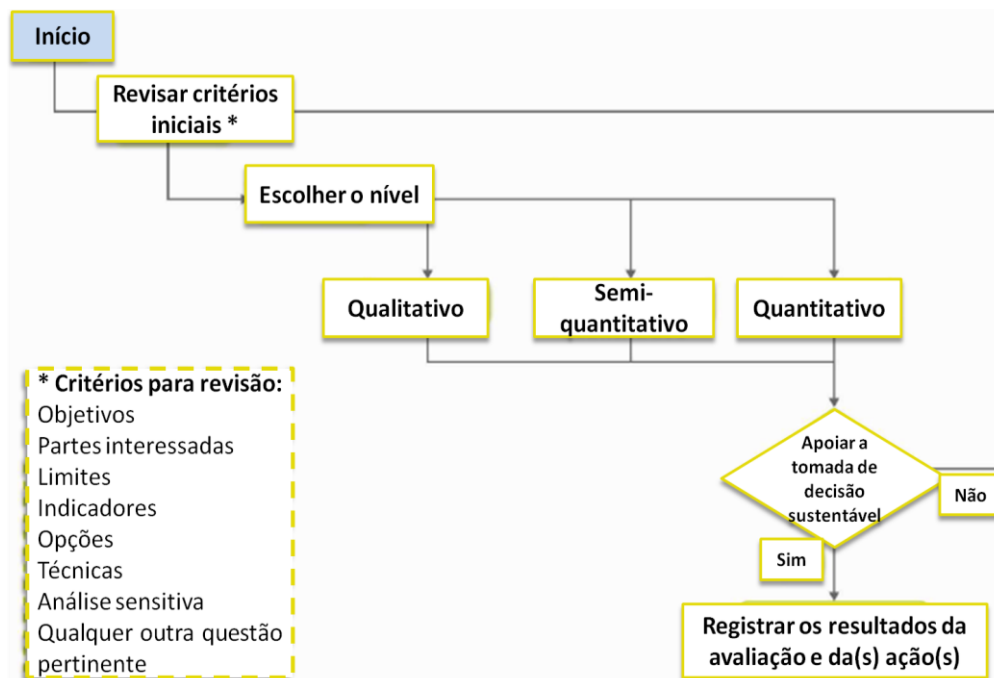
Fonte: SuRF-UK (2010) (Tradução da Autora)

Já o último cenário, quando a remediação sustentável é incorporada somente por meio da avaliação e implementação das opções de reparação (Fase B), ocorre em circunstâncias nas quais os profissionais só podem ser solicitados a implementar uma estratégia de remediação

selecionada, não tendo a oportunidade de influenciar o trabalho de planejamento. Esta avaliação só pode influenciar as tecnologias ou técnicas utilizadas para alcançar os objetivos corretivos baseados no risco, e também otimizar o benefício líquido (ambiental, social e econômico) proporcionado pela operação da opção de remediação.

Diante disto, quanto aos esforços para a tomada de decisão na avaliação da sustentabilidade, SuRF-UK destaca a necessidade de abordagens mais simples, desde que as informações fornecidas sejam consideradas sólidas e aceitáveis pelas várias partes interessadas envolvidas no processo. Desta forma, SuRF-UK recomenda uma abordagem em camadas para apoiar a tomada de decisão em relação à remediação sustentável (Figura 30).

**Figura 30** - Abordagem escalonada para avaliar a sustentabilidade da remediação no método SuRF-UK



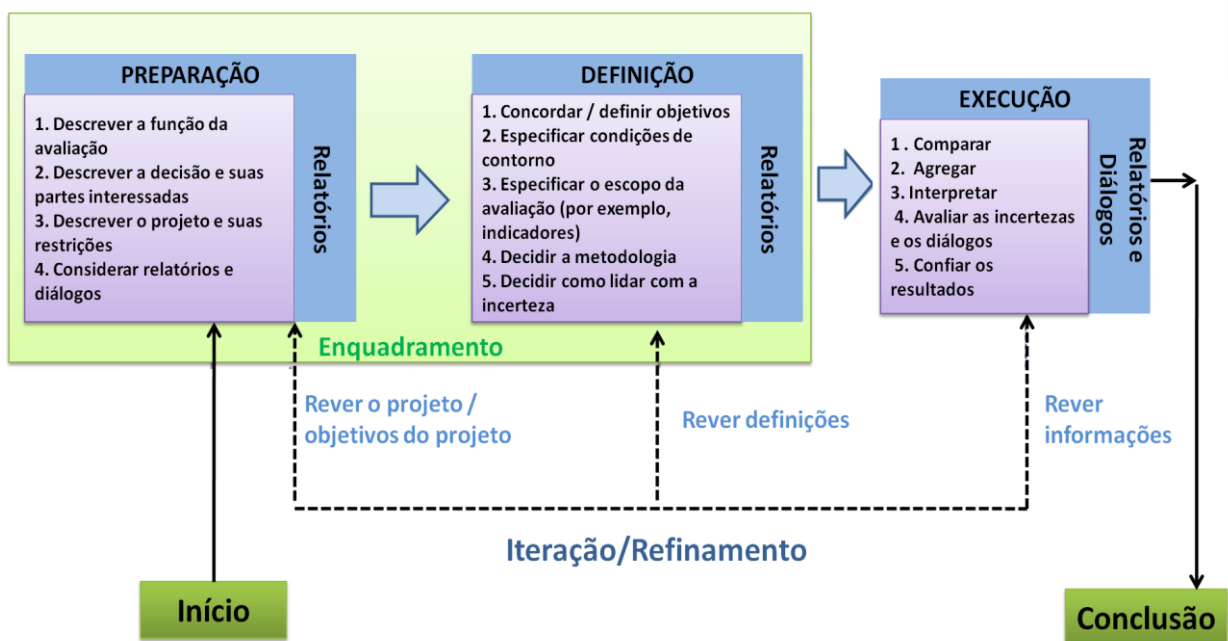
Fonte: SuRF-UK (2010) (Tradução da Autora)

Na camada mais simples e mais baixa (Nível 1), tem-se uma abordagem qualitativa, a qual é adequada para suportar uma decisão justificável, como por exemplo, listas de verificação e conversas entre partes interessadas. A próxima camada (Nível 2) seria uma abordagem mais analítica, como uma análise semiquantitativa de multicritérios. Já a última camada (Nível 3) traz uma abordagem mais complexa, como uma análise custo-benefício monetizada. Portanto, uma abordagem em camadas pode maximizar a eficácia, contudo, quanto maior o nível de análise, maior a precisão da avaliação, porém, maiores serão os custos, os dados e os esforços necessários para realizar a avaliação.

Uma abordagem qualitativa possui uma ampla abrangência, englobando muitos indicadores; e maior envolvimento, em especial de leigos. Além disto, pode ser mais rápida e menos intensiva em relação a recursos; fornecendo informações mais simples; e abrangendo políticas, planejamento e aplicações participativas. Já a abordagem quantitativa fornece um escopo estreito; pode ser menos transparente com informações mais complexas; e tendem a ser mais custosos em relação a recursos. Desta forma, a avaliação normalmente deve ser realizada no nível mais baixo para permitir uma decisão de gestão robusta (SuRF-UK, 2010).

Visto isto, para a avaliação completa da sustentabilidade do método SuRF-UK alguns estágios fundamentais devem ser considerados. Estes estágios são executados em três etapas principais (Figura 31): (1) Preparação, a qual tem como objetivo fornecer uma especificação clara para a avaliação da sustentabilidade; (2) Definição, que objetiva proporcionar um procedimento de avaliação claramente definido; e (3) Execução, que tem como finalidade realizar o procedimento de avaliação (SuRF-UK, 2013d).

**Figura 31** - Fluxograma das etapas de avaliação da sustentabilidade do método SuRF-UK



Fonte: (SuRF-UK, 2013d) (Tradução da Autora)

Os principais estágios neste contexto, consistem em: (1) revisar e verificar a conformidade com os objetivos da avaliação da sustentabilidade; (2) qual decisão de gestão suporta a avaliação; (3) quais partes interessadas precisam ser consultadas (usuários do local, vizinhos, profissionais, etc); (4) quais são os limites da avaliação (quanto aos critérios a avaliar, o sistema, ciclo de vida dos componentes, limite espacial e temporal); (5) quais indicadores -



ambientais, sociais e econômicos - de sustentabilidade devem ser utilizados (SuRF-UK, 2011); (6) acordar a forma como estes indicadores serão avaliados, ou seja, qual instrumento/ferramenta de avaliação deve ser usado para tal finalidade; (7) analisar a confiabilidade do resultado da avaliação, e a quais parâmetros o resultado é mais sensível; (8) interpretar os resultados e realizar as análises de sensibilidade (SuRF-UK, 2010).

#### **4.1.4.3 SuRF-ANZ**

O “método para a avaliação da sustentabilidade da remediação do solo e das águas subterrâneas” desenvolvido pelo SuRF-ANZ no ano de 2011, é de mesmo título e estritamente modelado a partir do método SuRF-UK (SuRF-UK, 2010; SMITH; NADEBAUM, 2016).

Da mesma forma que a concepção do método SuRF-ANZ, o estabelecimento de princípios, definições e abordagens, possuem ligações estreitas e rascunhos iniciais baseados fortemente nos descritos por SuRF-UK (SuRF-UK, 2010). Além disto, o programa de trabalho estabelecido pelo SuRF-ANZ seguiu políticas semelhantes dos SuRFs anteriores, em especial do SuRF-UK, desenvolvendo primeiramente um método de remediação sustentável, seguido das métricas, ferramentas e estudos de caso (SuRF, 2012).

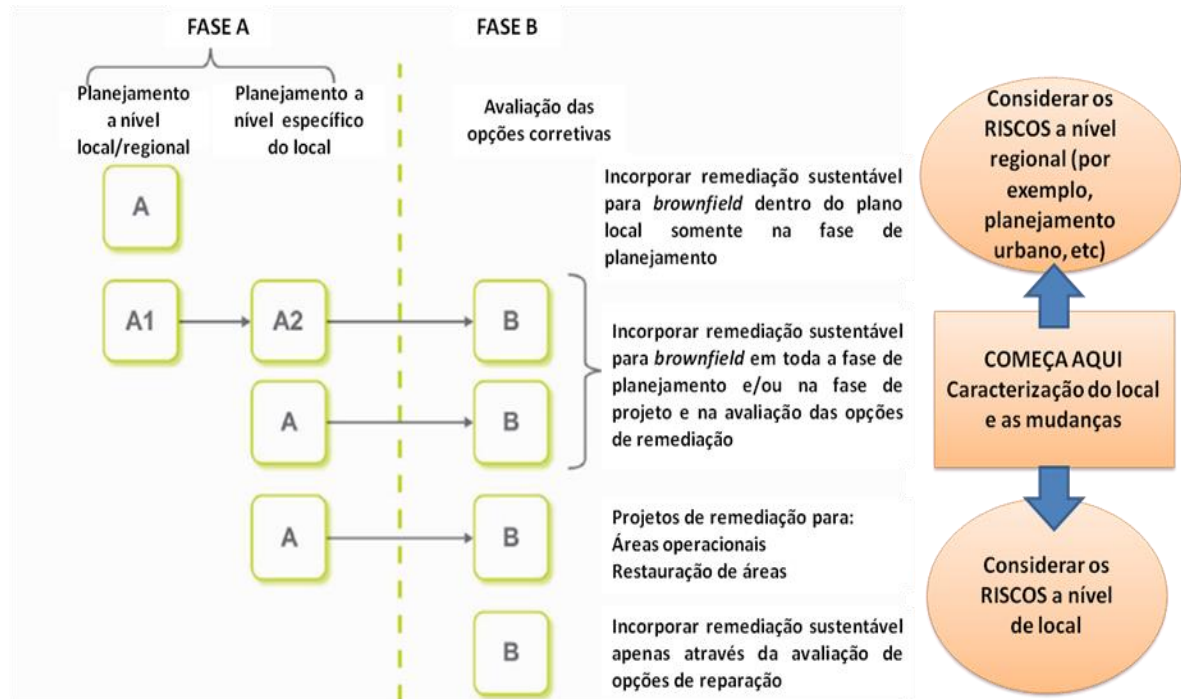
No entanto, embora que a base do método SuRF-ANZ esteja elencada ao método SuRF-UK, a abordagem está centrada na gestão e percepção de riscos por parte dos interessados (Figura 32), sendo um aspecto importante tanto para o equilíbrio dos parâmetros ambientais, sociais e econômicos, quanto para a aceitabilidade (viabilidade) do resultado final do projeto de remediação (SMITH; NADEBAUM, 2016).

No que tange à aplicação do método, segundo Smith e Nadebaum (2016), a principal questão que surge durante o desenvolvimento na prática está relacionado ao ponto que é apropriado considerar a sustentabilidade em um projeto de remediação. Desta forma, a sustentabilidade é considerada em várias etapas de um projeto de remediação: no planejamento do uso da terra; no planejamento do local base específico; nas investigações de remediação; no projeto da estratégia de remediação; na seleção de tecnologia corretiva; na operação e manutenção; e no encerramento do local.

Além do gerenciamento do risco aceitável pelas partes interessadas, a base do método SuRF-ANZ baseia-se em outros dois princípios chave: a proteção da saúde humana e do ambiente, e a gestão e o alcance da sustentabilidade. Já quanto ao planejamento para a remediação sustentável inclui, primeiramente em ajustar-se aos regulamentos existentes, em seguida, identificar e envolver as partes interessadas, e por último desenvolver, selecionar e

avaliar a viabilidade de alternativas com vista para a remediação sustentável, ou seja, a opção escolhida deverá representar um equilíbrio de fatores econômicos, ambientais e sociais (FERRY, 2012; SMITH; NADEBAUM, 2016).

**Figura 32 - Método SuRF-ANZ**



Fonte: SMITH; NADEBAUM (2016) (Tradução da Autora)

Ainda conforme Smith e Nadebaum (2016), os aspectos chave praticados por SuRF-ANZ incluem: a visão da comunidade e das partes interessadas, maximizando o valor e minimizando o custo e o consumo de recursos; a minimização dos riscos, através da remoção da fonte, do tratamento *in situ*, ou da aplicação de controles institucionais ou de gestão, tais como a criação de barreiras para isolar áreas contaminadas ou a exclusão de receptores; a consideração do tempo necessário para a remediação; e a consideração de oportunidades para implementar tecnologias sustentáveis.

Neste mesmo sentido, vem sendo desenvolvido o método nacional de remediação da Austrália (Figura 33), coordenado e gerenciado pelo CRC CARE, principal organização de pesquisa da Austrália em terrenos contaminados e águas subterrâneas.

O método nacional, além de fornecer uma abordagem mais holística e sustentável, também está baseado no controle dos riscos recorrentes à remediação, o envolvimento da comunidade e das partes interessadas e fundamentado na regulamentação ambiental australiana. Além disto, objetiva a remediação para o uso proposto, o tratamento para atingir níveis

aceitáveis, e a integração de considerações tanto econômicas, ambientais, sociais, e de equidade de longo e curto prazo (SCOTT; MCLNERNEY, 2012).

**Figura 33** – Método nacional de remediação na Austrália



Fonte: SCOTT; MCLNERNEY (2012)

#### 4.1.4.4 SuRF-Taiwan

O método do SuRF-Taiwan, tem vista para a incorporação da abordagem da GRS, desenvolvida pelo ITRC, e que possui conceitos da remediação verde trazida pela USEPA, sendo que, cada etapa do processo possui ferramentas de apoio à decisão a fim de concretizar esta abordagem, como pode ser visualizado na Figura 34 (CHEN et al., 2014).

Conforme CHEN et al. (2014), as ferramentas semiquantitativas comparam os efeitos ambientais, sociais e econômicos de diferentes opções de remediação para selecionar a que mais se ajusta aos requisitos sustentáveis. As ferramentas quantitativas proporcionam uma avaliação nas três dimensões da sustentabilidade: ambiental, com a análise da pegada ambiental; social, com a aplicação de questionários para os residentes locais e avaliação de risco à saúde dos moradores locais e dos trabalhadores, durante os trabalhos de remediação; e econômica, por

meio da avaliação custo-benefício e de impacto sobre o valor da terra e geração de empregos. Já as ferramentas qualitativas baseiam-se na listagem das BMPs.

**Figura 34** – Abordagem GSR considerada no método SuRF-Taiwan



Fonte: CHEN et al. (2014) (Tradução da Autora)

O método proposto pelo SuRF-Taiwan para avaliação da GSR e elencado na Figura 35, é dividido em duas etapas principais: a avaliação do local, a qual ocorre antes da remediação, e a verificação do local, que ocorre durante e após a remediação. Na fase inicial da avaliação do local, é preciso determinar primeiramente se o *brownfield* considerado é um local de remediação, com necessidade de correção urgente, ou um local de controle, no qual é necessário somente o monitoramento enquanto ele naturalmente se recupera, ou seja, local cuja remediação poderia ser adiada. Estas designações são realizadas através de informações preliminares, como a concentração dos contaminantes, situação do local, ou o seu uso futuro (HUANG et al., 2016).

Se o local é designado como de controle, a população precisa ser informada para evitar transtornos eventuais. Já se o local necessita da remediação, o método indica a utilização da “abordagem tríade” trazida pela USEPA, para gerir e resolver as incertezas nas tomadas de decisão, além de proporcionar atividades de avaliação e remediação mais rápidas, eficientes e de baixo custo. Para determinar as medidas de remediação, a equipe deve levar em consideração todos os materiais, equipamentos, recursos humanos e participação dos interessados. Após esta abordagem, é gerado o CSM, para estimar a quantidade, distribuição e destino dos

contaminantes, possibilidades de exposição e prováveis medidas de mitigação, e assim produzir o plano de remediação mais sólido, com menos custos e incertezas (HUANG et al., 2016).

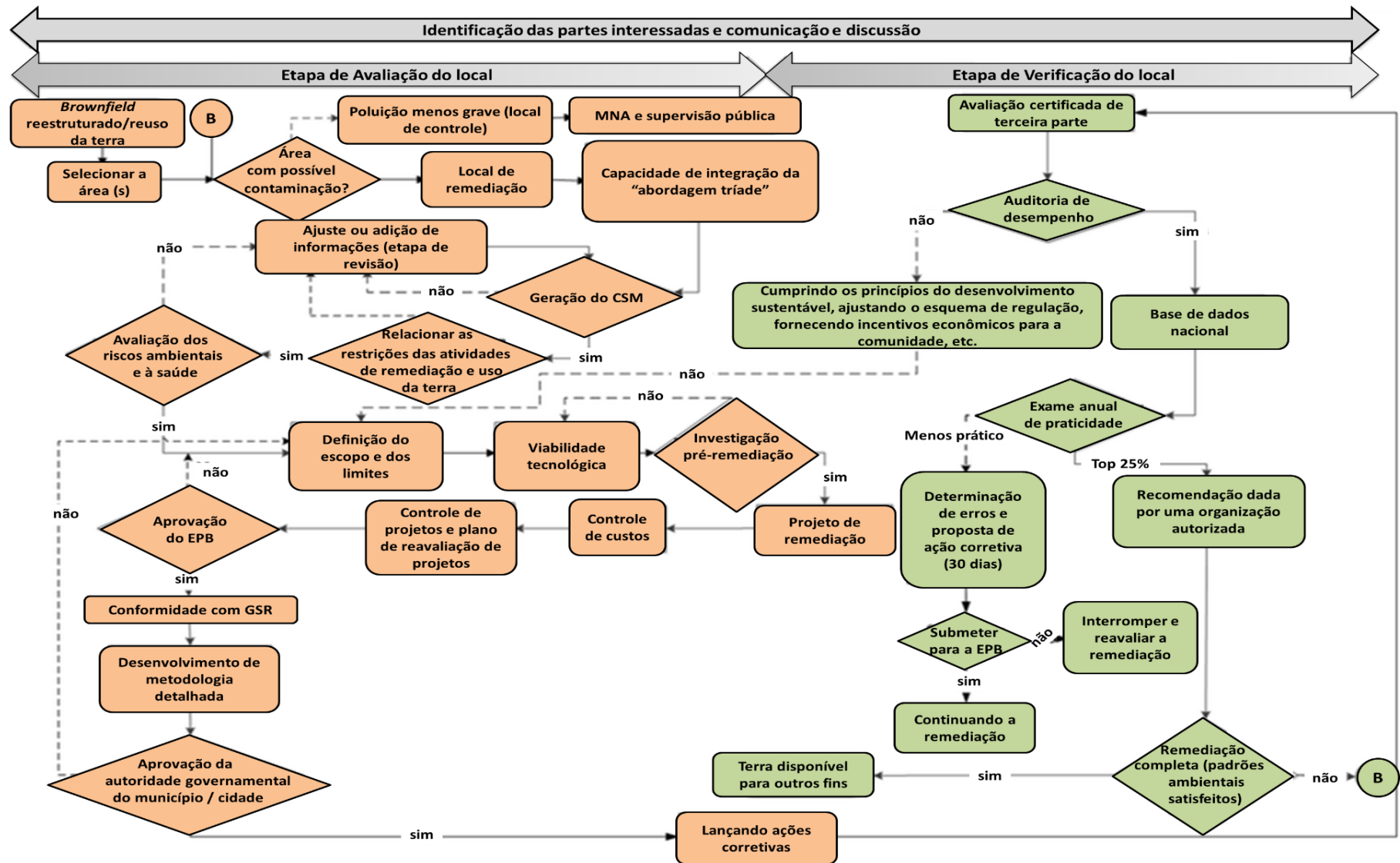
Em seguida, deve ser levado em consideração quaisquer restrições legais à remediação e o uso futuro da área, uma vez que, se caso a área será utilizada para fins de cultivo, o plano de remediação não deve incluir atividades que impactam negativamente a fertilidade do solo. Também, as atividades de remediação devem garantir um impacto mínimo sobre o ecossistema, a saúde dos trabalhadores e das pessoas da comunidade local (HUANG et al., 2016).

Ainda para uma melhor avaliação do local, o método indica a definição do escopo e dos limites do processo de remediação, considerando a fabricação dos materiais e equipamentos necessários para a remediação, bem como o transporte de solo, a eliminação de resíduos junto com a energia necessária para o processo, e a viabilidade da tecnologia proposta. Assim, estando as variáveis e os objetivos compreendidos, a atividade de remediação é projetada, com o detalhamento das tecnologias necessárias e a definição das partes interessadas que devem ser envolvidos no projeto. Já a sua execução é dependente do aceite das diferentes partes interessadas, incluindo os organismos administrativos, instituições acadêmicas, profissionais de remediação, cidadãos e proprietários locais, bem como indústrias relacionadas e organizações não-governamentais (HUANG et al., 2016).

O controle dos custos também é fator importante no método, e deve ser considerado em todo o processo de remediação. Por último, sendo os detalhes ajustados e o projeto concebido, este precisa passar pela aprovação do gabinete de proteção ambiental (*Environmental Protection Bureau - EPB*), um ramo local da EPA de Taiwan, que implementa e supervisiona os trabalhos de remediação. Se a aprovação não for concedida, uma reavaliação do escopo e dos objetivos deve ser realizada, mas se o plano estiver em conformidade com os princípios GSR, segue-se para a verificação do local, a segunda etapa do método (HUANG et al., 2016).

A verificação do local, segunda etapa do método, envolve a avaliação do processo de remediação e sua conformidade com as leis relevantes durante e após a correção. As avaliações das atividades de correção são realizadas para garantir a sua conformidade com os padrões GSR, uma vez que, se forem, os registros de remediação são inseridos no banco de dados nacional, mas, caso contrário, o limite e o escopo precisa ser revisado e ajustado (HUANG et al., 2016).

Figura 35 - Método SuRF-Taiwan



Fonte: HUANG et al. (2016) (Tradução da Autora)

O EPB examina a viabilidade dos projetos GSR anualmente, sendo que, as equipes responsáveis pelos projetos menos práticos precisam determinar seus erros e propor ações corretivas dentro de 30 dias, mas se estes não apresentarem melhorias, a remediação deve ser interrompida e reavaliada, já os 25% melhores projetos receberão recomendações de organizações autorizadas. Por fim, quando a remediação está finalizada e os padrões ambientais satisfeitos, a área é devolvida para a reutilização ou redesenvolvimento, porém, quando os padrões ambientais não são satisfeitos, as decisões devem ser tomadas por meio de uma contínua remediação ou apenas pela atenuação natural monitorada (*Monitored Natural Attenuation* - MNA), retornando para a fase de avaliação do local (HUANG et al., 2016).

#### **4.1.5 Rede de Locais Industrialmente Contaminados na Europa (*Network for Industrially Contaminated Land in Europe* - NICOLE)**

A NICOLE iniciou seus trabalhos no ano de 1996 como uma ação concentrada no âmbito do quarto programa-quadro da Comunidade Europeia. No entanto, com o forte apoio dos seus membros, a rede tornou-se rapidamente autossustentável em 1999 e desde então é totalmente financiada pelas quotas dos seus membros, ou seja, a NICOLE é dirigida e representada por seus grupos membros, que já inclui cerca de 361 membros, sendo que, a partir de 2010 a rede é organizada como uma associação (NICOLE, 2017).

Atualmente a NICOLE é considerado um dos principais fóruns sobre gestão sustentável de terrenos contaminados na Europa, promovendo a cooperação entre a indústria e organizações comerciais (detentores do problema), prestadores de serviços ambientais/empresas de desenvolvimento de tecnologias de remediação, universidades e instituições independentes de investigação (prestadores de soluções para o problema) e entidades governamentais (decisores). O objetivo geral da NICOLE é auxiliar ativamente a indústria europeia a identificar, avaliar e gerir as áreas industriais contaminadas de forma eficiente, rentável e num quadro de sustentabilidade (NICOLE, 2017).

Para alcançar tal objetivo, a NICOLE concentra suas atividades em três áreas principais: oferecendo um fórum europeu para a divulgação e intercâmbio de ideias, boas práticas, e conhecimentos práticos e científicos para a gestão sustentável das áreas contaminadas, decorrentes de atividades industriais e comerciais; estimulando projetos coordenados e interdisciplinares de pesquisa, orientados para os problemas e atendimento às necessidades identificadas; e desenvolvimento de novos relacionamentos e fortalecimento das relações já existentes com outras redes (NICOLE, 2017).

A NICOLE já expandiu sua abrangência para além da Europa, com uma rede consolidada desde 2014 na África, a Rede de Locais Industrialmente Contaminados na África (*Network for Industrially Contaminated Land in Africa - NICOLA*), além de uma Rede Latino-Americana de Gerenciamento de Solos e Águas (*Latin America Network for Soil and Water Management – NICOLE Brasil*) estabelecida desde 2015 e com representação no Brasil (NICOLE, 2017). A NICOLE Brasil mantém seus esforços voltados para o desenvolvimento do mercado de remediação do solo, sendo que, recentemente, em 2016, publicou uma dissertação oficial de conceitos básicos, avaliação e gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil (NICOLE Brasil, 2016), além de que está em fase de preparação um documento que abordará a remediação sustentável aplicada à realidade brasileira (NICOLE, 2017).

Além destas duas redes da NICOLE, esta trabalha em estreita colaboração com o Fórum Comum sobre Terra Contaminada (*Common Forum on Contaminated Land – Common Forum*) e, em conjunto, eles representam um amplo leque de interesses na gestão de terras contaminadas em toda a União Europeia (NICOLE, 2017). O Fórum Comum introduziu a "gestão do solo baseada no risco" como um conceito central nas abordagens europeias de terrenos contaminados, sendo que, seus objetivos consistem principalmente no desenvolvimento de estratégias para a gestão e tratamento de locais contaminados e para a reciclagem do solo respeitando a proteção sustentável dos recursos para solos e águas subterrâneas contaminados (NICOLE; COMMON FORUM, 2013).

A NICOLE em conjunto com o Fórum Comum compreendem que a remediação sustentável envolve a avaliação e gestão de riscos significativos para a saúde humana e para o ambiente, enquanto identifica os impactos (positivos e negativos) ambientais, sociais e econômicos das estratégias de remediação, procurando maximizar os benefícios globais através de um processo de tomada de decisão equilibrado, transparente e baseado na evidência (NICOLE; COMMON FORUM, 2013).

Ainda, conforme NICOLE e Common Forum (2013) os princípios que integram a remediação sustentável consistem na: importância de contribuir para o desenvolvimento sustentável, como por exemplo, através de um uso mais sustentável dos recursos naturais; convicção de que as tomadas de decisão com base nos princípios de sustentabilidade podem conduzir a uma utilização mais eficiente dos recursos ambientais, sociais e econômicos e a melhor solução de remediação, equilibrando impactos e efeitos das diferentes medidas de remediação; percepção de que a sustentabilidade não pode ser quantificada em termos absolutos, mas que as incertezas precisam ser minimizadas pelas partes interessadas; e compreensão de que a avaliação da sustentabilidade tem como objetivo a integração dos três



elementos base da sustentabilidade e efeitos mais amplos, de uma forma equilibrada e levando em consideração os contextos legal e políticos específicos.

Neste sentido, a NICOLE organiza anualmente uma ou mais oficinas para os seus membros sobre questões relacionadas às áreas contaminadas, a fim de fornecer novas contribuições para os membros. Estes grupos de trabalho, além das reuniões entre as redes, as discussões e os projetos interdisciplinares, originaram, ao longo dos anos, uma variedade grande de publicações (NICOLE, 2017).

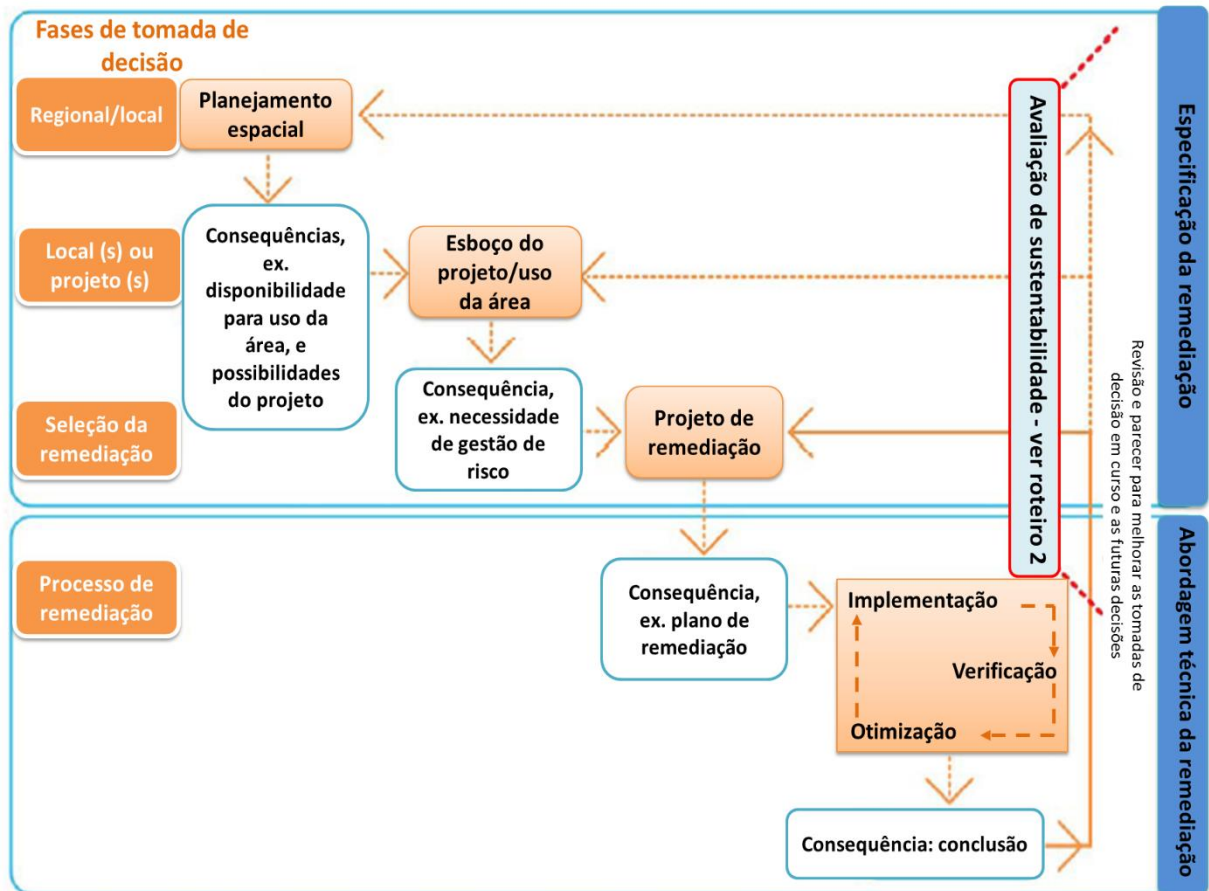
A NICOLE reconhece que uma abordagem mais abrangente dos projetos de remediação deve incorporar os três elementos da sustentabilidade ao lado de uma gestão de risco efetiva. Diante deste propósito, a fim de investigar como essa abordagem poderia ser desenvolvida, em 2008, lançou um grupo de trabalho sobre remediação sustentável, para avaliar a aplicação de princípios sustentáveis em projetos de remediação e investigar como estes princípios poderiam ser desenvolvidos e promovidos (NICOLE, 2010).

Neste sentido, em 2010, publicou um método que compreende dois roteiros, o primeiro para a gestão da sustentabilidade (Figura 36) e o segundo para a avaliação da sustentabilidade (Figura 37) aplicada em projetos de remediação. O método, projetado com uma série de etapas, destina-se a fornecer aos detentores dos problemas (proprietários/operadores de terrenos contaminados) e a todas as partes interessadas, um processo único e estruturado para começar a trabalhar em conjunto e implementar as melhores práticas em matéria de remediação sustentável, independentemente do tamanho do projeto (NICOLE, 2010).

A Figura 36 mostra como a tomada de decisão para a gestão da sustentabilidade pode ser incorporada em uma série de etapas do projeto. O método indica que o melhor ponto de entrada para a tomada de decisão com vista para a remediação sustentável no projeto, é na fase de planejamento, na qual a especificação da remediação é definida, ou também pode ser na fase em que a técnica de remediação é selecionada e aplicada. No entanto, os maiores ganhos em termos de sustentabilidade ocorrem quanto as decisões de remediação sustentável são tomadas o mais cedo possível no processo de remediação, além de que, demonstrar um ganho de sustentabilidade gera confiança e apoio das partes interessadas (NICOLE, 2010).

Uma parte fundamental da gestão da sustentabilidade é a verificação de que os resultados desejados, baseados na avaliação da sustentabilidade, foram alcançados. Para tanto, é realizado no final do processo uma revisão e um parecer, pois caso os resultados não sejam satisfatórios, tanto as decisões em curso quanto as futuras decisões podem ser melhoradas (NICOLE, 2010).

**Figura 36 - Roteiro 1 do Método NICOLE: gestão da sustentabilidade**

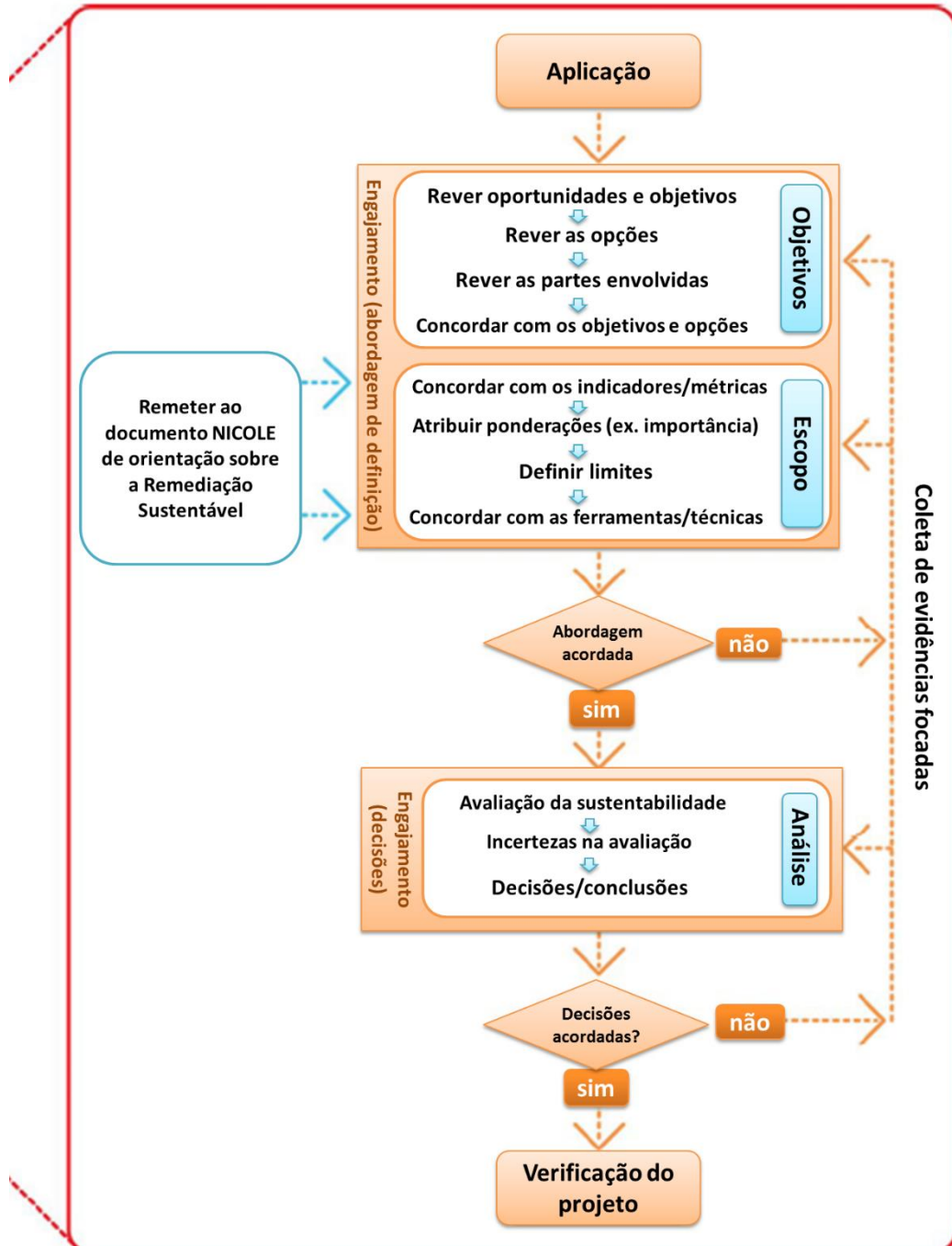


Fonte: NICOLE (2010) (Tradução da Autora)

Já a avaliação da sustentabilidade, conforme elencado na Figura 37, é um processo utilizado para a compreensão dos impactos e benefícios da sustentabilidade em um projeto de remediação. O método trazido pela NICOLE baseia-se fundamentalmente na consulta e participação das partes interessadas na tomada de decisão em todas as fases do projeto. Desta forma, recomenda um processo simples que facilite a concordância e o estabelecimento de um ponto de vista acordado entre as diferentes partes interessadas (NICOLE, 2010).

Na fase de definição dos objetivos, é preciso concordar com as oportunidades e os objetivos do desenvolvimento sustentável para o projeto; certificar-se de que todos os que devem estar envolvidos foram identificados; concordar com a gama de opções possíveis que serão comparadas; e estabelecendo um entendimento comum das finalidades (objetivos e opções). Já o escopo possui quatro componentes: os indicadores/fatores que serão considerados como representativos da sustentabilidade; pesos que serão atribuídos para refletir a importância relativa; as condições fronteiriças da avaliação, que descrevem os limites operacionais das opções que estão a ser comparadas; e as técnicas ou ferramentas que serão usadas para comparar as opções para essa combinação particular de fatores, ponderações e limites (NICOLE, 2010).

**Figura 37** - Roteiro 2 do Método NICOLE: avaliação da sustentabilidade



Fonte: NICOLE (2011) (Tradução da Autora)

Como a avaliação da sustentabilidade envolve equilibrar os benefícios da ação corretiva com os impactos dessas ações, nesta primeira fase, deve-se ter um consenso claro e evidente sobre os objetivos e o escopo, se é necessário que a equipe reveja os objetivos, ou, segue para a análise da sustentabilidade. A fase de análise da sustentabilidade envolve primeiramente uma avaliação da sustentabilidade com base nos objetivos e escopo acordados, seguida de uma

revisão das incertezas dentro da avaliação, e por último uma análise das decisões ou conclusões acordadas juntamente com as partes interessadas (NICOLE, 2010).

Por último, caso a análise da sustentabilidade seja acordada, o método de avaliação propõe um processo de verificação para demonstrar a realização dos objetivos do projeto e a satisfação das partes interessadas (NICOLE, 2010).

Além do documento que fornece o método com os roteiros para a gestão e avaliação da sustentabilidade em projetos remediação, a NICOLE publicou em 2011 um documento com a finalidade de ajudar qualquer interessado envolvido em um projeto de manejo de área contaminada, de qualquer tamanho, na implementação da sustentabilidade (NICOLE, 2011).

O grupo de trabalho sobre remediação sustentável se baseia em cinco princípios chave: (1) na importância da comunicação e criação de confiança entre as partes interessadas; (2) no gerenciamento de áreas baseado no risco e sinergia com a remediação sustentável; (3) na experiência quanto a utilização de fatores socioeconômicos; (4) na importância de uma forma adequada de medir a sustentabilidade, para demonstrar a maneira prática de avaliação da sustentabilidade para as partes interessadas; e (5) na abordagem ascendente para promover a remediação sustentável na Europa e partilha de experiências através de estudos de caso (NICOLE, 2011).

Além disto, com vista a facilitar a implementação da sustentabilidade em projetos de remediação, o documento traz três principais abordagens: a posição da NICOLE quanto aos desafios de integrar a sustentabilidade numa abordagem baseada no risco; uma revisão dos aspectos econômicos associados à remediação sustentável e uma visão geral das ferramentas disponíveis no mercado para auxiliar com tal análise, uma vez que, as ferramentas estão em constante desenvolvimento; e uma orientação sobre os indicadores que são considerados para medir a sustentabilidade de um projeto de remediação (NICOLE, 2011).

#### **4.2 Seleção dos critérios de avaliação direcionados à remediação sustentável**

Da mesma forma que não há uma definição universal para a sustentabilidade, também não existe um único conjunto de critérios para avaliar a sustentabilidade. Conforme Huysegoms e Cappuyns (2017) uma comparação integral da sustentabilidade, abordando os impactos ambientais, econômicos, e sociais, é algo que ainda é difícil de executar e não realizado sistematicamente em todos os projetos de remediação.

Contudo, Slenders et al. (2017) destaca alguns elementos ambientais, econômicos e sociais importantes e que devem ser levados em consideração do ponto de vista da remediação de áreas contaminadas.

Conforme Slenders et al. (2017), os aspectos ambientais a serem considerados não se remetem apenas sobre a qualidade do solo e das águas subterrâneas, a qual é obviamente indispensável, mas também devem ser enquadrados em termos da produção de resíduos, gases, como por exemplo, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e o uso de recursos não renováveis, com vista para a escolha do melhor caminho a seguir.

Os elementos do pilar econômico estão diretamente vinculados com o custo da remediação, sendo estes custos avaliados em termos de redução de risco, aumento do valor do local remediado e o uso resultante e melhoria no meio ambiente. Neste contexto, ainda é importante considerar o custo completo do ciclo de vida a longo prazo, além de investir mais em pesquisa e estudos preliminares de investigação, os quais podem reduzir significativamente os custos totais da remediação (SLENDERS et al., 2017).

O pilar social traz elementos importantes do ponto de vista da sociedade e dos riscos globais para a saúde humana, sendo que, o impacto dos trabalhos de remediação sobre a vizinhança pode ser maior que o impacto que resulta da presença de contaminantes. Portanto, a escolha da abordagem de remediação realmente é importante, além de que é essencial que os riscos gerais associados aos trabalhos de remediação e à contaminação sejam minimizados. Desta forma, é indispensável a participação de todos os interessados, envolvidos e afetados, direta ou indiretamente, pelo processo de remediação (SLENDERS et al., 2017).

Com base nestes três pilares da sustentabilidade e em revisões de literatura, este estudo, definiu e operacionalizou um sistema de nove critérios de decisão (Quadro 13) para avaliar o grau de sustentabilidade alcançado pelos métodos identificados e descritos. Os critérios apresentados no Quadro 13 não foram classificados ou incorporados objetivamente aos três pilares da sustentabilidade, uma vez que, além de não possuírem classificação precisa, podem estar vinculados a mais de um pilar. Além disto, a ordem dos critérios apresentados no Quadro 13 foi aleatória, não levando em consideração a sua importância quanto a sustentabilidade, por exemplo. Portanto, os nove critérios diagnosticados e selecionados constituem:

1. Os cinco elementos centrais (energia; ar e atmosfera; água; terra e ecossistemas; e materiais e resíduos) presentes na abordagem das tecnologias verdes e sustentáveis de remediação, embora baseados nos impactos e benefícios ambientais, são de grande relevância, uma vez que, promovem a eficiência energética, a redução da emissão de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa, a conservação e melhoria da qualidade da água e dos

ecossistemas, além da minimização da geração e disposição de resíduos e substâncias tóxicas no meio ambiente (USEPA, 2008; 2011).

**Quadro 13** – Conjunto dos critérios selecionados para a análise dos métodos

<b>Critérios de decisão</b>	<b>Código considerado</b>	<b>Descrição e operacionalização dos critérios</b>
Avaliação dos elementos centrais da remediação verde	C1	O método aborda e avalia os elementos como energia, ar, recursos hídricos, materiais e resíduos, e, terra e ecossistema durante o processo de remediação.
Garantia de equidade intergeracional	C2	O método aborda a adoção de medidas que minimizem o consumo de energia e o uso de recursos naturais, e que maximizam a reutilização de materiais, garantindo as necessidades das futuras gerações.
Avaliação das opções de remediação	C3	O método é apoiado pela comparação de diferentes opções corretivas disponíveis.
Abordagem de ciclo de vida	C4	O método remete ao pensamento de ciclo de vida, com vista à suficiência imediata e de longo prazo.
Preocupação com o uso futuro da área	C5	O método considera a possibilidade de uso futuro da área, no início do projeto, na avaliação das alternativas de correção, e na aplicação do processo de remediação.
Consideração e Integração do tripé da sustentabilidade	C6	O método facilita a inclusão e a análise dos aspectos sociais, econômicos e ambientais da sustentabilidade em todo o processo de remediação.
Proteção da saúde humana e do ambiente em geral	C7	O método leva em consideração a eliminação de riscos inaceitáveis associados à proteção da saúde humana e do meio ambiente, garantindo a integridade das pessoas diretamente envolvidas no processo de remediação e das comunidades vizinhas à área.
Participação das partes interessadas	C8	O método aborda o envolvimento das comunidades afetadas, usuários da área ou interessados na solução, e/ou considera a sua integração no processo de reparação.
Registro e documentação do processo de tomada de decisão	C9	O método fornece os pressupostos e dados utilizados para alcançar a estratégia final de remediação com uma abordagem clara e de fácil compreensão e reprodução.

Fonte: Elaborado pela Autora

2. A equidade intergeracional está diretamente relacionada com a conservação do meio ambiente e dos recursos naturais, em vista à distribuição equitativa dos benefícios e impactos entre as presentes e futuras gerações. Garantir a equidade intergeracional sugere opções e ações que asseguram ou melhoram as oportunidades e capacidades das gerações

futuras viverem de forma sustentável, como por exemplo, minimização do consumo de energia, utilização de recursos renováveis e reutilização de resíduos (GIBSON et al., 2005).

3. A avaliação, seleção e implementação adequada das opções de remediação é um dos pontos-chaves da gestão de áreas contaminadas, uma vez que, uma remediação desnecessária, inadequada ou insustentável pode proporcionar impactos negativos capazes de superar os aspectos positivos da sua aplicação (SuRF-UK, 2010; MORAES et al., 2014).

4. A avaliação do ciclo de vida vem sendo cada vez mais utilizada a fim de equilibrar a gestão ambiental com a vitalidade econômica e o bem-estar social em projetos de remediação sustentável (HOU et al., 2014b), sendo a sua aplicação neste meio, conforme Rizzo et al. (2016) cada vez mais necessária para mensurar e analisar os impactos ambientais globais inerentes ao processo corretivo durante todo o ciclo de vida do projeto. Portanto, o projeto de remediação deve remeter ao pensamento de ciclo de vida, pelo qual as escolhas sobre como a terra será usada após a remediação já deve ser considerada no início, na fase de projeto/planejamento, e os impactos dessas escolhas consideradas ao longo do ciclo de vida do processo (RIDSDALE; NOBLE, 2016).

5. A preocupação com o uso futuro da área após a remediação é um imperativo para a sustentabilidade e para a efetiva remediação. Este processo consiste no planejamento da regeneração ou reabilitação do local para o seu novo potencial de uso ou restauração das antigas funções (HOU; AL-TABBAA, 2014). Conforme Bardos (2014) a remediação deve sempre ser projetada com o pensamento voltado para a restauração da área contaminada para garantir algum grau de adequação para o seu uso futuro.

6. A consideração e integração dos elementos ambientais, econômicos e sociais no processo de remediação é uma exigência da remediação sustentável. Conforme Cundy et al. (2013) há um consenso comum sobre o amplo propósito da remediação sustentável em, primeiramente identificar e integrar aspectos ambientais, econômicos e sociais no projeto de remediação, examinar as interligações e reconhecer as interconexões, para em seguida reduzir os seus impactos, maximizando os benefícios a longo prazo.

7. A proteção da saúde humana e do meio ambiente consiste em um dos princípios fundamentais da remediação sustentável (DoD, 2010), o qual envolve a avaliação, gestão, eliminação e/ou controle, de maneira segura e oportuna, dos riscos significativos para a saúde humana do trabalhador diretamente envolvido no processo de remediação ou da comunidade circunvizinha à área, e os riscos para o meio ambiente em geral (ISO, 2017). Conforme Cappuyns (2016), em muitos países, a segurança do trabalhador já é regulada por lei, por

exemplo, na Bélgica é exigida a designação de coordenadores de segurança, responsáveis pela gestão segura de todas as atividades de remediação.

8. O envolvimento das partes interessadas, durante todo o processo de remediação, já é um conceito muito promovido e identificado na literatura, como um aspecto crítico e de grande relevância no processo de gestão e seleção da tecnologia de remediação que será aplicada (BONANO et al., 2000; TAM; BYER, 2002; HOU et al., 2014c). A aceitação pública, medida pelo envolvimento e satisfação da comunidade, é um fator social fundamental que reflete o envolvimento de diferentes partes interessadas na remediação de locais contaminados. É encorajado que as partes interessadas já participem no estágio inicial do projeto, antes que as decisões tenham sido tomadas, por meio de uma comunicação transparente com indivíduos ou grupos representativos, e de forma que a satisfação da comunidade possa ser alcançada (SONG et al., 2018).

9. O processo de documentar e registrar também é considerado um princípio orientador para a remediação sustentável, e fornece os pressupostos e os dados utilizados para alcançar a estratégia final de remediação com uma abordagem clara e de fácil compreensão e reprodução. (DoD, 2010).

### **4.3 Análise dos métodos identificados**

Oito métodos de avaliação da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas foram identificados e descritos para a análise de diferenças e semelhanças, além da descrição quanto a estrutura e abordagem, e atendimento à cada critério de decisão definido e relacionado no Quadro 13.

#### **4.3.1 Estrutura e abordagem**

Os documentos analisados ofereceram métodos estruturados por meio de diagramas, fluxogramas ou esquemas com formas, setas e símbolos. Quanto as estruturas dos métodos identificados, observa-se uma tendência entre os métodos de fornecer uma representação gráfica para a tomada de decisão, e sendo esta normalmente apresentada em etapas, as quais variam para cada método.

A USEPA descreve um processo de sete passos, iniciando com a definição das metas e o escopo da análise; coleta e organização das informações; quantificação dos materiais no local e as métricas de resíduos; quantificação das métricas de água no local; quantificação das



métricas de energia e ar; descrição quantitativa dos serviços do ecossistema afetado; e finalizando com a apresentação dos resultados.

A ASTM fornece um fluxograma que relaciona os três pilares da sustentabilidade através de diversas considerações específicas e propostas de BMPs, sendo que, para a seleção e execução destas BMPs é descrita uma estrutura de seis passos para incentivar os usuários a incorporar elementos sustentáveis em projetos de remediação.

O ITRC sugere um processo composto de cinco estágios para o planejamento da GSR, e um fluxograma complementar que inclui as fases de implementação desta GSR. Também com uma abordagem baseada na GSR, o processo proposto pelo SuRF-Taiwan traz um fluxograma de tomada de decisão com vista para a avaliação da GSR, a qual se divide em duas etapas principais, a avaliação do local, que ocorre antes da remediação, e a verificação do local, que ocorre durante e após a remediação.

O SuRF-US descreve o processo de tomada de decisão com vista para a remediação sustentável tanto como um processo linear quanto iterativo. Desta forma, apresenta uma estrutura em forma de espiral, para representar melhor a inclusão da sustentabilidade ao longo de todo o ciclo de vida do projeto de remediação, e a necessidade de uma avaliação e otimização contínua, objetivando os benefícios de todas as partes interessadas.

O SuRF-UK apresenta uma estrutura com foco em duas fases principais, a Fase A de planejamento e projeto, e a Fase B da implementação da remediação, sendo que, cada uma destas é composta por tarefas e marcos de tomadas de decisão. No mesmo sentido que o SuRF-UK, o SuRF-ANZ também fornece um fluxograma onde o processo de tomada de decisão é dividido em duas etapas principais, ou seja, planejamento e projeto, e implementação do processo de remediação, porém, com a inclusão das considerações de risco a nível regional e local para diferentes cenários de remediação.

O SuRF-Taiwan descreve um processo hierárquico de tomadas de decisões pelos decisores envolvidos na remediação em duas etapas principais: avaliação do local e verificação do local. Já a NICOLE identifica dois roteiros para o alcance da remediação sustentável, um com vista para a gestão e o outro para a avaliação da sustentabilidade. O primeiro roteiro descreve quatro estágios principais para a tomada de decisão: regional; local ou projeto; seleção da remediação; e o processo de remediação propriamente dito. Já o segundo roteiro retrata um fluxograma de revisão, concordância e definição de objetivos, escopo e análise da sustentabilidade aplicada à remediação.

Levando em consideração os aspectos descritivos dos métodos, percebe-se que existe um amplo consenso sobre a importância da definição de objetivos eficazes, definição clara das

fronteiras e limites, e a utilidade de uma abordagem em camadas/níveis para a avaliação da sustentabilidade. Os métodos ITRC, SuRF-US, SuRF-UK, SuRF-ANZ, SuRF-Taiwan e NICOLE fornecem às partes interessadas, indicações explícitas sobre quando e como aplicar a sustentabilidade em diferentes fases do projeto de remediação, desde o planejamento até a implementação.

Além disto, os métodos da NICOLE e do SuRF-UK sugerem que a abordagem quanto à remediação sustentável deve ser considerada o mais cedo possível no planejamento do projeto para maximizar os ganhos em termos de sustentabilidade. Os métodos ITRC, SuRF-US e SuRF-UK também discutem a importância de definir a extensão espacial e temporal do escopo da avaliação da sustentabilidade, a consideração dos impactos do “berço ao túmulo” do processo de remediação, e a necessidade de contabilizar os impactos além do limite físico da área.

Conforme o Quadro 14, a maioria dos métodos foram desenvolvidos nos Estado Unidos, em grande parte devido às origens das discussões, iniciativas e esforços acerca da remediação sustentável.

**Quadro 14** - Aspectos gerais dos métodos identificados neste estudo

<b>Métodos</b>	<b>Origem</b>	<b>Tipo de organização</b>	<b>Tipo de remediação</b>
USEPA	Estados Unidos da América/América do Norte	Organização associada ao Governo Federal	Remediação Verde
ASTM	Estados Unidos da América/América do Norte	Organização profissional	Remediação Verde e Sustentável
ITRC	Estados Unidos da América/América do Norte	Organização profissional	Remediação Verde e Sustentável
SuRF-US	Estados Unidos da América/América do Norte	Organização colaborativa	Remediação Sustentável
SuRF-UK	Reino Unido/Europa	Organização colaborativa	Remediação Sustentável
SuRF-ANZ	Austrália e Nova Zelândia/Oceania	Organização colaborativa	Remediação Sustentável
SuRF-Taiwan	Taiwan/Ásia	Organização colaborativa	Remediação Verde e Sustentável
NICOLE	Holanda/Europa	Organização colaborativa	Remediação Sustentável

Fonte: Elaborado pela Autora

Observa-se que a estruturação e o desenvolvimento destes métodos deram-se por organizações profissionais internacionais e principalmente por iniciativas voluntárias que

emergiram de colaborações entre profissionais, acadêmicos e órgãos reguladores. Além disto, dos métodos identificados, um enfatiza somente a remediação verde, três abordam a remediação verde juntamente com a remediação sustentável, e quatro enfocam especificamente na remediação sustentável.

Alguns grandes temas são mencionados nas definições e abordagens da maioria dos métodos, tais como:

- Importância da tomada de decisão de forma equilibrada com a consideração de todas as opiniões das partes interessadas;
- Remoção ou controle de riscos inaceitáveis para a saúde humana, segurança dos trabalhadores e da comunidade, e o meio ambiente;
- Uso da avaliação de risco para determinar a necessidade e a extensão da remediação e quais resultados seriam considerados aceitáveis;
- Importância da busca da remediação sustentável em *brownfields*;
- Otimização do processo com vista para as melhores soluções de remediação;
- Maximização dos benefícios globais do processo de remediação;
- Integração dos três pilares base da sustentabilidade;
- Uso limitado e criterioso dos recursos naturais;
- Transparência na avaliação da sustentabilidade com base científica sólida e a manutenção de registros;
- Ênfase em questões e ações ambientais técnicas;
- Cumprimento da legislação e visão de longo prazo; e
- Ênfase em fatores socioeconômicos e os impactos na comunidade.

#### **4.3.2 Critérios de decisão**

Nesta seção, para cada critério selecionado foi realizada uma análise detalhada quanto a sua satisfação e abordagem nos oito métodos identificados e descritos.

##### **4.3.2.1 Avaliação dos elementos centrais da remediação verde (C1)**

Nos Estados Unidos, por meio da USEPA a remediação verde ainda desempenha um papel importante no gerenciamento de áreas contaminadas, o que se torna evidente na abordagem e ênfase dada as questões e ações ambientais, em oposição aos elementos sociais e

econômicos da remediação sustentável, além da tendência de incorporar na prática opções de remediação para minimizar as pegadas e os efeitos ambientais destas ações.

O método da USEPA inclui explicitamente os cinco elementos centrais em sua abordagem, os quais são utilizados como BMPs e integrados ao longo do projeto de remediação para reduzir o impacto ambiental de uma ação corretiva e maximizar o benefício ambiental líquido.

No caso do método da ASTM, também há uma abordagem ampla neste contexto, voltada para a integração da remediação verde e sustentável, sendo que, as BMPs, essenciais na análise do método, são definidas para cada um dos cinco elementos da remediação verde.

Desta forma, os dois métodos (USEPA e ASTM) satisfazem totalmente o critério, sendo que, o restante dos métodos (ITRC, SuRF-US, SuRF-UK, SuRF-ANZ, SuRF-Taiwan e NICOLE) não atendem à abordagem do critério.

#### **4.3.2.2 Garantia de equidade intergeracional (C2)**

O critério é satisfeito plenamente por quatro métodos (USEPA, ASTM, ITRC e SuRF-UK), e três (SuRF-ANZ, SuRF-Taiwan e NICOLE) o atendem parcialmente, não sendo abordado no método so SuRF-US.

A USEPA enfoca uma atenção especial nas considerações intergeracionais, com vista para a eficiência no uso de recursos naturais, energia, e conservação e redução de resíduos, além de uma abordagem de longo prazo, incentivando opções alternativas de energia e longevidade da comunidade através da criação de novas oportunidades sociais e econômicas.

Nos métodos da ASTM e do SuRF-UK, é refletida explicitamente a redução dos impactos negativos, e a maximização dos benefícios a longo prazo para as comunidades, pensando para além da geração atual. Ainda, o método SuRF-UK se estende em considerações mais amplas do desenvolvimento sustentável aplicada à remediação, como por exemplo, processos de construção e remediação com minimização de resíduos e integração de um sistema de remediação com energia renovável.

O método ITRC elenca a projeção de uma remediação de baixa energia, com redução dos resíduos derivados, e do consumo de energia, como objetivos a serem considerados no planejamento e otimização do processo de remediação.

Já o SuRF-ANZ trata de maneira bem sucinta a minimização do consumo de recursos, assim como o SuRF-Taiwan o qual considera que para uma melhor avaliação do local deve-se considerar a eliminação de resíduos junto com a energia necessária para o processo. O método

da NICOLE também elenca sucintamente a importância das contribuições para o desenvolvimento sustentável, como por exemplo, através de um uso mais sustentável e eficiente dos recursos naturais.

#### **4.3.2.3 Avaliação das opções de remediação (C3)**

Neste contexto, o critério é satisfeito plenamente por seis métodos (USEPA, ITRC, SuRF-US, SuRF-UK, SuRF-ANZ e NICOLE), parcialmente satisfeito pelo método da ASTM, e sem abordagem no método SuRF-Taiwan.

O método da USEPA objetiva avaliar e selecionar opções de remediação que maximizam a pegada ambiental de um projeto, sendo que, cada um dos cinco elementos centrais da remediação verde é definido e direcionado para a avaliação das alternativas de remediação.

No método ITRC, a implementação da GSR deve ocorrer em todas as fases da remediação, desde a investigação até o fechamento do local, inclusive na avaliação e seleção de opções de remediação.

O SuRF-US objetiva em seu método a integração da sustentabilidade em todas as fases do processo de remediação, inclusive na seleção das alternativas. Portanto, a avaliação e seleção das opções de remediação é uma etapa fundamental, uma vez que, o método está centrado em uma abordagem faseada, ou seja, determinada fase do projeto precisa ser concluída para que a próxima fase possa ser realizada, por exemplo, a seleção das alternativas de remediação só pode ser iniciada após a conclusão da fase de investigação.

O SuRF-UK trabalhou no sentido de desenvolver um método para integrar uma tomada de decisão equilibrada na seleção das estratégias de remediação. A avaliação das opções consiste em um dos pontos-chaves da avaliação da gestão de áreas contaminadas realizada no método, sendo que, a única tarefa relevante na fase de implementação da remediação é a seleção da opção de remediação mais sustentável, a qual pode ser implementada e posteriormente verificada.

Indo ao encontro à abordagem trazida pelo SuRF-UK, no método SuRF-ANZ a sustentabilidade é considerada em várias etapas de um projeto de remediação, inclusive no desenvolvimento, seleção e avaliação de alternativas com vista para a remediação sustentável, ou seja, a opção escolhida deverá representar um equilíbrio entre os fatores econômicos, ambientais e sociais.

A NICOLE também enfoca na gestão para a sustentabilidade em um processo de tomada de decisão dividido em quatro fases, sendo uma destas a avaliação e seleção da estratégia de remediação.

Já a ASTM traz um método que conecta, de forma implícita, as opções de remediação consideradas. As BMPs aplicáveis a um projeto específico são organizadas e priorizadas para otimizar a seleção e implementação de tecnologias de remediação apropriadas, com a devida consideração dos custos e benefícios associados.

#### **4.3.2.4 Abordagem de ciclo de vida (C4)**

Os métodos aqui elencados (USEPA, ASTM, ITRC, SuRF-US e SuRF-UK) satisfazem totalmente o critério, uma vez que, remetem de alguma forma ao pensamento de ciclo de vida e abordam alguns aspectos da avaliação de ciclo de vida (ACV), trazendo-a como uma ferramenta aplicada ou como um conceito amplo na prática de remediação. O restante dos métodos (SuRF-ANZ, SuRF-Taiwan e NICOLE) não atendem ao critério.

A USEPA e o SuRF-US promovem a ACV como uma ferramenta para testar as opções de remediação. O método da USEPA considera menos os processos de ACV, mas encoraja o uso de perspectivas do ciclo de vida para avaliar todas as interações que podem ocorrer em uma área contaminada. Já o método do SuRF-US encoraja a avaliação e a integração dos parâmetros de sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de um projeto de remediação, incluindo metodologias de ACV para análise específica do local e das opções corretivas.

O método SuRF-UK discute a abordagem do ciclo de vida como um conceito e como uma ferramenta. No entanto, de forma geral, o SuRF-UK e a ASTM abordam a ACV como um processo conceitual que inclui a análise dos impactos durante o processo, e assim auxiliam os usuários a pensarem o projeto em uma escala temporal completa. O método SuRF-UK pode ser aplicado a vários cenários de tomada de decisão e de remediação, dentro do ciclo de vida de um projeto. O método ASTM destaca que a ACV facilita a redução global do impacto ambiental associada aos projetos de remediação, e, portanto, sugere que a avaliação das BMPs seja implementada ao longo de todo o ciclo de vida do projeto.

O método ITRC traz a abordagem do ciclo de vida como uma ferramenta de avaliação quantitativa para a combinação, seleção e aplicação de BMPs nos projetos de remediação.

#### **4.3.2.5 Preocupação com o uso futuro da área (C5)**

Três métodos (SuRF-US, SuRF-ANZ e SuRF-Taiwan) satisfazem plenamente o critério, trazendo o uso futuro da área desde o projeto até a seleção das opções de remediação, três (USEPA, ASTM e ITRC) o satisfazem apenas parcialmente, e dois não o atendem (SuRF-UK e NICOLE).

O método SuRF-US elenca em seu método o planejamento do uso final ou futuro da área no projeto de remediação, como uma das principais abordagens para a integração da sustentabilidade no processo de remediação e as insere em seu método.

No método SuRF-ANZ a sustentabilidade é considerada em várias etapas de um projeto de remediação, inclusive no planejamento do uso proposto da terra. Já no método do SuRF-Taiwan, mais especificamente na etapa de avaliação do local, é levado em consideração quaisquer restrições legais à remediação e o uso futuro da área, sendo que, se caso a área será utilizada para fins de cultivo, o plano de remediação não deve incluir atividades que impactam negativamente a fertilidade do solo, por exemplo.

Já a USEPA e a ASTM incentivam o planejamento para o uso futuro da área, mas sem abordagem explícita do processo como um todo, com foco principal em agregar valor às iniciativas básicas de remediação, com retornos para a comunidade local, em termos culturais, de desenvolvimento e infraestrutura.

O método ITRC objetiva maximizar a integração dos parâmetros de sustentabilidade em todas as fases do processo de remediação, desde o início do projeto, até o fechamento da área, mas, não define a incorporação do uso futuro da área nestas fases do processo de remediação.

#### **4.3.2.6 Consideração e Integração dos elementos do tripé da sustentabilidade (C6)**

Todos os métodos abordam de alguma forma os três elementos da sustentabilidade, sendo que, cinco métodos (ASTM, ITRC, SuRF-US, SuRF-UK e NICOLE) incluem explicitamente os fatores sociais, econômicos e ambientais como elementos essenciais durante o projeto de remediação, satisfazendo plenamente o critério em questão, e os outros três (USEPA, SuRF-ANZ e SuRF-Taiwan) o satisfazem parcialmente, com uma abordagem menos evidentes do tripé.

O método da ASTM aborda explicitamente as interligações entre os componentes sociais, econômicos e ambientais, por meio de um conjunto de critérios de desempenho sustentável, os quais estão integrados em toda a estrutura para a seleção das BMPs. Portanto, conforme a ASTM, as BMPs devem ser selecionadas nas três dimensões para proporcionar o maior benefício líquido sustentável associado ao projeto de remediação proposto.

O método ITRC, embora apresentar uma abordagem focada na GSR, objetiva maximizar a incorporação além das considerações ambientais, os aspectos sociais e econômicas no processo de remediação, a fim de mover o projeto de uma remediação meramente verde para uma remediação sustentável.

O método do SuRF-US apresenta a sustentabilidade como um tema abrangente para ser integrado em cada fase do projeto, destinando-se a auxiliar para que as considerações ambientais, sociais e econômicas sejam equilibradas e otimizadas durante todo o projeto de remediação.

Neste mesmo sentido, o método SuRF-UK também incentiva as interconexões entre os três elementos da sustentabilidade, e apresenta uma série de princípios orientadores para facilitar a compreensão destas interrelações.

A NICOLE compreende que a avaliação da sustentabilidade tem como objetivo a integração dos três elementos base da sustentabilidade, de uma forma equilibrada e levando em consideração os contextos legal e político específicos, a fim de maximizar os benefícios globais das estratégias de remediação.

Já a USEPA inclui em sua abordagem apenas aspectos ambientais, sem consideração explícita de aspectos sociais e econômicos, em função de sua abordagem focada na remediação verde.

Em relação à abordagem trazida pelo método SuRF-ANZ, é observado que apenas o método nacional de remediação da Austrália, vinculado ao SuRF-ANZ, alude à integração de considerações tanto econômicas, ambientais, sociais, de longo e curto prazo, durante o projeto de remediação. E por último, o SuRF-Taiwan, também sem consideração explícita no método, destaca a necessidade de ferramentas que avaliem e comparem os efeitos ambientais, sociais e econômicos de diferentes opções de remediação, para selecionar a que mais se ajusta aos requisitos sustentáveis.

#### **4.3.2.7 Proteção da saúde humana e do ambiente em geral (C7)**

Cinco métodos (ITRC, SuRF-UK, SuRF-ANZ, SuRF-US e NICOLE) satisfazem totalmente este critério, dois métodos (ASTM e SuRF-Taiwan) o atendem parcialmente, e não sendo abordado pelo método da USEPA.

Os métodos ITRC, SuRF-UK e SuRF-ANZ estão baseados em alguns princípios chave, considerados fundamentais em suas abordagens, sendo um destes a proteção da saúde humana e do meio ambiente. No caso do SuRF-UK, junto com a proteção da saúde humana e do meio



ambiente, inclui práticas de trabalho seguras, tanto para trabalhadores quanto para as comunidades locais.

No método do SuRF-US é enfatizado que as metas de remediação e de sustentabilidade devem ser simultaneamente asseguradas e alcançadas, não comprometendo a proteção da saúde humana e do ambiente a longo prazo. A NICOLE também compreende que a remediação sustentável envolve a avaliação e gestão de riscos significativos para a saúde humana e para o ambiente.

Já a ASTM e o SuRF-Taiwan, com uma abordagem menos efetiva para o critério, consideram que a criação do método se baseia nas premissas da redução dos riscos e dos impactos sobre o meio ambiente, a saúde dos trabalhadores e das pessoas da comunidade local.

#### **4.3.2.8 Participação das partes interessadas (C8)**

Todos os métodos discorrem sobre a participação das partes interessadas em suas abordagens. Destes, seis métodos (ASTM, ITRC, SuRF-US, SuRF-UK, SuRF-Taiwan e NICOLE) o fazem explicitamente, satisfazendo plenamente o critério em análise, e dois (USEPA e SuRF-ANZ) parcialmente.

A ASTM em seu método enfatiza o engajamento precoce de uma grande gama de partes interessadas nas discussões e nos processos de tomada de decisão do projeto de remediação, sendo que, este envolvimento deve objetivar principalmente a busca das metas comuns entre os proponentes do projeto e as partes interessadas, e direcioná-las para resultados que reflitam os interesses de cada grupo constituinte e da comunidade como um todo.

O método do ITRC também aborda explicitamente este critério, sendo que, o terceiro passo da fase de planejamento do método consiste na participação das partes interessadas, a qual se inicia com a identificação de todas as partes interessadas, sejam estes reguladores federais e estaduais, governo local, proprietário do local, moradores locais afetados, comunidade em geral e responsáveis pela remediação do local. O ITRC ainda destaca que depois que todas as partes interessadas foram identificadas, é preciso verificar o papel de cada grupo participante no projeto de remediação, o impacto sobre as tomadas de decisão, o momento do envolvimento das partes, como serão contratadas e como as informações sobre a implementação da GSR, por exemplo, serão divulgadas.

No método do SURF-US a consulta e a colaboração da comunidade são fundamentais para a remediação sustentável, além de recomendar que a comunidade seja consultada com antecedência, ao longo de todo o processo e sobre os desejáveis usos futuros da área. O método

foi concebido para ser acessível e útil para todas as partes interessadas que podem ser afetadas pelo projeto de remediação, sendo o grande destaque o reconhecimento da opinião e participação das partes interessadas nas tomadas de decisão.

O método do SuRF UK, além de abordar o envolvimento das partes interessadas em seus princípios orientadores, também se apresenta como um processo consultivo que busca consenso entre as diferentes partes interessadas no projeto, apoiando o engajamento desde o início, quando os objetivos são acordados. Este envolvimento conforme o SuRF-UK proporciona algumas vantagens, tais como: as partes interessadas podem fornecer informações cruciais sobre aspectos específicos da sustentabilidade; os processos consultivos melhoram a transparência e a robustez das decisões; e envolver as partes interessadas faz parte da boa governança.

O SuRF-Taiwan traz a identificação, comunicação e discussão com as partes interessadas inseridas em seu método. Além disto, em se tratando de um método regido por uma sequência de tomadas de decisão, a sua execução depende diretamente do aceite das diferentes partes interessadas, incluindo os organismos administrativos, instituições acadêmicas, profissionais de remediação, cidadãos e proprietários locais, bem como indústrias relacionadas e organizações não-governamentais.

O método trazido pela NICOLE baseia-se fundamentalmente na consulta e participação das partes interessadas na tomada de decisão, em todas as fases do projeto, sendo que, destaca a importância da comunicação, compartilhamento de experiências, e da necessidade de construir a confiança e o consenso entre as partes interessadas. Além disto, o método permite que os interesses das partes sejam considerados no processo de tomada de decisão, e que as estas forneçam suas perspectivas sobre o equilíbrio de potenciais impactos e benefícios. Desta forma, recomenda um processo simples que facilite a concordância e o estabelecimento de um ponto de vista acordado entre as diferentes partes interessadas.

Já o método da USEPA, embora sugerir o envolvimento e a voz ativa da comunidade local nas tomadas de decisão, com vista para aumentar a aceitação e a conscientização pública, fornece orientações limitadas sobre como incorporar esse engajamento no método. Nesta mesma linha, o método do SURF-ANZ, embora reconheça que as perspectivas das partes interessadas devem ser levadas a sério durante todo o processo de remediação, as orientações sobre esta participação ainda não estão bem desenvolvidas, com uma discussão muito voltada à gestão e percepção de riscos por parte dos interessados.

#### 4.3.2.9 Registro e documentação do processo de tomada de decisão (C9)

Observou-se que a documentação e a manutenção de registros são questões bastante subjetivas aos métodos. Desta forma, dois métodos (SuRF-UK e SuRF-ANZ) demonstram apenas a importância da abordagem, satisfazendo parcialmente o critério. Já outros três métodos (ASTM, ITRC e NICOLE) além desta consideração, fornecem os pressupostos para tal processo, atendendo totalmente o critério, e três (USEPA, SuRF-US e SuRF-Taiwan) não o incluem em sua abordagem.

O SuRF-UK considera que a manutenção de registros é de grande importância e isso é demonstrado pelo fato de que esta questão é abordada em um dos princípios adotados. O SuRF-ANZ refere-se diretamente às recomendações do SuRF-UK, destacando que a documentação atualizada garante transparência e deixa claro como o método é aplicado.

Já a ASTM, além de declarar a importância de se documentar as atividades e avaliações realizadas ao implementar o método, para demonstrar os benefícios sustentáveis através da comunicação aberta e transparente, possui uma abordagem bastante sólida sobre esta questão. No método da ASTM existem dois passos envolvendo os processos de documentação e relatórios, o primeiro consiste em documentar o processo para cada fase da remediação, e o segundo em relatar a documentação ao público juntamente com um resumo técnico e uma declaração afirmando que o usuário seguiu o processo descrito.

O ITRC enfatiza o valor da documentação e da manutenção de registros ao longo do projeto de remediação, com vista a fornecer as informações e as orientações sobre os resultados da avaliação da GSR, os progressos dos trabalhos e o alcance dos objetivos propostos. Portanto, recomenda que todas as informações sejam relatadas e que o nível de comunicação seja adaptado de acordo com as partes interessadas à qual a documentação é apresentada, para que haja o entendimento da abordagem e os resultados possam ser verificados.

A NICOLE declara que a manutenção de registros deve abranger todas as etapas do roteiro do método desenvolvido, desde a definição dos objetivos iniciais, para que todas as partes interessadas, como participantes não especialistas, possam acompanhar o processo de tomada de decisão.

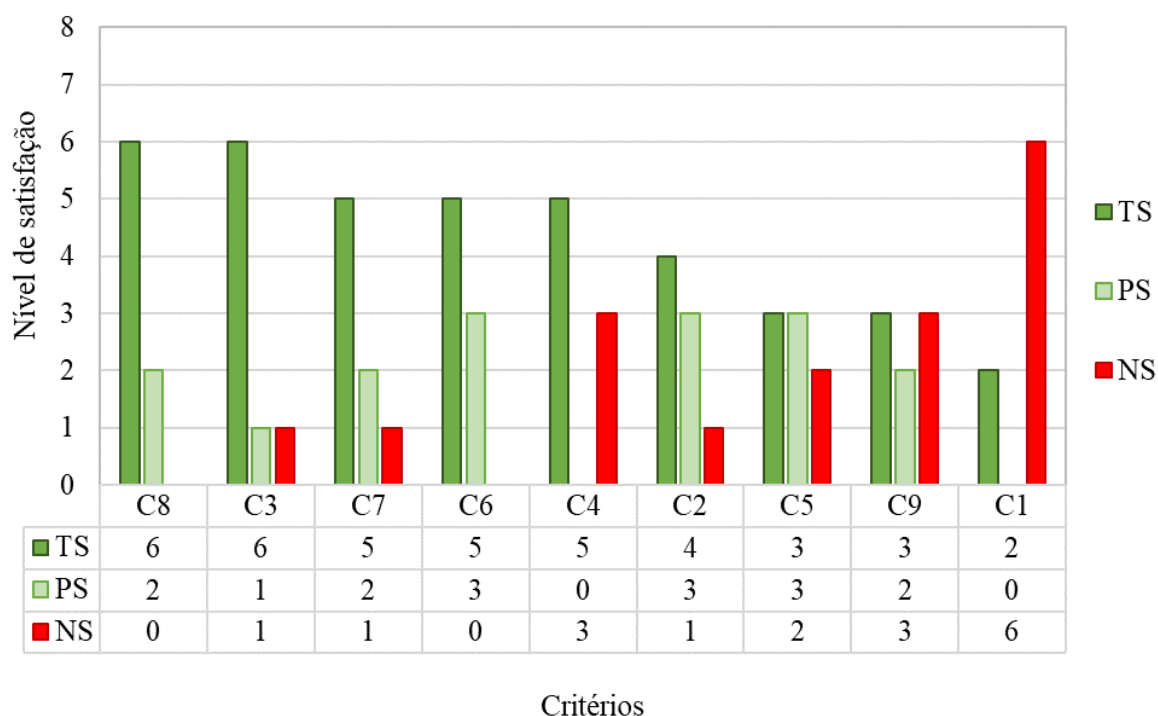
Diante destas explicações, o Quadro 15 traz o enquadramento dos métodos com o resumo das informações obtidas quanto a satisfação dos critérios. Para a satisfação dos critérios foi definido uma escala de cores, sendo estas, as cores verde escuro, verde claro e vermelho para os critérios TS, PS e NS, respectivamente.

**Quadro 15** - Desempenho dos métodos com base na satisfação dos critérios de decisão

Critérios de decisão	Métodos								Resumo dos critérios
	USEPA	ASTM	ITRC	SuRF-US	SuRF-UK	SuRF-ANZ	Surf-Taiwan	NICOLE	
C1	TS	TS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	2 TS 0 PS 6 NS
C2	TS	TS	TS	NS	TS	PS	PS	PS	4 TS 3 PS 1 NS
C3	TS	PS	TS	TS	TS	TS	NS	TS	6 TS 1 PS 1 NS
C4	TS	TS	TS	TS	TS	NS	NS	NS	5 TS 0 PS 3 NS
C5	PS	PS	PS	TS	NS	TS	TS	NS	3 TS 3 PS 2 NS
C6	PS	TS	TS	TS	TS	PS	PS	TS	5 TS 3 PS 0 NS
C7	NS	PS	TS	TS	TS	TS	PS	TS	5 TS 2 PS 1 NS
C8	PS	TS	TS	TS	TS	PS	TS	TS	6 TS 2 PS 0 NS
C9	NS	TS	TS	NS	PS	PS	NS	TS	3 TS 2 PS 3 NS
<b>Resumo dos métodos</b>	4 TS 3 PS 2 NS	6 TS 3 PS 0 NS	7 TS 1 PS 1 NS	6 TS 0 PS 3 NS	6 TS 1 PS 2 NS	3 TS 4 PS 2 NS	2 TS 3 PS 4 NS	5 TS 1 PS 3 NS	

Fonte: Elaborado pela Autora

Os resultados indicaram uma grande variabilidade entre os critérios, o que é percebido em função de que nenhum critério de decisão foi satisfeito plenamente por todos os métodos, além de que nenhum método satisfaz por completo todos os critérios. As classificações em relação aos critérios e o cumprimento destes pelos métodos estão elencadas nas Figura 38 e 39, respectivamente.

**Figura 38** - Classificação<sup>1</sup> dos critérios em relação ao nível de satisfação pelos métodos

<sup>1</sup>A classificação dos critérios foi baseada primeiramente no número de critérios totalmente satisfeitos, seguida dos parcialmente atendidos, e por último dos não satisfeitos, conforme metodologia estabelecida.

Fonte: Elaborada pela Autora

O C8, o qual envolve a participação das partes interessadas no projeto de remediação, obteve o melhor desempenho entre os métodos, uma vez que, foi abordado em todos os métodos analisados. Os métodos de uma forma geral descreveram a importância da colaboração e envolvimento de uma grande gama de interessados no projeto de remediação, sejam os diretamente envolvidos no processo ou a comunidade local afetada pela ação. Além disto, destacaram de uma forma bastante expressiva que os processos consultivos, colaborativos e de diálogo promovidos entre as partes interessadas, e a incorporação de preocupações locais nas tomadas de decisão, auxiliam na gestão das incertezas, geram legitimidade e confiança pública e melhoram os resultados.

O segundo critério mais satisfeito foi a avaliação das opções de remediação (C3), sendo que, os métodos em sua grande maioria objetivam a integração da sustentabilidade e tomadas de decisão equilibradas em todas as fases do processo de remediação, inclusive na seleção das alternativas de remediação, com vista para uma implementação adequada, e consequentemente evitar efeitos secundários adversos.

Na terceira posição ficou o critério de proteção da saúde humana e do ambiente em geral (C7), sendo que, constituindo um dos princípios fundamentais da remediação sustentável, os

métodos em sua grande maioria abordaram o critério como princípio orientador em seu contexto, com ênfase para a minimização ou eliminação dos riscos inaceitáveis, incluindo práticas de trabalho seguras, tanto para os trabalhadores quanto para as comunidades locais.

O C6 que envolve a consideração e integração dos elementos do tripé da sustentabilidade, ocupa a 4ª posição na classificação dos critérios, e obteve abordagem em todos os métodos, ou seja, todos os métodos abordaram de alguma forma os três elementos da sustentabilidade, atendendo totalmente ou parcialmente o critério. Observou-se que os métodos que adotam a sustentabilidade como princípio orientador fornecem orientações para uma maior e melhor integração dos elementos ambientais, sociais e econômicos no processo de remediação. Contudo, embora que os métodos introduzam em sua abordagem o conceito de sustentabilidade, alguns ainda não conseguem desenvolver a efetiva integração dos elementos essenciais que a compõe em seu método (WHITE; NOBLE, 2013).

A abordagem do ciclo de vida (C4) obteve o quinto melhor desempenho entre os métodos, sendo que, a sua abordagem quando presente nos métodos, apresentou-se ou como uma ferramenta ou um conceito de análise temporal, consideradas com satisfação plena.

A satisfação do C2 (garantia da equidade intergeracional), o qual obteve o 6º melhor desempenho, deu-se pelo fato de que os métodos abordaram ou mencionaram a importância de se considerar a eficiência no uso de recursos naturais e de energia, da reutilização de materiais e redução de geração de resíduos, bem como os benefícios a longo prazo. Neste sentido, considerando os itens considerados pelo critério, a sua posição na classificação geral é justificável, uma vez que, estão diretamente ligados aos elementos centrais da remediação verde, critério este que se encontra na última posição da classificação.

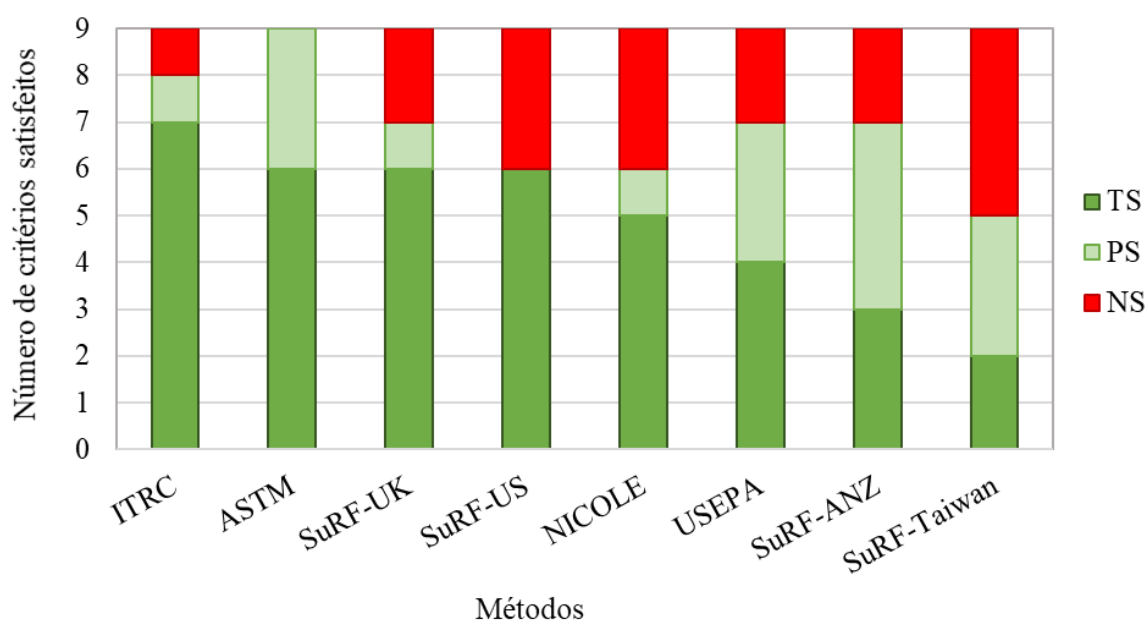
Para o critério voltado à preocupação com o uso futuro da área (C5), foi observada uma carência de sua abordagem nos métodos, visto que o critério se encontra na 7ª posição na classificação geral. O resultado divergiu quando comparado a satisfação obtida em outros estudos já realizados (RIDSDALE E NOBLE, 2016), onde obteve posição melhor, porém, esta comparação tão direta não é possível de ser realizada, uma vez que, cada estudo definiu seu próprio conjunto de critérios e métodos de análise.

Em oitava e nona posição se encontram o critério de registro e documentação do processo de tomada de decisão (C9) e de avaliação dos elementos centrais da remediação verde (C1), respectivamente. Embora que o processo de documentar e registrar ser considerado um princípio orientador da remediação sustentável, os métodos analisados ainda não trazem uma abordagem difundida e sólida, sendo que, somente alguns conseguem envolver efetivamente o processo de documentar como uma etapa do seu método.

O C1 obteve menos abordagem nos métodos, em função muito de que, mesmo que alguns métodos incorporam a remediação verde, a grande maioria são rotulados pela sustentabilidade com a integração de elementos tanto ambientais, econômicos, quanto sociais no processo.

Neste contexto de análise dos critérios, considerando apenas os níveis de satisfação, os métodos que se destacaram na classificação obtida, conforme Figura 39, são o ITRC, com sete critérios totalmente satisfeitos, seguido dos métodos ASTM, SuRF-UK e SuRF-US que atenderam totalmente seis critérios cada um, sendo que, o método ASTM foi o único que abordou de alguma forma todos os critérios.

**Figura 39** – Classificação<sup>1</sup> dos métodos considerando apenas o número de critérios satisfeitos



<sup>1</sup>A classificação dos métodos foi baseada primeiramente no número de critérios totalmente satisfeitos, seguida dos parcialmente atendidos, e por último dos não satisfeitos, conforme metodologia estabelecida.

Fonte: Elaborada pela Autora

O método NICOLE se encontra logo em sequência com cinco critérios totalmente satisfeitos. Com quatro critérios totalmente satisfeitos, o método da USEPA ainda possui uma abordagem muito voltada para a remediação verde, considerando quase que exclusivamente os elementos ambientais associados ao processo de remediação, fragilizando o tripé da sustentabilidade.

As duas últimas posições da classificação geral são ocupadas pelos SuRF-ANZ e SuRF-Taiwan, com apenas três e dois critérios totalmente satisfeitos, respectivamente. Este desempenho insatisfatório se deve muito em função de que, embora terem sua base vinculada aos métodos SuRF-US e SuRF-UK, são organizações recentes, em especial o SuRF-Taiwan,

com princípios sustentáveis não bem consolidados, situação esta que reflete diretamente sobre os métodos desenvolvidos.

#### 4.4 Ponderação dos critérios selecionados

A aplicação do processo multicritério de tomada de decisão deu-se da forma como mostrado nos Apêndices I e II, sendo que, considerando os nove critérios selecionados, e aplicando a Equação 1 elencada na Seção 2.5.1.1, cada decisor julgou 36 combinações de critérios, conforme procedimento de análise par a par dos critérios do método AHP.

O início do processo de decisão deu-se por meio do contato com os decisores integrantes dos 03 grandes grupos. Para o grupo 01 (profissionais e pesquisadores vinculados à Universidade de Passo Fundo), o questionário (Apêndice I) foi aplicado presencialmente, sendo que, inicialmente fez-se um contato com estes decisores, apresentando a temática e a finalidade do questionário, a fim de verificar a disponibilidade de participação dos mesmos no processo. Aos que concordaram em participar da pesquisa, foi marcada uma data para a aplicação do questionário. Obteve-se 39 decisores participantes deste grupo, com nível de formação superior, especialização, mestrado e doutorado em áreas afins aos objetivos da pesquisa, dentre alunos e professores.

Para o grupo 02 (especialistas e técnicos), o questionário foi enviado por e-mail para o chefe do setor de saneamento ambiental da FEPAM do município de Passo Fundo, apresentando a temática, a finalidade e as orientações necessárias, sendo que, este encaminhou o questionário para os demais colegas técnicos vinculados à área de interesse, obtendo-se um total de 03 respostas.

Para o grupo 03 (profissionais e pesquisadores internacionais), o questionário, traduzido para a língua de origem conforme Apêndice II, também foi encaminhado por e-mail para o professor responsável pela área de pesquisa em questão na *University of Illinois at Chicago*, sendo que, este aplicou e encaminhou o questionário para os profissionais e pesquisadores vinculados à área de geotecnia ambiental, remediação de áreas contaminadas e sustentabilidade, dentre graduandos e pós-graduandos. Deste grupo obteve-se 19 decisores participantes.

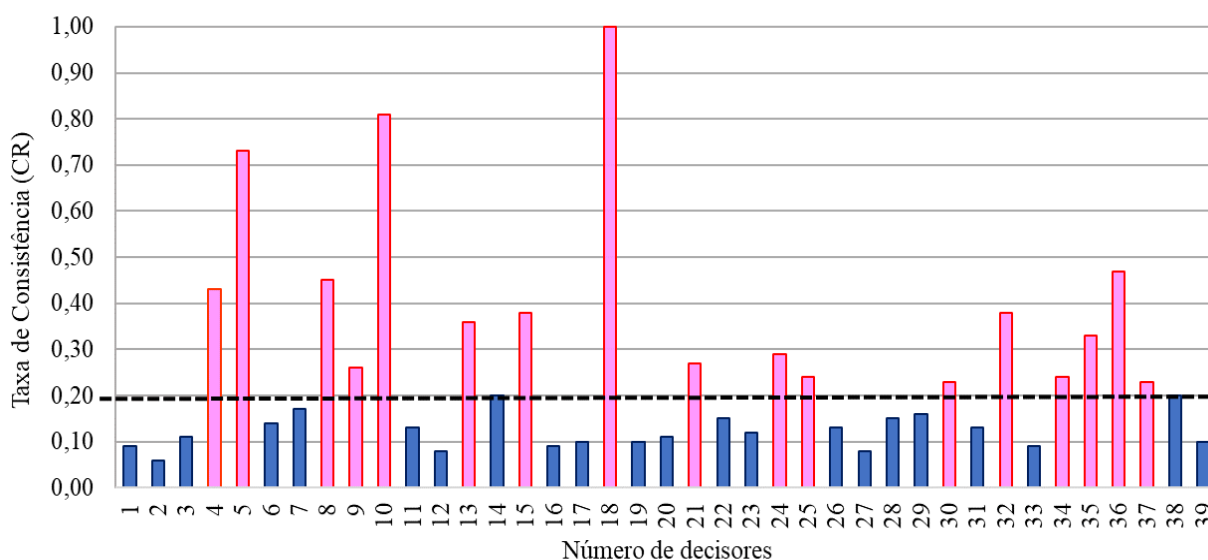
Após recebimento de todas as respostas, um total de 61 respondentes, os dados foram inseridos nos softwares Excel e *Expert Choice*, inicialmente para verificar a taxa de consistência (CR) dos resultados de cada decisor, conforme apresentado nas Figuras 40, 41 e 42. Como já especificado na metodologia, visto que não foram definidas alternativas para este estudo, não



realizou-se as análises de sensibilidade e performance, somente a análise de consistência das respostas.

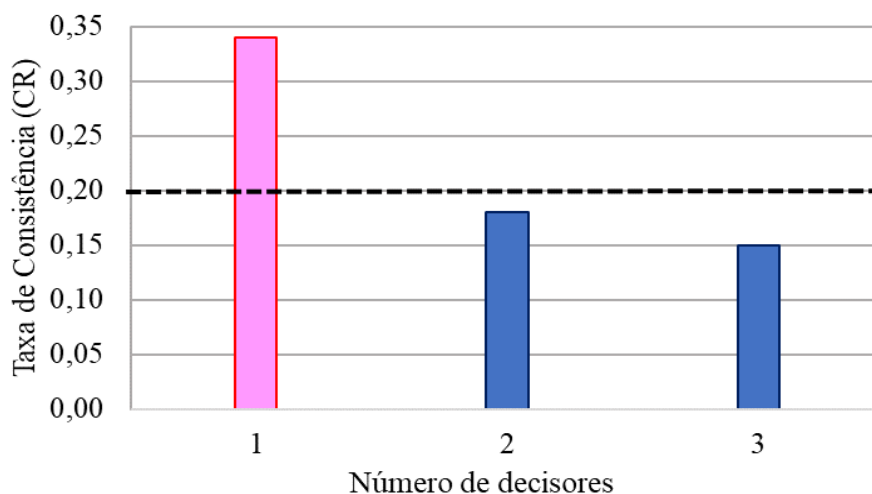
Observa-se que 17 decisores do Grupo 1 (43,6%), 01 decisor do Grupo 2 (20%), e 09 decisores do Grupo 3 (47,4%), obtiveram CR acima do limite máximo considerado (0,20), correspondendo a um total de 44,3% de inconsistências obtidas. Número este considerado satisfatório, visto a grande diversidade nos níveis e áreas de formação; a quantidade de critérios analisados e possibilidades de ponderação; além da complexidade e pouco conhecimento difundido do tema em questão.

**Figura 40** – Taxa de consistência dos julgamentos dos decisores do Grupo 1

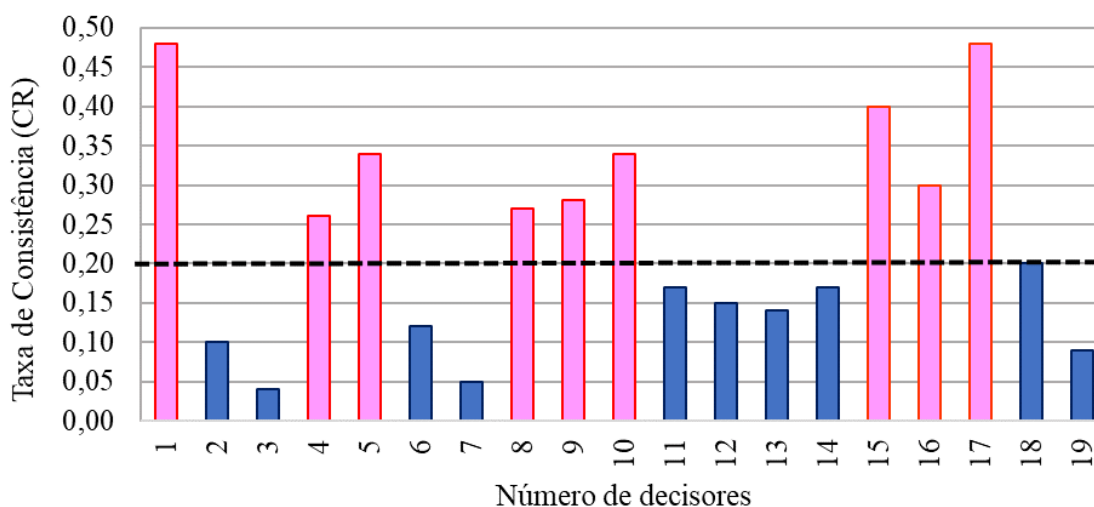


Fonte: Elaborada pela Autora

**Figura 41** - Taxa de consistência dos julgamentos dos decisores do Grupo 2



Fonte: Elaborada pela Autora

**Figura 42 - Taxa de consistência dos julgamentos dos decisores do Grupo 3**

Fonte: Elaborada pela Autora

Além das consistências individuais, foi possível também verificar a CR global de cada grupo, antes e depois da retirada dos julgamentos inconsistentes, juntamente com a preferência de cada critério por grupo analisado, conforme Quadros 16, 17 e 18.

#### 4.4.1 Grupo 1 - Profissionais e pesquisadores vinculados à Universidade de Passo Fundo

Considerando a combinação dos julgamentos de todos os decisores do Grupo 1, a taxa de consistência foi de 0,01 tanto antes quanto depois da retirada das inconsistências, além de que, o critério “Proteção da saúde humana e do meio ambiente” foi o preferível nas duas situações, com 25,3 e 27,4% de preferência, respectivamente (Quadro 16).

**Quadro 16 - Ponderação obtida para os critérios analisados pelo Grupo 1, antes e depois do descarte dos julgamentos inconsistentes**

Critérios/Classificação antes e depois			Ponderação (%)	
			Antes	Depois
1º	Proteção da saúde humana e do ambiente em geral (C7)	1º	25,3	27,4
2º	Consideração e Integração do tripé da sustentabilidade (C6)	2º	15,3	16,6
3º	Garantia de equidade intergeracional (C2)	3º	11,5	13,7
4º	Preocupação com o uso futuro da área (C5)	5º	10,2	8,5
5º	Abordagem de ciclo de vida (C4)	4º	10,1	10,0
6º	Participação das partes interessadas (C8)	6º	7,4	6,4
7º	Avaliação das opções de remediação (C3)	7º	7,3	6,2
8º	Avaliação dos elementos centrais da remediação verde (C1)	8º	6,8	5,9
9º	Registro e documentação do processo de tomada de decisão (C9)	9º	6,2	5,2
Taxa de Consistência			0,01	0,01

Fonte: Elaborado pela Autora

Conforme o Quadro 16, observa-se poucas disparidades nas preferências quando os julgamentos inconsistentes são descartados, sendo que, os fatores de ponderação destacados em negrito demonstram que não houve alteração na ordem de classificação dos critérios, antes e após a retirada das inconsistências, já os valores destacados em vermelho demonstram que ocorreu alguma mudança. Após a retirada das inconsistências, o critério “Abordagem de ciclo de vida” obteve preferência sobre o critério “Preocupação com o uso futuro da área”.

#### 4.4.2 Grupo 2 - Especialistas e técnicos

Para o Grupo 2, conforme apresentado no Quadro 17, a taxa de consistência da combinação de todos os julgamentos foi 0,07, e após a exclusão dos inconsistentes, passou a 0,10. Este aumento no valor da taxa de consistência é justificável considerando o número reduzido de decisores deste grupo, somente três participantes, sendo que, desconsiderando a resposta inconsistente, restaram apenas dois resultados. Quanto menor o tamanho da amostra, mais propensos estão os resultados de apresentarem alguma disparidade.

Contudo, mesmo com este aumento na taxa de consistência global, após a retirada do julgamento inconsistente, o valor permaneceu dentro do limite permitido, além de que, a “Proteção da saúde humana e do meio ambiente” continuou sendo o critério preferível pelos decisores com 49,5% do total, atingindo quase 50% da preferência e obtendo um aumento, comparada à situação anterior ao descarte das inconsistências. Além disto, neste grupo, o critério “Garantia de equidade intergeracional” obteve a menor preferência em ambas as situações.

**Quadro 17** - Ponderação obtida para os critérios analisados pelo Grupo 2, antes e depois do descarte dos julgamentos inconsistentes

Critérios/Classificação antes e depois			Ponderação (%)	
			Antes	Depois
1º	Proteção da saúde humana e do ambiente em geral (C7)	1º	34,4	49,5
2º	Avaliação das opções de remediação (C3)	3º	17,3	10,0
3º	Preocupação com o uso futuro da área (C5)	2º	14,5	11,7
4º	Avaliação dos elementos centrais da remediação verde (C1)	5º	9,5	5,9
5º	Participação das partes interessadas (C8)	4º	6,3	7,9
6º	Registro e documentação do processo de tomada de decisão (C9)	6º	5,4	5,5
7º	Consideração e Integração do tripé da sustentabilidade (C6)	8º	5,1	3,5
8º	Abordagem de ciclo de vida (C4)	7º	4,4	4,0
9º	Garantia de equidade intergeracional (C2)	9º	3,1	2,0
Taxa de Consistência			0,07	0,10

Fonte: Elaborado pela Autora

Comparado ao Grupo 1, ocorreram um maior número de mudanças nas preferências dos critérios após a retirada das inconsistências, porém, como pode ser observado no Quadro 17, estas mudanças se deram sempre entre pares de critérios e em apenas uma posição.

#### 4.4.3 Grupo 3 - Profissionais e pesquisadores internacionais

De acordo com o apresentado no Quadro 18, no caso do Grupo 3, a taxa de consistência era de 0,02 com todos os julgamentos, e reduziu para 0,01 com a exclusão dos nove decisores com julgamentos inconsistentes. Em ambas as situações o critério “Proteção da saúde humana e do meio ambiente” obteve a preferência, e os critérios “Garantia de equidade intergeracional” e “Avaliação dos elementos centrais da remediação verde” os menores níveis de ponderação, respectivamente.

**Quadro 18** - Ponderação obtida para os critérios analisados pelo Grupo 3, antes e depois do descarte dos julgamentos inconsistentes

Critérios/Classificação antes e depois			Ponderação (%)	
			Antes	Depois
1º	Proteção da saúde humana e do ambiente em geral (C7)	1º	21,5	23,0
2º	Registro e documentação do processo de tomada de decisão (C9)	4º	13,2	10,6
3º	Participação das partes interessadas (C8)	7º	11,9	9,2
4º	Preocupação com o uso futuro da área (C5)	2º	11,5	11,2
5º	Consideração e Integração do tripé da sustentabilidade (C6)	6º	9,9	9,3
6º	Abordagem de ciclo de vida (C4)	5º	9,4	10,4
7º	Avaliação das opções de remediação (C3)	3º	9,2	10,9
8º	Garantia de equidade intergeracional (C2)	8º	7,1	8,0
9º	Avaliação dos elementos centrais da remediação verde (C1)	9º	6,1	7,4
Taxa de Consistência			0,02	0,01

Fonte: Elaborado pela Autora

Entre os critérios com maior e menor preferência, ocorreram algumas disparidades significativas. Por exemplo, após a retirada das inconsistências, o critério “Preocupação com o uso futuro da área” passou a ser o segundo mais preferível entre os respondentes e não mais o “Registro e documentação do processo de tomada de decisão”. Além disto, a “Avaliação das opções de remediação” passou do sétimo para o terceiro lugar na ordem de preferência, após o descarte das respostas inconsistentes, fazendo com que o critério “Participação das partes interessadas” obtivesse menor importância.

#### 4.4.4 Global - Grupo 1, 2 e 3

Considerando os resultados obtidos quanto a ponderação dos critérios para os três Grupos, observa-se que apenas o critério da “Proteção da saúde humana e do ambiente em geral” manteve-se sempre na primeira posição, com maior preferência nos Grupos, o que também justifica sua primeira posição na ponderação final dos critérios (Quadro 19). Já os outros critérios tiveram grande influência das variações que ocorrem em suas posições e preferências ao longo dos três Grupos.

Conforme o Quadro 19, as taxas de consistência permaneceram em 0,02, antes e depois da retirada das respostas inconsistentes, uma vez que, quando os resultados de todos os grupos são compilados, considerando o grande número de decisores participantes, a probabilidade de ocorrerem disparidades diminui, o que justifica a não ocorrência de grandes variações na ponderação final dos critérios, mesmo após a retirada dos julgamentos inconsistentes. Uma única mudança de posição foi observada após a exclusão das inconsistências, fazendo com que, o critério “Abordagem de ciclo de vida” obtivesse preferência sobre o “Registro e documentação do processo de tomada de decisão”.

**Quadro 19** - Ponderação final obtida para os critérios analisados pelos três Grupos, antes e depois do descarte dos julgamentos inconsistentes

Critérios/Classificação antes e depois			Ponderação (%)	
			Antes	Depois
1º	Proteção da saúde humana e do ambiente em geral (C7)	1º	27,9	33,8
2º	Preocupação com o uso futuro da área (C5)	2º	12,5	11,1
3º	Avaliação das opções de remediação (C3)	3º	11,0	9,4
4º	Consideração e Integração do tripé da sustentabilidade (C6)	4º	9,7	8,7
5º	Participação das partes interessadas (C8)	5º	8,6	8,3
6º	Registro e documentação do processo de tomada de decisão (C9)	7º	8,0	7,2
7º	Abordagem de ciclo de vida (C4)	6º	7,8	8,0
8º	Avaliação dos elementos centrais da remediação verde (C1)	8º	7,7	6,8
9º	Garantia de equidade intergeracional (C2)	9º	6,6	6,5
Taxa de Consistência			0,02	0,02

Fonte: Elaborado pela Autora

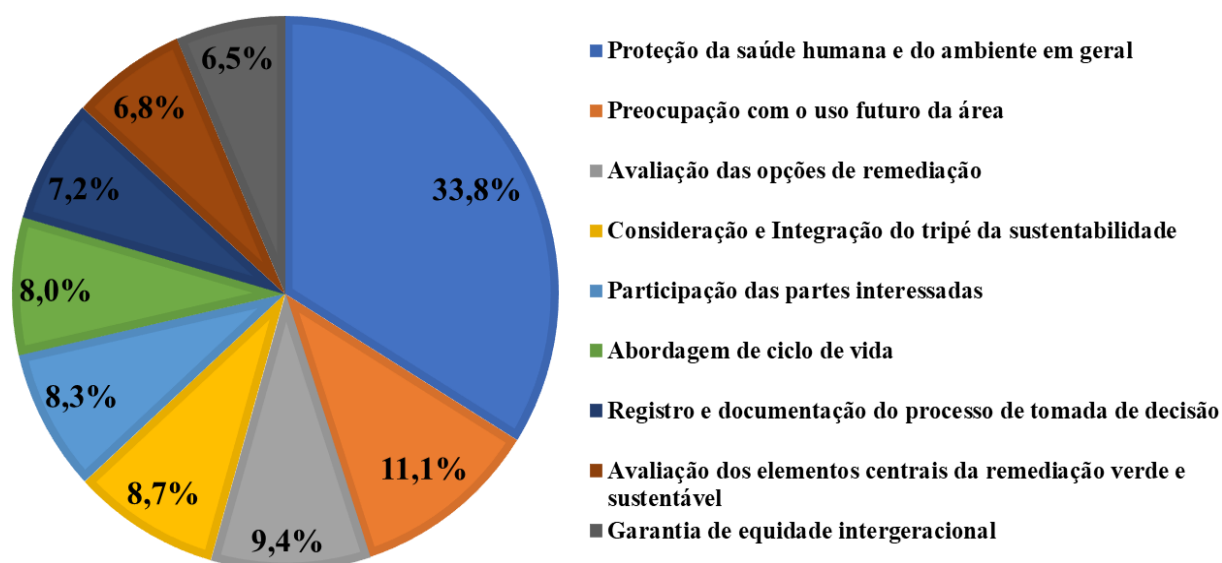
Portanto, os valores das taxas de consistência globais de cada Grupo, antes e após a retirada das inconsistências, inclusive na ponderação final, encontram-se bem abaixo de 0,20, taxa limite considerada para este trabalho, e, também abaixo do valor de 0,10, indicado por Saaty.

Contudo, mesmo obtendo taxas de consistência satisfatórias mantendo-se as respostas inconsistentes, a fim de obter uma conclusão ainda mais precisa e confiável dos resultados,

optou-se por desconsiderar os julgamentos inconsistentes, sendo que, as respostas consistentes constituem um número representativo para as análises realizadas. Portanto, este descarte das respostas inconsistentes, foi possível pelo grande número de decisores e julgamentos obtidos.

A Figura 43 e o Quadro 20 trazem os resultados finais para a ponderação dos critérios considerados, com os fatores de ponderação, a ordem de prioridades e a classificação final.

**Figura 43** - Fatores de ponderação e ordem de prioridade final dos critérios



Fonte: Elaborada pela Autora

**Quadro 20** - Classificação final dos critérios quanto a sua ponderação

Classificação	Critérios	Fatores de ponderação	
		Decimal	%
1º	Proteção da saúde humana e do ambiente em geral (C7)	0,338	33,8
2º	Preocupação com o uso futuro da área (C5)	0,111	11,1
3º	Avaliação das opções de remediação (C3)	0,094	9,4
4º	Consideração e Integração do tripé da sustentabilidade (C6)	0,087	8,7
5º	Participação das partes interessadas (C8)	0,083	8,3
6º	Abordagem de ciclo de vida (C4)	0,080	8,0
7º	Registro e documentação do processo de tomada de decisão (C9)	0,072	7,2
8º	Avaliação dos elementos centrais da remediação verde (C1)	0,068	6,8
9º	Garantia de equidade intergeracional (C2)	0,065	6,5
Somatório		1	100

Fonte: Elaborado pela Autora

Diante desta classificação dos critérios, comparada com a obtida quando se verificou somente os níveis de satisfação dos critérios pelos métodos, observou-se que os critérios

satisfeitos em maior número ou nível pelos métodos, não necessariamente representaram os mais importantes ou significantes na ordem de preferência julgada pelos decisores, conforme demonstrado no Quadro 21, influenciando diretamente nos resultados finais.

**Quadro 21** – Classificação dos critérios quanto à satisfação pelos métodos e após a sua ponderação

Classificação	Critérios	
	Quanto ao nível de satisfação pelos métodos	Quanto aos níveis de ponderação
1º	C8	C7
2º	C3	C5
3º	C7	C3
4º	C6	C6
5º	C4	C8
6º	C2	C4
7º	C5	C9
8º	C9	C1
9º	C1	C2

Fonte: Elaborado pela Autora

#### 4.5 Compilação das informações e seleção do método

Tendo os resultados da análise multicritério e o vetor de prioridade, juntamente com os fatores de ponderação de cada critério, partiu-se para o cálculo do grau de sustentabilidade atingido pelos métodos, conforme apresentado no Quadro 22.

Neste sentido, considerando os resultados obtidos após a aplicação da ponderação dos critérios e a classificação dos métodos quanto ao grau de sustentabilidade (Quadro 22), e comparando-os com a classificação obtida quando a análise considerou apenas o número de critérios satisfeitos pelos métodos (Seção 4.3.2), foram observadas algumas mudanças significativas, conforme Quadro 23.

**Quadro 22** – Grau de sustentabilidade atingido pelos métodos após a aplicação dos fatores de ponderação dos critérios

Critérios de decisão	Métodos								Fator de Ponderação de cada critério
	USEPA	ASTM	ITRC	SuRF-US	SuRF-UK	SuRF-ANZ	Surf-Taiwan	NICOLE	
C1	0,068	0,068	0	0	0	0	0	0	0,068
C2	0,065	0,065	0,065	0	0,065	0,033	0,033	0,033	0,065
C3	0,094	0,047	0,094	0,094	0,094	0,094	0	0,094	0,094
C4	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0	0	0	0,080
C5	0,056	0,056	0,056	0,111	0	0,111	0,111	0	0,111
C6	0,044	0,087	0,087	0,087	0,087	0,044	0,044	0,087	0,087
C7	0	0,169	0,338	0,338	0,338	0,338	0,169	0,338	0,338
C8	0,042	0,083	0,083	0,083	0,083	0,042	0,083	0,083	0,083
C9	0	0,072	0,072	0	0,036	0,036	0	0,072	0,072
Resumo da sustentabilidade atingida pelos métodos	0,449	0,727	0,875	0,793	0,783	0,698	0,440	0,707	
Grau de sustentabilidade (%)	44,9	72,7	87,5	79,3	78,3	69,8	44,0	70,7	

Fonte: Elaborado pela Autora

**Quadro 23** – Diferenças nas classificações dos métodos quando comparados os níveis de satisfação dos critérios e após sua ponderação

Classificação	Quanto ao número de critérios satisfeitos				Quanto aos níveis de ponderação dos critérios	
	Métodos	Níveis de satisfação			Métodos	Grau de Sustentabilidade (%)
		TS	PS	NS		
1°	ITRC	7	1	1	ITRC	87,5
2°	ASTM	6	3	0	SuRF-US	79,3
3°	SuRF-UK	6	1	2	SuRF-UK	78,3
4°	SuRF-US	6	0	3	ASTM	72,7
5°	NICOLE	5	1	3	NICOLE	70,7
6°	USEPA	4	3	2	SuRF-ANZ	69,8
7°	SuRF-ANZ	3	4	2	USEPA	44,9
8°	SuRF-Taiwan	2	3	4	SuRF-Taiwan	44,0

Fonte: Elaborado pela Autora



Observa-se que o método ITRC, permaneceu na primeira colocação mesmo após a obtenção dos fatores de ponderação de cada critério. A ótima classificação do método ITRC se deve por três fatores principais: (1) atende totalmente sete dos nove critérios considerados, o que possui influência direta quando a ponderação é aplicada; (2) satisfaz totalmente o critério da “Proteção da saúde humana e do ambiente em geral”, o qual se encontra em primeiro lugar na preferência dos decisores; e também, (3) porque dos sete critérios atendidos totalmente (C2, C3, C4, C6, C7, C8 e C9), quatro (C3, C6, C7 e C8) se encontram entre os preferíveis pelos decisores e mais bem colocados na ponderação final dos critérios, além de que o C1, que o método não satisfaz, possui um fator de ponderação pouco significativo.

A disparidade mais significativa é observada para os métodos ASTM e SuRF-US, conforme destacado no Quadro 23. Na análise quanto a satisfação dos critérios, o método ASTM ocupava a segunda posição na classificação geral, no entanto, após a ponderação dos critérios, o método ASTM passou a ocupar a quarta colocação na classificação quanto a sustentabilidade, embora ter dissertado sobre todos os critérios em sua abordagem. O método SuRF-US obteve uma classificação melhor após a aplicação da ponderação dos critérios, passando do quarto lugar, na análise quanto à satisfações dos critérios, para a segunda posição depois da ponderação dos critérios.

Estas diferenças observadas no grau de sustentabilidade e conseqüentemente na classificação dos métodos, quando comparadas as duas formas de análise dos critérios, se deve pelo fato de que, mesmo que um método satisfaça o maior número de critérios, estes podem não ter sido os preferíveis ou julgados mais importantes e significativos pelos decisores, sendo o recíproco também verdadeiro, conforme já evidenciado no final da Seção 4.4, o que demonstrou que os fatores de ponderação foram decisivos na obtenção dos resultados finais.

Isto pode ser observado em relação ao método da ASTM. O fator decisivo quanto a sua posição na classificação final se deve ao fato de que o critério “Proteção da saúde humana e do ambiente em geral”, em primeiro lugar na preferência dos decisores, conforme Quadro 20, foi atendido apenas parcialmente pelo método. Além disto, dos seis critérios totalmente satisfeitos pelo método (C1, C2, C4, C6, C8 e C9) apenas dois (C6 e C8) correspondem aos preferíveis na ponderação final, e, os três critérios mais bem colocados são atendidos apenas parcialmente pelo método (C3, C5 e C7).

No caso do método SuRF-US, o seu ótimo desempenho na avaliação final, se deve ao fato de que os três critérios não satisfeitos pelo método (C1, C2 e C9), correspondem aos menos importantes na ordem de prioridade, conforme classificação apresentada no Quadro 20. Além disto, o restante dos critérios o método atendeu totalmente, sendo que, estes equivalem aos mais

importantes na ordem de prioridades dos decisores, além de que, o critério “Proteção da saúde humana e do ambiente em geral”, em primeiro lugar na preferência dos decisores, foi atendido totalmente pelo método.

Em relação à classificação dos outros métodos analisados, não foram observadas mudanças significativas. Os métodos das organizações SuRF obtiveram grande relevância, com exceção do SuRF-Taiwan, o qual ainda não apresenta uma proposta totalmente consolidada e assim satisfaz um número muito reduzido dos critérios considerados. As primeiras posições dos SuRF na classificação final é justificada por sua importância no cenário da remediação sustentável, uma vez que, conforme Ridsdale e Noble (2016), correspondem à primeira coalizão dedicada especificamente à esta abordagem, com grande destaque no contexto da elaboração de métodos voltados a aplicação da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas.

A importância da ponderação dos critérios foi verificada com maior ênfase no caso do método SuRF-ANZ, uma vez que, mesmo satisfazendo totalmente apenas três critérios, estes correspondem aos três critérios julgados mais importantes pelos decisores, o que justifica seu elevado grau de sustentabilidade e sua melhor classificação, quando comparada à obtida na primeira análise, considerando somente a satisfação dos critérios.

No caso da USEPA, o fator decisivo para a obtenção do baixo grau de sustentabilidade e sua posição na classificação final, está relacionado diretamente com o não atendimento do critério da “Proteção da saúde humana e do ambiente em geral”, uma vez que, este alcançou sozinho um fator de importância de 33,8%. Além do mais, a USEPA ainda está muito baseada nas premissas da remediação verde, sendo que, estes elementos demonstraram relevância menor no contexto da remediação sustentável quando analisados pelos decisores.

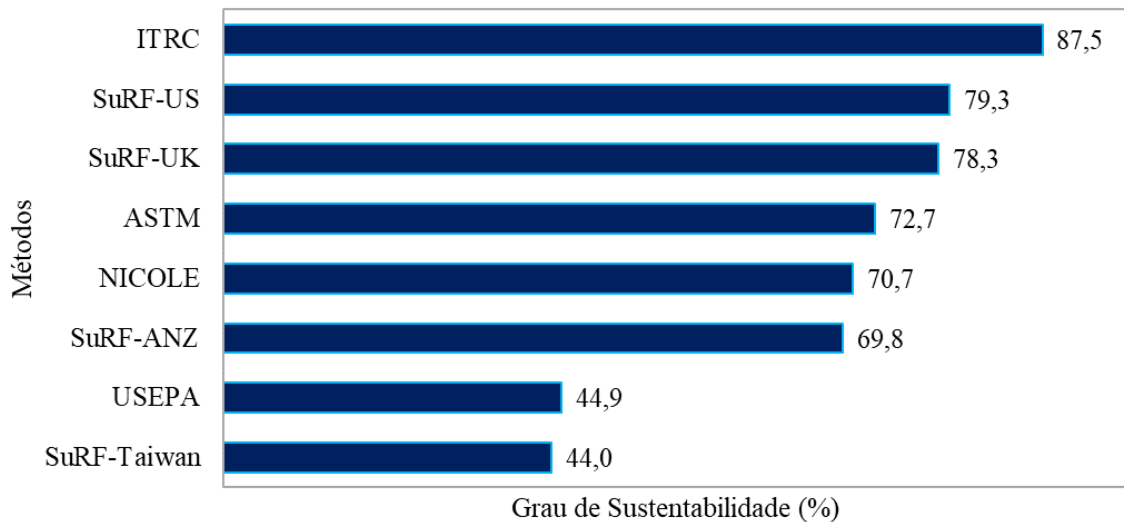
Portanto, conforme a Figura 44, o método ITRC foi o que apresentou o maior grau de sustentabilidade (87,5%), após a aplicação da ponderação dos critérios, representando, o método que melhor reflete o discurso da remediação sustentável, nas condições e critérios considerados neste trabalho

No entanto, considerando que não existem parâmetros referência para o grau de sustentabilidade neste contexto, e que todos os critérios foram considerados importantes na abordagem da remediação sustentável, e além de que todos os métodos identificados estão baseados na remediação sustentável, não se pode afirmar um grau de sustentabilidade mínimo a ser alcançado, para que um método seja considerado significativo ou não quanto a sustentabilidade.

Diante disto, todos os métodos aqui identificados, descritos e analisados possuem sua importância no contexto da remediação sustentável, pois apresentaram e alcançaram uma faixa

de grau de sustentabilidade. Contudo, pode-se afirmar que o método ideal seria aquele que atenderia totalmente todos os critérios considerados, atingindo um grau de sustentabilidade de 100%, abordagem esta proposta na Seção 4.6.

**Figura 44** - Classificação final dos métodos de remediação sustentável analisados quanto ao grau de sustentabilidade alcançado



Fonte: Elaborada pela Autora

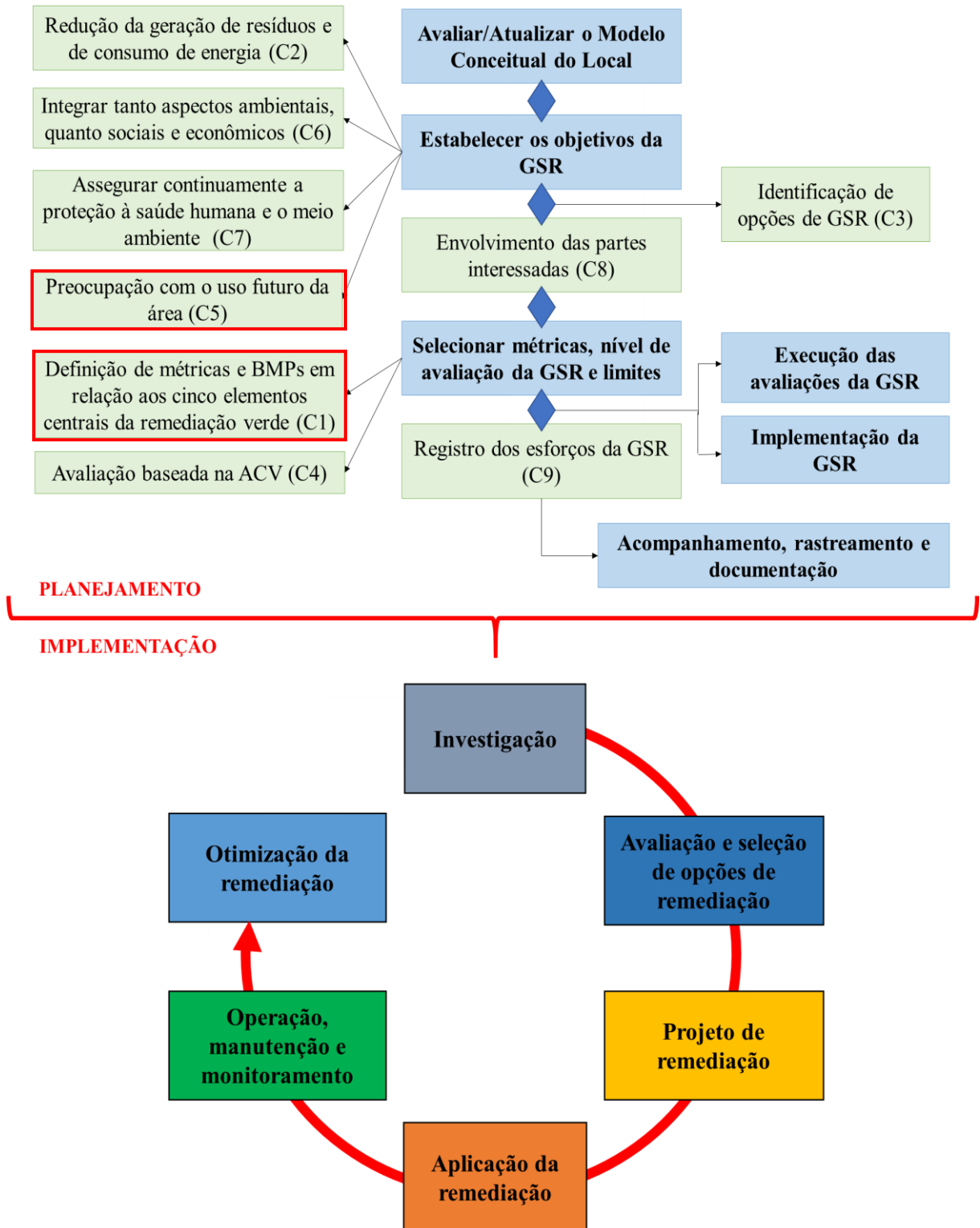
#### 4.6 Proposta de um método otimizado

O grau de sustentabilidade auxiliou na verificação dos aspectos relevantes e deficientes dos métodos, bem como na identificação das áreas que necessitam de melhorias.

O método ITRC, o qual obteve um grau de sustentabilidade de 87,5%, apresentou o melhor desempenho entre os métodos analisados. Contudo, ainda não satisfaz totalmente a abordagem da remediação sustentável, com deficiência em dois critérios considerados: a “Avaliação dos elementos centrais da remediação verde (C1)”, o qual não satisfaz, e a “Preocupação com o uso futuro da área (C5)”, que atendeu parcialmente.

Desta forma, para que o método ITRC retrate totalmente as premissas da remediação sustentável, e represente o método ideal para ser aplicado neste contexto, os elementos centrais da remediação verde e a preocupação com o uso futuro da área devem ser incorporados na abordagem do método. Assim, considerando as etapas base do método, sugere-se uma composição e integração clara e objetiva de todos os critérios de decisão nas fases de planejamento do método, sendo estes também considerados durante a execução de todo o processo de remediação, conforme proposta trazida na Figura 45.

**Figura 45** – Proposta do método ideal e que melhor representa o discurso da remediação sustentável



Fonte: Elaborada pela Autora com base em ITRC (2011a)

Partindo da fase de planejamento do método, após a avaliação e atualização de todas as informações conhecidas sobre o local a ser remediado, os objetivos da remediação devem ser estabelecidos. Nesta etapa, o C5 que envolve a preocupação com o uso futuro da área,

parcialmente satisfeito pelo método, já precisa estar presente, com vista para a eliminação dos riscos à saúde, satisfação dos padrões ambientais, e possibilidade de uso do local para outras finalidades.

Além deste critério são considerados outros três: a garantia da equidade intergeracional, com a redução na geração de resíduos e consumo de energia; integração de aspectos ambientais, sociais e econômicos; e contínua proteção da saúde humana e do ambiente em geral.

Depois de estabelecidos os objetivos da remediação, é relevante o envolvimento das partes interessadas no processo, para que os objetivos sejam avaliados e concordados, e assim dar seguimento para a identificação das melhores opções de remediação para o local e o contexto considerado. A etapa seguinte consiste na seleção das métricas e dos níveis de avaliação, e dos limites da remediação proposta. Nesta etapa são integrados dois critérios, sendo um deles o C1, não satisfeito pelo método ITRC. Portanto, propõe-se uma avaliação baseada na abordagem de ciclo de vida, e também, a definição das métricas e das BMPs em relação aos cinco elementos centrais da remediação verde, como energia, ar, recursos hídricos, materiais e resíduos, e, terra e ecossistema.

Em seguida estas avaliações são executadas e a remediação implementada, sendo que, após estas etapas, é de fundamental importância o registro e documentação de todos os passos realizados e acompanhamento dos dados obtidos. Assim, após findada a fase de planejamento, parte-se para a execução do processo de remediação sustentável, no qual as abordagens dos critérios considerados devem permanecer durante todo o processo de remediação, em todas as suas fases, desde a investigação do local até o seu fechamento e monitoramento.

Diante deste contexto, ainda satisfazendo totalmente os C1 e C5 em sua abordagem, o método ITRC atende integralmente todos os critérios e atinge um grau de sustentabilidade de 100%. A Figura 45 exemplifica as modificações e as otimizações propostas para o método ITRC, definindo assim, o método que melhor define e representa as premissas e o discurso da remediação sustentável, e, portanto, ideal quando se objetiva analisar a sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas, diante das condições e critérios considerados neste trabalho.

## 5 CONCLUSÕES

Diante dos levantamentos e análises realizadas, conclui-se que está emergindo no cenário mundial, um consenso sobre a incorporação, cada vez mais sólida, da abordagem sustentável nos projetos de remediação, com vista para a redução dos impactos do processo, e a maximização dos benefícios a longo prazo da área contaminada. Esta consolidação é alcançada a partir, principalmente, da criação do Fórum de Remediação Sustentável – SuRF, a partir do ano de 2006, e a consequente formulação dos métodos de remediação sustentável.

Desta forma, a identificação, descrição e análise dos métodos aplicados à remediação sustentável mostra-se essencial para uma melhor compreensão do que pode constituir um processo de remediação sustentável, e consequentemente indicar as informações necessárias para avaliar os atributos da sustentabilidade neste contexto.

O objetivo geral deste trabalho foi alcançado à medida que a análise comparativa entre os critérios definidos e os métodos identificados e descritos foi realizada. A ponderação dos critérios mostrou-se decisiva para a obtenção final do grau de sustentabilidade por cada método, e para a definição do método que melhor representa o discurso da sustentabilidade. Além do objetivo geral, os objetivos específicos também foram alcançados, sendo que, as principais conclusões obtidas em cada um destes estão apresentadas a seguir.

O primeiro objetivo específico identificou oito métodos voltados para a aplicação da remediação sustentável, sendo estes: USEPA; ASTM; ITRC; NICOLE; e quatro grupos associados ao SuRF - Estados Unidos, Reino Unido, Austrália e Nova Zelândia, e Taiwan. Os documentos, as iniciativas e os métodos compartilham de muitas definições, descrições e princípios comuns, o que indica uma ampla compreensão sobre a remediação sustentável entre países, organizações e categorias profissionais. Conforme as diversas descrições trazidas pelos métodos, de forma mais ampla, a remediação sustentável é abordada como o processo que procura avaliar e englobar de forma equilibrada os elementos ambientais, sociais e econômicos no projeto de remediação, com vista a encontrar a opção de remediação ideal.

Já quanto ao objetivo que diagnosticou os critérios que melhor exemplificam as premissas da remediação sustentável, este foi concluído com nove critérios selecionados e descritos, sendo estes: (1) Avaliação dos elementos centrais da remediação verde; (2) Garantia de equidade intergeracional; (3) Avaliação das opções de remediação; (4) Abordagem de ciclo de vida; (5) Preocupação com o uso futuro da área; (6) Consideração e Integração do tripé da sustentabilidade; (7) Proteção da saúde humana e do ambiente em geral; (8) Participação das partes interessadas; e (9) Registro e documentação do processo de tomada de decisão. De forma

geral, os critérios selecionados compartilham de aspectos ambientais, sociais e econômicos do tripé da sustentabilidade.

Uma análise mais detalhada dos métodos, sugerida pelo terceiro objetivo específico, apontou que a maioria destes descrevem abordagens faseadas de avaliação e incorporação da sustentabilidade em projetos de remediação, sendo que, destacam que o maior ganho em termos de sustentabilidade é obtido quando esta é incorporado no início do processo, já na fase de planejamento, estendendo-se até o fechamento do local. No entanto, os métodos ainda oferecem muitas inconsistências quanto a orientação prática para garantir metas e resultados sustentáveis eficientes.

Quanto à possibilidade de aplicação dos métodos identificados e descritos, embora apresentarem uma estrutura de passos bem definida, ainda sugerem uma análise mais subjetiva e descritiva de incorporação da sustentabilidade durante os processos de remediação. Isto demonstra que, para a efetiva aplicação da remediação sustentável no contexto do gerenciamento de áreas contaminadas são necessárias abordagens mais práticas.

Ainda, finalizando o terceiro objetivo específico, realizou-se uma comparação direta entre critérios e métodos. Verificou-se que há uma grande variabilidade na forma como a sustentabilidade é representada nos métodos de remediação, uma vez que, além de nenhum critério ter sido plenamente atendido por todos os métodos, também nenhum dos métodos analisados satisfaz totalmente todos os critérios.

O critério que se destacou na maioria dos métodos descritos e analisados, foi a “Participação das partes interessadas”, ou seja, a importância da concessão de oportunidade de participação e diálogo entre as diferentes partes interessadas no projeto de remediação, para o alcance de resultados consistentes, legitimados pelos envolvidos e desprovidos de incertezas. Por outro lado, o critério menos atendido pelos métodos foi o de “Avaliação dos elementos centrais da remediação verde”, uma vez que, em sua grande maioria, os métodos identificados já estão com sua abordagem centrada nos conceitos da remediação sustentável.

Neste tipo de análise, apenas considerando a satisfação dos critérios pelos métodos, o método que atendeu totalmente o maior número de critérios (sete) foi o ITRC, seguido do ASTM, SuRF-UK e SuRF-US, com seis critérios totalmente satisfeitos cada um. Diante desta análise, verificou-se a necessidade da realização de um julgamento dos critérios a fim de obter a valoração e ponderação quanto a sua importância no contexto considerado, atendendo o quarto objetivo específico do trabalho. Esta análise levou a conclusões mais objetivas dos resultados, sendo que, o grau de sustentabilidade, obtido para cada método avaliado, foi decisivo na escolha do método que melhor representa o discurso da remediação sustentável.

O uso do método AHP de análise multicritério se mostrou um processo favorável na obtenção do vetor de ponderação dos critérios, uma vez que, mesmo excluindo os julgamentos inconsistentes, dos 61 participantes, dentre profissionais, pesquisadores e especialistas da área, 34 respostas puderam ser utilizadas para as análises finais. Os resultados demonstraram que todos os critérios foram julgados importantes pelos decisores. O que obteve maior importância foi a “Proteção da saúde humana e do ambiente em geral” com 33,8% da preferência, e o menos preferível foi o da “Garantia de equidade intergeracional”, com apenas 6,5% da preferência.

Estes resultados indicaram divergência com os obtidos considerando apenas a satisfação dos critérios pelos métodos, visto que, a proteção da saúde humana e do ambiente em geral, embora consistir em um dos princípios chave da remediação sustentável e ser considerado o critério mais importante pelos decisores, não é atendido por todos os métodos.

Diante disto, o quinto objetivo foi cumprido, analisando-se os métodos em relação aos níveis de ponderação de cada critério. Obteve-se nesta análise uma nova classificação para os métodos, considerando o grau de sustentabilidade alcançado após a aplicação dos fatores de ponderação de cada critério. O método ITRC, com 87,5%, alcançou o maior grau de sustentabilidade, permanecendo na primeira colocação na classificação final. Logo em seguida vieram os métodos SuRF-US, SuRF-UK e ASTM, posições diferentes comparadas com as obtidas na análise quanto ao maior número de critérios totalmente satisfeitos. Desta forma, além dos níveis de satisfação dos critérios pelos métodos, o fator de ponderação de cada critério obtido por meio do julgamento dos *stakeholders*, é fator decisivo e relevante na definição do grau de sustentabilidade de cada método.

Portanto, o trabalho demonstrou que a ponderação dos critérios por meio de um processo multicritério e envolvimento de decisores da área, é uma forma eficaz de tomada de decisão quanto à avaliação da sustentabilidade neste contexto. Além disso, o grau de sustentabilidade obtido permitiu visualizar os pontos fortes e as principais deficiências dos métodos analisados. Assim, foi alcançado o sexto e último objetivo, com a proposta do método otimizado que fixou todos os nove critérios em sua abordagem, atingindo um grau de sustentabilidade de 100%, o que definiu o método ideal e que melhor representa o discurso da remediação sustentável.

Contudo, visto que não foi possível realizar afirmações amplas sobre os graus de sustentabilidade alcançados pelos métodos, pois não foram encontrados parâmetros de referência neste contexto, o trabalho ainda permanece muito vinculado à necessidade de pesquisas por *benchmarks* quanto à abordagem da sustentabilidade dos métodos existentes, uma vez que, com o aumento das pesquisas nesta área, passa-se a ter mais dados disponíveis para a realização de comparações, com vista para a disseminação e consolidação maior da temática.



## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos neste trabalho e das lacunas e necessidades observadas, verificou-se que, além da necessidade de mais pesquisas na área da remediação sustentável, em especial voltadas para a análise dos métodos, a fim de se obter parâmetros de referência e padronizados neste contexto, algumas outras sugestões para trabalhos futuros foram consideradas, tais como:

- Validação do método proposto neste trabalho;
- Visto a pouca objetividade e aplicabilidade dos métodos identificados e descritos, são necessários esforços voltados para a elaboração de métodos de avaliação da sustentabilidade padronizados e de fácil aplicação na remediação de áreas contaminadas;
- Diante da dificuldade de abordagem da remediação sustentável em países em desenvolvimento, inclusive no Brasil, sugere-se a realização de um diagnóstico mais detalhado e aprofundado da remediação sustentável no Brasil com a proposta de um método adaptado à realidade e condições do país, juntamente com um guia prático de orientações sobre a remediação sustentável; e
- Considerando a simplicidade de uso e ampla aplicação, propõe-se a utilização do processo de análise multicritério na elaboração de uma ferramenta de comparação entre alternativas de remediação, com vista para a sustentabilidade do processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. M.; GABRIEL, M. L. D. da S.; MONTEIRO JUNIOR, A. P de C. Análise quantitativa da percepção dos *stakeholders* no processo de gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil. In: IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo/SP – Brasil, 2015.

ALBANO, C.; BATTAGLIA, A.; DAVIT, J. P. **SuRF Italy – Work in Progress Working Group SuRF Italy – Reconnet**. In: The 3rd Sustainable Remediation Conference, Ferrara-Itália, 2014.

ALGA. **AUSTRALASIAN LAND AND GROUNDWATER ASSOCIATION**. 2017. SuRF-ANZ - Sustainable Remediation Forum for Australia & NZ. Disponível em: [www.SuRFanz.com.au](http://www.SuRFanz.com.au). Acesso em: 09 de mai. 2017.

AN, D.; XI, B.; WANG, Y.; XU, D.; TANG, J.; DONG, L.; REN, J.; PANG, C. A sustainability assessment methodology for prioritizing the technologies of groundwater contamination remediation. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 112, p.4647-4656, 2016.

AN, D.; XI, B.; REN, J.; WANG, Y.; JIA, X.; HE, C.; LI, Z. Sustainability assessment of groundwater remediation technologies based on multi-criteria decision making method. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 119, p.36-46, 2017.

ARAGONÉS-BELTRÁN, P.; CHAPARRO-GONZÁLEZ, F.; PASTOR-FERRANDO, J. P.; PLA-RUBIO, A. An AHP (Analytic Hierarchy Process)/ANP (Analytic Network Process)-based multi-criteria decision approach for the selection of solar-thermal power plant investment projects. **Energy**, [s.l.], v. 66, p. 222-238, 2014.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E2893-13 - Standard Guide for Greener Cleanups**. ASTM Internacional: West Conshohocken, PA, 2013a.

\_\_\_\_\_. **ASTM E2876-13 - Standard Guide for Integrating Sustainable Objectives into Cleanup**. ASTM Internacional: West Conshohocken, PA, 2013b.

ASTM. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**. 2017. Disponível em: <https://www.astm.org/>. Acesso em: 29 de mai. 2017.

BARDOS; P.; LEWIS; A.; NORTCLIFF; S.; MATIOTTI; C.; MAROT; F.; SULLIVAN, T. **Review of Decision Support Tools for Contaminated Land Management, and their Use in Europe**. Final report. Áustria: Umweltbundesamt - Federal Environment Agency, on behalf of Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies (CLARINET), 2002, 192 p.

BARDOS; P.; BONE, B.; BOYLE, R.; ELLIS, D.; EVANS, F.; HARRIES, N. D. SMITH, J. W. N. Applying sustainable development principles to contaminated land management using the SuRF-UK framework. **Remediation Journal**, [s.l.], v. 21, n. 2, p.77-100, 2011.

BARDOS, P., BAKKER, L., DARMENDRAIL, D., HARRIES, N., HOLLAND, K., MACKAY, S.; PACHON, C.; SLENDERS, H.; SMITH, G.; SMITH, J.; WILTSHIRE, L. Sustainable and green remediation: Global update. **Proceedings Aquaconsoil**, Barcelona, Spain, 2013.

BARDOS, P. Progress in Sustainable Remediation. **Remediation Journal**, [s.l.], v. 25, n. 1, p.23-32, 2014.

BARDOS, R. P.; BONE, B. D.; BOYLE, R.; EVANS, F.; HARRIES, N. D.; HOWARD, T.; SMITH, J. W. N. The rationale for simple approaches for sustainability assessment and management in contaminated land practice. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 563-564, p.755-768, 2016.

BARNETT, J. **The meaning of environmental security, ecological politics and policy in the new security era**. London: Zed Books, 2001, 184 p.

BEAMES, A.; BROEKX, S.; LOOKMAN, R.; TOUCHANT, K.; SEUNTJENS, P. Sustainability appraisal tools for soil and groundwater remediation: How is the choice of remediation alternative influenced by different sets of sustainability indicators and tool structures? **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 470-471, p.954-966, 2014.

BEAULIEU, M. The use of risk assessment and risk management in the revitalization of brownfields in North America: a controlled opening. In: INTERNATIONAL FZK/TNO CONFERENCE ON CONTAMINATED SOIL. **Contaminated Soil'98**, v. 1. London: Thomas Telford, 1998. p. 51-59.

BELTON, V.; STEWART, T.J. **Multiple Criteria Decision Analysis: An integrated approach**. Berlin: Springer Science & Business Media, 2002, 372 p.

BHUSHAN, N.; RAI, K. **Strategic decision making: Applying the analytical hierarchical process**. Berlin: Springer Science & Business Media, 2004, 172 p.

BOJO, J.; MÄLER, K. G.; UNEMO, L. **Environment and development: An economic approach**. v. 6, [s.l.]: Springer, 1992, 212 p.

BONANO, E. J.; APOSTOLAKIS, G. E.; SALTER, P. F.; GHASSEMI, A.; JENNINGS, S. Application of risk assessment and decision analysis to the evaluation, ranking and selection of environmental remediation alternatives. **Journal of Hazardous Materials**, [s.l.], v. 71, n. 1-3, p.35-57, 2000.

BOWEN, G. A.. Document Analysis as a Qualitative Research Method. **Qualitative Research Journal**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.27-40, 2009.

BRASIL. Decreto Lei nº 1.413, de 14 de agosto de 1975. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ago. 1975.

\_\_\_\_\_. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ago. 1981.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000. Altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, dez. 2000.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, nº 249, p.81-84, dez. 2009.

\_\_\_\_\_. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ago. 2010.

BRAUN, A. B.; TRENTIN, A. W. S.; BALESTRIN, D.; THOMÉ, A. Remediação sustentável: um panorama geral das publicações. In: 2º Congresso de Engenharia Ambiental do Sul do Brasil, 2017, Brasil. **Anais...** Lages/SC, Brasil, 2017.

BRERETON, P.; KITCHENHAM, B. A.; BUDGEN, D.; TURNER, M.; KHALIL, M. Lessons from Applying the Systematic Literature Review Process within the Software Engineering Domain. **The Journal of System and Software**, [s.l.], v. 80, p. 571-583, 2007.

BROWN, L. R. Building a sustainable society. **Society**, [s.l.], v. 19, n. 2, p.75-85, 1982.

BRUNDTLAND, G. H. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. 1987, 300 p. Disponível em: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>. Acesso em: 13 de out. 2016.

CAMPOS, V. R. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento**. 2011. 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CAPPUYNS, V. Environmental impacts of soil remediation activities: quantitative and qualitative tools applied on three case studies. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 52, p.145-154, 2013.

CAPPUYNS, V. Inclusion of social indicators in decision support tools for the selection of sustainable site remediation options. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 184, p.45-56, 2016.

CARBERRY, J. B.; WIK, J. Comparison of ex situ and in situ bioremediation of unsaturated soils contaminated by petroleum. **Journal of Environmental Science and Health**, v. A36, n. 8, p. 1491–1503, 2001.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. Projeto CETESB-GTZ: cooperação técnica Brasil–Alemanha. 2001. 2. Ed. São Paulo: Cetesb, 2001, 612 p.

\_\_\_\_\_. **Relação de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo**. São Paulo, Cetesb: 2015.

CHEN, C. S.; HUNG, H-C; WANG, B-N; CHIANG, T-W; YOU, X-X. **Sustainable Remediation Progress in Taiwan: Framework, Tools and Case Studies**. In: The 3rd Sustainable Remediation Conference, Ferrara - Italy, 2014.

CL:AIRE. **CONTAMINATED LAND: APPLICATIONS IN REAL ENVIRONMENTS**. 2017. SuRF-UK Roadmap. Disponível em: [www.claire.co.uk/SuRFuk](http://www.claire.co.uk/SuRFuk). Acesso em: 03 de mai. 2017.

COLANTONIO, A. Social Sustainability: An Exploratory Analysis of its Definition, Assessment Methods, Metrics and Tools. **EIRBURS Working Paper Series**, n. 1, 2007.

CORSEUIL, H. X.; MONIER, A. L.; GOMES, A. P. N.; CHIARANDA, H. S.; ROSARIO, M.; Alvares, P. J. J. Biodegradation of Soybean and Castor Oil Biodiesel: Implications on the Natural Attenuation of Monoaromatic Hydrocarbons in Groundwater. **Ground Water Monitoring & Remediation**, [s.l.], v. 31, n. 3, p. 111–118, 2011.

COSTA, T. C.; BELDERRAIN, M. C. N. Decisão em grupo em métodos multicritério de apoio à decisão. In: XV ENCITA - Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA, 15, 2009. **Anais...** Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil, 2009.

ČUČEK, L.; KLEMEŠ, J. J.; KRAVANJA, Z. A Review of Footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 34, p.9-20, 2012.

CUNDY, A. B.; BARDOS, R. P.; CHURCH, A.; PUSCHENREITER, M.; FRIESL-HANL, W.; MÜLLER, I.; NEU, S.; MENCH, M.; WITTERS, N.; VANGRONSVELD, J. Developing principles of sustainability and stakeholder engagement for “gentle” remediation approaches: The European context. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 129, p.283-291, 2013.

DIAMOND, M. L.; PAGE, C. A.; CAMPBELL, M.; MCKENNA, S.; LALL, R. Life-cycle framework for assessment of site remediation options: method and generic survey. **Environmental Toxicology Chemistry**, [s.l.], v. 18, n. 4, p. 788–800, 1999.

DÖBERL, G.; ORTMANN, M.; FRÜHWIRTH, W. Introducing a goal-oriented sustainability assessment method to support decision making in contaminated site management. **Environmental Science & Policy**, [s.l.], v. 25, p.207-217, 2013.

DoD. **DEPARTMENT OF DEFENCE**. 2010. Guidelines for Consideration of Sustainability in Remediation of Contaminated Sites. Disponível em: <http://www.defence.gov.au/estatemangement/governance/Policy/Environment/Contamination/Docs/Toolbox/SustainabilityRemediationGuidelines.pdf>. Acesso em: 24 de mar. 2017.

EA - ENVIRONMENT AGENCY; DEFRA - DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD AND RURAL AFFAIRS. **Model procedures for the management of land contamination**. Contaminated Land Report 11. Environment Agency: Bristol, 2004, 204 p.

EEA. **EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY**. 2016. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/progress-in-management-of-contaminated-sites-3/assessment>. Acesso em: 10 out. 2016.

EKEL, P.; QUEIROZ, J.; PARREIRAS, R.; PALHARES, R. Fuzzy set based models and methods of multicriteria group decision making. **Nonlinear Analysis**, [s.l.], v. 71, p. 409-419, 2009.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER, G. N.; NORONHA, S. M. **Apoio à decisão**: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas. Florianópolis: Insular, 2001. 296 p.

FAVARA, P.; GAMLIN, J. Utilization of waste materials, non-refined materials, and renewable energy in in situ remediation and their sustainability benefits. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 204, p.730-737, 2017.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DE MINAS GERAIS. **Inventário de áreas contaminadas do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte-MG. FEAM, 2015.

FERRY, J. 2012. **SuRF ANZ**: A role in developing sustainable land and groundwater contaminant remediation practice. Disponível em: <http://www.wasteminz.org.nz/pubs/SuRF-anz-arole-in-developing-sustainable-land-and-groundwater-contaminant-remediation-practice/>. Acesso em: 09 de mai. 2017.

FORESBr/SuRF-Brasil. **FÓRUM BRASILEIRO DE REMEDIAÇÃO SUSTENTÁVEL/SUSTAINABLE REMEDIATION FORUM OF BRASIL**. 2017. Disponível em: <https://foresbr.wordpress.com/>. Acesso em: 17 de mai. 2017.

FORUM, US Sustainable remediation. Sustainable Remediation white paper-Integrating sustainable principles, practices, and metrics into remediation projects. **Remediation Journal**, [s.l.], v. 19, n. 3, p.5-114, 2009.

GESTEL, K. V.; MERGAERT, J.; SWINGS, J.; COOSEMANS, J.; RYCKEBOER, J. Bioremediation of diesel oil-contaminated soil by composting with biowaste. **Environmental Pollution**, v. 125, p. 361–368, 2003.

GIBSON, B.; HASSAN, S.; HOLTZ, S.; TANSEY, J.; WHITELAW, G. **Sustainability assessment**: criteria and processes. Earthscan: London, 2005, 268 p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175p.

GOMES, L. F. A. M.; MOREIRA, A. M. M. Da informação à tomada de decisão: Agregando valor através dos métodos multicritério. **RECITEC**, Recife, v. 2, n. 2, p. 117-139, 1998.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos**. Introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. 168p.

GOVERNMENT OF CANADA, 2014. **Federal Contaminated Sites Portal: Federal Contaminated Sites Action Plan (FCSAP)**. Government of Canada, Ottawa. Disponível em: [www.federalcontaminatedsites.gc.ca](http://www.federalcontaminatedsites.gc.ca). Acesso em: 19 de mai. 2017.

HADLEY, P. W.; HARCLERODE, M. Green Remediation or Sustainable Remediation: Moving From Dialogue to Common Practice. **Remediation Journal**, [s.l.], v. 25, n. 2, p.95-115, 2015.

HAJKOWICZ, S.; COLLINS, K. A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. **Water Resources Management**, [s.l.], v. 21, n. 9, p.1553-1566, 2006.

HARCLERODE, M. A.; LAL, P.; MILLER, M. E. Estimating Social Impacts of a Remediation Project Life Cycle With Environmental Footprint Evaluation Tools. **Remediation Journal**, [s.l.], v. 24, n. 1, p.5-20, 2013.

\_\_\_\_\_. Quantifying Global Impacts to Society from the Consumption of Natural Resources during Environmental Remediation Activities. **Journal of Industrial Ecology**, [s.l.], v. 20, n. 3, p.410-422, 2015a.

HARCLERODE, M.; RIDSDALE, D. R.; DARMENDRAIL, D.; BARDOS, P.; ALEXANDRESCU, F.; NATHANAIL, P.; PIZZOL, L.; RIZZO, E. Integrating the Social Dimension in Remediation Decision-Making: State of the Practice and Way Forward. **Remediation Journal**, [s.l.], v. 26, n. 1, p.11-42, 2015b.

HERAVI, G.; FATHI, M.; FAEGHI, S. Multi-criteria group decision-making method for optimal selection of sustainable industrial building options focused on petrochemical projects. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 142, p.2999-3013, 2017.

HOLLAND, K. S.; LEWIS, R. E.; TIPTON, K.; KARNIS, S.; DONA, C.; PETROVSKIS, E.; BULL, L. P.; TAEGER, D.; HOOK, C. Framework for integrating sustainability into remediation projects. **Remediation Journal**, [s.l.], v. 21, n. 3, p.7-38, 2011.

HOLMBERG, J. (Ed.). **Making Development Sustainable: Redefining Institutions Policy and Economics**. Washington, D.C.: Island Press, 1992, 362 p.

HOU, D.; AL-TABBAA, A. Sustainability: A new imperative in contaminated land remediation. **Environmental Science & Policy**, [s.l.], v. 39, p.25-34, 2014.

HOU, D.; AL-TABBAA, A.; GUTHRIE, P. The adoption of sustainable remediation behaviour in the US and UK: A cross country comparison and determinant analysis. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 490, p.905-913, 2014a.

HOU, D.; AL-TABBAA, A.; GUTHRIE, P.; HELLINGS, J.; GU, Q. Using a hybrid LCA method to evaluate the sustainability of sediment remediation at the London Olympic Park. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 83, p.87-95, 2014b.

HOU, D.; AL-TABBAA, A.; CHEN, H.; MAMIC, I. Factor analysis and structural equation modelling of sustainable behaviour in contaminated land remediation. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 84, p.439-449, 2014c.

HOU, D.; GUTHRIE, P.; RIGBYET, M. Assessing the trend in sustainable remediation: A questionnaire survey of remediation professionals in various countries. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 184, p. 18–26, 2016.

HUANG, I. B.; KEISLER, J.; LINKOV, I. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 409, n. 19, p.3578-3594, 2011.

HUANG, W-Y; HUNG; W; VU, C. T.; CHEN, W-T; LAI, J-W; LIN, C. Green and sustainable remediation (GSR) evaluation: framework, standards, and tool. A case study in Taiwan. **Environmental Science and Pollution Research**, [s.l.], v. 23, n. 21, p. 21712-21725, 2016.

HUYSEGOMS, L.; CAPPUYNS, V. Critical review of decision support tools for sustainability assessment of site remediation options. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 196, p. 278-296, 2017.

INEA. **INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE DO RIO DE JANEIRO**. 2016. Avaliação de Áreas Contaminadas. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Licenciamento/GestaodeRiscoAmbientalTec/AvaliacaodeAreasContaminadas/index.htm>. Acesso em: 07 de nov. 2016.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Fourth Assessment Report: Climate Change 2007**. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 2007.

ISO. **INTERNATIONAL STANDARDS ORGANISATION**. 2017. Soil Quality e Guidance on Sustainable Remediation, ISO/DIS 18504. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18504:dis:ed-1:v1:en>. Acesso em: 09 de ago. 2017.

ITRC. **INTERSTATE TECHNOLOGY & REGULATORY COUNCIL**. 2011a. Green and Sustainable Remediation: State of the Science and Practice. GSR-1. Disponível em: [www.itrcweb.org](http://www.itrcweb.org). Acesso em: 01 de nov. 2016.

\_\_\_\_\_. 2011b. Green and Sustainable Remediation: A Practical Framework. GSR-2. Disponível em: [www.itrcweb.org](http://www.itrcweb.org). Acesso em: 01 de nov. 2016.

\_\_\_\_\_. 2017. Disponível em: <http://www.itrcweb.org>. Acesso em: 24 de mai. 2017.

IUCN - INTERNATIONAL UNION FOR THE CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES. **World conservation strategy: living resource conservation for sustainable development**. IUCN-UNEP-WWF, Gland, Switzerland, 1980.

JANIKOWSKI, R.; KUCHARSKI, R.; SAS-NOWOSIELSKA, A. Multi-Criteria and Multi-Perspective Analysis of Contaminated Land Management Methods. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s.l.], v. 60, n. 1, p. 89-102, 2000.

KEARNEY, T.; MARTIN, I.; HERBERT, S. **Sustainable remediation of land contamination**. Battelle Memorial Institute International In Situ and On-Site Bioreclamation Symposium Proceedings, v. 5, 1999.

KUMAR, A.; SAH, B.; SINGH, A. R.; DENG, Y.; HE, X.; KUMAR, P.; BANSAL, R. C. A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 69, p.596-609, 2017.



LEVY, Y.; ELLIS, T. J. A system approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. **Informing Science Journal**, [s.l.], v. 9, p. 181-212, 2006.

MALHOTRA, Vinod; LEE, Michael D.; KHURANA, Ashok. Domain experts influence decision quality: Towards a robust method for their identification. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, [s.l.], v. 57, n. 1-2, p.181-194, 2007.

MARINOVICH, M. J.; FUNK, W. A.; KELLY, S.; ELLIOTT, C.; HANSEN, V. G. Sustainable Remediation and Decision Analysis Practices at an Onshore Gas Well Site. **Remediation Journal**, [s.l.], v. 26, n. 4, p. 95-115, 2016.

MATSUMOTO, S. M. **Proposta de método para a gestão de riscos em projetos de inovação tecnológica**. 2010. 142 f. Tese (Mestrado em Ciências) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos/SP, 2010.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; BEHRENS, W. W. **The Limits to Growth**. New York: Universe Books, 1972, 211 p.

MENEGHETTI, L. R. R.; THOMÉ, A.; FERNANDO SCHNAID, F.; PRIETTO, P. D. M.; CAVELHÃO, G., 2012. Natural Attenuation and Biostimulation of Biodiesel Contaminated Soils from Southern Brazil with Different Particle Sizes. **Journal of Environmental Science and Engineering**, [s.l.], v. 1, p. 155-162, 2012.

MOGHADDAM, N. B.; NASIRI, M.; MOUSAVI, S. M. An appropriate multiple criteria decision making method for solving electricity planning problems, addressing sustainability issue. **International Journal of Environmental Science and Technology**, [s.l.], vol. 8, n. 3, p. 605-620, 2011.

MONTIBELLER NETO, G. **Mapas cognitivos difusos para o apoio à decisão**. 2000. 346 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

MORAES, S. L. de; TEIXEIRA, C. E.; MAXIMIANO, A. M. de S. (Org). **Guia de elaboração de planos de intervenção para o Gerenciamento de áreas contaminadas**. 1. ed. rev. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Governo do Estado de São Paulo e BNDES, 2014.

MULLER, J. B.; RAMOS, D. T.; LAROSE, C.; FERNANDES, M.; LAZZARIN, H. S. C.; VOGEL, T. M.; CORSEUIL, H. X. Combined iron and sulfate reduction biostimulation as a novel approach to enhance BTEX and PAH source-zone biodegradation in biodiesel blend-contaminated groundwater. **Journal of Hazardous Materials**, [s.l.], v. 326, p. 229–236, 2017.

NICOLE. **NETWORK FOR INDUSTRIALLY CONTAMINATED LAND IN EUROPE**. 2010. NICOLE Road Map for Sustainable Remediation. Disponível em: <http://www.nicole.org>. Acesso em: 25 de mai. 2017.

\_\_\_\_\_. 2011. How to implement sustainable remediation in a contaminated land management project? NICOLE sustainable remediation work group 2012 report. Disponível em: <http://www.nicole.org>. Acesso em: 25 de mai. 2017.

\_\_\_\_\_. 2017. Disponível em: <http://www.nicole.org>. Acesso em: 25 de mai. 2017.

NICOLE Brasil - LATIN AMERICA NETWORK FOR SOIL AND WATER MANAGEMENT. **Intrusão de Vapores em Ambientes Fechados: Conceitos Básicos, Avaliação e Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Brasil.** NICOLE Brasil: São Paulo, 2016, 88 p.

NICOLE. **NETWORK FOR INDUSTRIALLY CONTAMINATED LAND IN EUROPE; COMMON FORUM. COMMON FORUM ON CONTAMINATED LAND.** 2013. Conhecimento do risco e remediação sustentável. Disponível em: <http://www.nicole.org>. Acesso em: 25 de mai 2017.

ONAT, N.; BAYAR, H. The sustainability indicators of power production systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 14, n. 9, p. 3108-3115, 2010.

OWSIANIAK, M.; CHRZANOWSKI, L.; SZULC, A.; STANIEWSKI, J.; OLSZANOWSKI, A.; OLEJNIK-SCHMIDT, A. K.; HEIPIEPER, H. J. Biodegradation of diesel/biodiesel blends by a consortium of hydrocarbon degraders: effect of the type of blend and the addition of biosurfactants. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 100, n. 3, p. 1497–1500, 2009.

PINTÉR, L.; HARDI, P.; MARTINUZZI, A.; HALL, J. Bellagio STAMP: Principles for sustainability assessment and measurement. **Ecological Indicators**, [s.l.], v. 17, p.20-28, 2012.

POLATIDIS, H.; HARALAMBOPOULOS, D. A.; MUNDA, G.; VREEKER, R. Selecting an Appropriate Multi-Criteria Decision Analysis Technique for Renewable Energy Planning. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, [s.l.], v. 1, n. 2, p.181-193, 2006.

POLLARD, S. J. T.; BROOKES, A.; EARL, N.; LOWE, J.; KEARNEY, T.; NATHANAIL, C. P. Integrating decision tools for the sustainable management of land contamination. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 325, n. 1-3, p. 15-28, 2004.

PRIOR, J. The norms, rules and motivational values driving sustainable remediation of contaminated environments: A study of implementation. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 544, p.824-836, 2016.

QIU, J. China to spend billions cleaning up groundwater. **Environmental Science**, [s.l.], v. 334, n. 6057, p. 745, 2011.

RAMOS, D. T.; LAZZARIN, H. S. C.; ALVAREZ, P. J. J.; VOGEL, T. M.; FERNANDES, M.; ROSÁRIO, M.; CORSEUIL, H. X. Biodiesel presence in the source zone hinders aromatic hydrocarbons attenuation in a B20-contaminated groundwater. **Journal of Contaminant Hydrology**, [s.l.], v. 193, p. 48–53, 2016.

REDDY, K. R.; ADAMS, J. A. Towards Green and Sustainable Remediation of Contaminated Site. In: SIXTH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENVIRONMENTAL GEOTECHNICS, 2010, India. **Anais...** New Delhi, India, 2010.

\_\_\_\_\_. **Sustainable Remediation of Contaminated Sites.** New York: Momentum Press, LLC, 2015, 268 p.

REDDY, K. R.; CHIRAKKARA, R. A. Green and Sustainable Remedial Strategy for Contaminated Site: Case Study. **Geotechnical and Geological Engineering**, [s.l.], v. 31, n. 6, p.1653-1661, 2013.

REDDY, K. R.; SADASIVAM, B. Y.; ADAMS, J. A. Social Sustainability Evaluation Matrix (SSEM) to Quantify Social Aspects of Sustainable Remediation. **Icsi 2014 - Creating Infrastructure for a Sustainable World**, [s.l.], p.831-841, 2014.

REINIKAINEN, J.; SORVARI, J.; TIKKANEN, S. Finnish policy approach and measures for the promotion of sustainability in contaminated land management. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 184, p.108-119, 2016.

RIDSDALE, D. R.; NOBLE, B. F. Assessing sustainable remediation frameworks using sustainability principles. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 184, p.36-44, 2016.

RIZZO, E.; BARDOS, P.; PIZZOL, L.; CRITTO, A.; GIUBILATO, E.; MARCOMINI, A.; ALBANO, C.; DARMENDRAIL, D.; DÖBERL, G.; HARCLERODE, M.; HARRIES, N.; NATHANAIL, P.; PACHON, C.; RODRIGUEZ, A.; SLENDERS, H.; SMITH, G. Comparison of international approaches to sustainable remediation. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 184, p.4-17, 2016.

RUBERTO, L.; VAZQUEZ, S. C.; CORMACK, W. P. M. Effectiveness of the natural bacterial flora, biostimulation and bioaugmentation on the bioremediation of a hydrocarbon contaminated Antarctic soil. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [s.l.], v. 52, p. 115–125, 2003.

SAATY, T.L. **The Analytic Hierarchy Process**, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1980.

SÁNCHEZ, L. E. **A desativação de empreendimentos industriais: um estudo sobre o passivo ambiental**. São Paulo, 1998. 178 f. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1998.

SÃO PAULO. Decreto nº 59.263, de 5 de junho de 2013. Regulamenta a Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlata. **Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo**, São Paulo, 2013.

SARKAR, D.; FERGUSON, M.; DATTA, R.; BIRNBAUM, S. Bioremediation of petroleum hydrocarbons in contaminated soils: Comparison of biosolids addition, carbon supplementation, and monitored natural attenuation. **Environmental Pollution**, [s.l.], v. 136, 187-195, 2005.

SCALA, N. M.; NEEDY, K. L.; RAJGOPAL, J. Using the Analytic Hierarchy Process in group decision making for nuclear spare parts. In: 31st ASEM National Conference. **Anais...** American Society for Engineering Management, 2010.

SCHMIDT, C. A. B. **Remediação in situ de solos e águas subterrâneas contaminados por líquidos orgânicos não miscíveis em água (NAPLs)**. Série Temática: Resíduos Sólidos e Geotecnia Ambiental – Volume 1, Rio de Janeiro: COAMB / FEN / UERJ, 2010.

SCOTT, K.; MCLNERNEY, M. 2012. **Developing a national guidance framework for Australian remediation and management of site contamination: Review of Australian and international frameworks for remediation**. Technical Report n° 22. Australia: CRC CARE. Disponível em: <http://www.crccare.com/knowledge-sharing/national-remediation-framework>. Acesso em: 09 de mai. 2017.

SERAGELDIN, I.; STEER, A. D. (Ed.); CERNEA, M. M.; DIXON, J. A.; LUTZ, E.; MARGULIS, S.; MUNASINGHE, M.; REES, C. **Making development sustainable: from concepts to action**. Washington, DC: World Bank Publications, 1994, 40 p.

SHARMA, H. D.; REDDY, K. R., 2004. **Geoenvironmental Engineering: Site Remediation, Waste Containment and Emerging Waste Management Technologies**. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2006.

SILVA, M. C. G. da. **Utilização do método analytic hierarchy process (AHP) para localização de usina de reciclagem de resíduos da construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2012.

SLENDERS, H. L. A.; BAKKER, L.; BARDOS, P.; VERBURG, R.; ALPHENAAR, A.; DARMENDRAIL, D.; NADEBAUM, P. There Are More Than Three Reasons to Consider Sustainable Remediation, a Dutch Perspective. **Remediation Journal**, [s.l.], v. 27, n. 2, p.77-97, 2017.

SMITH, J. W. N.; KERRISON, G. Benchmarking of Decision-Support Tools Used for Tiered Sustainable Remediation Appraisal. **Water, Air, & Soil Pollution**, [s.l.], v. 224, n. 1706, p.2-11, 2013.

SMITH, E.; THAVAMANI, P.; RAMADASS, K.; NAIDU, R.; SRIVASTAVA, P.; MEGHARAJ, M. Remediation trials for hydrocarbon-contaminated soils in arid environments: evaluation of bioslurry and biopiling techniques. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [s.l.], v. 101, p. 56-65, 2015.

SMITH, G.; NADEBAUM, P. The evolution of sustainable remediation in Australia and New Zealand: A storyline. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 184, p.27-35, 2016.

SÖDERQVIST, T.; BRINKHOFF, P.; NORBERG, T.; ROSÉN, L.; BACK, P.-E.; NORRMAN, J. Cost-benefit analysis as a part of sustainability assessment of remediation alternatives for contaminated land. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 157, p.267-278, 2015.

SONG, Y.; Hou, D.; Zhang, J.; O'Connor, D.; Li, G.; Gu, G.; Li, S.; Liu, P. Environmental and socio-economic sustainability appraisal of contaminated land remediation strategies: A case study at a mega-site in China. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 610-611, p.391-401, 2018.

SOUZA; E. F. de; BETTINE; S. do C.; POMPERMAYER, N. B.; BERGAMO, M. H. da S. Sustentabilidade ambiental de métodos de remediação para contaminação de solos e águas subterrâneas. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2014.

SuRF. **SUSTAINABLE REMEDIATION FORUM**. 2012. SuRF Newsletter – Fall 2012. Disponível em: [http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/361803/20500273/1349219314280/newsletter\\_v.03\\_n.03.pdf?token=QiJd9iFDryxMyurd1KadPndjlmk%3D](http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/361803/20500273/1349219314280/newsletter_v.03_n.03.pdf?token=QiJd9iFDryxMyurd1KadPndjlmk%3D). Acesso em 09 de mai. 2017.

\_\_\_\_\_. 2017. SuRF. Disponível em: <http://www.sustainableremediation.org/>. Acesso em: 04 de abr. 2017.

SURF-Canada. **SUSTAINABLE REMEDIATION FORUM OF CANADA**. 2017. Disponível em: [www.surfcanada.org](http://www.surfcanada.org). Acesso em: 22 de mai. 2017.

SuRF-Colombia. **SUSTAINABLE REMEDIATION FORUM OF COLOMBIA**. 2017. Disponível em: <http://surfcolombia.org/>. Acesso em: 22 de mai. 2017.

SuRF-Italy. **SUSTAINABLE REMEDIATION FORUM OF ITALY; RECONnet. RETE NAZIONALE SULLA GESTIONE E LA BONIFICA DEI SITI CONTAMINATI**. 2015. Libro Bianco: Sostenibilità nelle Bonifiche in Italia. Disponível em: <http://www.surfitaly.it/documenti.html> e <http://www.reconnet.net/INDEX.htm>. Acesso em: 18 de mai. 2017.

SuRF-Italy. **SUSTAINABLE REMEDIATION FORUM OF ITALY**. 2017. Disponível em: [www.surfitaly.it](http://www.surfitaly.it). Acesso em: 18 de mai. 2017.

SuRF-Japan. **SUSTAINABLE REMEDIATION FORUM OF JAPAN**. 2017. <http://staff.aist.go.jp/t.yasutaka/SuRF-JAPAN/home.html>. Acesso em: 19 de mai. 2017.

SuRF-NL. **SUSTAINABLE REMEDIATION FORUM OF NETHERLANDS**. 2011. Open groene golf naar duurzaam bodemgebruik. Disponível em: <http://www.surf-nl.com/>. Acesso em: 19 de mai. 2017.

SuRF-NL. **SUSTAINABLE REMEDIATION FORUM OF NETHERLANDS**. 2017. Disponível em: <http://www.surf-nl.com/>. Acesso em: 19 de mai. 2017.

SuRF-Taiwan. **SUSTAINABLE REMEDIATION FORUM OF TAIWAN**. 2017. Disponível em: <http://www.surf-taiwan.org.tw/web/SURF/ENindex.html>. Acesso em: 19 de mai. 2017.

SuRF-UK. **SUSTAINABLE REMEDIATION FORUM UK**. 2010. A Framework for Assessing the Sustainability of Soil and Groundwater Remediation. London: CL:AIRE. Disponível em: [www.claire.co.uk/SuRFuk](http://www.claire.co.uk/SuRFuk). Acesso em: 03 de mai. 2017.

\_\_\_\_\_. 2011. Annex 1: The SuRF-UK Indicator Set for Sustainable Remediation Assessment. London: CL:AIRE. Disponível em: [www.claire.co.uk/SuRFuk](http://www.claire.co.uk/SuRFuk). Acesso em: 03 de mai. 2017.

\_\_\_\_\_. 2013a. Sustainability Assessment: Shell Terminal Facility, Madeira. London: CL:AIRE. Disponível em: [www.claire.co.uk/SuRFuk](http://www.claire.co.uk/SuRFuk). Acesso em: 03 de mai. 2017.

\_\_\_\_\_. 2013b. Upper Heyford - Remediation Options Appraisal. London: CL:AIRE. Disponível em: [www.claire.co.uk/SuRFuk](http://www.claire.co.uk/SuRFuk). Acesso em: 03 de mai. 2017.

\_\_\_\_\_. 2013c. Helpston Contaminated Land Project. London: CL:AIRE. Disponível em: [www.claire.co.uk/SuRFuk](http://www.claire.co.uk/SuRFuk). Acesso em: 03 de mai. 2017.

\_\_\_\_\_. 2013d. Framing a sustainability assessment: Preparation and definition. London: CL:AIRE. Disponível em: [www.claire.co.uk/SuRFuk](http://www.claire.co.uk/SuRFuk). Acesso em: 03 de mai. 2017.

\_\_\_\_\_. 2013e. Tier 1 SuRF-UK briefcase: guidance and meeting support for tier 1 sustainability assessment. London: CL:AIRE. Disponível em: [www.claire.co.uk/SuRFuk](http://www.claire.co.uk/SuRFuk). Acesso em: 03 de mai. 2017.

\_\_\_\_\_. 2014a. Sustainable Management Practices for Management of Land Contamination. London: CL:AIRE. Disponível em: [www.claire.co.uk/SuRFuk](http://www.claire.co.uk/SuRFuk). Acesso em: 03 de mai. 2017.

\_\_\_\_\_. 2014b. SuRF-UK bulletin of phase 3. London: CL:AIRE. Disponível em: [www.claire.co.uk/SuRFuk](http://www.claire.co.uk/SuRFuk). Acesso em: 03 de mai. 2017.

SustRem. **4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE REMEDIATION**. 2016. Disponível em: <http://neia.org/sustrem2016/>. Acesso em: 22 de mai. 2017.

TAM, E. K. L.; BYER, P. H. Remediation of contaminated lands: a decision methodology for site owners. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 64, n. 4, p.387-400, 2002.

THG. **THE HORINKO GROUP**. 2014. The Rise and Future of Green and Sustainable Remediation. Disponível em: <http://www.thehorinkogroup.org/wp-content/uploads/2014/03/The-Rise-and-Future-of-Green-and-Sustainable-Remediation.pdf>. Acesso em: 24 de mar. 2017.

THOMÉ, A.; REGINATTO, C.; CECCHIN, I.; COLLA, L. M. Bioventing in a Residual Clayey Soil Contaminated with a Blend of Biodiesel and Diesel Oil. **Journal of Environmental Engineering**, [s.l.], v. 140, n. 11, p. 06014005-1 - 06014005-6, 2014.

TORRES, C. J. F. **Desenvolvimento metodológico para apoio à tomada de decisão sobre o programa de efetivação do enquadramento dos corpos d'água**. 2014. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

USEPA. **US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**. 2003. Environmental Protection Agency. Using the Triad Approach to Streamline Brownfields Site Assessment and Cleanup - Brownfields Technology Primer Series. Disponível em: <http://www.brownfieldstsc.org>. Acesso em: 30 de mai. 2017.

\_\_\_\_\_. 2008. Green Remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites. Disponível em: <https://clu-in.org/greenremediation/>. Acesso em: 02 de fev. 2017.

\_\_\_\_\_. 2011. Introduction to Green Remediation. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100C805.PDF?Dockey=P100C805.PDF>. Acesso em: 28 de mar. 2017.

\_\_\_\_\_. 2012a. Air Emissions from the Portland Cement Industry. Disponível em: <http://www.epa.gov/airquality/cement/basic.html>. Acesso em: 10 de out. 2016.

\_\_\_\_\_. 2012b. Methodology for Understanding and Reducing a Project's Environmental Footprint. Disponível em: [www.cluin.org/greenremediation/methodology](http://www.cluin.org/greenremediation/methodology). Acesso em: 30 de mai. 2017.

\_\_\_\_\_. 2017a. Green Remediation Focus. Disponível em: <https://clu-in.org/greenremediation/>. Acesso em: 12 de abr. 2017.

\_\_\_\_\_. 2017b. Superfund. Disponível em: <https://www.epa.gov/superfund>. Acesso em: 28 de mar. 2017.

VERSLUIJS, C. W.; MULDER, H. F. M. M.; VAN WIJSEN, H. J.; VAN DEN BROEK, H. H. **Soil remediation in areas with political priorities (Bodemsanering in beleidsaandachtsgebieden)**. RIVM Report, Dutch, 2007, 94 p.

VIK, E. A.; BARDOS, P. **Remediation of Contaminated Land Technology Implementation in Europe**. Final report. Áustria: Umweltbundesamt - Federal Environment Agency, on behalf of Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies (CLARINET), 2002, 188 p.

VILAS BOAS, C. L. Método multicritérios de análise de decisão (MMAD) para as decisões relacionadas ao uso múltiplo de reservatórios: analytic hierarchy process (AHP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005.

VIRKUTYTE, J.; VARMA, R. S. Greener and Sustainable Remediation Using Iron Nanomaterials. **Acs Symposium Series**, [s.l.], p.1-21, 2014.

WANG, J. J.; JING, Y. Y.; ZHANG, C. F.; ZHAO, J. H. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 13, n. 9, p. 2263-2278, 2009.

WANG, B. N. 2017. **SuRF-Taiwan: an introduction**. Disponível em: [http://www.SuRF-taiwan.org.tw/web/SURF/data/download\\_01.pdf](http://www.SuRF-taiwan.org.tw/web/SURF/data/download_01.pdf). Acesso em: 17 de mai. 2017.

WHITE, L.; NOBLE, B. F. Strategic environmental assessment for sustainability: A review of a decade of academic research. **Environmental Impact Assessment Review**, [s.l.], v. 42, p. 60-66, 2013.

YASUTAKA, T.; ZHANG, H.; MURAYAMA, K.; HAMA, Y.; TSUKADA, Y.; FURUKAWA, Y. Development of a green remediation tool in Japan. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 563-564, p.813-821, 2016.

ZHENG, H., CAO, S. The challenge to Sustainable development in china revealed by “death villages”. **Environmental Science & Technology**, [s.l.], v. 45, p. 9833–9834, 2011.

**APÊNDICE I**  
**Questionário para aplicação do método AHP - Grupos 01 e 02**



## **Avaliação de critérios para a sua ponderação e utilização na seleção dos métodos que avaliam a sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas**

### **Apresentação inicial**

Esta pesquisa é dirigida para pesquisadores e especialistas da área com a finalidade de gerar dados para definir uma ordem de prioridade de nove critérios previamente estabelecidos (Quadro 1). Esta ponderação será utilizada para a análise, classificação e seleção de métodos aplicados à remediação sustentável de áreas contaminadas que melhor representem o discurso da sustentabilidade.

A remediação sustentável possui um amplo propósito de reduzir os impactos ambientais, econômicos e sociais, e maximizar os benefícios a longo prazo dos projetos de remediação.

Os resultados serão utilizados na dissertação intitulada “Métodos de avaliação da sustentabilidade na remediação de áreas contaminadas”, de autoria da mestrandia Adeli Beatriz Braun, atualmente em desenvolvimento no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Passo Fundo.

### **Instruções para a avaliação**

Para chegar nesta ponderação será utilizada uma análise multicritério, a qual se fundamenta na comparação entre pares de critérios.

Foram definidos para esta pesquisa nove critérios de decisão, com base na literatura, julgados importantes em constituírem a abordagem dos métodos aplicados à remediação sustentável (Quadro 1).

Para julgar cada critério quanto a sua importância em relação ao outro são utilizadas nove categorias de importância (Quadro 2). O número 1 indica igual preferência/importância entre ambos os critérios, e o aumento da pontuação indica aumento do favoritismo/importância de cada critério em relação ao outro.

Para o preenchimento do Quadro 3, você deve comparar par a par os critérios, considerando qual deles, na sua opinião, é o mais importante e em seguida o quanto mais importante. Portanto, três passos fundamentais devem ser seguidos:

- 1) Considerar sempre o eixo X (demarcado no Quadro 3) para o início da análise dos pares de critério
- 2) Primeira pergunta a ser feita: Qual dos dois critérios é mais importante? (utilizar sempre que for preciso o Quadro 1 como auxílio quanto a definição e a abordagem de cada critério a ser analisado)
- 3) Segunda pergunta a ser feita: Quanto mais importante? (utilizar os valores definidos no Quadro 2)
  - Somente é atribuído valor ao critério escolhido o mais importante, sendo que o outro permanece com o valor 1. Se o critério do eixo X é o mais importante a fração fica  $A/1$ , se o critério do eixo Y é mais importante a fração fica  $1/A$  ( $A$  é o valor de 1 a 9 da escala de importância apresentada no Quadro 2).
  - Somente precisa ser preenchida a parte superior direita do Quadro 3 (acima da diagonal demarcada), uma vez que, a parte inferior é recíproca com as frações/valores invertidos

**Área de formação e de atuação \***

---

---

**Sua contribuição é muito importante para o desenvolvimento desta pesquisa. Muito obrigada pela sua participação!**

**Quadro 1** – Descrição dos critérios para a realização da avaliação dos mesmos

Critérios		Descrição
1	Avaliação dos elementos centrais da remediação verde	O método aborda e avalia os elementos como energia, ar, recursos hídricos, materiais e resíduos, e, terra e ecossistema durante o processo de remediação.
2	Garantia de equidade intergeracional	O método aborda a adoção de medidas que minimizem o consumo de energia e o uso de recursos naturais, e que maximizam a reutilização de materiais, garantindo as necessidades das futuras gerações.
3	Avaliação das opções de remediação	O método é apoiado pela comparação de diferentes opções corretivas disponíveis.
4	Abordagem de ciclo de vida	O método remete ao pensamento de ciclo de vida, com vista à suficiência imediata e de longo prazo.
5	Preocupação com o uso futuro da área	O método considera a possibilidade de uso futuro da área, no início do projeto, na avaliação das alternativas de correção, e na aplicação do processo de remediação.
6	Consideração e Integração do tripé da sustentabilidade	O método facilita a inclusão e a análise dos aspectos sociais, econômicos e ambientais da sustentabilidade em todo o processo de remediação.
7	Proteção da saúde humana e do ambiente em geral	O método leva em consideração a eliminação de riscos inaceitáveis associados à proteção da saúde humana e do meio ambiente, garantindo a integridade das pessoas diretamente envolvidas no processo de remediação e das comunidades vizinhas à área.
8	Participação das partes interessadas	O método aborda o envolvimento das comunidades afetadas, usuários da área ou interessados na solução, e/ou considera a sua integração no processo de reparação.
9	Registro e documentação do processo de tomada de decisão	O método fornece os pressupostos e dados utilizados para alcançar a estratégia final de remediação com uma abordagem clara e de fácil compreensão e reprodução.

**Quadro 2** - Escala de importância para comparação dos critérios

Intensidade de importância (valores numéricos)	Definição/condição	Explicação
<b>1</b>	<b>Importância IGUAL</b>	<b>Os dois critérios contribuem igualmente para o objetivo</b>
2	Igual a moderada (fraca ou leve)	Valor intermediário*
<b>3</b>	<b>Importância MODERADA</b>	<b>A experiência e o julgamento favorecem levemente um critério sobre o outro</b>
4	Moderada a forte	Valor intermediário*
<b>5</b>	<b>Importância FORTE</b>	<b>A experiência e o julgamento favorecem fortemente um critério sobre o outro</b>
6	Forte a muito forte	Valor intermediário*
<b>7</b>	<b>Importância MUITO FORTE</b>	<b>Um critério é favorecido muito fortemente sobre o outro e seu domínio é demonstrado na prática</b>
8	Muito forte a extremamente	Valor intermediário*
<b>9</b>	<b>Importância EXTREMA</b>	<b>A evidência que favorece um critério sobre o outro é da mais alta ordem possível de afirmação</b>

\*Julgamento mais preciso da importância dos critérios analisados

**Quadro 3 - Matriz de análise e comparação dos pares de critérios a ser preenchida**

Critérios		<b>X</b>								
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
		Avaliação dos elementos centrais da remediação verde	Garantia de equidade intergeracional	Avaliação das opções de remediação	Abordagem de ciclo de vida	Preocupação com o uso futuro da área	Consideração e Integração do tripé da sustentabilidade	Proteção da saúde humana e do ambiente em geral	Participação das partes interessadas	Registro e documentação do processo de tomada de decisão
<b>Y</b>	<b>1</b>	1/1								
	<b>2</b>		1/1							
	<b>3</b>			1/1						
	<b>4</b>				1/1					
	<b>5</b>					1/1				
	<b>6</b>						1/1			
	<b>7</b>							1/1		
	<b>8</b>								1/1	
	<b>9</b>									1/1

**APÊNDICE II**  
**Questionário para aplicação do método AHP - Grupo 03**

## Evaluation of criteria for their weighting and use in the selection of methods which assess sustainability in the remediation of contaminated areas

### Initial presentation

This research is directed to researchers and experts of the area in order to generate data to weighting nine previously established criteria (Table 1). This weighting will be used for the analysis, classification and selection of methods applied to the sustainable remediation of contaminated areas that best represent the discourse of sustainability.

Sustainable remediation has a broad purpose of reducing environmental, economic and social impacts, and maximizing the long-term benefits of remediation projects.

The results will be used in the dissertation titled "Methods of evaluating sustainability in the remediation of contaminated areas", of authorship by Adeli Beatriz Braun, currently under development in the Pos Graduate Program in Civil and Environmental Engineering, to University of Passo Fundo.

### Instructions for evaluation

To arrive at this weighting will be used a multicriteria analysis, which is based on the comparison between pairs of criteria.

Were defined for this research nine decision-making criteria, based on the literature, considered important to be the approach to methods applied to sustainable remediation (Table 1).

To judge each criterion as to their importance in relation to the other, nine categories of importance are used (Table 2). The number 1 indicates equal preference/importance between both criteria, and the increase of the punctuation indicates an increase in favoritism/importance of each criterion in relation to the other.

To fill out Table 3, you should compare the criteria with each other, considering which one, in your opinion, is the most important, and then, how much more important. Therefore, three key steps should be followed:

- 1) Always consider the X axis (demarcated in Table 3) for the beginning of the analysis of the criterion pairs
- 2) First question to ask: Which of the two criteria is most important? (use whenever Table 1 is needed as an aid in defining and approach each criterion to be analyzed)
- 3) Second question to ask: How much more important? (use the values defined in Table 2)
  - Only the most important criterion is assigned value, the other one remains with value 1. If the criterion of the X axis is the most important the fraction becomes  $A/1$ , if the criterion of the Y axis is more important the fraction is  $1/A$  ( $A$  is the value from 1 to 9 of the scale of importance, shown in Table 2).
  - Only the top right of Table 3 (above the demarcated diagonal) must be filled, once, the lower part is reciprocal with the fractions inverted.

### Area of formation and acting \*

---

---

**Your contribution is very important for the development of this research. Thank you very much for your participation!**

**Table 1 - Description of the criteria to realization out its analysis**

Criteria		Description
1	Assessment of the central elements of green remediation	The method addresses and evaluates elements such as energy, air, water resources, materials and waste, and land and ecosystem during the remediation process.
2	Guarantee of intergenerational equity	The method addresses the adoption of measures that minimize energy consumption and the use of natural resources, and that maximize the reuse of materials, guaranteeing the needs of future generations.
3	Evaluation of remediation options	The method is supported by comparing different available remedial options.
4	Lifecycle approach	The method refers to life-cycle thinking, with a view to immediate and long-term sufficiency.
5	Concern about the future use of the area	The method considers the possibility of future use of the area, at the beginning of the project, in the evaluation of correction alternatives, and in the application of the remediation process.
6	Consideration and Integration of the sustainability tripod	The method facilitates the inclusion and analysis of the social, economic and environmental aspects of sustainability throughout the remediation process.
7	Protection of human health and the environment in general	The method takes into account the elimination of unacceptable risks associated with the protection of human health and the environment, ensuring the integrity of the people directly involved in the remediation process and and communities neighboring the area.
8	Involvement of stakeholders	The method addresses the involvement of affected communities, users in the area or interested in the solution, and/or considers their integration into the remediation process.
9	Registration and documentation of the decision-making process	The method provides the assumptions and data used to achieve the final remediation strategy, with a clear approach and to easy understanding and replication.

**Table 2 - Scale of importance for comparison of criteria**

Intensity of importance (numerical values)	Definition/condition	Explanation
<b>1</b>	<b>EQUAL importance</b>	<b>The two criteria contribute equally to the objective</b>
2	Equal to moderate (low or light)	Intermediate value*
<b>3</b>	<b>MODERATE importance</b>	<b>The experience and judgment slightly favor one criterion over the other</b>
4	Moderate to strong	Intermediate value*
<b>5</b>	<b>STRONG importance</b>	<b>The experience and judgment strongly favor one criterion over the other</b>
6	Strong to very strong	Intermediate value*
<b>7</b>	<b>VERY STRONG importance</b>	<b>One criterion is strongly favored over the other and its mastery is demonstrated in practice</b>
8	Very strong to extremely	Intermediate value*
<b>9</b>	<b>EXTREME importance</b>	<b>The evidence that favors one criterion over the other is of the highest possible order of affirmation</b>

\* More precise judgment of the importance of the criteria analyzed

**Table 3 - Matrix of analysis and comparison of pairs of criteria to be filled**

Criteria		<b>X</b>								
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
		Assessment of the central elements of green remediation	Guarantee of intergenerational equity	Evaluation of remediation options	Lifecycle approach	Concern about the future use of the area	Consideration and Integration of the sustainability tripod	Protection of human health and the environment in general	Involvement of stakeholders	Registration and documentation of the decision-making process
<b>Y</b>	<b>1</b>	1/1								
	<b>2</b>		1/1							
	<b>3</b>			1/1						
	<b>4</b>				1/1					
	<b>5</b>					1/1				
	<b>6</b>						1/1			
	<b>7</b>							1/1		
	<b>8</b>								1/1	
	<b>9</b>									1/1