



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Análise e
Modelagem de Sistemas Ambientais
Instituto de Geociências

Lucimar de Carvalho Medeiros

**VALORAÇÃO ECONÔMICA DE DANOS AMBIENTAIS (VEDA) À VEGETAÇÃO
NATURAL EM CENÁRIOS DE ROMPIMENTOS DE BARRAGENS DE REJEITOS
DE MINERAÇÃO: estudo de caso de Brumadinho/MG**

BELO HORIZONTE
2024

Lucimar de Carvalho Medeiros

**VALORAÇÃO ECONÔMICA DE DANOS AMBIENTAIS (VEDA) À VEGETAÇÃO
NATURAL EM CENÁRIOS DE ROMPIMENTOS DE BARRAGENS DE REJEITOS
DE MINERAÇÃO: estudo de caso de Brumadinho/MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Instituto de
Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como
requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências
Ambientais

Área de concentração: Modelagem de Sistemas Ambientais
Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Adriana Monteiro da Costa

BELO HORIZONTE
2024

M488v
2024

Medeiros, Lucimar de Carvalho.

Valoração Econômica de Danos Ambientais (VEDA) à vegetação natural em cenários de rompimentos de barragens de rejeitos de mineração [manuscrito] : estudo de caso de Brumadinho/MG / Lucimar de Carvalho Medeiros. – 2024.

117 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientadora: Adriana Monteiro da Costa.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2024.

Área de concentração: Modelagem de Sistemas Ambientais.

Inclui bibliografia.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Falhas em barragens – Teses. 3. Responsabilidade por danos ambientais – Teses. 4. Impacto ambiental – Avaliação – Teses. I. Costa, Adriana Monteiro da. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

**"VALORAÇÃO ECONÔMICA DE DANOS AMBIENTAIS (VEDA) À VEGETAÇÃO NATURAL
EM CENÁRIOS DE ROMPIMENTOS DE BARRAGENS DE REJEITOS DE MINERAÇÃO:
Estudo de caso de Brumadinho/MG"**

LUCIMAR DE CARVALHO MEDEIROS

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **17 de setembro de 2024**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Adriana Monteiro da Costa - Orientadora

Universidade Federal de Minas Gerais

Maíse Soares de Moura

Doutora

Fernando Antônio Leal Pacheco

Universidade Trás-os-Montes e Alto Douro

Sônia Maria Carvalho Ribeiro

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 19 de setembro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Antônio Leal Pacheco, Usuário Externo**, em 19/09/2024, às 12:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

Documento assinado eletronicamente por **Maíse Soares de Moura, Usuário Externo**, em



19/09/2024, às 13:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sonia Maria Carvalho Ribeiro, Professora do Magistério Superior**, em 09/10/2024, às 11:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adriana Monteiro da Costa, Professora do Magistério Superior**, em 26/11/2024, às 11:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 3566095 e o código CRC 39618F0F.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Às **09:00** horas do dia **17 de setembro de 2024**, virtualmente, realizou-se a sessão pública, de forma híbrida, para a defesa da Dissertação de **Lucimar de Carvalho Medeiros**. A presidência da sessão coube à **Adriana Monteiro da Costa**, orientadora. Inicialmente, a presidente fez a apresentação da Comissão Examinadora assim constituída: **Sônia Maria Carvalho Ribeiro**, Universidade Federal de Minas Gerais, **Maíse Soares de Moura**, Doutora e **Fernando Antônio Leal Pacheco**, Universidade Trás-os-Montes e Alto Douro. Em seguida, a candidata fez a apresentação do trabalho que constitui sua **Dissertação de Mestrado**, intitulada: "**VALORAÇÃO ECONÔMICA DE DANOS AMBIENTAIS (VEDA) À VEGETAÇÃO NATURAL EM CENÁRIOS DE ROMPIMENTOS DE BARRAGENS DE REJEITOS DE MINERAÇÃO: Estudo de caso de Brumadinho/MG**". Seguiu-se a arguição pelos examinadores e logo após, a Comissão reuniu-se, sem a presença da candidata e do público. Foi decidido considerar **aprovada** a **Dissertação de Mestrado**, mediante a realização de ajustes apontados pela banca. O resultado final foi comunicado publicamente à Lucimar de Carvalho Medeiros pelo presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o presidente encerrou a sessão e lavrou a presente ata que, depois de lida, se aprovada, será assinada pela Comissão Examinadora.

Belo Horizonte, 19 de setembro de 2024.

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Antônio Leal Pacheco, Usuário Externo**, em 19/09/2024, às 12:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maíse Soares de Moura, Usuário Externo**, em 19/09/2024, às 13:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sônia Maria Carvalho Ribeiro, Professora do Magistério Superior**, em 09/10/2024, às 11:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adriana Monteiro da Costa, Professora do Magistério Superior**, em 26/11/2024, às 11:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 3566094 e o código CRC **1DED134A**.

Àqueles que, mesmo longe dos holofotes, carregam a luz de uma causa maior. Que este trabalho seja uma modesta contribuição para o equilíbrio que sustenta o invisível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à força espiritual que me visitou em minha casa e disse que eu deveria tentar fazer o mestrado no Programa de Pós-Graduação do IGC da UFMG. Nunca irei me esquecer daquela presença espiritual e hoje agradeço a ela por estar materializando este trabalho.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Instituto de Geociências da UFMG, por ter sido selecionada para ingressar no mestrado.

Agradeço à Dr^a Adriana Monteiro da Costa por ter aceitado me orientar, pela confiança na proposta de trabalho, pela parceria, pela confiança em me integrar junto a seu laboratório e aos seus.

Agradeço à Dr^a Maíse Soares de Moura, pela parceria, pelas contribuições em nossos trabalhos e pela paciência, além do profissionalismo.

Agradeço à Dr^a Sônia Maria Carvalho Ribeiro por tudo. O que me conectou a ela, certamente está feliz em outro plano.

Agradeço ao Drs. Fernando António Leal Pacheco, Marcelo Antonio Nero, Rodrigo Nóbrega, Alexandrino Garcia pelos conhecimentos, parcerias, profissionalismo e ensinamentos.

Agradeço aos profissionais da limpeza, porteiros e demais funcionários do prédio do IGC pela companhia e por serem prestativos e profissionais.

Agradeço à minha família, por ter me escutado nos meus devaneios e dúvidas sobre o que eu estava escrevendo. Explicava para eles e na explicação eu já achava que podia melhorar. Obrigada, família!

Agradeço aos meus colegas do MPMG pela confiança e parceria, em especial ao Sr. Nivaldo Caetano da Cunha por compartilhar seus conhecimentos e disponibilidade comigo.

Agradeço aos meus colegas e amigos de curso. Ah, pessoal! Obrigada demais pelas suas presenças em minha vida!

A história sempre calculou os custos da guerra em vidas e territórios conquistados, mas muito pouco ou raramente em ecossistemas destruídos. Talvez por isso a conta nunca tenha fechado.

Lucimar de Carvalho Medeiros

RESUMO

Em 2018, um relatório publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), apontou o rompimento de barragens como a principal causa de desastres ambientais, relatando que países como a China, o Canadá, Chile e Estados Unidos foram os países que mais apresentaram problemas relacionados à segurança de barragens nos últimos tempos. O Brasil também passou recentemente por dois grandes desastres envolvendo barragens, um em 2015, com a barragem de rejeitos de mineração da Samarco em Fundão e outro com a barragem de rejeitos de mineração da Vale S.A em Brumadinho, ambos desastres no Estado de Minas Gerais. Para fins de responsabilização dos agentes causadores dos danos e a promoção de indenizações pelo rompimento de barragens em ações jurídico-criminais, especialmente em casos que envolvem danos ao meio ambiente, ferramentas como a valoração de danos ambientais são de fundamental importância. A proposta desta pesquisa foi, primeiramente, criar uma sigla para diferenciar os conceitos de Valor Econômico de Recursos Ambientais (VERA), conceito já amplamente difundido na literatura técnico-científica, do conceito de Valoração Econômica de Danos Ambientais (VEDA). Com isso, a pesquisa buscou abordar outra lacuna significativa, que é a falta de um método específico para a valoração econômico-financeira de danos ambientais decorrentes do rompimento de barragens de rejeitos de mineração. Assim, no primeiro capítulo, estudamos as abordagens de valoração mais presentes em bases de dados científicas reconhecidas mundialmente. Foi constatado por meio da investigação científica que 22 abordagens metodológicas e métodos específicos apareceram em maior quantidade nas publicações científicas presentes nas bases de dados. Algumas dessas abordagens e métodos são: Valor Econômico do Recurso Ambiental (VERA), que se apóia em métodos como o Método do Custo de Reposição, Método dos Custos Evitados, Método dos Custos de Oportunidade, entre outros. Outra abordagem que mais apareceu nas publicações científicas foi o método dos Custos Ambientais Totais Esperados (CATE I e CATE II), Método do Departamento de Proteção dos Recursos Naturais (DEPRN), Método do Valor de Compensação Pecuniária (VCP), Método Almeida e Método do Valor de Referência Estimado para a Degradação Ambiental (VERD). Foi realizado VEDA para três abordagens escolhidas por esta pesquisa, que estão entre aquelas que mais apareceram em publicações científicas investigadas nas bases de dados reconhecidas mundialmente. As abordagens escolhidas foram: VERA, VCP e CATE II. Assim, chegou-se a conclusão que o valor do dano ambiental à vegetação natural perdida do bioma Mata Atlântica em decorrência do rompimento das barragens integrantes do complexo B1 em Brumadinho, foi de R\$752.795.014,00. Esse valor representa atualmente US\$130.920.872,00 e R\$4.323.883,62 por hectare aproximadamente. Ou seja, o valor do dano à Mata Atlântica por hectares de vegetação natural atingida gira em torno de R\$4.986.388,18 por hectare.

Palavras-chave: rompimento de barragens de rejeitos de mineração; métodos para valoração de danos ambientais; Valoração Econômica de Danos Ambientais (VEDA).

ABSTRACT

In 2018, a report published by the United Nations Environment Programme (UNEP) identified dam failures as the leading cause of environmental disasters. The report highlighted that countries such as China, Canada, Chile, and the United States experienced the most significant issues related to dam safety in recent years. Brazil has also faced two major dam disasters: the 2015 collapse of the Samarco mining tailings dam in Fundão and the 2019 failure of the Vale S.A. mining tailings dam in Brumadinho, both of which occurred in the state of Minas Gerais. To hold the responsible parties accountable and facilitate compensation for damages resulting from dam failures, particularly in legal and criminal actions involving environmental harm, tools such as environmental damage valuation are crucial. The objective of this research was to establish an acronym to differentiate the well-known concept of Economic Value of Environmental Resources (VERA) from the proposed concept of Economic Valuation of Environmental Damages (EVED). This distinction aims to address a significant gap in the existing methodologies: the lack of a specific framework for evaluating environmental damages caused by the failure of mining tailings dams. In the first chapter, we reviewed the most prominent valuation approaches documented in globally recognized scientific databases. Our investigation identified 22 methodological approaches and specific methods that were frequently cited in the literature. Key approaches included the Economic Value of Environmental Resources (VERA), which utilizes methods such as the Replacement Cost Method, Avoided Costs Method, and Opportunity Cost Method. Another frequently approach was the Expected Total Environmental Costs (CATE I and CATE II), alongside other methods such as the Natural Resource Damage Assessment (DEPRN), Pecuniary Compensation Value (VCP), Almeida Method, and Estimated Reference Value for Environmental Degradation (VERD). For this research, EVED was applied to the three selected approaches - VERA, VCP, and CATE II - identified as among the most prevalent in the reviewed literature. The analysis concludes that the environmental damage to the natural vegetation of the Atlantic Forest biome resulting from the failure of the B1 dam complex in Brumadinho amounted to R\$752,795,014.00. This figure equates to approximately USD 130,920,872.00, or R\$4,323,883.62 per hectare. Hence, the damage to Atlantic Forest's natural vegetation is estimated at R\$ 4,986,388.18 per hectare.

Keywords: mining tailings dams; methods for environmental damage; Economic Valuation of Environmental Damages (EVED).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável(ODS)	24
Figura 2. Fluxograma contendo as etapas deste trabalho	26
Figura 3. Mapa da localização de Brumadinho no estado de Minas Gerais e mapa do alcance da lama de rejeitos da barragem que se rompeu em Brumadinho/MG	28
Figura 4. Tipos de métodos de construção de barragens	41
Figura 5. Antes e depois do rompimento.	41
Figura 6. Imagem antes do rompimento da barragem B1, da Mina do Córrego do Feijão em Brumadinho/MG	43
Figura 7. Imagem depois do rompimento da barragem B1, da Mina do Córrego do Feijão em Brumadinho/MG	43
Figura 8: Matriz de danos socioambientais após o rompimento da barragem da Vale em Brumadinho	44
Figura 9. Ações prioritárias para a reparação integral do dano	58
Quadro 1. Publicações encontradas com as palavras-chave	65
Figura 10. Fórmula do método VERD	78
Figura 11. Mapa de uso e ocupação do solo dentro da mancha de inundação da barragem de Brumadinho que se rompeu em 2019	91
Figura 12. Lama continua na área após 5 anos	96
Figura 13. Método CATE II	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fator de danos ambientais diretos e indiretos	99
Tabela 2. Adaptação dos Valores dos serviços ecossistêmicos da Floresta Tropical representando a Mata Atlântica de dólares para reais	101
Tabela 3. Análise de VEDA	105
Tabela 4. Comparações entre valores encontrados em diferentes pesquisas para valoração de danos ambientais	106

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIN	Agência Brasileira de Inteligência
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CATE I e II	Custos Ambientais Totais Esperados para Danos Intermitentes e Contínuos
CR	Custo de Restauração;
CRO	Custo de Restauração Objetiva
CRP	Custo de Restauração Presente
DAA	Disponibilidade A Aceitar
DAI	Danos Ambientais Irreversíveis
DAP	Disponibilidade A Pagar
DEPRN	Métodos do Departamento de Proteção dos Recursos Naturais
FM	Fatores de Macrozoneamento
FUC	Fatores de Unidades de Conservação e Áreas de Preservação Permanente
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
MCE	Método do Custos Evitados
MCO	Método dos Custos de Oportunidade
MPMG	Ministério Público do Estado de Minas Gerais
MCR	Método dos Custos de Reposição
S.E	Serviços Ecológicos
VEDA	Valoração Econômica de Danos Ambientais
VERA	Valor Econômico dos Recursos Ambientais
VERD	Método do Valor de Referência Estimado para Degradação Ambiental
VCP	Valor de Compensação em Pecúnia
VE	Valor de Existência
VO	Valor de Opção
VUD	Valor de Uso Direto
VUI	Valor de Uso Indireto
VTN	Valor da Terra Nua

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	18
1.1 Justificativa.....	21
2 OBJETIVOS	25
3 REVISÃO DA LITERATURA	26
3.1 Caracterização da área de estudo.....	26
3.2 Rompimentos de barragens no Brasil e no mundo.....	28
3.3 Legislações Constitucional e Ambiental no Brasil e suas relações com relações com Barragens.....	31
3.4 Legislações relacionadas às barragens no Brasil.....	34
3.5 Críticas à legislação federal de barragens do Brasil.....	37
3.5.1 A problemática das barragens construídas pelo método a método a montante.....	39
3.6 Rompimento da barragem de Brumadinho.....	42
4 REFERÊNCIAS	45

CAPÍTULO I: Valoração Econômica de Danos Ambientais: estudo dos métodos em bases de dados científicas

1 INTRODUÇÃO	57
2 OBJETIVOS	62
3 MATERIAIS E MÉTODOS	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
4.1 Particularidades dos métodos que são utilizados para VEDA.....	68
4.1.1 Métodos que utilizam o conceito conceito VERA.....	68
4.1.2 Métodos dos Custos Ambientais Totais Esperados - CATES (I e II).....	70
4.1.3 Método do Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais – DEPRN.....	73
4.1.4 Método do Valor de Compensação em Pecúnia.....	75
4.1.5 Método Almeida.....	76

4.1.6 Método do Valor Econômico de Referência para a Degradação Ambiental.....	77
5 CONCLUSÃO	79
6 REFERÊNCIAS	81
CAPÍTULO II - Cálculos para a Valoração Econômica de Danos Ambientais (VEDA)	87
1 INTRODUÇÃO	89
2 MATERIAIS E MÉTODOS	90
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	101
3.1 Valoração Econômica dos Danos Ambientais (VEDA) por meio do Valor Econômico dos Recursos Ambientais (VERA).....	101
3.2 VEDA por meio do método dos Custos Totais Ambientais Esperados para danos Contínuos II.....	103
3.3 Valoração Econômica de Danos Ambientais (VEDA) por meio do Valor de Compensação em Pecúnia (VCP).....	103
3.4 Comparação entre os métodos que utilizam o conceito VERA, métodos CATE II e VCP encontrados neste trabalho.....	103
3.5 Críticas às abordagens metodológicas para VEDA.....	107
5 CONCLUSÃO	109
6 REFERÊNCIAS	111

1 INTRODUÇÃO GERAL

As alterações antrópicas nos ambientes naturais têm ocorrido ao longo dos tempos para a manutenção do modo de vida contemporâneo, todavia, tais modificações podem levar a drásticas complicações ecológicas, comprometendo a funcionalidade dos ecossistemas e do meio ambiente em geral (ELLIS, 2015; GOUDIE, 2018; MESSERLI et al., 2000; SANTOS et al., 2023).

Para além das alterações, ações ecológicas, ações que não são precedidas de um planejamento e/ou licenciamento adequado, ou que em alguma fase de sua execução são carregadas por erros técnicos, apresentam potencial de gerar danos e perdas em diversas esferas da sociedade (SEIFFERT, LOCH, 2005; AQILAH, et al., 2014). Dentre estes possíveis geradores de danos e perdas, podemos destacar os que são ocasionados por falhas na gestão de barragens de rejeito de mineração (SAXENA & SHARMA, 2004; AZAM & QIREN, 2010; KOSSOFF et al., 2014; DO CARMO et al., 2017; ISLAM & MURAKAMI, 2021), quando o desfecho é o rompimento das estruturas de contenção e estruturas associadas (TSAI et al., 2019). Como exemplo, em 2019, ocorreu o rompimento das barragens I e IV - A, integrantes do Complexo B1, de rejeitos de minério de ferro na mina do Córrego do Feijão, localizada na cidade de Brumadinho, região metropolitana da capital mineira Belo Horizonte (ACP/MPMG, 2019, ROTTA, et al., 2020; GREBBY et al., 2021; PARENTE et al., 2021; PACHECO et al., 2022; THOMPSON et al., 2023; LIMA et al., 2024).

A barragem que se rompeu em Brumadinho no ano de 2019 pertencia aos empreendimentos da mineradora Vale S.A (PEREIRA, et. al, 2024). A ruptura da estrutura de contenção de rejeitos do complexo supramencionado, é considerada um dos maiores desastres ambientais da história do Brasil (SOARES et al, 2020, ACP/MPMG, 2019), seguido pelo rompimento da barragem de Fundão em Mariana (MG), também no Brasil no ano de 2015 (DO CARMO et al., 2017). O rompimento da barragem B1 vitimou 272 pessoas (SANTOS et al., 2022), sendo a maioria desta trabalhadores que atuavam na área da empresa. Um dos impactos ambientais negativos e significativos advindos desse rompimento, foi na bacia do Rio Paraopeba (PISSARRA et al., 2022). O rompimento da barragem afetou a bacia do referido rio e revelou impactos na qualidade da água que são agravados ao longo dos anos.

Além da possível perda de vidas e diante do cenário de destruição advindo de um rompimento de barragens, de imediato é praticamente impossível a mensuração dos tipos de danos ambientais diretos e indiretos causados ao meio ambiente (GONZALEZ, et al., 2022) e isso, torna complexo o papel da Justiça e dos seus peritos designados e responsáveis pelas

investigações. Isso porque alguns danos podem ser visíveis a olho nu, imagens de satélite, aparelhagem de microscopia, análises laboratoriais, câmeras instaladas próximas às estruturas das barragens, etc. Já outros tipos de danos podem não ser visíveis por meio dos meios citados. Assim, podem existir danos que aparecerão em longo prazo e que, devido à falta de estudos científicos e o emprego de metodologias periciais e investigativas adequadas, deixam de ser percebidos, porém seus efeitos poderão ser evidenciados com o passar do tempo.

Diante disso, são cada vez mais importantes estudos de métodos eficazes, eficientes e efetivos para mensurar e valorar os danos ambientais, a fim de ressarcir, ainda que financeiramente, a natureza pelo serviço ambiental da área que deixou de ser prestado, ressarcir o ecossistema afetado, a comunidade atingida e para reparar a lesão sofrida pelo meio ambiente (DA MOTTA, 1998, RIBAS, 1996).

Conforme Cordioli (2013), conforme a gravidade da degradação sofrida pelo meio ambiente, é possível aplicar diferentes métodos de reparação do dano gerado, seja por meio de restauração, recuperação, compensação in natura ou, na impossibilidade de aplicação dos meios anteriores, a compensação financeira (pecuniária ou indenização). A compensação in natura é conceituada por Badini (2012), como a reparação do dano ambiental por meio da reconstituição ou melhora de outro bem ou sistema ambiental que apresente semelhanças ou equivalências ao meio ambiente afetado (CORDIOLI, 2013).

Em um evento de rompimento de barragem de rejeito de mineração, que é conhecido por deixar desastres extremos no meio ambiente (ROSE et al., 2023; CZAJKOWSKI, et al., 2023), é tecnicamente impossível a recuperação imediata, a curto, médio e longo prazo do meio ambiente afetado (BOWELL et al., 2023). Portanto, são realizados estudos de impacto e a aplicação de estratégias técnicas e científicas para representar a realidade mais próxima dos danos, qualificá-los, quantificá-los e aplicar métodos que possam representar e valorar ecologicamente e financeiramente o meio ambiente pelos danos causados (DA MOTTA, 1998). Contudo, neste tipo de cenário é tecnicamente impossível a restauração ao status quo ante e a recuperação da área degradada pelo rompimento a curto, médio e longo prazo (DOWBOR et al., 2023). Assim, na escala de procedimentos para tentar ressarcir o meio ambiente pela lesão sofrida, resta os meios de compensação ambiental e compensação pecuniária, que também é conhecida por alguns autores como indenização ambiental e é realizada por meio da valoração de danos ambientais (WU, 2020), que pode ou não utilizar o Valor Econômico dos Recursos Ambientais (VERA) (DA MOTTA, 1998, MOTTA, 2004, DA MOTTA, 2006, DA MOTTA, 2011).

Para evitar a repetição do termo ao longo do texto e para preencher a lacuna existente na literatura técnico-científica em relação a uma fórmula para valoração dos danos ambientais ocorridos em determinada área e não somente a valoração do recurso ambiental em pé, ativo, neste trabalho, criamos a sigla VEDA, que se refere ao termo Valoração Econômica de Danos Ambientais ou Valor Econômico dos Ambientais.

A valoração do dano ambiental, também conhecida como indenização ambiental, conforme Steigleder (2004, p. 255), na obra Responsabilidade Civil Ambiental, é considerada uma medida de caráter subsidiário, cabível apenas quando o dano ao meio ambiente for irreversível e não for possível a aplicação da compensação ecológica, como previsto no Código de Defesa do Consumidor, artigo 84, §1º. Contudo, por meio de jurisprudências, em casos como os de rompimentos de barragens, é cabível a aplicação de medidas de recuperação in natura (quando possível em partes da área degradada) e a compensação ambiental, cumulada com a aplicação de valoração pecuniária (indenização financeira), devido à gravidade dos danos gerados e as consequências geradas para o meio ambiente e a sociedade.

No tocante às metodologias de valoração de danos ambientais, existem na literatura técnica e científica, métodos que visam estimar o valor do dano ambiental, que são usados para a indenização pecuniária (DA MOTTA, 2006). Porém, o maior desafio deste tipo de valoração, é o de transformar os valores dos recursos ambientais, bem como os valores dos danos ambientais, em valores financeiros (RIBAS, 1996; DA MOTTA, 1998).

A simples existência e aplicação de tais métodos não significam que eles resolverão ou representarão os reais danos ambientais da área. Isso porque a escolha da metodologia adequada é um fator de suma importância para ressarcir o meio ambiente, o Estado e a sociedade pela degradação (LOUREIRO et al, 2009). Em eventos como os de rompimentos de barragens, todos são lesados, seja pela perda de vidas humanas, bens materiais e imateriais, perdas econômicas, perdas de identidade cultural, etc. (PASA et al., 2023). O meio ambiente também é profundamente afetado, sofrendo com a perda de vidas animais, de vegetação protegida ou não por lei, de bancos de sementes e biodiversidade e serviços ecossistêmicos prestados na área (SILVA, et al., 2021). Portanto, a escolha cuidadosa da metodologia de avaliação de danos é essencial para garantir uma compensação pecuniária adequada e justa pelos danos (DA MOTTA, 1998). Ainda é importante salientar que a indenização pecuniária paga ao meio ambiente, devido ao rompimento da barragem, é apenas uma das indenizações constantes neste rol.

Assim, considerando que, os danos causados ao meio ambiente pelo rompimento de barragens de rejeitos de mineração causam severos prejuízos à natureza e à sociedade em

geral (LACAZ, et al., 2017), bem como geram custos que impactam negativamente as contas municipais, estaduais e federais, o objeto desta pesquisa é estudar as metodologias e os métodos para serem incorporados ao VEDA e indicar quais destes procedimentos podem ser aplicados, conforme análise científica, em casos de rompimento de barragem de rejeitos de mineração. Nesse sentido, a pergunta principal que motivou esta pesquisa é: Quais as metodologias e métodos que podem ser incorporados ao VEDA para avaliar de forma científica visando aplicação jurídica para indenização ambiental, os danos ao meio ambiente causados pelo rompimento de barragens de rejeitos de mineração, e quais desses procedimentos são aplicáveis conforme a análise e procedimentos científicos?

Os resultados desta pesquisa servirão para aplicação em outros casos que envolvem rompimentos de barragens de rejeitos de mineração, sejam eles os que já ocorreram, como também aqueles que poderão ocorrer. ou seja, a valoração proposta neste trabalho poderá ser utilizada para estimar o dano ambiental em vegetação no entorno de barragens que correm o risco de romper. poderão ainda subsidiar a criação de atos normativos que poderão oficializar a criação de protocolos e legislações para a valoração do dano ambiental no Brasil.

1.1 Justificativa

A intensa atividade minerária em Minas Gerais, estado recentemente afetado por dois desastres de rompimento de barragens (MANGUSSI FILHO, 2023), e os riscos iminentes de rompimentos de novos rompimentos de barragens de rejeitos de mineração no Brasil (SNISB, 2024) motivaram esta pesquisa. O objetivo foi aplicar diferentes métodos de VEDA, com ênfase no “fator supressão de vegetação” para valorar os danos ambientais causados pela perda de quantidade de vegetação natural de Mata Atlântica, decorrente do rompimento da estrutura de contenção em estudo.

A escolha da supressão de vegetação como “fator dano” se justifica pela escassez de trabalhos na literatura técnico - científica que abordam de maneira isolada cada um dos elementos ambientais presentes na área atingida (solo, recursos hídricos, ar, vegetação, etc). Além disso, alguns métodos de valoração existentes não representam adequadamente todos os elementos ambientais em uma única fórmula, o que prejudica a padronização e a correta valoração dos danos.

Assim, estudar a supressão de vegetação como apenas um dos elementos e de forma isolada, permite padronizar a valoração de um dos elementos ambientais afetados, proporcionando uma base para futuras pesquisas sobre os outros parâmetros da natureza

supramencionados. Em face disso, este estudo visa estimular a comunidade técnica e científica a desenvolver novas metodologias e métodos de valoração ou mesmo a adaptação das abordagens existentes e que seja aplicáveis aos diferentes elementos ambientais afetados pelas catástrofes envolvendo barragens, permitindo o dimensionamento mais preciso dos danos ambientais.

Nesse sentido, a necessidade científica desta investigação é que a utilização do fator dano ambiental caracterizado como supressão de vegetação, abre portas para a comunidade científica estudar separadamente outros elementos ambientais na aplicação em métodos de Valoração Econômica de Danos Ambientais, o que irá contribuir para a justiça mais justa em relação aos componentes ambientais atingidos em um evento de rompimento de barragens, considerando que nem todos os métodos de valoração englobam variáveis matemáticas que representam os componentes solo, recursos hídricos, ar e vegetação em uma mesma fórmula.

Assim, este trabalho tem como propósito oferecer à comunidade científica da área de Modelagem de Sistemas Ambientais a oportunidade de estudos que envolvem a utilização de modelos de sistemas *a priori* como as manchas de inundação de rejeitos de barragens, e dados concretos *a posteriori*, estudos de cenários de rompimentos e a realização *a priori* da valoração econômica de danos ambientais decorrentes dos possíveis desastres provocados pelo colapso.

Já a necessidade jurídica da correta aplicação de métodos de valoração econômica de danos ambientais é contribuição para a segurança jurídica a fim de embasar a tomada de decisão por parte de desembargadores, juízes, procuradores e promotores de justiça, peritos, analistas e demais agentes, quanto ao uso e aplicabilidade de tais metodologias e métodos, em casos de rompimentos de barragens de rejeitos de mineração. Outra justificativa para esta pesquisa no âmbito jurídico-criminal é que o valor do dano deve ser determinado de forma objetiva, sem influência dos sentimentos provenientes da comoção pública gerada pela catástrofe do colapso das estruturas de contenção de rejeitos e deve seguir rigorosamente os princípios constitucionais de legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência, conforme estipulado na Constituição Brasileira de 1988, para os agentes das administrações públicas diretas e indiretas, bem como os princípios de razoabilidade e proporcionalidade.

Na esfera ambiental esta pesquisa se justifica por apresentar um estudo que visa o ressarcimento mais justo ao meio ambiente, ainda que seja pecuniário, apesar do dinheiro trazer de volta à diversidade ambiental que estejam presentes na área de um rompimento de barragem. Sendo assim, a VEDA é uma alternativa, não a solução de todos os problemas causados por um desastre de rompimento de barragem.

A vantagem social com o uso e a aplicação da valoração econômica correta e mais representativa dos reais danos ambientais de um rompimento de barragem de rejeito de mineração, por parte das autoridades competentes, bem como a efetivação das medidas propostas no método de valoração econômica, estão relacionados ao cumprimento do Artigo nº 255, da Constituição Federal Brasileira de 1988 que traz que:

Art. 255, da Constituição Federal Brasileira de 1988.

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Já no âmbito internacional, esta pesquisa tem como base o Relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente criado em 2018, que traz que o rompimento de barragens de rejeitos de mineração é a principal causa de desastres ambientais (MONGABAY BRASIL, 2018).

No contexto do BRICS, acrônimo que se refere ao grupo de países constituídos pelo Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (sendo estes membros fundadores), onde a segurança energética e a exploração de recursos naturais são temas de interesse (WANG et al., 2020; STUPENKOVA, KASHURO, 2023), a valoração econômica de danos ambientais proposta nesta pesquisa oferece uma base científica para proteger os recursos econômicos e ambientais de longo prazo, bem como fornecer informações que podem ser utilizadas para cooperação de informações entre os países membros e informações que podem ser utilizadas para questões que envolvem temas relacionados a segurança das nações em relação à segurança de barragens. Tais estudos também contribuem para que os países-membros identifiquem pontos vulneráveis em suas infraestruturas críticas de barragens, o que permite que desenvolvam planos de contingência e mitigação de possíveis danos ambientais. Este estudo também pode fortalecer a posição do agrupamento econômico e político dos BRICS em negociações internacionais, uma vez que pode fornecer informações sólidas sobre a necessidade de compensações ou reparações em fóruns globais, ou seja, pode ser utilizado como uma ferramenta diplomática para defesa de seus interesses e influenciar até mesmo decisões estratégicas em possíveis cenários de guerra global.

Assim, reconhece-se que o rompimento de barragens é uma temática de ordem mundial, que pode trazer riscos à segurança nos países que as possuem. Além disso, os estudos da VEDA, estão relacionadas ao reconhecimento, pela Organização das Nações

Unidas (ONU), em outubro de 2021, do direito ao meio ambiente limpo, saudável e sustentável, como direito humano (FERREIRA, 2022), pois uma vez ferido o direito humano referente ao rompimento de barragens, é necessário o ressarcimento para reparar os danos sofridos pelo meio ambiente e à sociedade, como forma de cumprir a agenda global de preservação do direito humano e ambiental.

Em relação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (AGENDA 2030, 2024), o rompimento de barragens de rejeitos de mineração e a VEDA estão atrelados aos objetivos: ODS 3 (Saúde e bem-estar), ODS 6 (Água limpa e saneamento), ODS 7 (Energia limpa e acessível), ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), ODS 15 (Vida terrestre), ODS 16 (Paz, justiça e instituições eficazes), sendo todos estes objetivos da agenda prejudicados nas situações supra descritas. Especificamente ao ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima), com as mudanças climáticas, fica cada vez mais necessário repensar sobre as construções dessas estruturas de contenção de rejeitos, que na maioria dos casos, foram construídas em tempos em que as alterações climáticas não eram realidade.

Nesse tocante, tais alterações poderão influenciar sobremaneira as estruturas desses tipos de construções, pois a maioria delas foram constituídas em décadas passadas, nas quais as alterações climáticas não eram realidade. Então, quais serão os desdobramentos das barragens construídas em décadas anteriores, frente às mudanças globais do clima? Por pensar nisso, este ODS também se encaixa nesta pesquisa. Abaixo, na Figura 1. temos os ODS's e suas respectivas agendas:

Figura 1. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).



Fonte: Organização das Nações Unidas - ODS/ONU

2 OBJETIVOS

Os objetivos da primeira parte introdutória desta pesquisa, se baseiam em fazer uma análise da literatura técnico-científica acerca da questão das barragens no âmbito do Brasil e do mundo, com ênfase àquelas ligadas a rejeitos de mineração, a fim de que se possa compreender os desafios e complexidades ligadas a estas estruturas. Além disso, busca-se contextualizar o rompimento da barragem de Brumadinho, área objeto deste estudo, não apenas para examinar os impactos socioeconômicos e ambientais do desastre, mas para introduzir o tema da Valoração Econômica dos Danos Ambientais, que é o foco desta investigação científica.

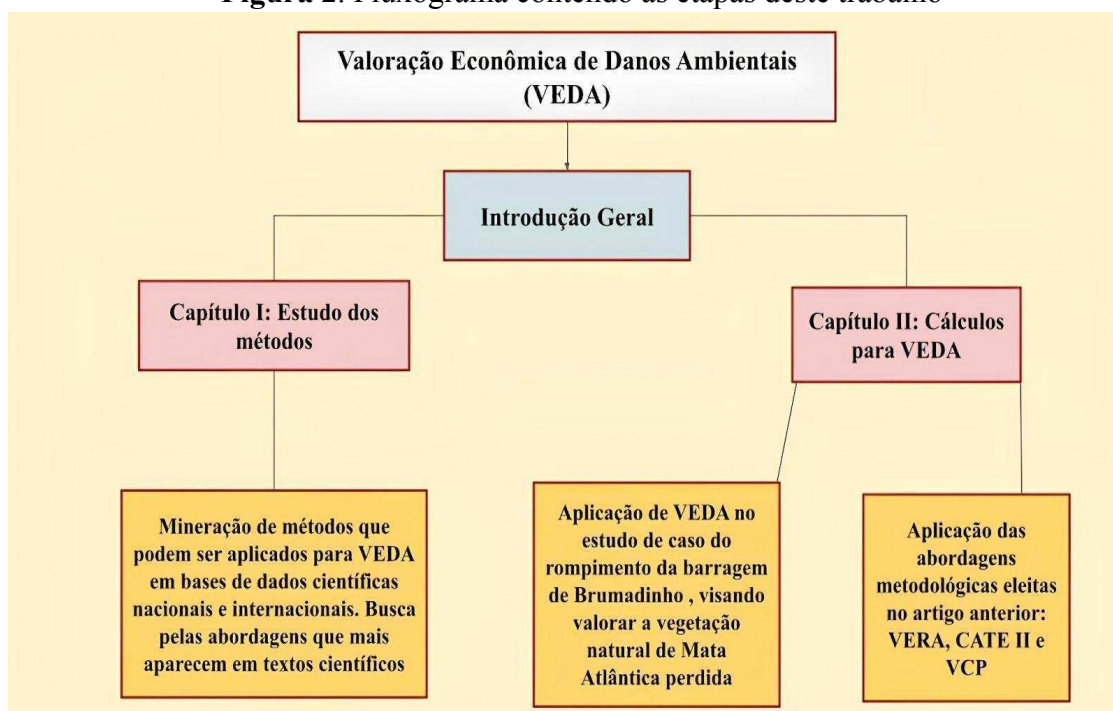
Dessa maneira, esta pesquisa introdutória visa estabelecer uma base sólida para uma análise interdisciplinar que aborda questões técnicas, ligadas aos conhecimentos sobre estruturas de barragens e legislações correlacionadas, por meio da revisão do pensamento de outros pesquisadores.

O capítulo refere-se ao estudo das abordagens metodológicas existentes na literatura técnico-científica e que são utilizadas para fazer a valoração de danos ambientais e aquelas as quais poderão ser aplicadas à VEDA, por meio da busca de informações em bases de dados científicas.

O último capítulo deste trabalho é a aplicação de VEDA ao caso concreto do rompimento da barragem de Brumadinho em 2019, no tocante à vegetação natural de Mata Atlântica que foi perdida com o colapso da estrutura. Estudou-se também as variações de valores entre os métodos calculados e ofereceu-se uma crítica sobre as abordagens de valoração de danos ambientais, bem como propostas para melhoria.

As etapas deste trabalho estão dispostas no fluxograma da Figura 2.

Figura 2. Fluxograma contendo as etapas deste trabalho



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Caracterização da área de estudo

A cidade de Brumadinho destaca-se no cenário estadual e nacional por suas tradições culturais e turísticas. Abriga o Instituto Inhotim, um importante complexo de arte contemporânea do mundo, o qual apresenta uma extensa coleção de arte distribuídas em uma área de 140 hectares de jardins botânicos e galerias de arte ao ar livre (LANGLOIS, 2022). Tal instituto abriga obras de artistas nacionais e internacionais. Brumadinho também fica próximo à Serra da Moeda, uma importante formação montanhosa, composta por extensa biodiversidade e beleza natural, além de estar bem próxima do Instituto Inhotim (CORRÊA, 2023). Na economia, Brumadinho se destaca pelas atividades agropecuárias e pelo turismo (IBGE, 2023).

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Brumadinho tem uma população estimada em 38.915 habitantes em uma área territorial estimada de 639.434 quilômetros quadrados, apresentando uma densidade demográfica de 60,86 habitantes por

quilômetros quadrados (IBGE, 2023). Brumadinho está situada no Bioma Mata Atlântica e é caracterizada por Floresta Estacional Semidecidual.

A barragem em estudo, estava localizada na Mina do Córrego do Feijão, na cidade de Brumadinho, região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, em uma área conhecida por sua rica diversidade ambiental. A topografia da área afetada pelo rompimento da barragem B1, é variada (SILVA et al., 2020; IANNELLI & RIGOLETTO, 2020), incluindo terrenos montanhosos e vales, com a presença de cursos d'água e vegetações típicas do bioma Mata Atlântica (IBAMA, 2019).

Antes do rompimento da estrutura de contenção dos rejeitos, a área abrigava estruturas relacionadas à mineração, como a própria barragem, além de construções contendo restaurantes e escritórios de funcionários e prestadores de serviços da empresa Vale S.A (SILVA, 2022).

A lama de rejeitos da barragem em estudo percorreu uma distância considerável, afetando áreas ao longo do rio Paraopeba (SILVA, 2020). Estima-se que a extensão da lama de rejeitos tenha alcançado aproximadamente 9 quilômetros em apenas cinco minutos após o rompimento da barragem (SILVA, 2020). A rápida propagação da lama causou danos significativos ao longo do seu percurso, contaminando rios, destruindo abrigos de animais, destruindo vegetações, ceifando vidas humanas e animais e resultando em impactos de diversas esferas em escala municipal, estadual e até mesmo na esfera federal. Vale salientar que mesmo as vegetações que continuaram em pé ao final do percurso da lama, também sofreram danos em suas estruturas.

Na Figura 3, tem-se a localização da cidade de Brumadinho no Estado de Minas Gerais, bem como o mapa contendo a lama de rejeitos da barragem que se rompeu.

acidentes na última década) como os países com o pior histórico recente de segurança de barragens dessa natureza (MONGABAY BRASIL, 2018).

Para discutir os impactos negativos e consequências geradas pelo rompimento de barragens no âmbito internacional, foi criada a International Commission on Large Dams (ICOLD). Trata-se de uma instituição internacional não governamental, sem fins lucrativos que congrega mais de 10 mil profissionais dos mais diversos países e que lida com o tema de segurança de barragens (ICOLD, 2023).

Conforme o ICOLD, no documento World Register Of Dams (WRD), que é o documento de registro mundial de barragens, existem no mundo atualmente, um total de 58.000 mil grandes barragens de acordo com as definições do ICOLD que levam em consideração a altura de pelo menos 15 metros acima da fundação ou 5 metros com a capacidade acima de três milhões de metros cúbicos (ICOLD, 2023). O World Register Of Dams é um instrumento de grande importância mundial, tanto para países que são membros do ICOLD como para países que não são membros e é considerado um dos pilares da comunidade internacional de barragens, balizando as decisões nacionais acerca da temática de barragens (ICOLD, 2023).

E a discussão dessas questões não fica apenas no âmbito do ICOLD. Cada vez mais, devido à crescente construção de barragens para os diversos fins, os países têm construído legislações próprias, amparadas em recomendações internacionais como, por exemplo, as recomendações do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), da Organização das Nações Unidas (ONU), sobre a temática da segurança de barragens (CARVALHO, 2022).

Para atender às demandas relacionadas à problemática das barragens, bem como as legislações, o Banco Mundial, que é uma organização financeira internacional, recebe uma demanda crescente por projetos relacionados à construção de novas barragens, recuperação das já existentes e questões de âmbito financeiro relacionadas à segurança destas estruturas em países como o Brasil, Índia, Vietnã, Indonésia, entre outros. Para cumprimento dessas demandas, o Banco Mundial conta com uma política de salvaguarda, cujo objetivo é assegurar a qualidade e a segurança em fases primordiais como as fases de projeto, construção e segurança das estruturas (UEDA, 2015).

Baseado em estatísticas do International Commission on Large Dams (ICOLD, 1998), até os anos 2000, no Brasil haviam 594 barragens. Nos Estados Unidos da América havia 6.575 barragens, na Índia 4.291, Espanha 1.196 e na China, 22.000 barragens, sendo a China o país considerado com maiores números de barragens à época. Este número elevado de

construções na China se explica pela grande busca por infraestrutura hidroelétrica no país (IPEA, 2013).

Em relação ao Brasil, o número de barragens para os diversos fins construídas dos anos 2000 até o ano de 2023, cresceu consideravelmente, de um número de 594 barragens até os anos de 2000, para 24.103 barragens cadastradas, sendo que 5.665 estão submetidas à Lei nº 12.334 de 2010, que é a legislação federal do Brasil, que dispõe sobre as normas de barragens no âmbito nacional (SNISB, 2023).

Em se tratando de rompimento de barragens de rejeitos de mineração, no cenário mundial, ocorreu no ano de 1985 no norte da Itália, há mais de 35 anos e é considerado uma tragédia mundial conforme a Organização das Nações Unidas (ONU, 2018). No colapso dessa barragem, que era administrada pela empresa mineradora Prealpi Mineraria, 180 metros cúbicos de lama proveniente da estrutura de contenção de rejeitos, varreram a cidade de Stava e Tesero, o que culminou na morte de 267 pessoas, dizimando famílias inteiras (PASSARINHO, 2019).

Conforme a base de dados sobre barragens, do Comitê Internacional de Barragens, as maiores causas de rupturas ao longo da história são: piping através do barramento, galgamento, descarga através do barramento, e deslizamento a montante (ICOLD, 2023).

Os rompimentos de barragens no mundo, sejam elas para quaisquer fins, causaram grandes prejuízos sociais, econômicos e ambientais, envolvendo um número significativo de perdas de vidas e perdas de recursos ambientais, inclusive com a contaminação de corpos e cursos d'água, por meio da injeção de grandes massas de rejeitos no meio ambiente aquático o que ameaçou a sobrevivência humana, vegetal e animal em ambientes ribeirinhos e afins (DO CARMO et al., 2017; FURLAN et al., 2020; GABRIEL et al., 2020; GRILO et al., 2020; THOMPSON et al., 2023 apud PACHECO et al., 2022).

Para exemplificar essa situação, quando tratamos de Brasil, esse Estado passou recentemente por dois grandes desastres ambientais relacionados ao rompimento de barragens: o rompimento da barragem de Fundão em Mariana/MG (2015) e o rompimento da barragem de Brumadinho (2019), também no Estado de Minas Gerais (FREITAS, et. al, 2019).

No âmbito ambiental, o desastre de Brumadinho, além de causar maiores quantidades de perdas de vidas humanas em relação ao rompimento da barragem de Fundão em Mariana (REZENDE et al., 2019), também causou desastre significativo relacionado a perdas ambientais, suprimindo a área de diversidade ambiental, em sua maioria pertencente ao Bioma Mata Atlântica, e contaminação de uma das mais importantes bacias hidrográficas do

país do rio Paraopeba (TERRA, et al., 2023). Ambos os desastres trouxeram a mesma carga de prejuízos emocionais à sociedade, ferindo direitos difusos relacionados ao direito a um meio ambiente sadio e os direitos da coletividade previstos na Constituição Federal de 1988 do Brasil.

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA/ONU, 2019), o desastre de Brumadinho “destacou a necessidade de implantação rápida de padrões internacionais para a contenção de resíduos provenientes da atividade de mineração, uma vez que as falhas nas barragens de resíduos trazem consequências ambientais em longo prazo e de longo alcance, pois a lama tóxica que é liberada se infiltra no solo e nos rios mais próximos.” (PNUMA/ONU, 2019).

Atualmente, estão sendo estudadas e criadas novas tecnologias no ramo da engenharia, química, física, etc., para tentar solucionar a grande problemática de rompimento de barragens no mundo. A citar: a utilização de rejeitos como matéria-prima para a criação de novos produtos, técnica de empilhamento seco com o aumento da capacidade de secagem dos rejeitos para posterior depósito nas estruturas de barragens, técnicas mais eficientes de inspeção de das estruturas e dos reservatórios de represamento de rejeitos e pesquisas relacionadas à utilização de finos de minério para matéria-prima da indústria siderúrgica (DE SOUZA, 2020). Porém, a solução para o rompimento de barragens no mundo, envolve também procedimentos relacionados à prevenção e melhorias na estrutura das barragens, com a realização de inspeções rigorosas, mais regulares e monitoramento efetivo, para que seja possível garantir a conformidade das barragens com os padrões de segurança internacionais e evitar novos desastres (BRAGA, 2021).

3.3 Legislação Constitucional e Ambiental no Brasil e suas relações com barragens

Os recursos naturais não são bens inesgotáveis e para a proteção do meio ambiente e dos recursos nele existente, são criadas as legislações que visam salvaguardar os bens naturais nele presente (FIORILLO, 2015).

No âmbito federal, a Constituição do Brasil de 1988, vigente, em seu artigo nº 225, parágrafo 3º, determina que:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (...);

§ 3º As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, às sanções penais e administrativas, independente da obrigação de reparar os danos causados.

O rompimento de uma barragem, uma vez que degrada o meio ambiente local e traz impactos negativos à sociedade, é considerado uma atividade lesiva ao meio ambiente e por isso fere o parágrafo 3º, do Artigo 255 da Constituição Federal brasileira de 1988, vigente. Por isso, conforme o mencionado dispositivo, a apuração dos fatos e conduta dos envolvidos sujeitará os infratores, que na maioria dos casos de barragens de mineração são pessoas jurídicas, às sanções penais e administrativas, independente da obrigação de reparar os danos ambientais (DE BRITO; NETO, 2016).

Com fulcro na legislação sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens, a apuração dos fatos considerados lesivos ao meio ambiente envolverá a apuração com base em incidente, acidente, desastre (BRASIL, 2010), ou os três elementos concomitantemente. Diante da apuração, o infrator também poderá responder criminalmente pelos fatos, mesmo diante da hipótese de negligência (BRASIL, 2010).

A Lei nº 7.347, de 24 de julho de 1985, criada antes mesmo da Constituição de 1988, é a legislação federal que dispõe sobre a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico e dá outras providências (BRASIL, 1985). Em seu artigo 3º, esta legislação estabelece que “a ação civil pública poderá ter por objeto a condenação em dinheiro ou o cumprimento de obrigação de fazer ou não fazer” (BRASIL, 1985). Em um evento de rompimento de barragem, o instrumento processual jurídico “ação civil pública ambiental” é um meio jurídico para impedir e /ou reparar os danos sofridos pelo meio ambiente.

Conforme o artigo 5º da Lei nº 7.347, de 24 de julho de 1985, tem legitimidade para propor a ação civil pública ambiental:

I - o Ministério Público;

II - a Defensoria Pública;

III - a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios;

IV - a autarquia, empresa pública, fundação ou sociedade de economia mista;

V - a associação que, concomitantemente:

a) esteja constituída há pelo menos 1 (um) ano nos termos da lei civil;

b) inclua, entre as suas finalidades institucionais, a proteção ao meio ambiente, ao consumidor, à ordem econômica, à livre concorrência, aos direitos de grupos raciais, étnicos ou religiosos ou ao patrimônio artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico.

No escopo estadual, no caso do rompimento da barragem de Brumadinho, o Ministério Público de Minas Gerais ajuizou ação civil pública, uma vez que a instituição foi provocada pelos responsáveis pela fiscalização ambiental e pela sociedade civil devido à infração ocorrida contra o meio ambiente e contra a vida (ACP/MPMG, 2019).

Outra legislação de suma importância quando se trata de meio ambiente é a Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1988, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências (BRASIL, 1988). Este dispositivo normativo também é muito importante quando se trata de barragens de rejeitos de mineração, tanto pela consideração à preservação do meio ambiente, como pela definição de termos técnicos, como por exemplo, a definição do termo meio ambiente. Veja abaixo:

Art. 3º da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981:

I - meio ambiente é o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas (BRASIL, 1981).

Para fins de escritura e assinatura de documentos oficiais elaborados pelos peritos, membros dos ministérios públicos e magistrados, o conceito de meio ambiente da Lei nº 6.938 de 1981 é utilizado, uma vez que se trata de matéria referente ao âmbito jurídico.

Conforme Leite (2017) no livro cujo título é “Dano Ambiental, na sociedade de risco” (2010, p. 79-80), o legislador da Lei nº 6.938/1981, utilizou na elaboração da referida lei, o conceito mais amplo do termo meio ambiente, uma vez que denota a relação entre o homem e a natureza na medida em que engloba os elementos que os regem (LEITE, 2017). Esta lei, dentre outras providências, estabelece a obrigação de reparar o meio ambiente degradado e aplicar medidas para cessar a atividade lesiva (BRASIL, 1981).

No evento do rompimento de uma barragem, um maior número de dispositivos jurídicos ambientais é utilizado pelos magistrados, procuradores de justiça, promotores e demais autoridades, para fundamentar o argumento a favor do meio ambiente. Daí a importância de conhecer as legislações relacionadas. Para os peritos criminais, judiciais ou

técnicos que vão fazer o laudo, relatório ou parecer técnico de constatação do rompimento, não é diferente. Conhecer as legislações ambientais é de extrema importância para fundamentação do laudo, relatório ou parecer técnico, pois estes documentos fundamentarão as decisões dos membros dos Ministérios Públicos e magistrados no tocante a responsabilização pelo rompimento, entre outras. Outra importância do perito ter este conhecimento está relacionado ao VEDA. Para a explicação do cálculo de forma correta e objetiva, é necessário ter conhecimento de termos técnicos devido ao caráter jurídico dos documentos.

Outras legislações importantes, quando se trata de preservação do meio ambiente, são as normas jurídicas, Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, que estabelece o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC (BRASIL, 2000) e a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, referente ao Código Florestal do Brasil (BRASIL, 2012). Tais legislações são de extrema importância quando se trata da problemática das barragens, pois os locais onde elas são construídas são na maioria das vezes próximos a cursos d'água permanentes ou temporários, unidades de conservação, parques nacionais, locais onde há muita diversidade biológica e recursos ambientais e que tem seus direitos resguardados por lei. Estes locais são um dos mais afetados quando se trata de rompimento das estruturas de contenção dos rejeitos.

Em suma, conhecer a legislação constitucional e as legislações ambientais é fundamental para peritos responsáveis por apurar danos ambientais, para a elaboração dos documentos técnicos amparados em normas jurídicas e para embasar a tomada de decisão por autoridades competentes como juízes, desembargadores, procuradores e promotores de justiça, políticos, etc. Não há espaço para amadorismo e aventureiros neste tipo de trabalho.

3.4 Legislações relacionadas às barragens no Brasil

A principal legislação relacionada a barragens a nível no Brasil é a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 (BRASIL, 2010), que dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). No ano de 2020, alguns artigos desta legislação tiveram inclusões e alterações em seus incisos e parágrafos, pela Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020 (BRASIL, 2020).

Conforme a Lei nº 12.334, de 2010 e a alteração feita pela Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020, “barragem é qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos,

compreendendo o barramento e as estruturas associadas.” (Art. 2º, inciso I da Lei nº 14.066 de 2020).

Para a estrutura ser caracterizada como barragem, para fins legais, ela deve apresentar pelo menos uma das seguintes características, conforme a Lei nº 12.334 de 2010:

Art. 1º Esta Lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

I - altura do maciço, medida de encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento, maior ou igual a 15 (quinze) metros. (Redação dada pela Lei nº 14.066, de 2000);

II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos);

III - reservatório que contenha resíduos perigosos, conforme normas técnicas aplicáveis;

IV - categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 7º da Lei nº 12.334 de 2010;

V - categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador, conforme definido no art. 7º da Lei nº 14.066 de 2000.

Para dar cumprimento às legislações federais citadas, foi criada pela Agência Nacional de Mineração (ANM), a Resolução ANM nº 95, de 07 de fevereiro de 2022, que é um ato normativo infralegal, cujo objetivo é regulamentar e explicar a lei de barragens federal (ANM, 2022).

A fiscalização das barragens pelos órgãos competentes se dá em função do tipo de barragem. Se a barragem é para a geração hidroelétrica, então o órgão responsável pela fiscalização da barragem é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Se a barragem tem a finalidade de servir como reservatório para rejeitos de mineração, o órgão responsável pela fiscalização é a Agência Nacional de Mineração (ANA) que também será responsável por fiscalizar as barragens localizadas em rios federais. A fiscalização de barragens ligadas à produção de energia nuclear é de competência da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Em barragens para disposição de resíduos industriais, a fiscalização é de competência da entidade que forneceu a licença ambiental de instalação e de operação (SNISB, 2024).

No âmbito do Estado de Minas Gerais, foi criada a Lei nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019 (MINAS GERAIS, 2019), exatamente após um mês do desastre ocorrido pelo rompimento da barragem de Brumadinho, que institui a Política Estadual de Segurança das Barragens (PESB). A referida lei atribui ao Sisema (Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos), a competência de realizar a fiscalização ambiental das barragens do Estado (FEAM, 2019).

Ainda no Estado de Minas Gerais, foi criado o Decreto nº 48.078, de 05 de novembro de 2020, o Decreto nº 48.133, de 29 de janeiro de 2021, o Decreto nº 48.149, de 05 de março de 2021 e o Decreto nº 48.190, de 04 de abril de 2021, para regulamentar a Lei estadual nº 23.291/2019.

É notória e evidente a criação de mais regulamentações, após o rompimento da barragem de Brumadinho. Este fato pode ser explicado devido às crescentes pressões nos noticiários nacionais e internacionais sobre o desastre ocorridos com a referida barragem (SOUZA et al., 2022), preocupação do Estado brasileiro em dar respostas para a sociedade em cumprimento à Política Nacional de Segurança das Barragens (PNSB), contribuições das universidades com pesquisas, apoio científico e atividades de extensão sobre o desastre, tomada de conhecimento, por organizações internacionais como a Organização das Nações Unidas (ONU), sobre os casos recentes de rompimentos de barragens de mineração no Estado de Minas Gerais em um lapso temporal relativamente curto e também ao aparecimento de estudos científicos relacionados à possibilidade de responsabilização internacional do Estado brasileiro por ecocídio e pelas omissões nos processos fiscalizatórios das barragens que se romperam em Brumadinho (2019) e Fundão em (2015) (OLIVEIRA et al., 2021).

Conforme Freeland (2005), o Artigo 7º, inciso k, do Estatuto de Roma, o tratado internacional do Tribunal Penal Internacional (TPI), que dispõe sobre Crimes contra a Humanidade, pode ser utilizado para pressionar a Corte do referido tribunal para que nos Crimes contra a Humanidade, sejam incorporados também os crimes contra o meio ambiente. O artigo 7º, inciso k, do Estatuto de Roma, diz que:

Artigo 7º do Estatuto de Roma do Tribunal Penal Internacional (TPI). Crimes contra a Humanidade:

k) “Outros crimes desumanos de caráter semelhante, que causem intencionalmente grande sofrimento, ou afetem gravemente a integridade física ou a saúde física ou mental.

Em relação à Política Nacional de Segurança das Barragens (PNSB), esse é considerado um dos mecanismos criados para dar cumprimento à Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, criou disposições relacionadas a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais (BRASIL, 2010).

Com a criação dessa lei, foi criado o Sistema Nacional de Informações sobre a Segurança das Barragens (SNISB), que é um sistema que reúne informações sobre barragens por meio de um cadastro de usos múltiplos de água, de contenção de resíduos industriais e de

rejeitos de mineração e de geração de energia elétrica (SNISB, 2024). Neste sistema, estão inscritas as barragens que são submetidas à Lei nº 12.334/2010 e as barragens que não estão submetidas por esta lei (SNISB, 2024).

Porém, apesar do SNISB ser um sítio organizado, implantado e gerenciado pela Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA), sua eficácia é questionada, porque esse sistema depende de informações fornecidas pelos empreendedores de barragens. Essa crítica destaca a preocupação de que o sistema possa ser influenciado por interesses comerciais, uma vez que os empreendedores têm a liberdade de contratar consultorias externas para elaborar os documentos que alimentam o SNISB. Nesse sentido, é necessário que o sistema seja alimentado com informações transparentes e imparciais, livres de qualquer viés corporativo, a fim de proteger a sociedade da desinformação e evitar futuros desastres ambientais.

Em relação à barragem de Brumadinho que se rompeu em 2019, a Ação Civil Pública do MPMG destaca ser assustador as informações extraídas da Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) de que a barragem em questão possuía laudos que atestaram sua segurança e estabilidade (ACP/MPMG, 2019). Conforme a ACP, este fato demonstra que o sistema de fiscalização de barragens do Estado de Minas Gerais e o SNISB criado pela ANM, são ineficientes (ACP/MPMG, 2019).

Conhecer as legislações relacionadas a barragens no Brasil, é fundamental para entender quais termos técnicos estão dispostos na norma, quais as competências de fiscalização, quais são os órgãos fiscalizadores, etc. O(s) perito(s) responsáveis pelo laudo, parecer técnico ou mesmo os agentes de inteligência destas áreas, precisam ter amplo conhecimento destas legislações para elaborar documentos realmente confiáveis, tanto para quem os vai ler como para a sociedade.

3.5 Críticas à legislação federal de barragens do Brasil

A Categoria de Risco (CRI) é determinada pelas características construtivas e de conservação da barragem na Lei nº 12.334/10 (BRASIL, 2010), que conceitua “categoria de risco”, em seu artigo 2º, inciso VIII, como sendo “a classificação da barragem de acordo com os aspectos que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente ou desastre” (BRASIL, 2020). Já na alteração desta norma, feita pela lei nº 14.066/20, temos a definição legal dos termos: incidente, acidente e desastre.

O incidente é definido como a ocorrência que afeta o comportamento da barragem ou da estrutura anexa, que se não for controlada, poderá culminar no acidente. Já o acidente é definido como o comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo do reservatório, ocasionado pelo colapso parcial ou total da estrutura da barragem ou de estrutura anexa à barragem (BRASIL, 2020). Neste sentido, com os trabalhos de fiscalização, ocorrerão as advertências, multas e sanções para evitar que a barragem ou estrutura anexa, se rompam e causem o acidente. O desastre é o resultado do evento adverso, de origem natural ou induzido pela ação humana, sobre as populações vulneráveis e os ecossistemas (BRASIL, 2020), ou seja, o pior cenário quando se trata de rompimento de barragens. Neste processo, ocorrem os danos significativos ao meio ambiente, com severos danos aos seres humanos locais e à sociedade, danos patrimoniais e extrapatrimoniais incalculáveis (BRASIL, 2020). A apuração destes termos fica a cargo das esferas do Direito Criminal, Civil e Penal, que irão buscar respostas para a sociedade e informar se o que ocorreu diante de um dado rompimento de barragem é um incidente, acidente ou desastre. Geralmente, antes do rompimento da barragem, ocorrem os três processos: incidente, acidente e desastre.

Com relação ao incidente, uma crítica importante à Lei nº 14.066/20, sendo essa uma alteração da Lei nº 12.334/10, está relacionada à supressão da possibilidade de ocorrência do incidente na denominação da categoria de risco, que se não observado a tempo e sanado o incidente, poderá gerar o acidente, exemplificado como o rompimento de uma estrutura de contenção de rejeitos e como consequência, ocorrer o desastre (BRASIL, 2020).

A pergunta que nos resta é quais as consequências da supressão da palavra incidente no âmbito da denominação da Categoria de Risco e nos aspectos práticos? Suprimir a importância e a possibilidade de ocorrência do incidente contribui ou não, para a gestão de riscos e para a geração de informações confiáveis sobre a real segurança das barragens? São questões sensíveis que poderiam ser mais bem exploradas nas áreas de Gestão de Riscos de Barragens, inclusive pelo próprio SNISB. Há de se considerar neste rol de informações que o incidente pode gerar o acidente, e o acidente culminar no desastre (BRASIL, 2020), que são as consequências e cenários mais graves em se tratando de rompimento.

As críticas supramencionadas reforçam a importância de uma análise mais apurada e a necessidade de uma abordagem mais ampla no tocante à legislação federal de barragens no Brasil, visando assim, garantir a proteção mais abrangente da sociedade e do meio ambiente.

3.5.1 A problemática das barragens construídas pelo método a montante

A problemática das barragens construídas pelo método a montante é um tema de crescente preocupação social e ambiental (THOMÉ & PASSINI, 2018), isso porque este método envolve o acúmulo progressivo de materiais de construção da estrutura de contenção dos rejeitos e sedimentos de forma ascendente na barragem (SILVA, 2010). A história já registrou diversos eventos graves envolvendo barragens construídas pelo método a montante, incluindo os desastres de Mariana, no ano de 2015 e o desastre de Brumadinho no ano de 2019 (FREITAS, 2019).

Nesse sentido, quando tratamos de legislação, no Artigo 2º da Lei nº 12.334/10, alterado pela Lei nº 14.066 de 2020, o legislador define que fica proibida a construção ou alteamento de barragem de mineração construídas pelo método a montante (BRASIL, 2010).

O alteamento a montante é o método de construção de barragem em que os diques de contenção se apoiam sobre o próprio sedimento ou rejeito que são lançados e depositados previamente (SILVA, 2022).

No Estado de Minas, foi criada em 2019, a Lei nº 23.291 de 21 de março de 2019, que determina a descaracterização de todas as barragens de mineração para a contenção de rejeitos e resíduos, construída pelo método de alteamento a montante no Estado (MINAS GERAIS, 2019). Esta lei determina que todas as barragens de rejeitos de mineração, construídas pelo método a montante, sejam descaracterizadas no prazo máximo de três anos, contados a partir da data de publicação da lei nº 23.291 de 21 de março de 2019 (MINAS GERAIS, 2019).

Neste caso, o empreendedor deveria concluir a descaracterização da barragem construída à montante até o dia 25 de fevereiro de 2022, considerando as exigências das entidades que regulamentam e fiscalizam as atividades minerárias e as exigências das autoridades licenciadoras do Sistema Nacional do Meio Ambiente (MINAS GERAIS, 2019).

A Resolução nº 95/2022 da ANM, em seu artigo número 58, traz informações sobre os prazos e obrigações legais para a descaracterização das barragens construídas a montante, como a exigência de projeto técnico para a descaracterização e traz soluções com a criação de sistemas de estabilização de rejeitos ou a criação de estruturas de contenção a jusante, que é o método aceito e legal para a construção de barragens de rejeitos de mineração (ANM, 2022).

A referida resolução da ANM ainda traz que o prazo para conclusão da descaracterização da barragem a montante poderá ser prorrogado, mediante a apresentação de justificativa técnica e referendo pela autoridade licenciadora do Sisnama (ANM, 2022).

Já para os casos em que a empresa mineradora necessite de mais prazo para a conclusão da descaracterização, em razão de inviabilidade técnica, o empreendedor deverá encaminhar um documento requisitando dilação de prazo para a descaracterização da estrutura até o dia 25 de fevereiro de 2022 à ANM. Este requerimento passará pelo crivo do Sisnama, que será responsável por autorizar ou não a prorrogação do prazo, mediante a avaliação da fundamentação da justificativa (ANM, 2022).

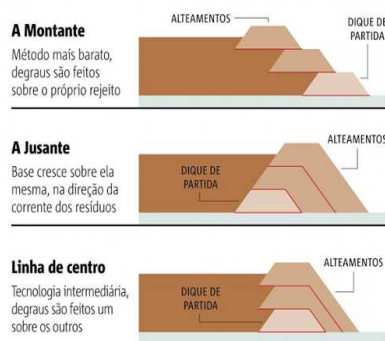
De acordo com o Report Trimestral do mês de fevereiro de 2023, denominado “Descaracterização de Barragens a Montante” da Agência Nacional de Mineração (ANM) (ANM, 2023), das 59 barragens a montante cadastradas no SIGBM, existem 19 que ainda se encontram na etapa de elaboração de projeto executivo de descaracterização, 34 estão na etapa de execução das intervenções mencionadas nos projetos, dependendo dos prazos para conclusão e das características e complexidades das barragens.

O saldo até fevereiro de 2023 é de 06 barragens que estão autodeclaradas como descaracterizadas e 01 delas possui solicitação para descadastramento no SIGBM. Quatro barragens que autodeclararam a finalização da descaracterização das barragens se encontram em fase de elaboração de documentos para descadastramento das estruturas no SIGBM, conforme previsto no artigo 3º da Resolução ANM nº 95 de 07 de fevereiro de 2022 (ANM, 2022).

No ano de 2019, haviam 74 barragens que tinham o método de construção a montante e 14 já foram descaracterizadas e descadastradas no SIGBM. Em 07 barragens o método de construção foi alterado para etapa única ou método a jusante e 07 foram redefinidas como método de alteamento a montante (SIGBM, 2023). Segundo especialistas, esse método é considerado o método mais barato e menos seguro para a contenção de rejeitos. Neste método de contenção, a barreira construída para contenção, recebe camadas do próprio material de rejeito.

A Barragem B1 da mina do Córrego do Feijão em Brumadinho, que se rompeu no ano de 2019, tinha a estrutura de contenção dos rejeitos construída pelo método de alteamento a montante. Vejamos abaixo a Figura nº 4, onde é possível observar como se dá a construção de barragens dependendo do tipo de alteamento:

Figura 4. Tipos de métodos de construção de barragens.



Fonte: PET Engenharia Civil, UFPR.

A seguir, na Figura número 5, podemos observar imagens feitas por câmera frontal da empresa mineradora Vale, que demonstra a estrutura de contenção de rejeitos alteada pelo método a montante em processo de colapso:

Figura 5. Antes e depois do rompimento.



Fonte da imagem: Ação Civil Pública (ACP/2019) MPMG, autos nº 5000053-16.2019.8.13.0090.

Em síntese, apesar do método de alteamento a montante apresentar benefícios relacionados a menor custo para construção e benefícios relacionados à eficiência construtiva (CASTRO, 2008), os riscos e impactos inerentes a esses tipos de construção destacam a

necessidade, senão urgência, de eliminação deste método de construção em barragens por meio de ações mais incisivas do Estado, se for o caso.

3.6 Rompimento da barragem de Brumadinho

O rompimento da barragem B1 em Brumadinho, ocorrido em janeiro de 2019, foi um evento catastrófico que abalou não apenas o estado de Minas Gerais, mas também o mundo. Esse evento teve uma cobertura intensa e contínua em diversas mídias internacionais, o que evidenciou seu impacto não somente em termos ambientais, econômicos e sociais, como também o impacto informacional global. Tal desastre, que resultou em centenas de mortes, também trouxe à tona questões urgentes sobre a segurança de barragens no Brasil e no mundo (DA SILVA et al., 2021), a responsabilidade das empresas mineradoras e a eficácia da legislação e fiscalização ambiental (TRINDADE, 2021).

O desastre ocasionado pelo rompimento da barragem de Brumadinho é considerado um dos maiores desastres mundiais com barragens dos últimos anos e um dos maiores desastres ambientais da mineração no Brasil (LENGER, 2023), é considerado a maior tragédia humanitária causada pelo setor de mineração. Centenas de hectares de vegetações florestais foram perdidas, o que gerou graves impactos para o meio ambiente (THOMPSON et al., 2023).

Abaixo, por meio de imagens de satélite do Google Earth Professional, podemos observar o alcance da lama de rejeitos ao longo do caminho afetado, nas figuras número 6 e 7:

Figura 6. Imagem antes do rompimento da barragem B1, da Mina do Córrego do Feijão em Brumadinho/MG.



Fonte da imagem: Google Earth Pro.

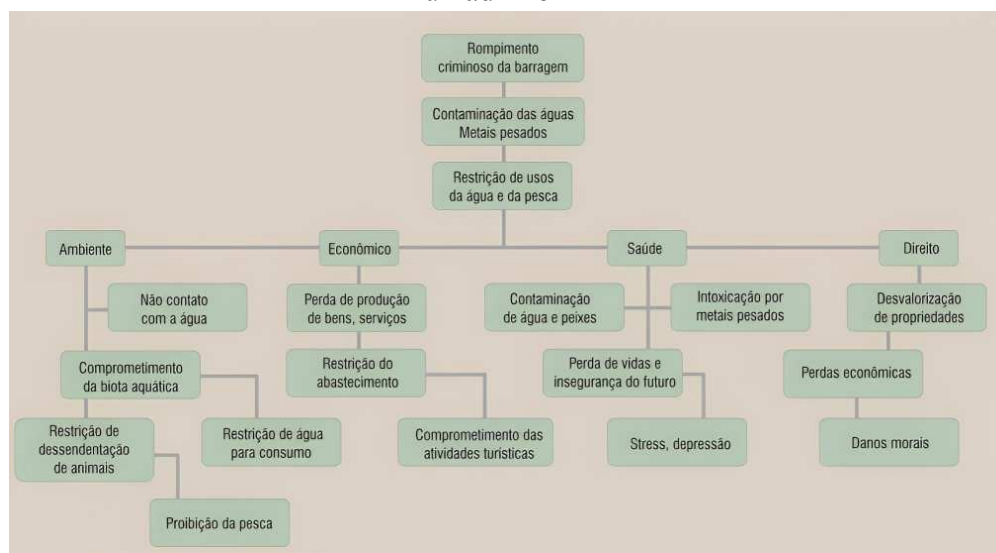
Figura 7. Imagem depois do rompimento da barragem B1, da Mina do Córrego do Feijão em Brumadinho/MG.



Fonte da imagem: Google Earth Pro.

Os impactos advindos do rompimento da barragem em estudo, atingiram aproximadamente 308 quilômetros de extensão ao longo da Bacia do Rio Paraopeba, o que afetou de forma direta e indireta as condições de vida e de trabalho das populações que dependiam da água do rio para sobreviver (FREITAS, 2019). Para se ter uma ideia da magnitude de tais impactos, foi elaborada uma matriz de danos socioambientais com informações obtidas após o rompimento da barragem de Brumadinho e que está publicada no trabalho intitulado “Rompimento da barragem da Vale em Brumadinho: impactos socioambientais na Bacia do Rio Paraopeba”. Veja abaixo a matriz, na figura nº 8:

Figura 8: Matriz de danos socioambientais após o rompimento da barragem da Vale em Brumadinho



Fonte: Marcus Vinícius Polignano e Rodrigo Silva Lemos no trabalho intitulado “Rompimento da barragem da Vale em Brumadinho: impactos socioambientais na Bacia do Rio Paraopeba”.

Nota-se que os danos provocados pelo rompimento atingiram diversas esferas, sejam elas econômicas, ambientais, sociais, da saúde, etc., e tornou-se símbolo das consequências devastadoras da negligência e da má gestão de rejeitos de barragens de mineração, provocando um debate necessário e urgente sobre medidas mais rigorosas quanto ao armazenamento de rejeitos e as responsabilidades da atividade minerária no Brasil e no mundo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Resolução nº 95, de 07 de fevereiro de 2022. Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração.** Disponível em :

<https://www.gov.com.br/amn/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/resolucao-no-95-2022.pdf>. Acesso em: 22/03/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Descaracterização de Barragens a Montante.** Disponível em

[https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barargens/boletim-de-barragens-de-mineracao/report_timestral_set_2023#:~:text=No%20trimestre%20em%an%C3%A1lise%20\(junho,a%20montante%20ano%20sistema%20SIGBM](https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barargens/boletim-de-barragens-de-mineracao/report_timestral_set_2023#:~:text=No%20trimestre%20em%an%C3%A1lise%20(junho,a%20montante%20ano%20sistema%20SIGBM). Acesso em: 22/08/2023.

AGENDA 2030. **Sustainable Development Goals.** Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>. Acesso em 12/02/2024.

AQILAH, Samsuddin Siti et al. **Assessing socio-economic and environmental losses of dam-failure flood risk: a review on sustainable framework.** Journal of sustainability Science and Management, v. 19, n. 1, p. 171-195, 2024.

ARMSTRONG, Margaret; PETER, RENATO; PETTER, Carlos. **Why have so many tailings dams failed in recent years?** Resources Policy, v. 63, p 101412, 2019.

AZAM, Shahid; LI, Qiren. **Tailings dam failures: a review of the last one hundred years.** Geotechnical news, v. 28, n. 4, p. 5054, 2010.

BRAGA, Michelle Cristina dos Reis. **Mudanças de política ambiental motivadas por catástrofes: lições dos rompimentos de duas barragens de rejeitos no Brasil.** 2021.

BRASIL. 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, 2 set. 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm. Acesso em: 29/02/2022.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil, de 05 de outubro de 1988.** Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao.html. Acesso em 12 de janeiro de 2023.

BRASIL. Lei nº 12.334 , de 20 de setembro de 2010. **Dispõe sobre a Política Nacional de Segurança das Barragens e dá outras providências.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/-ato2007-2010/lei/112334.html. Acesso em 12 de janeiro de 2023.

BRASIL. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. **Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas (ANA).** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1º out. 2020.

BRASIL. Lei nº 7.347, de 24 de julho de 1985. **Dispõe sobre a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos**

de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico (Lei da Ação Civil Pública). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 de jul. 1985. Seção 1, p.11171.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. **Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccvil_03/leis/19985.ttm. Acesso em 24/04/2023.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 de maio de 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccvil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em 28/07/2022.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.** Brasília, DF, 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm. Acesso em 24 de março de 2023.

BOWELL, R.J. et al. **Mitigation of Mining Effects on the Environment.** SEG Newsletter, nr. 135, p. 27-43, 2023.

CORDIOLI, Maria Luiza Apolinário et. al. **Aplicação de diferentes métodos de valoração econômica do dano ambiental em um estudo de caso da perícia criminal do estado de Santa Catarina.** Repositório UFSC, 2013.

CZAJKOWSKI, Mikolaj et al. Estimating environmental and cultural/heritage damages of tailings dam failure. **The case of the Fundão dam in Brazil.** Journal of Environmental Economics and Management, v. 121, p. 102849, 2023.

DO CONSUMIDOR, DEFESA. **Código de Defesa do Consumidor.** Lei, v.8078, p.90, 1990.

DOWBOR, Monika, RESENDE, Roberta Carnelos; RUSCHEINSKY, Aloísio. **Compensatory measures in technological disasters: a neglected link? medidas compensatórias nos desastres tecnológicos: um elo negligenciado?** Ciências Sociais em Revista, v.59, n.3, 2023.

CARVALHO, Marcela Merides et al. **Brumadinho-MG após o rompimento da barragem: uma discussão à luz dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** Humanidades & Inovação, v. 9, n.13, p.365-375, 2022.

CASTRO, Leandro Vida Pinheiro de. **Avaliação do comportamento do nível d'água em barragem de contenção de rejeito alteada a montante.** 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CLEAR, Paul W. et al. **A scenario-based risk framework for determining consequences of different failure modes of earth dams.** Natural hazards, v.75, n.2, p. 1489-1530, 2015.

CORREIA, Danielle Cristina Gomes; DE AZEVEDO, Úrsula Ruchkys; COELHO, Vagner Braga Nunes. **Modelagem de cenários para o mapeamento de potencial do turismo sustentável em Brumadinho, Minas Gerais**. Caminhos de Geografia, 2023.

DA MOTTA, Ronaldo Seroa. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. IPEA/MMA/PNUD/CNPQ, 1998.

DA MOTTA, Ronaldo Seroa. **Economia ambiental**. FGV Editora, 2006.

DA MOTTA, Ronaldo Seroa. **Valoração e precificação dos recursos ambientais para uma economia verde 1**. Ambiental, p. 179, 2011.

DO CARMO, Flávio Fonseca et al. **Fundão tailings dam failures: the environmental tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context**. Perspectives in ecology and conservation, v.15, n. 3, p. 145-151, 2017.

DA SILVA, Romário Stéfano Amaro et al. **ACIDENTES E INCIDENTES EM BARRAGENS BRASILEIRAS: UMA ANÁLISE DOS DADOS DISPONÍVEIS NOS RELATÓRIOS DE SEGURANÇA DE BARRAGENS E DA LEGISLAÇÃO VIGENTE**. Holos, v. 6, p. 1-17, 2021.

DE BRITO, Beatriz Duarte Correa; NETO, Josué Mastrodi. **As esferas de responsabilidade pelo dano ambiental: aplicação ao caso Samarco**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 39, 2016.

ESTATUTO DE ROMA. Decreto nº 4.388, de 25 de setembro de 2002. **Promulga o Estatuto de Roma do Tribunal Penal Internacional, Art. 7º**. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4388.htm. Acesso em 20/04/2023.

ELLIS, Erle C. **Ecology in an anthropogenic biosphere**. ecological Monographs, v.85, n. 3 p.287-331, 2015.

FERNANDES, Geraldo Wilson et al. **Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil**. Natureza e Conservação, v.14, n.2, p. 35-45, 2016.

FIORILLO, Celso Antonio Pacheco. **Licenciamento Ambiental**. Saraiva Educação SA, 2015.

FREITAS, Carlos Machado et al. **Acidentes de trabalho que se tornam desastres: os casos dos rompimentos de barragens de mineração no Brasil**.2019.

FURLAN, João Pedro Rueda et al. **Occurrence and abundance of clinically relevant antimicrobial resistance genes in environmental samples after the Brumadinho dam disaster, Brazil**. Science of the Total Environment, v.726, p. 138100, 2020.

GABRIEL, Fabricio A et al. **Ecological risks of metal and metalloid contamination in the Rio Doce estuary**. Integrated environmental assessment and management, v.16, n.5, p. 655-660, 2020.

GONZALEZ, Rodolfo Sapata; DA SILVEIRA ROSSI, Raíssa Aparecida; VIEIRA, Luiz Gustavo Martins. **Economic and financial consequences of process accidents in Brazil: Multiple case studies**. Engineering Failure Analysis, v. 132, p. 105934, 2022.

GOUDIE, Andrew S. **Human impact on the natural environment**. John Wiley & Sons, 2018.

GLOTOV, Vladimir E. et al. **Causes and environmental impact of the gold-tailings dam failure at Karamken, the Russian Far East**. Engineering Geology, v.245, p.236-247, 2018.

GREBBY, Stephen et al. **Advanced analysis of satellite data reveals ground deformation precursors to the Brumadinho Tailings Dam collapse**. Communications Earth & Environmental, v. 2, n.1, p.2, 2021.

GRILO, C.F. et al. **The role of charge reversal of iron ore tailings sludge on the flocculation tendency of sediments in marine environments**. Applied geochemistry, v. 117, p. 104606, 2020.

IANNELLI, Cláudia Maria; RIGOLETTO, Ivan De Paula. **Brumadinho-Riscos, Impactos e Perspectivas Futuras. Brumadinho: Da Ciência à realidade**,p. 27. Disponível em: <http://200.144.93.233:8080/pergamumweb/vinculos/00007776.pdf#page=29>. Acesso em 10/04/2023.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Relatório de atividades, 2013**. Brasília: IPEA, 2013. Disponível em: https://repositório.ipea.gov.br/bitstream/11058/11991/1/relatorio_de_atividades_2013.pdf. Acesso em 02/10/2022.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). **Bulletins: ICOLD Publications, 1998**. Disponível em: <https://www.icold-cigb.org/GB/publications/bulletins.asp>. Acesso em 20/10/2022.

ICOLD: **Committee on Seismic Aspect Of Dam Design Bulletins**. Internacional On Large Dams, Paris. Disponível em: <https://www.icold-cigb.org/>. Acesso em 23 de março de 2023

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama Brumadinho, MG**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/brumadinho/panorama>. Acesso em 12 de jan. 2023.

ISLAM, Kamrul, MURAKAMI, Shinsuke. **Global-scale impact analysis of mine tailings dam failures: 1915-2020**. Global Environmental Change, v.70, p. 102361, 2021.

KOSSOFF, David et al. **Mine tailings dams. Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation**. Applied Geochemistry, v.51, p. 229-245, 2014.

KUZNETSOV, A. V. **O dólar americano como pré-requisito para o potencial de crise do sistema monetário e financeiro global**. Finanças: Teoria e Prática/Finanças: Teoria e Prática, v. 28, n. 6, pág. 164-174, 2025.

LACAZ, Francisco Antônio de Castro; PORTO, Marcelo Firpo de Sousa; PINHEIRO, Tarcísio Márcio Magalhães. **Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco**. Revista brasileira de Saúde Ocupacional, v.42, p. e9, 2017.

LANGLOIS, Jill. **In Brazil, a Museum Within a Museum Restores a Legacy**. Internacional New York Times, p. NA-NA, 2022.

LEITE, José Rubens Morato. **Dano Ambiental na sociedade do risco**. Saraiva Educação SA, 2017.

LENGER, Friedrich. **Dialektik der Teilhabe. Fluchtpunkte einer Globalgeschichte des Kapitalismus**. Westend, v.20, n.2, p.: 49-68, 2023.

LIMA, Victor Hugo Sarrazin et al. **Groundwater flow and transport of metals under deposits of mine tailings: A case study in Brumadinho, Minas Gerais, Brazil**. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, p. 100690, 2024.

LIMA, Victor Hugo Sarrazin et al. **Role of backwater effects on the attenuation of metal spreading in rivers. A study in the Paraopeba River after the B1 tailings dam collapse in Brumadinho**. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, p. 100740, 2024.

LOUREIRO, Maria L.; LOOMIS, Jonh B.; VAZQUEZ, Maria Xosé. **Economic valuation of environmental damages due to the Prestige oil spill in Spain**. Environmental and Resources Economics, v.44, p. 537-553, 2009.

LUMBROSO, Darren et al. **The potential to reduce the risks posed by tailings dams using satellite-based information**. International journal of disaster risk reduction, v.38, p.101209, 2019.

MANGUSSI FILHO, Carlos Roberto et al. **Avaliação da resolução espacial e espectral de imagens de satélite na identificação da mudança de uso e ocupação em áreas de rompimento de barragens de rejeitos B1, na sub-bacia do Ribeirão Ferro-Carvão, em Brumadinho MG, 2023**.

MESSERLI, Bruno et al. **From nature-dominated to human-dominated environmental changes**. Quaternary Science Reviews, v.19, n. 1-5, p. 459-479, 2000.

MINAS GERAIS. Lei nº 23.291, de 21 de março de 2019. **Determina a descaracterização de rodadas e barragens de mineração para a contenção de rejeitos e resíduos, construída pelo método de alteamento a montante no Estado**. Diário Oficial do estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 22 mar. 2019.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 48.078, de 05 de novembro de 2020. Regulamenta os procedimentos para análise e aprovação do Plano de Ação de Emergência - PAE - , estabelecido no art. v.9, 2020**. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/DEC/48078/2020/?cons=1>. Acesso em 23 de mar.de 2023.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 48.133, de 2 de março de 2021. Altera o Decreto nº 48.078, de 29 de outubro de 2020, que regulamenta o cadastro ambiental estadual e dispõe sobre o Sistema Estadual de Segurança de Barragens.** Diário do Executivo - Minas Gerais, Belo Horizonte, 3 mar. 2021. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/DEC/48133/2021>. Acesso em 21 de maio de 2023.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 48.149, de 29 de abril de 2021. Regulamenta a Lei nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019, que institui a Política Estadual de Segurança de Barragens.** Diário do executivo- Minas Gerais, Belo Horizonte, 10 de abril. 2021. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/DEC/48149/2021/>. Acesso em 23 de março de 2023.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 48.190, de 30 de junho de 2021. Altera o Decreto nº 48.078, de 29 de outubro de 2020, que regulamenta o cadastro ambiental estadual e dispõe sobre o Sistema Estadual de Segurança de Barragens.** Diário do Executivo- Minas gerais, Belo Horizonte, 1º de jul. 2021. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/DEC/48190/2021/>. Acesso em 12 de janeiro de 2023.

Ministério Público do Estado de Minas Gerais. **Ação Civil Pública.** Disponível em [https://www.mpmg.mp.br/data/files/21/F\\$/E1/51/2/D44A7109CEB34A7760849A8/Brumadinho%20-%20ACP%20Principal%20-%20_rea%20sociec_nomica%20.pdf](https://www.mpmg.mp.br/data/files/21/F$/E1/51/2/D44A7109CEB34A7760849A8/Brumadinho%20-%20ACP%20Principal%20-%20_rea%20sociec_nomica%20.pdf). 2019. Acesso em 23 de março de 2023.

MONGABAY BRASIL. **Rompimento da barragem de rejeitos de mineração é a principal causa de desastres ambientais, aponta relatório.** Mongabay Brasil, 20 mar. 2018. Disponível em: <https://brasil.mongabay.com/2018/03/rompimento-da-barragem-ejeitos-mineracao-principal-causa-desastres-ambientais-relatorio/>. Acesso em 08/06/2023.

MOTTA, Ronaldo Seroa. **Valoração Econômica como um critério de decisão.** Revista do TCU, n.101, p.92-92, 2004.

MULTITERNO. Thaís; STOHRER, Camila Monteiro Santos. **O dano ambiental de grande proporção como ecocídio e a possibilidade de punição pelo Tribunal Penal Internacional.** Ponto de Vista Jurídico, p.34-49, 2018.

OLIVEIRA, Mayara Ribeiro et al. **A possível competência do Tribunal Penal Internacional para julgar casos de ecocídio no Brasil e as inovações no Direito Ambiental,** 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS-ONU. **Após tragédia de Brumadinho, ONU pede revisão de regras de segurança de barragens.** Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/03/1666321>. Acesso em 14 de jan de 2023.

PACHECO, Fernando António Leal et al. **Prognosis of metal concentrations in sediments and water of Paraopeba River following the collapse of B1 tailings dam in Brumadinho (Minas Gerais, Brazil).** Science of the Total Environmental, v.809, p.151157, 2022.

PACHECO, Fernando António Leal et al. **Water security threats and challenges following the rupture of large tailings dams**. Science of The Total Environment, v. 834, p.155285, 2022.

PARENTE, Cláudio ET et al. **First year after the Brumadinho tailings' dam collapse: Spatial and seasonal variation of trace elements in sediments, fishes and macrophytes from the Paraopeba River, Brazil**. Environmental Research, v. 193, p.110526, 2021.

PASA, Yasin et al. **Dam failure analysis and flood disaster simulation under various scenarios**. Water Science & Technology, v. 87, n. 5, p. 1214-1231, 2023.

PASSARINHO, Nathalia. **Tragédia com barragens da Vale em Brumadinho pode ser a pior no mundo em 3 décadas**. BBC News, Londres, v.29, 2019.

PEREIRA, Silvio B. et al. **Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.11, p.615- 622 ,2007.

PEREIRA, Polyana et al. **Geomorphologic risk zoning to anticipate tailings dam's hazard: A study in the Brumadinhos's mining area, Minas Gerais, Brazil**. Science of The Total Environment, v. 912, p.169136, 2024.

PET Civil. **Barragens: finalidade, tipos, riscos e classificação**. Blog PET Civil, 30, out. 2020. Disponível em: <https://petcivil.blogspot.com/2020/10/barargens-finalidade-tipos-riscos-e-html>. Acesso em 22 de janeiro de 2023.

PISSARRA, Teresa Cristina Tarlé et al. **Role of mine tailings in the spatio-temporal distribution of phosphorus in river water: the case of B1 Dam break in Brumadinho**. Water, v.14, n.10, p.1572, 2022.

POLIGNANO, Marcus Vinícius; LEMOS, Rodrigo Silva. **Rompimento da barragem da Vale em Brumadinho: impactos socioambientais na Bacia do Rio Paraopeba**. Ciência e Cultura, v. 72, n. 2, p. 37-43, 2020.

RIBAS, L.C. **Metodologia de valoração de danos ambientais - caso florestal**. tese (doutorado) - Escola politécnica da universidade de são paulo, USP, São Paulo, 1996.

REZENDE, Elcio; SILVA, Victor Vartuli Cordeiro. **De Mariana a Brumadinho: a efetividade da responsabilidade civil ambiental para a adoção de medidas de evacuação**. Revista Direito, v.1, n. 57, p. 160-181, 2019.

Rompimento de barragem de rejeito da Vale destruiu 269,84 hectares. IBAMA, Brasília, 30 jan 2019. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/noticias/730-2019/1881-rompimento-de-barargem-da-vale-em-brumadinho-mg-destruiu-269,84-hectares>. Acesso em 30/05/2023.

ROTTA, Luiz Henrique Silva et al. **The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: Possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 90, p. 102119, 2020.

ROSE, Rodrigo L.; MUGI, Sohan R.; SALEH, Joseph Homer. **Accident investigation and lessons not learned: AcciMap analysis of successive tailings dam collapses in Brazil**. Reliability Engineering & System Safety, v. 236, p. 109308, 2023.

SANTOS, Claudiomir da Silva dos; DOS SANTOS, Fabrício. **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) AI 793 Alterações Antrópicas & Meio Ambiente/ Marques et al.** - Campina Grande: EPTEC, 2023. 297 f.: il. color. Formato. 2023.

SANTOS, Hugo; OLIVEIRA, Simone; PORTELLA, Sergio. **Between the Craft and the Mud: And Analysis of the Work and Health Relationship of Firefighters in the Breach of the Córrego do Feijão Dam - Brumadinho/MG**. Journal of Psychological Research, v.4, n.4, 2022.

SAXENA, Koushal Raj; SHARMA, V.M. **Dams: Incidents and accidents**. CRC Press, 2004.

SEIFFERT, Mari Elizabete B.; LOCH, Carlos. **Systemic thinking in environmental management: support for sustainable development**. Journal of cleaner production, v.13, n.12, p.1107-1202, 2005.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS (SNISB). **Barragens**. Disponível em:<https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/barragens>. Acesso em 24/04/2023

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS (SNISB). **Quem fiscaliza**. Disponível em:<https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/barragens>. Acesso em 24/04/2024.

SILVA, Washington Pirete da. **Estudo do Potencial de liquefação estática de uma barragem de rejeito alteada para montante aplicando a metodologia de Olson (2001)**. 2010.

SILVA, Shisnara Bryeska Barros da. **Valoração econômica de danos à vegetação natural decorrente do rompimento da barragem de rejeitos Mina do Feijão em Brumadinho, Minas Gerais**, 2020.

SILVA, Mariano Andrade da et al. **Sobreposição de riscos e impactos no desastre da Vale em Brumadinho**. Ciência e Cultura, v. 72, n.2, p.21-28, 2020.

SILVA, Gabriela Fideles; SANTANA, Fernanda Mello. **Degradação ambiental e desastres socioambientais: o princípio da prevenção como meio de proteção da saúde e do meio ambiente - uma análise do caso de Brumadinho**. Meio Ambiente (Brasil), v.3,n.2, 2021.

SILVA, Fabiana Ingrid Torres da. **Construção e desativação de barragens: caso Brumadinho**. 2022.

SIGBM. **Sistema de Informações sobre Gestão de Barragens**. Disponível em: <http://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>. Acesso em 08/02/2023.

SIGBM. **Sistema de Informações sobre Gestão de Barragens**. Disponível em: <http://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>. Acesso em 02/04/2024.

SOARES, Ana Luiza Cunha et. al. **Impacto do rompimento da barragem de rejeitos de minério de ferro da Mina do Feijão, em Brumadinho, quanto ao uso e à cobertura do solo e à qualidade das águas superficiais do rio Paraopeba**. Revista da Universidade Federal de Minas Gerais, v. 27, n.2, p. 356-381,2020

SOUZA et al. **O impacto ambiental sobre os recursos hídricos no caso de Brumadinho. Consequências jurídicas**. Revista Jurídica, v.1-p.117-138, jan-jul, 2022.

Revista Jurídica [http://revistas.unievangelica.edu.br/Revista_Juridica/v.23, n.1, jan - jul. 2022](http://revistas.unievangelica.edu.br/Revista_Juridica/v.23_n.1_jan_jul.2022). 144-164 DOI:[https://Doi.org/10.29248/2236 - 5788.2022.v.1 - p. 117-138](https://Doi.org/10.29248/2236-5788.2022.v.1-p.117-138).

STUPENKOVA, Zoya Evgenieva; KASHURO, Irina Anatolyevna. **Os países BRICS e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas**. A Rússia e o mundo moderno, n.3 (120), pág. 206-225, 2023.

TERRA, Lígia Machado et al. **A justiça restaurativa como possibilidade aos conflitos ambientais: estudo de caso sobre os impactos dos desastres de Mariana MG no Rio Doce - Watú frente à cosmovisão do povo indígena Krenak**. 2023.

THOMÉ, Romeu; PASSINI, Matheus Leonardo. **Barragens de rejeitos de mineração: características do método de alteamento a montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais**. Ciências Sociais Aplicadas em Revista, v. 18, n.34, p.49-65, 2018.

TRINDADE, Adriano Drummond Cançado. **Segurança de Barragens de Mineração: um olhar a partir da Teoria da Regulação pelo Interesse Público**. Journal of Law Regulation, v.7, n.2, p. 1-23, 2021.

TSAI, Christina W.; YEH, Jing-Jie; HUANG, Chi-Hao. **Development of probabilistic inundation mapping for dam failure induced floods**. Stochastic environmental research and risk assessment, v. 33, p. 91-110, 2019.

UEDA, Satoro. **Toward Developing and Enhancing Dam Safety Framework**. Second International Dam World Conference, Portugal, Lisboa, 2015.

WANG, Zhaohua, BUI, Quocviet, ZHANG, Bin. **The relationship between biomass energy consumption and human development: Empirical evidence from BRICS countries**. Energy, v.194, p. 116906, 2020.

WORLD COMMISSION ON DAMS. **Dams and development: A new framework for decision-making: The report of the world commission on dams**. Earthscan, 2000.

WU, Weiyu. **The reform of the compensation system for ecological and environmental damage in China**. Natural Resources Journal, v.60, n.1, p.63-102, 2020.

THOMPSON, Cristiane et al. **Brumadinho dam collapse induces changes in the microbiome and the antibiotic resistance of the Paraopeba River (Minas Gerais, Brazil).** Science of the Total Environment, v.865, p. 161278, 2023.

CAPÍTULO I - Valoração Econômica de Danos Ambientais: estudo dos métodos em bases de dados científicas

RESUMO

As intervenções, eventos e catástrofes que geram danos ao meio ambiente, como aquelas ocasionadas pelo rompimento de barragens, nem sempre são de fácil mensuração e tampouco de fácil restauração/recuperação, quando estas são possíveis. Nesse sentido, uma ferramenta se torna útil para qualificar e quantificar financeiramente os danos sofridos pelo meio ambiente, para auxiliar juízes, promotores de justiça e demais autoridades competentes na tomada de decisão, quanto ao valor de determinado dano ambiental para fins de cobrança de indenizações e responsabilizações às pessoas físicas ou jurídicas geradoras de danos. Uma destas ferramentas é a Valoração Econômica de Danos Ambientais, denominada neste trabalho pela sigla VEDA. Para realizar a VEDA, existem na literatura técnico-científica, diversas abordagens, técnicas e metodologias. Apesar do perito ou autoridade competente ter a liberdade de escolher a melhor abordagem para a aplicação em determinado contexto que envolve danos ambientais, essa escolha deve estar atrelada às variáveis quantificáveis de danos ao meio ambiente encontrados na área. Neste sentido, procurou-se analisar quais as abordagens mais utilizadas para a VEDA presentes na literatura técnico-científica. Por meio de pesquisa em bases científicas, chegou-se à conclusão da existência de 22 abordagens metodológicas que podem ser suporte para a realização de VEDA. Dessas 22 abordagens, aquelas que mais apareceram em publicações foram as abordagens do Valor Econômico dos Recursos Ambientais (VERA), que se apóia em métodos como os de Custos de Reposição, Métodos de custos, Evitados, Métodos de Custos de Oportunidade, etc. Outra abordagem que mais apareceu nas publicações foi o Método dos Custos Ambientais Totais Esperados (CATE I e CATE II), Métodos do Departamento de Proteção dos Recursos Naturais (método DEPRN), Método do Valor de Compensação Pecuniária (VCP), Método Almeida e Método do Valor de Referência Estimado para Degradação Ambiental (VERD).

Palavras-chave: VEDA; bases de dados científicas; métodos.

ABSTRACT

Interventions, events and catastrophes that cause damage to the environment, such as those caused by the collapse of dams, are not always easy to measure and are not always easy to restore/recover, when these are possible. In this sense, a tool becomes useful to qualify and financially quantify the damage suffered by the environment, to assist judges, prosecutors and other competent authorities in making decisions regarding the value of a given environmental damage for the purpose of collecting compensation and holding individuals or legal entities responsible for the damage. This tool is the Economic Valuation of Environmental Damages, referred to in this work by the acronym EVED. To carry out EVED, there are several approaches, techniques and methodologies in the technical-scientific literature. Although the expert or competent authority has the freedom to choose the best approach for application in a given context that involves environmental damage, this choice must be linked to the quantifiable variables of environmental damage found in the area. In this chapter, we seek to know which approaches are most used for EVED present in the technical-scientific literature. Through research on scientific bases, it was concluded that there are 22 methodological approaches that support the implementation of EVED. Of these 22 approaches, those that appeared most in publications were the Economic Value of Environmental Resources (VERA) approaches, which are based on methods such as Replacement Costs, Cost Methods, Avoided Costs, Opportunity Cost Methods, etc. Another approach that appeared most in publications was the Intermittent and Continuous Expected Total Environmental Costs Method (CATE I and CATE II). Methods of the Department of Natural Resources protection (DEPRN Method), Pecuniary Compensation Value Method (VCP), Method Almeida and Method Estimated Reference Value for Environmental Degradation (VERD).

Keywords: EVED; scientific databases; methods.

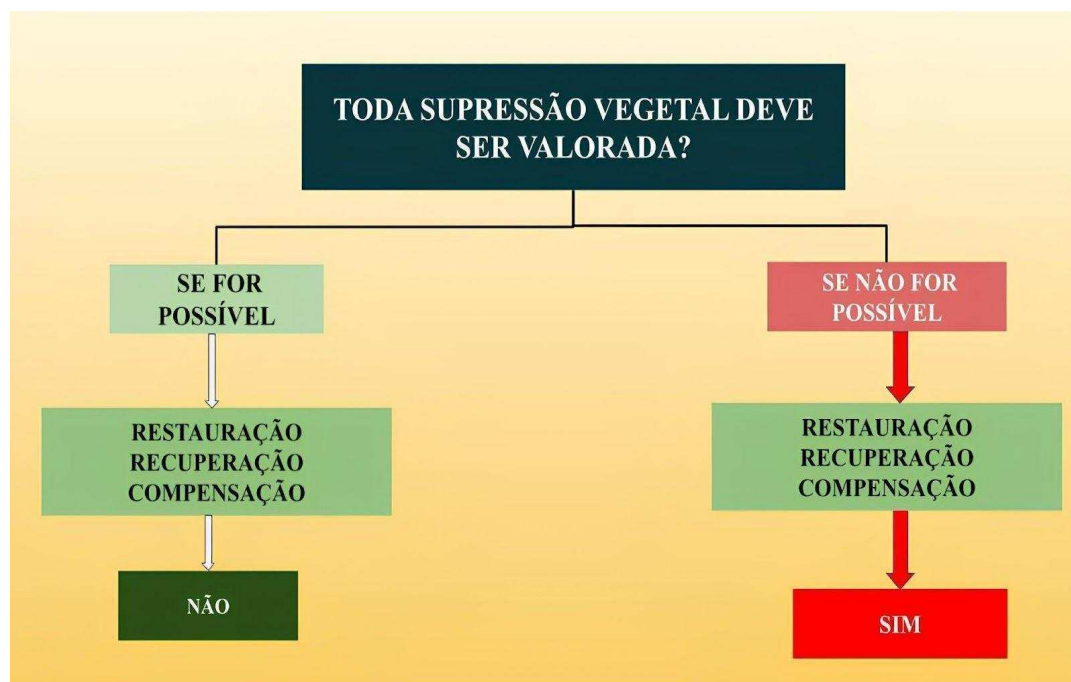
1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário de destruição, advindo de um rompimento de barragens, de imediato é praticamente impossível a mensuração dos tipos de danos diretos e indiretos causados ao meio ambiente, pelos peritos designados e responsáveis pelas investigações (MAGLIANO et al., 2013; CUNHA, 2020). Alguns danos podem ser visíveis a olho nu, imagens de satélite, aparelhagem de microscopia, análises laboratoriais, câmeras instaladas próximas às estruturas das barragens, etc. E outros danos podem ser não visíveis por meio dos meios supramencionados. Assim, podem existir danos que aparecerão em longo prazo e que, devido à falta de estudos científicos e o emprego de metodologias periciais e investigativas adequadas, deixam de ser percebidos e seus efeitos podem ser sentidos e percebidos com o passar do tempo.

Nessa ótica, quando a intensidade da intervenção ambiental permite a recuperação da área atingida, valendo-se dos fatores ambientais presente na área antes e depois da degradação é possível adotar medidas para a recuperação, seja por meio de plantio de novas sementes, mudas ou árvores, seja por meio da regeneração natural, dependendo do caso. Neste caso, procedimentos periciais realizados corretamente no meio afetado, ordenam à imediata inutilização da área e a imediata parada das atividades de degradação no local, deixando a área isolada para que possam ser realizados os exames periciais de forma minuciosa.

Quando tratamos de fases e ações prioritárias para a reparação integral dos danos ambientais, seja por meio de restauração, seja por meio de compensação financeira, ou quando couber, as duas juntas, temos o cenário descrito na Figura 9:

Figura 9. Ações prioritárias para a reparação integral do dano.



Fonte da imagem: Elaborado pela autora (2023), adaptada do Ministério Público do Estado de São Paulo (MPSP)

Na hipótese de ser tecnicamente possível a recuperação do meio ambiente degradado, devido à baixa gravidade dos danos, a reversibilidade do dano e o potencial para recuperação natural da área, o papel do perito responsável será realizar a perícia de forma minuciosa e lavrar o laudo ou parecer técnico com as recomendações necessárias para que o meio ambiente seja recuperado (CEAT/MPMG, 2020).

É importante ressaltar que os peritos ambientais e criminais designados para o caso, devem ser os profissionais dotados de conhecimentos necessários (conhecimentos técnicos, científicos e jurídicos) e dotado de boa-fé, para que a apuração dos fatos ocorra conforme os ritos do devido processo legal, sem que sejam exauridos os direitos de ampla defesa e contraditório das partes representadas, sem que sejam suprimidas informações do arcabouço da matéria do fato e sem que o processo pericial seja contaminado por atos de corrupção. Assim, na esfera jurídica e criminal, os magistrados e promotores de justiça, tomarão conhecimento das recomendações do documento legal lavrado pelo(s) perito(s), seja ele o laudo ou parecer técnico.

Caso seja constatado o dano ambiental, a autoria e a responsabilidade pelos fatos, será exigido do responsável, a obrigação de fazer ou de não fazer, para que possa ser cessado o dano na área ambiental (LEITE, 2017), seja com o plantio de novas árvores, técnicas de

regeneração natural, isolamento da área a fim de cessar todo tipo de atividade interventora e/ou degradadora não autorizada pelos órgãos ambientais competentes (RODRIGUES et al., 2015).

Porém, na prática, devido ao tempo para apuração dos fatos, pelas equipes de perícia e investigação, o processo mencionado anteriormente pode exigir maiores demandas de tempo e neste lapso de tempo, o meio ambiente pode ficar ainda mais suscetível à degradação.

Na hipótese de restar tecnicamente impossível a recuperação, parcial do meio ambiente, ainda assim, é possível sugerir medidas compensatórias para os danos ambientais constatados, por exemplo, com a utilização de outra área para o plantio de mudas, sementes e árvores, objetivando o reflorestamento (CEAT/MPMG, 2020). Tal procedimento é denominado compensação ambiental (BRASIL, 2002).

Já no cenário de restar tecnicamente impossível a recuperação, seja ela parcial ou imparcial da área degradada e na impossibilidade de sugestão de medida compensatória, dada a gravidade da degradação e irreversibilidade dos danos, será ofertada a estimativa de valoração monetária dos danos ambientais causados de forma direta ou indireta (CEAT/MPMG, 2020).

Contudo, arbitrar um valor econômico para danos ambientais sofridos em uma determinada área de rompimento de barragem, não é uma estratégia efetiva para ressarcir o meio ambiente. O valor econômico arbitrado, pode não representar a magnitude real ou próxima dos danos ambientais que existiam na área. É importante ressaltar que as multas e bloqueios de bens realizados por desembargadores, juízes, procuradores e promotores de justiça, não é a VEDA. Multas e bloqueios de bens são medidas sancionais, previstas no arcabouço das leis e que visam reprimir os atos praticados que geraram prejuízos ao meio ambiente, por parte dos responsáveis.

Nesse sentido, a valoração de danos ambientais é uma abordagem que pode auxiliar na conscientização sobre o valor natural do meio ambiente, e assim, promover ações que visam a preservação ambiental (DA MOTTA, 1998, DE AGUIAR e al., 2014).

Conforme Da Motta (1998), alguns aspectos, a saber, envolvem os procedimentos de valoração econômica de danos ambientais (DA MOTTA, 1998). São eles:

- A sustentabilidade biológica, atuando como função do meio ambiente na cadeia alimentar, na matriz de suprimentos e atuando na ação de proteção sustentável dos recursos naturais;
- O enfoque ecológico: elemento de análise da capacidade de suporte e resiliência dos recursos naturais;

- Atuação como estratégia de defesa do capital natural: visando manter o capital natural e como função estratégica dos recursos naturais para o desenvolvimento do país;
- Subsídio à gestão do meio ambiente: como forma de defesa ética do meio ambiente e como suporte à formulação de políticas públicas ambientais;
- Perspectiva nos aspectos econômicos: como forma de estimação dos preços dos ativos naturais que não são cotados no mercado convencional, como mecanismo de mensuração monetária das externalidades oriundas de projetos de investimentos, como mecanismo de internalização de custos ambientais e como métodos de estimação para compensação financeira (pecuniária), também conhecidas como indenizações judiciais.

Nesse rol de conhecimento, alguns conceitos são muito importantes quando se trata de VEDA, como por exemplo, o conceito de dano. Conforme a Portaria 83, de 13 de setembro de 2022 do IBAMA, o dano ambiental é toda lesão causada ao meio ambiente ecologicamente equilibrado decorrente da degradação de atributos ambientais por meio de atividades, ações e omissões antrópicas não autorizadas ou em desacordo com as autorizações vigentes (IBAMA, 2022). Essa conceituação explícita é muito importante para fins de elaboração de documentos oficiais, principalmente laudos e pareceres técnicos por peritos responsáveis.

Já em relação à natureza, muitas vezes vista como mercadoria por alguns, conforme Karl Marx (1962), a natureza não gera valor de troca, porque ela é o próprio valor de uso, ou seja, a natureza não é um recurso gratuito, pois ela presta serviço ambiental a todos que dela necessitam (MARX, 1962). Nesse sentido, é valioso entender o que está sendo valorado enquanto fator de dano no meio ambiente.

Assim, surge a valoração de danos ambientais (MAGLIANO, 2022) que é diferente do Valor Econômico dos Recursos Ambientais (VERA) (DA MOTTA, 1998, MOTTA, 2004, DA MOTTA, 2006, DA MOTTA, 2011). A primeira refere-se à valorar o dano que foi causado ao meio ambiente, seja ele por ação criminosa ou não, seja ele proveniente de incidente, acidente ou desastre e seja ele ocorrido por ação humana direta ou indireta de forma culposa ou dolosa, uma vez que no campo das esferas civis, penais e criminais, existe algum agente causador do dano. O VERA é a determinação do Valor Econômico do Recurso Ambiental que está disponível na natureza, sem que ele tenha passado necessariamente por danos (MOTTA, 1998).

Não obstante, existem na literatura técnico-científica, métodos que são utilizados para fazer o VERA e que concomitantemente são utilizadas para fazerem a valoração dos danos. Para explicar como acontece este processo, salienta-se que a valoração dos danos ambientais é

a ação de estimar o valor monetário dos prejuízos, perdas e nocividades causadas ao meio ambiente, que trazem desvantagem aos serviços ambientais prestados em uma área ambiental (MOTTA, 1998).

Com base nessa visão, Maldonado (2006), conceitua a valoração do meio ambiente como o conjunto de métodos e técnicas que buscam estimar valores para alterações nos ativos ambientais e nos bens e serviços prestados pela natureza, bem como para os impactos decorrentes de ações antrópicas.

Destarte, o VERA está diretamente relacionado à VEDA, não existindo óbice jurídico para a utilização de metodologia que utilize a valoração de recursos ambientais como variável para valoração de danos ambientais. Porém, é de extrema importância salientar, que o valor do recurso ambiental, quando ele estava em pé, se difere do valor do dano gerado a esse recurso, pois o serviço ambiental que ele prestava, deixará de ser prestado por (in)determinado tempo e esse passivo cessante (perda, prejuízo, etc) representa o dano. Para sanar esta lacuna existente no VERA, é adicionado o fator tempo na fórmula dos cálculos para representar o lucro cessante, ou seja, o período de tempo em que a área ficará sujeita aos efeitos da degradação ambiental.

Valorar um recurso ambiental no âmbito econômico, consiste em determinar a melhora ou piora no bem-estar das pessoas, em razão de mudanças na qualidade e/ou quantidade de bens e serviços ambientais, seja fazendo o uso daquele bem ou não (SOARES; DINIZ; DE MORAIS SILVA, 2020). Mas, as limitações teóricas e metodológicas na aplicação de metodologias de valoração (MOTTA, 1998, MAGLIANO, 2022). Assim, é de suma importância, reconhecer essas limitações, para que no momento de fazer a valoração de determinado dano, seja escolhida a metodologia que melhor represente a realidade do dano ocorrido e assim, promover a justiça ambiental de forma mais assertiva.

Uma das limitações aos procedimentos de valoração é a carência de tecnologia. Com o mundo cada vez mais tecnológico, a criação de ferramentas digitais e softwares capazes de realizar os cálculos e a incorporação de variáveis de forma digital em detrimento a realização manual de cálculos, certamente auxiliaria peritos responsáveis pela valoração e contribuiria para evitar a morosidade de questões judiciais que envolvem a temática. Contudo, o desenvolvimento das ferramentas tecnológicas precisaria prezar pelas variáveis existentes em cada método, a fim de evitar erros que poderiam comprometer a qualidade da valoração e consequentemente a responsabilização pelo dano.

No âmbito jurídico, conforme Soares; Diniz; De Moraes Silva (2020), no ordenamento brasileiro não existe restrição ou determinação de regra jurídica que estabeleça o método de

valoração econômica de dano ambiental para ser aplicado (SOARES; DINIZ; DE MORAIS SILVA, 2020). Porém, a escolha do método, para evitar questionamentos das outras partes envolvidas, deve levar em consideração os elementos que estejam ou estiveram presentes na área (SOARES; DINIZ; DE MORAIS SILVA, 2020). Assim, a seleção deste, a ser utilizado no caso em análise fica a critério do perito, devendo, preferencialmente, contemplar os serviços ambientais envolvidos no cenário em questão. No entanto, muitas vezes, em função da restrição de dados disponíveis, dar-se-á preferência à aplicação de métodos mais simplificados (SOARES; DINIZ; DE MORAIS SILVA, 2020).

Nessa ótica, conhecer e estudar os métodos de valoração de danos ambientais é de suma importância para que tanto profissionais como estudiosos do assunto, possam escolher e aplicar o método mais apropriado para cada tipo de situação, considerando antes de tudo, aquele que mais representa os danos ambientais na prática ou no futuro. Além disso, o conhecimento sobre os métodos de valoração pode contribuir para evolução em práticas periciais no sentido de criação de novos métodos mais representativos da realidade, ou mesmo adaptação de métodos de valoração existentes.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste capítulo é conhecer qual é a proposta da Valoração Econômica de Danos Ambientais (VEDA) e descrever aquelas abordagens mais comumente encontradas em textos publicados em bases de dados científicas nacionais e internacionais, que são utilizados para valoração de danos ambientais e que podem ser aplicadas para a VEDA.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste capítulo baseia-se primeiramente na revisão da literatura técnico-científica referente aos métodos de valoração de danos ambientais, a fim de que se possa conhecer os procedimentos e técnicas utilizadas para a finalidade. Para alcançar esse objetivo, foi realizada pesquisa nas bases nas seguintes bases científicas nacionais e internacionais: Scielo (Scientific Electronic Library Online), Google Acadêmico, Portal de Periódicos da Capes, Microsoft Academic Search, Lexml; Biblioteca Digital (Sistema Pergamum) do MPMG. Web of Science, IEEE Xplore, Elsevier 's, JSTOR, SpringerLink. PubMed, China National Knowledge Infrastructure (CNKI), French National Center for Scientific Research (CNRS); Russian Science Citation Index (RSCI) - eLibrary.ru.

Assim, as palavras-chave utilizadas nestas bases de dados foram: “Valoração Econômica de Danos Ambientais” AND “Métodos” (60 resultados de pesquisa), “Valoração Econômica de Danos Ambientais” AND “Metodologias” (43 resultados de pesquisa), “Valoração Danos Ambientais” AND “Métodos e Metodologias” (200 resultados de pesquisa), “Economic Valuation of Environmental Damages” AND “Methods” (com 163 resultados de pesquisa), “Economic Valuation of Environmental Damages” AND “Methodologies” (57 resultados de pesquisa), “Environmental Damages Valuation” AND “Methods” (482 resultados de pesquisa). Essa busca totalizou 1.005 resultados de pesquisa que continham tanto artigos de revisão como demais tipos de publicações. Destes, foram lidos e catalogados os trabalhos que apresentavam de forma explícita, métodos utilizados para cálculos de valoração de danos ambientais. Para tal utilizou-se as palavras-chaves: “Valoração de Danos Ambientais” AND “ Métodos” AND “Cálculos” e as keywords “Environmental Damages Valuation” AND “ Methods” AND “Calculations”.

Por conseguinte, foram selecionados os métodos que mais aparecem em textos técnicos ou científicos das bases de científicas supramencionadas, para então descrevê-los com base em suas: Siglas, Nomes, Autor, Fórmulas matemáticas de cálculos, Significado das Siglas, Conceito, Foco, Base de Dados de Informações, Aplicação, Precisões, Imprecisões, Se regido por lei federal ou estadual, Se regido por demais tipos de normas regulamentadoras, Vantagens, Desvantagens, Significado do resultado do método. Assim, foi possível obter uma compreensão sobre os métodos de VEDA selecionados, bem como saber quais particularidades, quais semelhanças, vantagens e desvantagens, dentre outras, existentes entre eles.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os métodos de valoração de danos ambientais encontrados neste trabalho, por meio das bases científicas de dados nacionais e internacionais foram:

1. Método CATE I (Custos Ambientais Totais Esperados para danos Intermitentes);
2. Método CATE II (Custos Ambientais Totais Esperados para danos Contínuos);
3. Método DAÍ (Lucro Cessante);

4. Métodos do conceito de Valor Econômico de Recursos Ambientais (VERA) - (Métodos de Custo de Viagem, Métodos dos Preços Hedônicos, Métodos de Avaliação Contingencial, ou para muitos Método de Valoração Contingencial, Métodos de Custo de Controle, Métodos de Custos de Reposição, Métodos de Custos de Oportunidade e Método da Produtividade Marginal;
5. Método DEPRN (Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais);
6. Método VERD (Valor Estimado de Referência para Degradação Ambiental), o mesmo Método Cardoso;
7. Método Almeida;
8. Método Fator de Produção;
9. Método do Custo Defensivo;
10. Método VCP - Valor de Compensação Ambiental (desenvolvido pelo IBAMA);
11. Método Klotz;
12. Método do Preço Líquido;
13. Método do Custos de Doenças;
14. Método HEA (Análise de Equivalência de Habitats)
15. Método CETESB;
16. Método Fator Ambiental - FAMB - (Valoração do dano por Degradação do Fator Ecológico;
17. Método de Taxa de Juros Compostos Decrescentes;
18. Método de Compensação por Volume Derramado;
19. Valor do dano ambiental (IGP/SC);
20. Damage & Loss Assessment (DaLa);
21. Suporte metodológico de avaliação de danos ambientais (Rússia);
22. Abordagem ecossistêmica (internacional).

Por meio das palavras-chaves “Valoração de Danos Ambientais” AND “ Métodos” AND “Cálculos” e as keywords “Environmental Damages Valuation” AND “ Methods” AND “Calculations”, foram encontrados publicações científicas nas bases de dados. Destas publicações, foram mineradas e escolhidas especificamente por esta pesquisa, 28 publicações que abordavam explicitamente métodos e adaptações de métodos, e cálculos de valoração de

danos ambientais com as palavras-chave e keywords. Elas podem ser vistas no quadro 1, abaixo:

Quadro 1. Publicações encontradas com as palavras-chave.

Tipo de publicação	Título
Dissertação de Mestrado	Disposição a pagar pela recuperação/preservação do rio Apodi-Mossoró. Ana Beatriz Alves de Araújo, 2014.
Artigo de revista	Valoração de danos ambientais por condução de veículos pesados com Sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR) adulterado. DE BARROS, et al., 2014.
Artigo de revista	Valoração de danos nos casos da mineração de ferro no Brasil. OLIVEIRA, et al., 2020.
Artigo de revista	Economia Ambiental e seus métodos de valoração de recursos ambientais aplicados a empreendimentos hidrelétricos. O Caso do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte, Bacia do Rio Xingu, Estado do Pará, Brasil. CAMÕES BARBOSA DE MELO, Henrique, 2020.
Artigo de revista	Valoração de danos ambientais da geração termelétrica: usina de campos dos Goytacazes/RJ. DE CASTRO, Silvia Machado et al., 2012.
Artigo de revista	Valoração de danos ambientais decorrentes de lançamento de esgoto sem tratamento em manancial hídrico. DE MATTOS, Lucia Helena Quadros Vieira, 2021.
Tese de Doutorado	Proposição e aplicação de um índice de relevância, temporalidade e abrangência para valoração de danos ambientais. DO VALE SCHAPER, Débora, 2015.
Trabalho de Conclusão de Curso	Valoração econômica aplicando o método VERA como instrumento de gestão ambiental: caso do riacho Lagartixo no município de Capela-SE. FEITOSA, Ketlyn de Jesus, 2023.
Tese de Doutorado	Estudo teórico da toxicidade dos PAHs por meio de ferramentas teóricas e sua importância na determinação do dano ambiental. GOBI, Bruna Danielle de Oliveira, 2014.
Dissertação de Mestrado	Valoração de danos a ecossistemas florestais naturais em perícias criminais ambientais no Estado da Bahia. KLOTZ, Alexandre Otto, 2016.
Tese de Doutorado	Valoração econômica de danos ambientais. MAGLIANO. Mauro Mendonça, 2022.

Dissertação de Mestrado	Métodos de valoração econômica ambiental e danos ambientais causados pela bovinocultura de corte. MALDONADO, Ana Denise Ribeiro Mendonça, 2006.
Artigo de revista	Valoração da contaminação de água e solo em postos de combustíveis no estado do Rio de Janeiro: estudo de caso com uso do método DEPRN. MATOS, Dayene Pereira de et al. 2019.
Dissertação de Mestrado	Valoração de dano ambiental e serviços ecossistêmicos: benefícios associados às funções das áreas ripárias do Cerrado. SANTOS, Agenilda Aparecida, 2024.
Artigo de revista	Aplicação do método do custo de reposição (mcr) para valoração do meio ambiente: o caso do Parque Cesamar Palmas-TO. VERGARA, Fernán Enrique et al., 2014.
Dissertação de Mestrado	Valoração de danos ambientais em ecossistemas florestais: adaptação do método do custo de reposição com vistas à sua aplicação na perícia criminal ambiental. VIEIRA, João Pedro Pinheiro, 2013
Dissertação de Mestrado	Aplicação de diferentes métodos de valoração econômica do dano ambiental em um estudo de caso da perícia criminal do estado de Santa Catarina. CORDIOLI, Maria Luiza Apolinário et. al., 2013.
Dissertação de Mestrado	Valoração econômica de serviços ambientais em propriedades rurais. VILAR, Mariana Barbosa, 2009.
Tese de Doutorado	Valoração econômica em laudos periciais de crimes contra o meio ambiente. DE CARVALHO PINTO, Silva. 2013.
Artigo de revista	Valoração de danos ambientais em um ecossistema de restinga na ilha de Santa Catarina, Sul do Brasil. DE SOUZA, Tayene Oltramari et al., 2024.
Artigo de revista	A valoração ecossistêmica da área afetada pela barragem 1 da Vale SA- Brumadinho/MG: uma análise pautada na teoria da sociedade de risco e do decrescimento. BARCELOS, Tiago Soares et al., 2021.
Artigo de jornal	An overview of environmental valuation methods for the mining industry. DAMIGOS, Dimitri.
Artigo de jornal	Estimation of accumulated environmental damage: methods experience. NOVOSELOVA, Irina Yurievna; NOVOSEL Andrey Leonidovich. 2016.

Artigo de jornal	The economic valuation of environmental amenities disamenities: methods and applications. MENDELSON ROBERT, OLMSTEAD, Sheila, 2009.
Artigo de jornal	Environmental valuation-to use or not use? A comparative study the United States and Europe. NARUD, Stale; PRUCKN Gerald J., 1997.
Artigo de jornal	Application of a value-based equivalency method to assess environmental damage compensation under the European Environmental Liability Directive. MARTIN-ORTEGA, Ju BROUWER, Roy; AIKING, Harry, 2011.
Artigo de jornal	Using the contingent value approach for natural resource environmental damage applications. The Appraisal Journal MUNDY, Bill; MCLEAN, David, 1998.
Artigo de jornal	The lack of economic environmental damage valuation-a critical review of Fundação disaster. MAGLIANO, Mauro Mendon ANGELO, Humberto.

Fonte: Elaborado pela autora, 2024

Por sequência, esta investigação científica selecionou os métodos que mais apareceram em resultados de publicações nas bases científicas nacionais e internacionais. Os resultados foram:

- Métodos que utilizam o conceito VERA (Valor Econômico do Recurso Ambiental) (Métodos de Custo de Viagem, Métodos dos Preços Hedônicos, Métodos de Avaliação Contingencial, ou para muitos Método de Valoração Contingencial, Métodos de Custo de Controle, Métodos de Custos de Reposição, Métodos de Custos de Oportunidade e Método da Produtividade Marginal);
- Métodos CATES: Método CATE I e II, juntos ao DAÍ (Custos Ambientais Totais Esperados e Lucro Cessante);
- Método DEPRN (Método do Departamento de Proteção dos Recursos Naturais);
- Método IBAMA VCP (Valor de Compensação em Pecúnia);
- Método Almeida;
- Método VERD (Valor Estimado de Referência para Degradação Ambiental).

Diante disso, dos resultados encontrados, analisou-se as abordagens mais amplamente divulgadas na literatura técnico-científica sobre o tema da valoração de danos ambientais.

Todos estes métodos têm em comum o objetivo de atribuir valor monetário aos danos ambientais causados ao meio ambiente, como informado na introdução deste capítulo. Além disso, todos eles buscam quantificar os danos ambientais em termos financeiros e isso, apesar de haver possibilidade de não representar em 100% o dano ambiental da área afetada, permite uma análise dos custos e benefícios das atividades humanas que possam afetar o meio ambiente. Nesse sentido, eles também são utilizados para auxiliar a tomada de decisão pelas autoridades competentes, em relação aos custos necessários para reparar financeiramente os danos ambientais em determinada área.

4.1 Particularidades dos métodos que são utilizados para VEDA, analisados neste estudo

4.1.1 Métodos que utilizam o conceito VERA (Valor Econômico do Recurso Ambiental)

Sigla: VERA

Nomes dos métodos:

- Método dos Custos Evitados (MCE);
- Método dos Custos de Controle (MCC);
- Métodos dos Custos de Reposição (MCR);
- Método dos Preços Hedônicos (MPH);
- Método do Preço de Viagem (MPV);
- Método do Custo de Oportunidade (MCO);
- Método de Avaliação Contingente (MVC);
- Método da Produtividade Marginal.

Autor do método: Economia Ambiental

Fórmula matemática dos cálculos: Cada um dos métodos que se baseiam no conceito VERA, apresentam uma fórmula de cálculo própria, seja abrangendo menos ou mais variáveis do VERA.

Significado das siglas das fórmulas: O significado das fórmulas que se baseiam no VERA, apresenta uma fórmula de cálculo, abrangendo mais ou menos variáveis do VERA:

$$\text{VERA} = (\text{VUD} + \text{VUI} + \text{VO}) + \text{VE}$$

- VERA: Valor Econômico do Recurso Ambiental;
- VUD: Valor de Uso Direto;
- VUI: Valor de Uso Indireto;
- VO: Valor de Opção;
- VE: Valor de Existência

Conceito: Visa estimar o valor econômico dos recursos ambientais e por meio deles e variáveis relacionadas ao tempo em que a área fica exposta à degradação, estimar o valor econômico do dano ambiental.

Foco: Valoração de danos ambientais por meio do valor estimado do recurso ambiental.

Base de dados de informações: Coleta de dados na rede mundial de computadores, coleta de informações em instituições ambientais e entrevistas de pessoas sobre a DAP e DAA. As entrevistas podem ser de forma online ou presencial.

Aplicações: É utilizado para a valoração econômica de danos ambientais em diferentes áreas do meio ambiente, uma vez que os métodos possuem diferentes variáveis quantificáveis e/ou qualificáveis e adaptáveis.

Precisão dos métodos: Depende da quantidade de variáveis encontradas em campo e aplicadas nas fórmulas. Depende dos métodos escolhidos.

Imprecisões dos métodos: Mesmo contendo as variáveis do VERA, pode não ser o suficiente para calcular o valor mais aproximado do dano ambiental.

Regido por lei federal ou estadual? Não

Regido por demais tipos de normas regulamentadoras? SIM. Pressuposto no Decreto da Política Nacional da Biodiversidade (Decreto nº 4.339, de 22 de agosto de 2002), presente na ABNT 2008, corrigida para 2009 na NBR 14653 - parte 6 - recursos naturais e ambientais (ABNT, 2009). E mais recentemente no ano de 2022, foi criada a portaria IBAMA nº 118, de 03 de outubro de 2022, que institui o Procedimento Operacional Padrão (POP), para a estimativa dos Custos de Implantação e Manutenção de Projetos de Recuperação Ambiental nos Biomas Brasileiros, para compor Valor Mínimo da Reparação por Danos Ambientais à Vegetação Nativa, em Procedimentos Administrativos no âmbito do IBAMA (IBAMA, 2022). Na referida portaria, os conceitos do VERA estão explicitamente dispostos na norma, inclusive, recomendando o Método de Custo de Reposição (MCR), que utiliza o conceito VERA (IBAMA, 2022), para a realização de VEDA.

Vantagens:

- Os métodos do VERA têm aplicabilidade acadêmico-científica;
- Devido a variedade de métodos que acoplam os conceitos do VERA, se o perito não encontrar uma variável encontrada em campo em um método, ele pode utilizar outros métodos do VERA;
- Realiza uma estimativa dos danos ambientais por meio da análise de perdas do valor econômico do recurso ambiental na área;

Desvantagens:

- Em alguns dos métodos que utilizam o VERA, pode ser difícil e demorado realizar o cálculo de valoração, como por exemplo, no método MVC, quando se opta por fazer pesquisa de mercado sobre a Disponibilidade a Pagar (DAP) e a Disponibilidade a Aceitar (DAA pelo bem ambiental presente em uma área, pelas pessoas. Nesse caso, são necessárias entrevistas para coletas de dados, o que pode tornar a valoração demorada e estressante;
- Em condições de perícias criminais de órgãos públicos, em que os resultados devem ser emitidos o mais rápido possível, utilizar a metodologia VERA que requer mais tempo para elaboração pode ser um grande obstáculo.

Significado do resultado do método: Realizar a Valoração Econômica de Danos Ambientais por meio do Valor Econômico do Recurso Ambiental que foi suprimido em um determinado tempo em uma determinada área. Ou seja, realizam o VEDA por meio do VERA.

4.1.2 Métodos dos Custos Ambientais Totais Esperados - CATES (I e II)

Sigla: CATE I, CATE II, DAÍ

Nomes dos métodos:

- Custos Ambientais Totais Intermitentes;
- Custos Ambientais Totais Contínuo;
- Dano Ambiental Irreversível
- **Autor do método:** Luiz César Ribas
- **Fórmula matemática dos cálculos:**
- $CATE I = (V_c + C_d \cdot 1/d) \cdot (1+j)^n / (1+j)^{n-1}$
- $CATE II = (V_c + C_d \cdot F_i/d) / j$
- $DAI = CATE [(1+j)^t - 1]$

Significado das siglas das fórmulas:

- CATE I: V_c = Valor Comercial da propriedade
 C_d = Custos de reparação do dano ambiental
 F_i/d = Fator que relaciona os danos
 j = Taxa de juros (% ao ano);
 n = Período de duração dos impactos adversos.
- CATE II: V_c = Valor Comercial da propriedade
 C_d = Custos de reparação do dano ambiental
 F_i/d = Fator que relaciona os danos
 j = Taxa de juros (% ao ano).
- DAÍ: Dano Ambiental Irreversível
 t = tempo, em anos decorridos entre o estabelecimento dos danos ambientais e a implementação das medidas ambientais
 j = taxa de juros ao ano (%)

Conceito: O método CATE I, é um método baseado em estimativa de danos ambientais, que realiza a valoração pecuniária de danos ambientais intermitentes, ou seja, aqueles tipos de dano que acabam após ocorrerem. Mas, isso não quer dizer que eles não deixam efeitos adversos ao longo dos anos. O método CATE II, é um método baseado em estimativa de danos ambientais, que realiza a valoração pecuniária de danos ambientais contínuos, ou seja, aqueles tipos de dano que não acabam após ocorrerem no momento presente. O que também não quer dizer que eles não deixam efeitos adversos ao longo dos anos. Lucro cessante ambiental. Utilizado majoritariamente para casos florestais, mas conforme Ribas (1996), pode ser utilizado para outros casos ambientais. Refere-se ao período em que uma área ficou sob efeito de degradação, levando em consideração o estabelecimento do dano, até as medidas de mitigação adotadas, inclusive a indenização ambiental.

Foco:

- CATE I: Fornecer uma estimativa de custos ambientais totais decorrentes de danos ambientais intermitentes;
- CATE II: Foco na avaliação financeira de danos ambientais persistentes no meio ambiente, ou seja, é projetado para situações em que os danos ambientais não são únicos, mas sim contínuos e não pontuais;
- DAÍ: Estimar o dano ambiental irreversível ao longo do tempo, considerando os Custos Ambientais Totais Esperados e o crescimento desses custos ambientais devido a taxa de juros.

- Avaliar o impacto dos danos ambientais considerados irreversíveis, por meio de estimativa financeira.

Base de dados de informações: As fórmulas de cálculo destes métodos requerem informações sobre a taxa de juros que serão consideradas nos CATE I ou CATE II, a estimativa do tempo em anos, para a recuperação da área degradada, informações de Valores de Terra Nua (VTN), valores de propriedades comerciais, valores associados a custos de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), Projetos Técnicos de Reconstituição da Flora (PTRF), informações de instituições como Banco Central, EMATER, literatura técnica científica e afins.

Aplicações: Depende do tipo de dano ambiental. Se Intermitente, CATE I, se Contínuo, CATE II. Já o DAÍ, em casos que envolvem danos ambientais irreversíveis, como é o caso dos rompimentos das barragens de rejeitos, este método pode ser eleito para aplicação. Considera-se danos ambientais irreversíveis aqueles dos quais os impactos no meio ambiente foram significativos e no qual não é possível recuperar a área, ou recuperar a área rapidamente.

Precisão dos métodos: Preciso, se a qualidade dos dados inseridos nas fórmulas for boa e a modelagem de dados financeiros for válida. Rápido para a realização do cálculo.

Imprecisões dos métodos:

Depende de valores de taxa de juros, o que pode variar ao longo dos anos. Assim, se a taxa de juros mudar, deverá ser feita uma nova valoração com a taxa de juros atual, caso seja necessário atualizar os valores. Lembrando que o tempo em anos estimado para a recuperação da área é uma estimativa, que pode representar a realidade ou não.

Regido por lei federal ou estadual? Não

Regido por demais tipos de normas regulamentadoras? Não

Vantagens: CATE I: Incorporação do período de duração dos efeitos adversos “n”. Isso faz com que o dano ambiental causado por determinada atividade lesiva ao meio ambiente, seja reconhecido como agente influenciador no meio ambiente ao longo dos tempos e não somente quando o dano ambiental ocorreu. Ou seja, o método CATE I, considera o lapso temporal em que o meio ambiente poderá estar sob efeito da degradação, mesmo que o dano já tenha sido cessado. Ao incorporar a taxa de juros “j”, os métodos realizam a modelagem financeira ao longo dos tempos. Considera que danos ambientais têm implicações no valor de ativos, ao incorporar na fórmula de cálculo, o valor da propriedade ou área afetada (V_c). É possível avaliar a robustez dos resultados, uma vez que é possível avaliar a influência da mudança nos parâmetros (componentes da fórmula). Pode ser utilizado em estudos de cenários que

envolvem estratégias de gestão ambiental. Fornecem informações para planejamentos financeiros do Estado sobre a situação hipotética de um rompimento de barragem. Métodos fáceis de se comunicar e informar para leigos, apresentando comunicação clara e concisa.

Desvantagens:

- Podem não capturar a complexidade de dinâmicas ambientais, uma vez que prioriza estimativas de cunho financeiro;
- Dependem de dados históricos, atuais e são sensíveis à variação de taxa de juros;
- Podem deixar de lado externalidades não monetárias, se concentrando em um viés puramente financeiro;
- DAÍ foi criado para ser utilizado somente com os métodos CATE I e CATE II.

Significado do resultado do método: Depende do método. Se CATE I - O resultado representa a estimativa monetária do dano ambiental ocorrido e intermitente. Esse valor inclui não apenas os custos do dano direto, mas também os custos dos danos indiretos ao longo dos anos. Se CATE II -O resultado representa a estimativa monetária do dano ambiental ocorrido e contínuos. DAÍ - Refere-se à indenização pelos serviços ambientais ou serviços ecossistêmicos da área que deixaram de ser prestados e para reparar a lesão sofrida pelo meio ambiente.

4.1.3 Método do Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais - DEPRN

Sigla: DEPRN

Nome do método: Método do Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais - DEPRN

Autor do método: Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais - DEPRN

Fórmula matemática dos cálculos: $INDENIZAÇÃO = [\Sigma(\text{Fator de multiplicação})] \times \text{Valor de Recuperação}$

Significado das siglas das fórmulas:

- $INDENIZAÇÃO$ = Valor estimado da compensação financeira que deverá ser paga pelo dano gerado ao meio ambiente.
- $\Sigma(\text{Fator de multiplicação})$ = índice numérico referente a cada aspecto ambiental;
- Valor de Recuperação ou de Exploração = se forem perdidos bens ambientais que não tem valores de mercado, usa-se o Valor de Recuperação. Se forem degradados bens com valores de mercado, usa-se o valor de Exploração

Conceito: O método foi elaborado pelo extinto Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN) da Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo e apresentado primeiramente em um seminário em 1992 (GALLI F., 1996).

Utilizando um fator de multiplicação para cada aspecto ambiental, o método busca levar em consideração a gravidade ou a extensão do dano em cada componente ambiental afetado. Preza pela indenização para a recuperação dos danos ambientais e/ou nos valores de exploração que não envolvem danos ambientais.

Foco: Estimar o valor monetário da indenização ambiental, considerando os índices dos componentes ambientais que sofreram dano ambiental e considerando a indenização referente à recuperação da área e/ou os valores de exploração, referentes a bens não ambientais.

Base de dados de informações: Tabela e Quadro elaborados para a aplicação do próprio método. O quadro do DEPRN divide o meio ambiente em seis aspectos: ar, água, solo/subsolo, flora, fauna e paisagem. Para cada aspecto ambiental são descritos 2 tipos de dano e para cada tipo de dano, são descritos e qualificados agravos. O que vai definir os agravos ambientais é a vistoria no local do fato. Por último, analisa-se o agravo conforme os critérios estabelecidos pelos índices numéricos da tabela feita para o próprio método (CORDIOLI, 2013).

Aplicações: Aplicável em diversos casos que envolvem valoração econômica de danos ambientais. Exemplo: supressão de vegetação.

Precisão dos métodos: Preciso, desde que bem fundamentado.

Imprecisões dos métodos: A atribuição de fatores de multiplicação aos aspectos ambientais presentes na área pode ser subjetiva e arbitrária, trazendo resultados diferentes para dois avaliadores que utilizaram o mesmo método.

Regido por lei federal ou estadual? Não

Regido por demais tipos de normas regulamentadoras? Não

Vantagens:

- Foram criados uma tabela e um quadro próprios para a avaliação dos componentes e dos agravos ambientais,
- Utilizam componentes para a avaliação dos danos: solo/subsolo, água, ar, flora, fauna e paisagem;
- Une a valoração de danos aos componentes ambientais e a indenização monetária.

Desvantagens: Não considera o fator tempo para recuperação da área.

Significado do resultado do método: Refere-se a estimar o valor financeiro dos danos ambientais em decorrência de atividades humanas consideradas lesivas ao meio ambiente.

4.1.4 Método do Valor de Compensação em Pecúnia

Sigla: VCP

Nome do método: Valor de Compensação em Pecúnia

Autor do método: Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA

Fórmula matemática dos cálculos: $VCP = p1+p2+p3+p4+p5 = VD = Cd + VCP$

Significado das siglas das fórmulas:

- VCP = Valor de Compensação Pecuniária;
- $p1+p2+p3+p4$ = depende das variáveis que vão ser escolhidas para a avaliação;
- $p5$ = impacto ecossistêmico - perda permanente e temporária das funções ambientais; em áreas de preservação permanente;
- Vd = Valor do dano;
- Cd = Custos de reparação/recuperação

Conceito: O VCP foi desenvolvido pelo IBAMA e tem como proposta, estimar a valoração econômica de danos ambientais em Unidades de Conservação, porém pode ser adaptado para a utilização em outros casos que envolvem o meio ambiente. Fundamentalmente, realiza a valoração com foco na compensação pecuniária e custos para a reparação, portanto, sendo utilizado mais para fins de compensação pecuniária ambiental.

Foco: Estimar o Valor da Compensação Pecuniária pelos danos ambientais ocasionados em determinada área. Focaliza também a estimativa do Valor do Dano.

Base de dados de informações: Levantamento de dados referentes às estimativas de custos totais para recuperação da área degradada, bem como a definição dos serviços ecossistêmicos que deixarão de ser prestados, utilizando como bases, as tabelas de Costanza e Groot (COSTANZA et al., 1997 *apud* CNJ, 2023)

Aplicações: Inicialmente desenvolvido para a valoração econômica de danos ambientais por meio da compensação ambiental ocasionados pelas infraestruturas de telecomunicações em Unidades de Conservação.

Precisão dos métodos: Média, depende da base de dados para alimentação das fórmulas.

Imprecisões dos métodos: Depende da base de dados, das variáveis envolvidas e de como os dados serão introduzidos na fórmula. Se bem fundamentado, evita-se questionamentos judiciais.

Regido por lei federal ou estadual? Não

Regido por demais tipos de normas regulamentadoras? Não

Vantagens:

- Quantificação monetária dos danos ambientais;
- Consideração dos serviços ecossistêmicos;
- Fórmula adaptável a outros tipos de danos ambientais

Desvantagens: Para realizar a valoração com esse método é necessário ter conhecimento ampliado sobre o procedimento proposto por ele, pois não é um método de fácil manipulação e por isso depende das variáveis e de que forma será alimentado. Outra desvantagem é que ele é mais utilizado para a compensação pecuniária ambiental, ou seja, o montante obtido, tem por finalidade ser utilizado para reparar outra área que não seja a afetada.

Significado do resultado do método: Significa a estimativa do Valor da Compensação Pecuniária para a indenização de um determinado tipo de dano ambiental.

4.1.5. Método Almeida

Sigla: Não tem sigla. É Método Almeida.

Nome do método: Método Almeida.

Autor do método: Josimar Ribeiro Almeida

Fórmula matemática dos cálculos: $CR = CRO \times FM \times FUC$

$$CRP = CR (1 + i)^t$$

Significado das siglas das fórmulas:

-
- CR = Custo de Restauração;
- CRO = Custo de Restauração Objetiva;
- FM = Fatores de Macrozoneamento;
- FUC = Fatores de Unidades de Conservação e Áreas de Preservação Permanente;
- CRP = Custo de Restauração Presente;
- CR = Custo de Restauração;
- i = índice de correção (taxa de juros ao ano)
- t = período entre o início dos danos e a data dos exames periciais.

Conceito: O Método pretende retornar ao mais próximo o possível do *status quo ante* da área, ou seja, estimar um valor monetário que mais se aproxime do valor real de recuperação da área, com o menor custo.

Usa o princípio da proporcionalidade: quanto maior a degradação, maior deverá ser o valor da indenização ambiental.

Foco: Estimar um valor monetário que mais se aproxime da realidade do dano, buscando o menor custo-benefício.

Base de dados de informações: Escala hierárquica de categorização dos ecossistemas em função da sua situação em relação aos diversos tipos de usos do solo e fatores de Unidades de Conservação (Lei nº 9985 de 18/07/2000 (BRASIL, 2000) e outras. Ou seja, para o modelo, o autor do método (ALMEIDA, 2010), usa duas tabelas: uma referente a dados de uso e ocupação do solo e outra referente a fatores de APP e UCs.

Aplicações: Aplicável em diversos casos que envolvem valoração econômica de danos ambientais, inclusive para barragens de rejeitos de mineração. Muito aplicado para casos de desmatamento

Precisão dos métodos: Preciso, se alimentado com a base de dados de forma correta.

Imprecisões: Depende da base de dados, das variáveis envolvidas e de como os dados serão introduzidos na fórmula. Se bem fundamentado, evita-se questionamentos judiciais.

Regido por lei federal ou estadual? Não

Regido por demais tipos de normas regulamentadoras? Não

Vantagens:

- Fácil de usar, comunicar e valorar;
- Utiliza fatores de uso e ocupação do solo;
- Utiliza fatores de Unidades de Conservação;
- Preocupa-se tanto com fatores ambientais como com fatores monetários;
- Simples e objetivo;
- Leva em consideração o tempo para a recuperação da área degradada.

Desvantagens: Baixa difusão e pouco conhecido por peritos judiciais e criminais.

Significado do resultado do método: Refere-se a estimar o valor financeiro mais aproximado dos danos ambientais ocorridos em uma área em decorrência de atividades humanas consideradas lesivas ao meio ambiente.

4.1.6. Método do Valor Econômico de Referência para a Degradação Ambiental

Sigla: VERD

Nome do método: Método do Valor Econômico de Referência para a Degradação Ambiental

Autor do método: Artur Renato Albeche Cardoso **Figura 10.** Fórmula do método VERD

Fórmula matemática dos cálculos: $VERD = \sum_{n=1}^{\infty} q_n \times \sum_{n=1}^{\infty} i_n$ **Fonte:** Cordioli, 2013

Significado das siglas das fórmulas: Custo de Recuperação da área degradada e Valores intangíveis para o estudo de caso. Valores intangíveis são categorizados em fatores, por meio de uma tabela do próprio método e levam em conta o ambiente físico (ar, água, solos, sedimentos, etc.), os diferentes reinos biológicos (Reino Plantae, Reino Monera, etc.) e o ambiente antrópico.

Conceito: Método de valoração que consiste em aplicar valores relacionados ao custo de recuperação da área aliado aos fatores ambientais que existiam na área e foram degradados.

Foco: Aliar o custo de recuperação da área aos fatores ambientais que foram degradados.

Base de dados de informações: Tabela de determinação dos valores intangíveis do meio ambiente e dados monetários referentes aos custos de recuperação da área afetada.

Aplicações: Aplicável em diversos casos que envolvem valoração econômica de danos ambientais, inclusive para barragens de rejeitos de mineração.

Precisão do método: Preciso, se alimentado com a base de dados de forma correta.

Imprecisões: Depende da base de dados, das variáveis envolvidas e de como os dados serão introduzidos na fórmula. Se bem fundamentado, evita-se questionamentos judiciais.

Regido por lei federal ou estadual? Não

Regido por demais tipos de normas regulamentadoras? Não

Vantagens:

- Fácil de usar, comunicar e valorar;
- Utiliza componentes para a avaliação dos danos: solos, água, ar, flora, fauna, etc.;
- Une a valoração de danos aos componentes ambientais e a indenização monetária.

Desvantagens: Depende da base de dados, das variáveis envolvidas e de como os dados serão introduzidos na fórmula, caso contrário, poderá apresentar valores distorcidos da realidade.

Significado do resultado do método: Refere-se a estimar o Valor Econômico de Referência para Danos Ambientais em decorrência de atividades humanas consideradas lesivas ao meio ambiente.

Em face de tudo, verificou-se que cada método utilizado para valoração possui particularidades, especificidades, vantagens, desvantagens, etc. A escolha do método, antes de tudo, deve considerar o contexto específico do dano, a disponibilidade de dados e recursos e os objetivos da valoração. Assim, uma abordagem mais integrada, que combine diferentes métodos, poderia fornecer estimativas mais robustas em relação à temática, para balizar decisões judiciais relacionadas a processos em que o quesito seja a valoração.

A análise dos métodos baseados no conceito VERA, demonstrou que eles possuem elementos em formas de variáveis, que podem capturar uma ampla gama de valores ambientais em detrimento dos outros métodos avaliados, pois ele apresenta amplitude de cobertura como visto em VUD+VUI+VO+VE, no qual podem ser aplicados diferentes métodos como o MCE, MCO, MCC, MCR, etc.

Já os Métodos CATE's, por exemplo, podem ser precisos e rápidos para a realização do cálculo, mas podem não capturar a complexidade das dinâmicas ambientais. Ainda são métodos que são fortemente dependentes de dados financeiros e taxas de juros, que variam com o tempo.

O Método DEPRN é mais prático e fácil de usar, como vimos na análise e apresenta uma abordagem mais direta, porém pode ser subjetivo em avaliações de danos ambientais.

O VCP foi considerado adaptável e também considera os serviços ecossistêmicos, como o VERA, mas exige um conhecimento mais aprofundado e uma base de dados robusta para evitar distorções. Em relação aos Métodos Almeida e VERD, ambos são precisos e se bem alimentados, podem ser considerados bem fundamentados, mas podem apresentar dificuldades na aplicação prática.

Diante desta análise, os métodos que utilizam o conceito VERA, por apresentarem arcabouço e amparo legal para aplicação em processos criminais e judiciais relacionados a danos ambientais, são apontados preliminarmente por esta pesquisa como elegíveis para aplicações em casos que envolvem rompimentos de barragens de rejeitos de mineração. Cabe agora, realizar os cálculos de VEDA, para avaliar a aplicação no estudo de caso da barragem que se rompeu em Brumadinho em 2019, para tornar mais robusta esta análise. Este tema será encontrado no próximo capítulo.

5 CONCLUSÃO

Existem, na literatura técnico-científica, diversas abordagens para se realizar a valoração. Esta investigação encontrou 20 abordagens para realizar a valoração de danos ambientais, mas o número de abordagens pode estar subestimado e ser maior do que o encontrado nesta pesquisa.

Cada abordagem possui suas especificidades. Porém, apesar de existirem diversas abordagens para fazer a valoração, nem todas são aplicáveis para casos que envolvem o rompimento de barragens de rejeitos de mineração. Isso pode ser explicado por limitações do arcabouço metodológico de algumas abordagens.

Além disso, a existência de diferentes métodos de valoração de danos ambientais pode ser um fator dificultador para a escolha do método mais adequado à valoração.

Em face dos estudos realizados neste capítulo, esta pesquisa elegeu a abordagem do VERA, VCP e CATE II, para aplicar o caso concreto do rompimento da barragem que ocorreu em Brumadinho no ano de 2019, por serem abordagens que podem ser aplicadas em VEDA e por serem abordagens amplamente documentadas na literatura técnico-científica.

REFERÊNCIAS

ABNT/Coleção. **Associação Brasileira de Normas Técnicas. Coleções.** Normas técnicas para um mundo de oportunidades - ABNT 2008 (corrigida, 2009). Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?Q=SDAH>. Acesso em 04/04/2023.

ANDRADE, Daniel Caixeta. **Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássicas e da economia ecológica**, 2008.

ARAÚJO, Ana Beatriz Alves de. **Disposição a pagar pela recuperação/preservação do rio Apodi-Mossoró**. 2014.

BARCELOS, Tiago Soares et al. **A valoração ecossistêmica da área afetada pela barragem 1 da Vale SA- Brumadinho/MG: uma análise pautada na teoria da sociedade de risco e do decrescimento**. DRd- Desenvolvimento Regional em debate, v. 11, p. 21-47, 2021.

BISPO, Lorena Grasielle Silva et al. **Valoração econômica do meio ambiente: aplicação do Método do Custo de Oportunidade em áreas impactadas pelo desmatamento no município de Rorainópolis - RR**, 2017.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. **Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccvil_03/leis/19985.ttm. Acesso em 24/04/2023.

BRASIL. Decreto nº 4.339, de 22 de agosto de 2002. **Institui princípios e diretrizes para implementação da Política Nacional de Biodiversidade**. Diário Oficial da União, Brasília, 23 de ago. 2002b. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4339.html. Acesso em 21 de dezembro de 2022.

CAMÕES BARBOSA DE MELO, Henrique. **Economia Ambiental e seus métodos de valoração de recursos ambientais aplicados a empreendimentos hidrelétricos. O Caso do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte, Bacia do Rio Xingu, Estado do Pará, Brasil**. 2020.

CEAT. VALORAÇÃO ECONÔMICA DE DANOS AMBIENTAIS. **Coletânea da Central de Apoio Técnico do Ministério Público do Estado de Minas Gerais, 2020**. Disponível em: http://www.cnmp.mp.br/portal/images/CMA/Valoracao_economica_de_danos_ambientais-CEAT.pdf. Acesso em 15/02/2023.

COLOMBO, Alexandre F. JOLY, C.A. **Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change**. Brazilian Journal of Biology, v.70,p.697-708, 2010.

CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA (CNJ). **Relatório: Metodologias de Valoração do Dano Ambiental**. Fábio Grilo; Petrobrás, 2023. Disponível em: <https://www.cnj.jus.br/wp-content/uploads/2023/07/doc-03-relatorio-metodologias-de-valoracao-do-dano-ambiental-fabio-grilo-petrobras.pdf>. Acesso em 12/11/2022.

CORDIOLI, Maria Luiza Apolinário et. al. **Aplicação de diferentes métodos de valoração econômica do dano ambiental em um estudo de caso da perícia criminal do estado de Santa Catarina**. Repositório UFSC, 2013.

COSTANZA, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grassot, M., Bruce Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., José Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., Van den Belt, M., 1997. **The Value of The World's Ecosystem Services And Natural Capital**. Nature 387, 253-260.

CUNHA, Nivaldo Caetano da. **A metodologia oficial de valoração de recursos e dos danos ambientais no Brasil**. Conselho Nacional do Ministério Público, 2020.

DAMIGOS, Dimitri. **An overview of environmental valuation methods for the mining industry**. Journal of cleaner production, v.14, n.3-4, p.234-247, 2006.

DA MOTTA, Ronaldo Seroa. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. IPEA/MMA/PNUD/CNPQ, 1998.

DA MOTTA, Ronaldo Seroa. **Economia ambiental**. FGV Editora, 2006.

DA MOTTA, Ronaldo Seroa. **Valoração e precificação dos recursos ambientais para uma economia verde 1**. Ambiental, p.179, 2011.

DE AGUIAR, WANDER MATOS et al. **A Valoração Ambiental e seus desafios**. Anais do Enic, n.6, 2014.

DE BARROS, Lucas Vincent Lopes; VIEIRA, João Pinheiro SHIRAISH, Igor Shoiti. **Valoração de danos ambientais por condução de veículos pesados com Sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR) adulterado**. Revista Brasileira de Criminalística, v. 13, n. 2, p. 22-25, 2024.

DE CASTRO, Silvia Machado et al. **Valoração de danos ambientais da geração termelétrica: usina de campos dos Goytacazes/RJ**. Revista Internacional de Ciências, v.2, n.1, p.67-68, 2012.

DE CARVALHO PINTO, Silva. **Valoração econômica em laudos periciais de crimes contra o meio ambiente. 2013. Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Santa Catarina.

DE MATTOS, Lucia Helena Quadros Vieira. **Valoração de danos ambientais decorrentes de lançamento de esgoto sem tratamento em manancial hídrico**. Revista da Emeron, n.29,2021.

DE SOUZA, Tayene Oltramari; DE CARVALHO PINTO, Cátia Regina Silva; DE SOUZA, Kléber Isaac Silva. **Valoração de danos ambientais em um ecossistema de restinga na ilha de Santa Catarina, Sul do Brasil**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, 2024.

DO VALE SCHAPER, Débora. **Proposição e aplicação de um índice de relevância, temporalidade e abrangência para valoração de danos ambientais**. 2015. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.

EMATER. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. **Valor da Terra Nua, 2024**. Disponível em: <https://www.emater.mg.gov.br/portal.do?flagweb=novosite.vtn&grupo=1148>. Acesso em 02/04/2024.

FEITOSA, Ketlyn de Jesus. **Valoração econômica aplicando o método VERA como instrumento de gestão ambiental: caso do riacho Lagartixo no município de Capela-SE**. 2023.

FRANKE, Carlos Roberto et al. **Mata Atlântica e biodiversidade, 2005**. Disponível em : https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/3014/1/mata_atlantica_e_biodiversidade%5b1%5d.pdf. acesso em 12/03/2024.

GALLI, R.; KIAYIAS, G. **Umweltverträglichkeit von Betonzusatzmitteln/ Environmental Impact of Superplasticizers**. Restoration of Buildings and Monuments, v. 2, n. 5, p. 427-448, 1996.

GALLI, F. **Valoração de Danos Ambientais: Subsídio para Ação Civil**. Série Divulgação e Informação, 193, Companhia Energética de São Paulo, CESP, São Paulo, 1996.

GOBI, Bruna Danielle de Oliveira. **Estudo teórico da toxicidade dos PAHs por meio de ferramentas teóricas e sua importância na determinação do dano ambiental**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GROOT, R.S. DE; WILSON, M.A., BOUMANS, R.M.J.A. **A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services**. Ecological Economics, v.41, p. 393-408, 2002.

IBAMA. **Portaria nº 83, 13 de setembro de 2022. Institui o Procedimento Operacional Padrão (POP) para o levantamento de Informações, pela Fiscalização, para a Caracterização do Dano Ambiental em áreas Alteradas ou Degradadas por Processo de Supressão de Vegetação Nativa sem prévia Licença/Autorização ou em Desacordo com Licença/Autorização Válida. Produzido em 2022**. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao=139182>. Acesso em 02/01/2023.

IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Institui Procedimento Operacional Padrão (POP) para Estimativa dos Custos de Implantação e Manutenção de Projeto de Recuperação Ambiental nos Biomas Brasileiros, para Compôr Valor Mínimo da Reparação por Danos Ambientais à Vegetação Nativa, em Processos Administrativos no âmbito do IBAMA, 2022**. Disponível em: <http://www.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&force=legislacao=139171>. Acesso em 02/04/2024.

JACOSKI, Claudio Alcides et al. **Proposição da valoração ambiental do corte de Araucária angustifolia (Bert.) Kintze em área de influência da Estação Ecológica Mata Preta (ESEC); no município de Abelardo Luz (SC)**. Proposition of environmental valuation cutting of Araucaria. *Ambiência*, v.11, n. 3, p. 651-667, 2015.

JÚNIOR, Pedro dos Santos Portugal et al. **Valoração econômica ambiental da água mineral: uma aplicação do método de imputação residual**. Revista de Economia Mackenzie, v.14, n.2, 2017.

KLOTZ, Alexandre Otto. **Valoração de danos a ecossistemas florestais naturais em perícias criminais ambientais no Estado da Bahia**. Alexandre Otto Klotz/orientadora, Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto. Florianópolis, SC, 2016.

LEITE, José Rubens Morato. **Dano Ambiental: do individual ao coletivo extrapatrimonial**. 2. ed. São Paulo: Revista dos tribunais. 2003.

LEITE, José Rubens Morato. **Dano Ambiental na sociedade do risco**. Saraiva Educação SA, 2017.

LEITE, José Rubens Morato. AYALA, Patryck de Araújo. **Direito ambiental na sociedade de risco**. In: Direito ambiental na sociedade de risco, 2002, p.290-290.

LC, Araújo HF, Nero MA. **Hypothetical Economic Value of Environmental Damage (EVED) using the VERA methodology in the rupture of a uranium mining tailings dam: a case study in Caldas-MG - Brazil**. 2024.

MAGLIANO, Mauro Mendonça. **Valoração econômica de danos ambientais**. 2020. Tese de Doutorado. Disponível em: <https://www.rlbea.unb.br/jspui/handle/10482/37179>. Acesso em 10/11/2022.

MAGLIANO, Mauro Mendonça. **Valoração em perícias de crimes ambientais. Por que, para que e os desafios de realizá-la**. Revista Brasileira de Ciências Políticas, v.13,n.7,p.351-386, 2022.

MAGLIANO, Mauro Mendonça et al. **Valoração econômica em laudos periciais de crimes contra o meio ambiente**. 2013.

MAGLIANO, Mauro Mendonça; ANGELO, Humberto. **The lack of economic environmental damage valuation-a critical review of Fundão disaster**. Cerne, v. 26, p. 75-87, 2020

MALDONADO, Ana Denise Ribeiro Mendonça. **Métodos de valoração econômica ambiental e danos ambientais causados pela bovinocultura de corte**. 2006.

MARQUES, Márcia Cm et al. **The Atlântic Forest. History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-diverse Forest**. Springer International Publishing, 2021.

MARTIN-ORTEGA, Julia; BROUWER, Roy; AIKING, Harry. **Application of a value-based equivalency method to assess environmental damage compensation under the European Environmental Liability Directive**. Journal of environmental management, v.92, n.6, p. 1461-1470, 2011.

MATOS, Dayene Pereira de et al. **Valoração da contaminação de água e solo em postos de combustíveis no estado do Rio de Janeiro: estudo de caso com uso do método DEPRN**, 2019.

MARX, Karl. **Kritik des Gothaer Programms. MEW 19**. Berlin: Dietz Verlag, 1962.

MENDELSON, ROBERT, OLMSTEAD, Sheila. **The economic valuation of environmental amenities and disamenities: methods and applications**. Annual Review of Environmental and Resources, v. 34, n. 1, p. 325-347, 2009.

MOTTA, Ronaldo Seroa. **Valoração econômica como um critério de decisão**. Revista do TCU, n.101,p.92-92, 2004.

MUNDY, Bill; MCLEAN, David. **Using the contingent value approach for natural resource and environmental damage applications**. The Appraisal Journal, v. 66, n.3, p. 290, 1998

NARUD, Stale; PRUCKNER, Gerald J. **Environmental valuation-to use or not use? A comparative study of the United States and Europe**. Environmental and resource economics, v. 10, p. 1-26, 1997.

NOVOSELOVA, Irina Yurievna; NOVOSELOV, Andrey Leonidovich. **Estimation of accumulated environmental damage: methods and experience**. Journal of Environmental Management & Tourism, V.7, N.4 (16), P. 619, 2016.

OLIVEIRA, Daniela Carvalho; SANTANA, Hernani Ciro. **Valoração de Danos nos Casos de Mineração de Ferro no Brasil**. Anais da Jornada Acadêmica das Engenharias, v.1, n.1, p. 46-46, 2020.

RIBAS, L.C. **Metodologia de valoração de danos ambientais - caso florestal**. tese (doutorado) - Escola politécnica da universidade de são paulo, USP, São Paulo, 1996.

RIBAS, L.C. **Danos ambientais irreversíveis - o valor de indenização ambiental. 2010**. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/Home/Instituição/Departamentos/Gestaoetecnologia/docentes/cateind.pdf>. Acesso em 05/03/2023.

RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; GANDOLFI, Sergius; BRANCALION, Pedro Henrique Santin. **Restauração florestal**. Oficina de Textos, 2015.

SANTOS, Agenilda Aparecida. **Valoração de dano ambiental e serviços ecossistêmicos: benefícios associados às funções das áreas ripárias do Cerrado**. 2024. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Goiás (Brasil).

SILVA, Shisnara Bryeska Barros da. **Valoração econômica de danos à vegetação natural decorrente do rompimento da barragem de rejeitos Mina do Feijão em Brumadinho**, Minas Gerais, 2020.

SILVA, Mariano Andrade da et al. **Sobreposição de riscos e impactos no desastre da Vale em Brumadinho**. Ciência e Cultura, v. 72, n.2, p.21-28, 2020.

SIGBM. **Sistema de Informações sobre Gestão de Barragens**. Disponível em: <http://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>. Acesso em 08/02/2023.

SIGBM. **Sistema de Informações sobre Gestão de Barragens**. Disponível em: <http://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>. Acesso em 02/04/2024.

SOARES, Ana Luiza Cunha et. al. **Impacto do rompimento da barragem de rejeitos de minério de ferro da Mina do Feijão, em Brumadinho, quanto ao uso e à cobertura do solo e à qualidade das águas superficiais do rio Paraopeba**. Revista da Universidade Federal de Minas Gerais, v. 27, n.2, p. 356-381,2020.

SOARES, Alexandra Fátima Saraiva; Diniz, Paula Santana; De Moraes Silva, Luís Fernando. **Valoração de danos aos recursos hídricos em Brumadinho**. Dom Helder Revista de Direito, v. 3, n. 6, 2020.

SOUZA, Fernando Basquiroto de. **Avaliação de metodologias para valoração de recursos naturais e danos ambientais em ecossistemas costeiros: estudo de caso da área do banhado da Palhocinha, Garopaba, SC**. 2011.

VERGARA, Fernán Enrique; DE SOUZA, Ricardo Azevedo Mamedio; DA SILVA ANDRADE, Rui. **Aplicação do método do custo de reposição (mcr) para valoração do meio ambiente: o caso do Parque Cesamar, Palmas-TO**. Revista Monografias Ambientais-remoa, v.13, n.5, p.4063-4076, 2014.

VIEIRA, João Pedro Pinheiro. **Valoração de danos ambientais em ecossistemas florestais: adaptação do método do custo de reposição com vistas à sua aplicação na perícia criminal ambiental**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.

VILAR, Mariana Barbosa. **Valoração econômica de serviços ambientais em propriedades rurais**. 2009.

CAPÍTULO II - Cálculos para a Valoração Econômica de Danos Ambientais (VEDA)

RESUMO

Qualificar e quantificar danos ambientais sofridos por uma determinada área nem sempre é uma tarefa fácil, pois há danos que são percebidos no curto prazo, e outros podem aparecer somente depois de muitos anos. Expressar os danos ambientais gerados em fórmulas matemáticas é uma tarefa mais difícil ainda, pois há danos que permitem sua mensuração e outros podem ser mais complexos de se dimensionar. Quando trata-se de danos gerados por rompimentos de barragens a tarefa de estimar os estragos ambientais se torna ainda mais complicada. Para mensurar e estimar financeiramente eventos que promovem degradação ambiental existe a técnica da Valoração Econômica de Danos Ambientais. Mais precisamente neste trabalho, criamos a sigla VEDA, para representar a valoração do dano ambiental em hectares de vegetação natural do bioma Mata Atlântica, representado pela Floresta Tropical, produzido pelo rompimento de barragens, se baseando no estudo de caso do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho/MG, no ano de 2019. Escolher a abordagem metodológica correta ou mais adaptável para cada tipo de caso que envolve a geração de danos ambientais é um exercício que deve ser cuidadosamente pensado pelos peritos ou profissionais responsáveis pela valoração. A complexidade dos danos ambientais em eventos de colapso de barragens nem sempre permite a valoração mais próxima da realidade dos danos, pois muitas vezes, são demandadas grandes quantidades de tempo para se chegar a uma valoração mais próxima da realidade. Outro fator é que diferentes peritos podem utilizar métodos distintos para valoração perante os tribunais de justiça, o que pode tornar o processo de ressarcimento compensatório ou financeiro e reparatório ao meio ambiente ainda mais demorado. A fim de verificar a aplicabilidade de ferramentas e técnicas de VEDA para estimar os danos ambientais à vegetação natural em barragens, neste trabalho foram utilizadas três abordagens metodológicas de valoração de danos. Conclui-se que a abordagem que permitiu a quantificação de mais variáveis em se tratando de danos de grande extensão de áreas como os casos de rompimento de barragens foi o método do Valor Econômico dos Recursos Ambientais (VERA), com adaptação por meio da incorporação de outros métodos, como Métodos de Custos de Reparação (MCR), Métodos de Custos de Oportunidade (MCO), Métodos de Custos Evitados (MCE), Métodos de Custos de Controle (MCC), etc. Essa informação pode auxiliar gestores e autoridades competentes tomadoras de decisão, no tocante a escolha da abordagem mais adaptável em casos catastróficos, como os que envolvem o rompimento de barragens de mineração, eventos esses que infelizmente podem estar mais suscetíveis a acontecerem em decorrência das mudanças climáticas que já são uma realidade.

Palavras-chave: VEDA; serviços ecossistêmicos; Método de Custo de Reposição; Método de Custo de Oportunidade; Método de Custos Evitados; VEDA por VERA.

ABSTRACT

Qualifying and quantifying environmental damage suffered by a specific area is not always an easy task, as some damage is perceived in the short term, while others may only appear after many years. Expressing environmental damage produced in mathematical formulas is an even more challenging task, as some damage allows for measurement, while others can be more complex to quantify. When dealing with damage produced by dam failures, the task of estimating environmental damage becomes even more complicated. To measure and financially estimate events that promote environmental degradation, there is the technique of Economic Valuation of Environmental Damages. More precisely in this work, we created the acronym EVED to represent the valuation of environmental damage in hectares of natural vegetation of the Atlantic Forest biome, represented by the Tropical Forest, produced by dam failures, based on the case study of the Vale dam failure in Brumadinho/MG, in 2019. Choosing the correct or most adaptable methodological approach for each type of case involving the generation of environmental damage is an exercise that must be carefully considered by experts or professionals responsible for valuation. The complexity of environmental damage in dam collapse events does not always allow for a valuation that closely reflects the reality of the damage, as often, large amounts of time are required to achieve a valuation closer to reality. Another factor is that different experts may use distinct methods for valuation before the courts of justice, which can make the process of compensatory or financial reimbursement and environmental repair even more prolonged. In order to verify the applicability of EVED tools and techniques to estimate environmental damage to natural vegetation in dams, this work utilized three methodological approaches and concluded that the most appropriate approach, which allows the quantification of more variables in cases of large-area damage such as dam failures, is the Economic Value of Environmental Resources (VERA) methodology, with adaptations through the incorporation of other methods such as Repair Cost Methods (MCR), Opportunity Cost Methods (MCO), Avoided Cost Methods (MCE), Control Cost Methods (MCC), etc. This information can assist managers and competent decision-making authorities in choosing the most adaptable approach in catastrophic cases, such as those involving mining dam failures, events that may unfortunately be more likely to occur due to climate change, which is already a reality.

Keywords: EVED; ecosystem services; Replacement Cost Method; Opportunity Cost Method; Avoided Costs Method; EVED by VERA.

1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário de rompimento de barragens de enorme potencial de destruição, como aconteceu em Brumadinho em 2019, instituições públicas como os Ministérios Públicos e Justiças Estaduais e Federais, precisam dar respostas para a sociedade.

Nesse sentido, os peritos e autoridades competentes dessas instituições, precisam estar bem amparados por ferramentas, que consigam estimar de forma mais eficiente, eficaz e efetiva o possível, os danos ambientais ocorridos em determinada área, bem como os valores dos danos gerados. É utopia pensarmos que traremos o meio ambiente degradado de volta ao status quo ante. Porém, os peritos e as autoridades competentes precisam valorar os danos a título de indenizações financeiras ambientais, a fim de estimar um montante monetário para auxiliar nas estratégias de recuperação da área degradada pela empresa representada em ações judiciais.

Nesse sentido, a Valoração Econômica de Danos Ambientais, referida pela sigla VEDA neste trabalho, é uma ferramenta que pode ser utilizada para cumprir a demanda supramencionada. Por meio de cálculos de VEDA, é possível transformar danos ambientais em termos monetários e isso facilita a gestão de danos ambientais sofridos em uma determinada área, ao mesmo tempo que permite a compreensão, por parte das autoridades competentes, do quanto de recurso financeiro deverá ser alocado pelas empresas responsáveis pelos danos para ressarcir o meio ambiente pela degradação.

Assim, neste capítulo foi realizada a VEDA, por meio das abordagens eleitas no capítulo anterior, sendo elas Valor Econômico dos Recursos Ambientais (VERA), Valoração de Compensação Pecuniária (VCP) e Custos Ambientais Totais Esperados (CATE II). O objetivo foi oferecer uma análise sobre a possibilidade de aplicabilidade de tais métodos, no tocante a casos de rompimentos de barragens de rejeitos de mineração, tendo por base, o estudo de caso da barragem da mineradora Vale, que se rompeu na cidade de Brumadinho no ano de 2019.

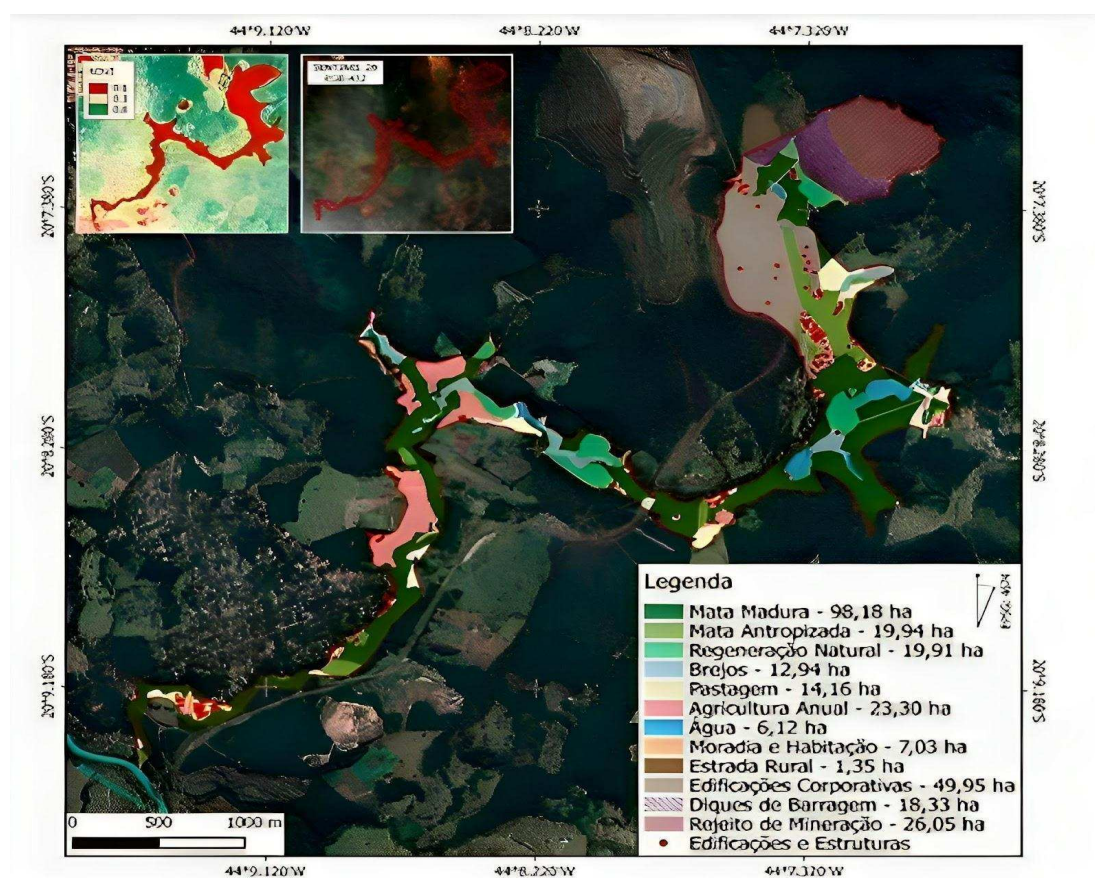
Este estudo também apresenta aplicabilidade para a realização de VEDA, não só para casos em que já ocorreu o colapso da estrutura de contenção de rejeitos, como antes mesmo de seu rompimento, sendo este, portanto, um aspecto ainda não explorado pela literatura científica internacional e que tem valia para fornecer estimativa pecuniária de danos ambientais a autoridades competentes a fim de que medidas preventivas sejam realizadas para evitar catástrofes envolvendo barragens.

Apesar da abordagem proposta neste trabalho ser pioneira, é necessário sublinhar a necessidade de futuras pesquisas explorarem mais profundamente a metodologia proposta neste trabalho para que seja possível estimar em um único trabalho, danos à flora, fauna, solo, ar e água em um mesmo trabalho e assim, fornecer informações mais robustas em relação aos danos promovidos à natureza em decorrência de rompimentos de barragens de rejeitos de mineração.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com base nos dados e demais informações contidas no mapa de uso e ocupação do solo, contido dentro da mancha de inundação do local onde ocorreu o rompimento da barragem de Brumadinho em 2019, elaborada por Pereira et al. (2019) *apud* SILVA (2020) (Figura 15), foi realizado o cálculo de VEDA, para cada uma das três abordagens metodológicas eleitas no capítulo anterior, sendo elas: Métodos que utilizam o conceito VERA (Valor Econômico do Recurso Ambiental), CATES (Custos Ambientais Totais Esperados Contínuos) e VCP (Valor de Compensação em Pecúnia) (IBAMA), respeitando suas particularidades e especificidades.

Figura 11. Mapa de uso e ocupação do solo dentro da mancha de inundação da barragem de Brumadinho, que se rompeu em 2019



Fonte: PEREIRA et al., (2019) *apud* SILVA (2020)

Do mapa acima, extrai se as seguintes informações relativas a vegetações naturais de Mata Atlântica:

- Mata Madura (florestas em estágio avançado de sucessão ecológica) = 98,18 ha;
- Regeneração Natural (áreas com cobertura natural em diferentes estágios de sucessão ecológica) = 19,94 ha;
- Matas Antropizadas (áreas naturais com forte interferência humana, de modo contínuo no tempo) 19,91 ha;
- Brejos (ambientes pantanosos) 12,94 ha;

Isso resultou em um total de 150,97 hectares de vegetação natural perdidas da Mata Atlântica pelo rompimento da barragem de Brumadinho (PEREIRA et al., 2019 *apud* SILVA, 2020). Assim, os hectares de vegetação suprimidos foram utilizados como base de cálculo para aplicação nos três métodos de valoração selecionados.

Para chegar ao valor do dano ambiental por meio da metodologia VERA, nesta pesquisa, foi criada uma adaptação própria para a técnica. Inicialmente considerou-se o dano gerado pelo rompimento de barragens de rejeitos de mineração como um dano contínuo.

Assim, considerou-se que a liberação de rejeitos tem o potencial de causar danos não somente imediatos, como também prolongados, como a contaminação do solo e lençol freático, que pode interferir substancialmente na formação de nova vegetação na área, prejudicando a regeneração natural e afetando o ecossistema por anos, décadas ou mesmo séculos em um cenário mais conservador.

Para os cálculos, primeiramente foi estimado o Valor de Uso Indireto, Valor de Opção e Valor de Existência (VUI+VO+VE) por meio da atualização dos valores de serviços ecossistêmicos constantes nas tabelas referenciadas por Costanza et al., (2014) e Santos et al., (2000). Para isso, considerando que os autores Costanza et al. (2014) não trabalharam com o bioma Mata Atlântica especificamente, foi utilizado o bioma Floresta Tropical com base para os cálculos do bioma Mata Atlântica. Considerou-se também que assim como consolidado na literatura científica, o bioma Mata Atlântica é um dos biomas pertencentes à Floresta Tropical (VIEIRA et al., 2008; LUZ et al., 2024). Assim, os valores de Costanza et al. (2014) foram atualizados para a data de 05 de junho de 2024, com uma taxa de câmbio no valor de R\$5,75 (BANCO MERCANTIL, 2024). Foi levado também em consideração o IPC relacionado à inflação de 2011, quando os valores de Costanza et al. (2014) foram encontrados, até 2024 em relação ao dólar. Com isso, o IPC conforme o site FxTop.com foi de 1.4. Ou seja, os cálculos de correção monetária foram realizados com a seguinte equação:

- Valor de Costanza encontrado em 2011 corrigido pela inflação = Valor de Costanza em 2011 x IPC (inflação de 1,4);
- Valor atualizado em 2024 = Valor de Costanza 2011, corrigido pelo valor da inflação x Taxa de câmbio de R\$5,75.

Para estimar o lucro cessante do VERA, foi utilizado o horizonte temporal de 25 anos, conforme relata Tietenberg (1988), Araújo et al. (1993) *apud* Ribas (1996), que também é considerado por Tietenberg (1988), como tempo referente ao período médio para rotação florestal. Diante disso, para calcular o valor dos serviços ecossistêmicos que foram perdidos na área em decorrência da supressão da vegetação pelo rompimento da barragem, procedeu-se à multiplicação dos valores dos serviços ecossistêmicos da área em hectares, pelo período de 25 anos.

Em resumo, a soma dos valores dos serviços ecossistêmicos em hectares por ano atualizados pela conversão para R\$5,75, multiplicados pela quantidade de hectares de

vegetação natural de Mata Atlântica (representada pela Floresta Tropical de Costanza et al. (2014), que foi perdida com o rompimento da barragem (150,97 ha), teremos um valor “X”. Para calcularmos o lucro cessante, ou seja, o período em que a área ficará exposta aos efeitos adversos do rompimento da barragem, utilizamos o horizonte de 25 anos. Nesse sentido, multiplicando o valor “X” por 25 anos teremos o resultado de VUI+VO+VE da metodologia VERA, que representa Perda de Serviços Ecossistêmicos na área de vegetação natural do bioma Mata Atlântica.

Já para realizar os cálculos dos Valores de Uso Direto (VD) da fórmula do VERA, foram utilizados os Métodos de Custos de Reparação (MCR), Métodos de Custos de Oportunidade (MCO) e Métodos de Custos Evitados (MCE).

Conforme Vieira (2013), o MCR é considerado como os custos necessários para a reposição do bem que foi perdido na área. Já o Método de Custo de Oportunidade (MCO) pode ser pensado e utilizado como a perda de oportunidade ou do benefício econômico que foi ou será sacrificado ao escolher uma alternativa em detrimento de outra alternativa (BERTO et al., 2019). Pensemos da seguinte forma: quando a empresa mineradora, sabendo dos riscos iminentes ou iminentes de ocorrer uma catástrofe envolvendo barragens, opta por negligenciar os riscos ela está optando, mesmo que de forma indireta pelo rompimento da barragem. Assim, o MCO pode ser pensado como uma perda de oportunidade pela empresa, de preservar o meio ambiente ou um determinado tipo de recurso. Já o Método de Custos Evitados (MCE), podem ser pensados e utilizados como o valor do dano a um recurso ou ao todo, que poderia ser evitado (MAIA et al., 2004), caso medidas preventivas de catástrofes fossem colocadas em ação.

Salienta-se que não existe óbice normativo internacional para que não se possa utilizar mais de um método para buscar o VUI e o VD da abordagem do VERA. Assim, a utilização e junção de métodos pode ser realizada com base em justificativas técnicas e científicas que demonstrem a melhoria da abordagem e que, o objetivo não seja uma majoração ambiental que leve a empresa mineradora à falência econômico-financeira. Esse é um tema polêmico e sensível para muitos leitores, mas é preciso considerar que o objetivo do VEDA é que a empresa arque com a responsabilização e reparação dos danos de ordens diversas no meio ambiente. Um resultado de VEDA que comprometesse substancialmente a empresa degradadora, poderia também levar à demissão de funcionários e colaboradores, que ganham nessas empresas o sustento para seus familiares e também geram receita para o Estado. Ou seja, existe também uma dependência arrecadatória do estado em relação às barragens.

Outro argumento, é que o valor econômico do dano ambiental resultado em um cálculo precisa estar alinhado aos princípios jurídicos de razoabilidade, proporcionalidade e legalidade para ser possível sua aplicação para finalidades de indenização ambiental. Um valor observado e considerado exorbitante ou mesmo exagerado, pode ser considerado em juízo, ou por peritos treinados e especializados, como um valor relacionado ao emocional do perito, ou dado pela raiva, o que é totalmente plausível de impugnação pelo juízo. Peritos, promotores de justiça, juízes e demais autoridades competentes também são seres humanos e também podem se sentir tomados por diversas emoções, como descontentamento, raiva, ódio, indignação ou mesmo depressão quando ocorre um rompimento de barragem gerador de catástrofes como ocorreu em Fundão e Brumadinho, porém tais sentimentos devem estar afastados do cálculo de indenização. Por isso que o VEDA é uma alternativa para tentar afastar o lado emocional dos cálculos de indenização ambiental.

A localização da barragem em análise, no bioma Mata Atlântica, insere outro elemento visto que o bioma é um ecossistema resguardado pela Lei nº 11.428, de 22 de janeiro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências (BRASIL, 2006). Por isso, para fins de valoração, as técnicas de recuperação para o bioma foram consideradas neste trabalho. Para dar suporte ao cálculo de MCR, foram utilizadas as técnicas de recuperação ambiental da vegetação presentes na Portaria nº 118, de 03 de outubro de 2022, que se refere ao Procedimento Operacional Padrão (POP) do IBAMA (IBAMA, 2022).

Especificamente para o bioma Mata Atlântica, os procedimentos mencionados na referida portaria são: Nucleação de R\$ 24.302,00/ha; Plantio de mudas, inclusive nucleação or R\$ 19.382,7/ha; Plantio de mudas, sendo desconsiderada a nucleação por R\$ 17.743,17/ha e a Condução da regeneração natural por R\$1.51,0/ha (IBAMA, 2022). Foi realizada a soma desses valores para recuperação, considerando o bioma Mata Atlântica, objeto deste estudo, o que totalizou: R\$62.949,04/ha.

Seguindo o raciocínio, para obtenção do valor do MCR, multiplicou-se o valor da soma das técnicas necessárias para a recuperação ambiental do bioma Mata Atlântica, pela quantidade de hectares de vegetação natural que foi suprimida pelo rompimento da barragem em Brumadinho em 2019, ou seja, 150, 97 hectares. Isso resultou em: R\$9.503.416,60.

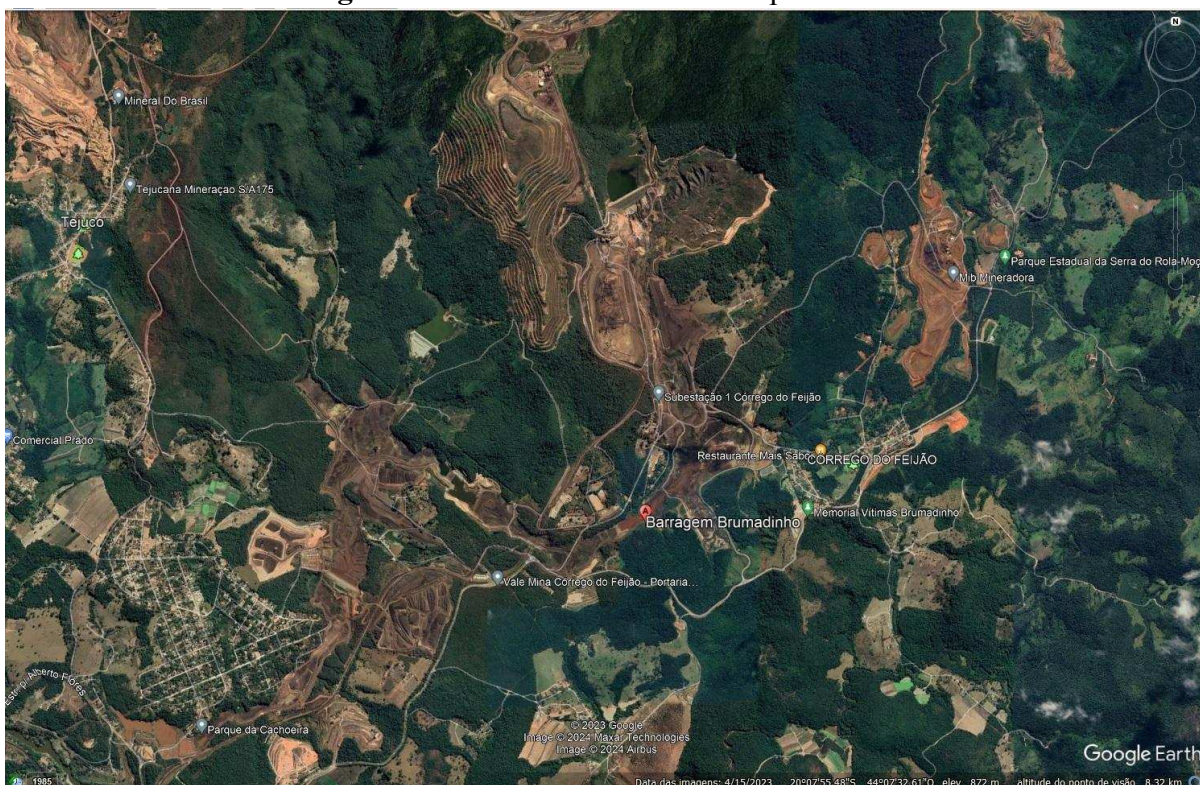
O próximo passo foi calcular o Método de Custo de Oportunidade (MCO). Para isso, o raciocínio utilizado foi baseado na perda de oportunidade da empresa mineradora responsável pela barragem, em não realizar medidas reparadoras na barragem a tempo para evitar o rompimento, ou seja, ocorreu mesmo que de forma indireta, conforme Mota (2013), a opção

por sacrificar os benefícios presentes na área, escolhendo assim pelo desastre. Nesse sentido, o MCO foi calculado com base no Valor da Terra Nua (VTN/EMATER, 2024), para a cidade de Brumadinho no ano de 2024. Assim, o VTN para a referida cidade no ano de 2024, é de R\$55.000,00 para preservação da flora ou da fauna (VTN/EMATER, 2024). Multiplicando o valor do VTN pela quantidade de hectares de vegetação que foram perdidos com o rompimento da barragem de Brumadinho, chegamos ao valor de R\$8.303.350,00.

Para o cálculo de MCE, foi realizada uma estimativa dos custos necessários para a remoção da lama de rejeitos proveniente do rompimento da barragem, que ainda se encontra no local do desastre. Para isso, foram utilizados valores referentes a horas de trabalho relacionadas a equipamentos necessários para remoção da lama no local, conforme valores constantes na tabela da SUDECAP/PBH (SUDECAP/PBH, 2023), bem como a estimativa de 1 ano para a remoção dos rejeitos. Também foram utilizados valores referentes a pagamentos de funcionários e colaboradores para a limpeza da área. Sendo assim, por meio do MCE, obtivemos a estimativa de custos que poderiam ser evitados na área se a barragem de Brumadinho não tivesse se rompido.

No entanto, sabemos que já se passaram pouco mais de 5 anos desde o desastre com a barragem e diante deste lapso de tempo a lama se solidificou junto ao solo. Vejamos na Figura 12 abaixo:

Figura 12. Lama contínua na área após 5 anos



Fonte: Google Earth Pro

Nesse sentido, o cálculo de custos evitados pelo MCE é considerado neste trabalho, como uma indenização pecuniária ambiental pela falta de remoção de rejeitos do local em tempo hábil para evitar a solidificação da lama e contribuição para nova formação de solo na região afetada contendo rejeitos. Este argumento é sustentado por estudos que demonstram a relação entre a solidificação de rejeitos de mineração no solo e seus impactos ambientais, como por exemplo, descreve Lopes, 2016.

O autor relatou em seu trabalho que ao secar, a lama de rejeitos da barragem da Samarco que se rompeu em Fundão, Mariana em 2015, iria causar no solo a impermeabilização do mesmo e a ausência de matéria orgânica e nutrientes necessários para recompor a resiliência e sucessão por parte da vegetação, comprometendo como consequência, a preservação dos cursos d'água (LOPES, 2016, p.1-14). Já Koifman et al., (2023), escreve que a toxicidade da lama de rejeitos de Brumadinho não se correlaciona com metais biodisponíveis na lama, podendo na verdade serem decorrentes de alterações físicas no solo induzidas pela deposição dos rejeitos e/ou de outros contaminantes (KOIFMAN et al., 2023). Ou seja, ambos autores escrevem a possibilidade mesmo que de forma indireta, impactos no solo em decorrência da deposição de rejeitos no local, seja com a solidificação, seja com a toxicidade.

Outro argumento para uso do MCE como indenização pecuniária ambiental neste trabalho, é que a Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998), prevê a responsabilidade pela reparação dos danos ambientais a quem for responsabilizado por eles.

Assim, diante dos argumentos supramencionados, o total de horas trabalhadas em 1 ano, considerando o tempo integral de 40 horas semanais para cada trabalhador: 8 horas x 365 dias/ano = 2.920 horas/ano. Para calcularmos os custos para operacionais estimados em 1 ano, utilizamos a tabela de preços da SUDECAP/PBH (2023), cuja tabela, contém preços de máquinas e equipamentos necessários para a limpeza da área:

- Bombas de lama: R\$11.14/hora (SUDECAP/PBH, 2023) X 2920 horas x 12 unidades = R\$390.345,60.
- Dragas: R\$221,30/hora (SUDECAP/PBH, 2023) x 2920 x 12 unidades = R\$7.754.352,00.
- Escavadeiras hidráulicas: R\$221,30/hora (SUDECAP/PBH, 2023) x 2920 horas x 10 unidades = R\$6.461.960,00.
- Caminhões basculantes: R\$175,74/hora x 2920 x 20 = R\$10.263.216, 00.

Custos totais de mão de obra em 1 ano:

- Total de horas trabalhadas por ano: 2920 x 200 trabalhadores = 584.000,00 horas.
- Custos totais de mão de obra: 584.000,00 horas x R\$150,00/hora = R\$87.600.000,00.

Por fim, a fórmula matemática proposta neste trabalho para VEDA via VERA, é a seguinte:

$$\mathbf{VEDA_{total} = VERA_{Adaptado} = Perda\ de\ S.E_{Mata\ Atlântica} + VUD}$$

VEDA_{total} = Valoração Econômica do Dano Ambiental ou Valor Econômico do Dano Ambiental

VERA_{Adaptado} = Adaptação da metodologia do Valor Econômico do Recurso Ambiental

S.E = Serviços Ecossistêmicos

VUD = Valor de Uso Direto, neste trabalho desmembrado em MCR+MCO+MCE

Então, o VEDA total baseado na metodologia do conceito VERA é igual a:

$$\mathbf{VEDA_{total} = VERA\ adaptado}$$

$$\mathbf{VEDA_{total} = [(VUI+VO+VE) \times \text{Lucro Cessante}] + MCR+MCO+MCE}$$

Para o cálculo de VEDA via CATE, primeiramente definimos quais dois CATES iriam ser utilizados para o rompimento da barragem. Considerando que o rompimento da barragem de Brumadinho já ocorreu, porém os impactos dos danos nos elementos da natureza ainda continuam (argumento este evidenciado pela quantidade de estudos científicos relacionados ao rompimento desta barragem em diversas bases de informações científicas), então nesta pesquisa, estudaremos o rompimento da barragem pelo Método CATE II (Custos Ambientais Totais Esperados referente a danos ambientais contínuos). Outro argumento é que o CATE I (Custos Ambientais Totais Esperados para danos intermitentes), provavelmente seus cálculos já foram feitos pelos órgãos competentes como o Ministério Público, Justiça Estadual e Federal, pois os danos intermitentes já cessaram com o rompimento da barragem.

Em face dessas considerações, a fórmula de cálculo atual de CATE II, segue abaixo:

Figura 13. Método CATE II

$$CATE II = \frac{(Vc + Cd \cdot Fi/d)}{j}$$

Fonte: Ribas, 1996

Onde:

CATE II = Custos Ambientais Totais Esperados para danos Contínuos;

Vc = Valor Comercial da propriedade;

Cd = Custos de reparação do dano ambiental;

Fi/d = Fator que relaciona os danos;

j = Taxa de juros (% ao ano).

Agora, calculamos o lucro cessante, expresso por:

$$DAI = CATE [(1+j)^t - 1]$$

- Onde DAI = Dano Ambiental Irreversível;
- t = tempo, em anos, decorrido entre o estabelecimento dos danos ambientais e a implementação de medidas ambientais. Consideramos 5 anos que se refere ao tempo de implementação de medidas depois do rompimento da barragem;
- j = taxa de juros ao ano (%).

Então, o valor de Vc (Valor comercial da propriedade) para CATE II, foi calculado por meio do VTN (VTN/EMATER, 2024), como no VERA, o que resultou em R\$8.303.350,00. O Cd (Custos de reparação do dano ambiental), foram calculados por meio do POP IBAMA

(IBAMA, 2022), como no VERA, pois estamos trabalhando o valor para recuperação de vegetação natural suprimida do bioma Mata Atlântica Assim, o valor do Cd foi de R\$9.503.416,60. A taxa de juros básica no Brasil atualmente é a Selic, que está em 10,50% ao ano (INVESTIG.com, 2024).

O Fi/d (Fator que relaciona os danos diretos e indiretos), foi escolhido por meio da tabela de Ribas (1996)), conforme demonstrado abaixo na Tabela 1.

Tabela 1. Fator de danos ambientais diretos e indiretos

Fator Fi/d	Significado
1	Relação de predominância inexistente
3	Pequena predominância de i sobre d
5	Significativa predominância de i sobre d
7	Predominância forte de i sobre d
9	Predominância absoluta de i sobre d
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Fonte: Ribas (1996, pág. 136) *apud* CORDIOLI, 2013

Nos casos de rompimentos de barragens, podemos perceber até mesmo pelos noticiários jornalísticos, que os danos indiretos advindos do rompimento, predominam sobre os danos diretos. Isso porque os danos diretos podem ser considerados aqueles que ocorrem imediatamente após o evento de rompimento da barragem. Já os danos indiretos perduram por mais tempo, como nos casos de contaminação de cursos d'água, solos, ar, etc., e são objetos de estudos científicos e matérias jornalísticas mesmo anos após o evento de ruptura das estruturas de contenção. Não podemos afirmar de forma categórica, que existe predominância absoluta de danos indiretos sobre danos diretos. Porém, também restam dúvidas sobre a forte predominância dos danos indiretos sobre os danos diretos. Nesse sentido, neste trabalho, optamos por considerar o $Fi/d = 8$, ou seja, um valor intermediário, que nos ajuda a diluir a dúvida existente entre os fatores 7 e 9 constantes na tabela de Ribas (1996) *apud* CORDIOLI, 2013.

Assim, VEDA proposto neste trabalho, utilizando o CATE II é:

$$\mathbf{VEDA}_{\text{por DAI de CATE II}} = \mathbf{DAI} = \mathbf{CATE} [(1+j)^t - 1]$$

Já para o cálculo de VEDA via VCP (Valor de Compensação em Pecúnia) utilizamos a seguinte fórmula matemática adaptada:

$$\mathbf{VEDA}_{\text{via VCP}} = \mathbf{p1+p2+p3+p4+p5+...p19}$$

$$\mathbf{VEDA} = \mathbf{Vd} = \mathbf{Cd} + \mathbf{VCP}.$$

Onde:

- **VCP** = Valor de Compensação Pecuniária;
- **p1+p2+p3+p4+p5+...p19** = impacto ecossistêmico - perda permanente e temporária das funções ambientais; em áreas de preservação permanente e impactos no solo, água.
- **Vd** = Valor do dano;
- **Cd** = Custos de reparação/recuperação

Neste trabalho, optamos por utilizar $p1+p2+p3+p4+p5+...+p19$, como a soma dos valores dos serviços ecossistêmicos encontrados na tabela Costanza et al., (2014) e Santos et al., (2000), convertidos para hectares e calculados com base no lucro cessante. Esse valor foi de R\$163,641,289.50. Ainda acoplamos nesta soma, o valor necessário para a limpeza da área e remoção dos rejeitos de mineração. Esse valor, como estimado neste trabalho, para 5 anos foi de R\$571.346.957,90. Os custos de reparação/recuperação da área ou Cd para o bioma Mata Atlântica são aqueles presentes no POP IBAMA (IBAMA, 2022), portanto R\$9.503.416,60.

A quarta etapa foi a análise estatística dos valores encontrados em cada método de valoração de danos ambientais, com enfoque na estatística descritiva e observacional.

Por conseguinte, foi realizada a análise crítica e apurada dos métodos de valoração econômica de danos ambientais estudados, visando a possibilidade de aplicação para casos de rompimentos de barragens de rejeitos de mineração.

Por fim, foi indicado o método mais adaptável e elegível para aplicação com relação a variáveis ambientais e econômicas mais representativas dos danos sofridos na área.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Valoração Econômica de Danos Ambientais (VEDA) por meio do Valor Econômico dos Recursos Ambientais (VERA)

A atualização dos valores de serviços ecossistêmicos constantes nas tabelas de Costanza et al., (2014), Oliveira e Santos et al. (2000) é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Adaptação dos Valores dos serviços ecossistêmicos da Floresta Tropical representando a Mata Atlântica de dólares para reais

Serviço	US\$ ha/ano	Conversão para Reais com câmbio de R\$ 5,75/ha/ano
01 - Regulação do gás	16.8	96,60
02 - Regulação do clima	2,861.6	16.454,20
03 - Regulação da perturbação	92.4	531,3
04 - Regulação das águas	11.2	64,4
05 - Suprimento de água	37.8	217,35
06 - Controle de erosão	471.8	2.712,85
07 - Formação do solo	19.6	112,7
08 - Reciclagem de nutrientes	4.2	24,15
09 - Tratamento de rejeitos	168	966,00
10 - Polinização	42	241,50
11 - Controle biológico	15.4	88,55
12 - Habitat/refúgio	54.6	313,95
13- Produção de alimentos	280	1.610,00
14 - Matérias-primas	117.6	676,2
15-Recursos genéticos	2,123.8	12.211,85
16. Recreação	1,213.8	6.979,35
17 - Cultural	2.8	16,10
18 - Valor de opção	2.8 (Santos et al. (2000)	16,10
19 - Valor de existência	4.2 (Santos et al. (2000)	24,15
TOTAL	7,540.40	43.357, 30

Fonte: Elaborado pela autora (2024), adaptado de Santos et al. (2000), Costanza et al (2014) e autores.

Diante dos resultados apresentados, considerou-se, que todos os serviços ecossistêmicos presentes na tabela anterior e prestados pela vegetação que existia na área afetada foram atingidos. Assim, a soma dos valores dos serviços ecossistêmicos em hectares atualizados pela conversão para R\$5,75, foi de R\$43.357,30 por ha/ano. A multiplicação da quantidade de hectares de vegetação natural de Mata Atlântica (representada pela Floresta Tropical de Costanza et al. (2014), que foi perdida com o rompimento da barragem (150,97 ha), pelo valor dos serviços ecossistêmicos em hectares encontrados, resultou em R\$ 6.545.651, 58 ano aproximadamente. Então, os valores de VUI+VO+VE da metodologia VERA, que representa Perda de Serviços Ecossistêmicos na área de vegetação natural do bioma Mata Atlântica resultou em R\$163,641,289.50.

O valor de MCR resultou em R\$9.503.416, 70. Já MCO, 2024, para preservação da flora ou da fauna foi de R\$8.303.350,00.

Os custos totais para o trabalho de remoção da lama da área pelos trabalhadores e pela utilização das máquinas em 1 ano é igual a: R\$390.345,60 + R\$7.754.352,00 + R\$6.461.960,00 + R\$10.263.216, 00 + R\$87.600.000,00 = R\$112.469.873,60. Ou seja, o valor do MCE encontrado neste trabalho foi de R\$112.469.873,60 por 1 ano.

Porém, considerando que já se passaram 5 anos e aproximadamente 5 meses do desastre, e o valor do MCE para este trabalho é anual, multiplicamos o MCE pela conversão em números decimais, de 5 anos e 5 meses, que é aproximadamente 5,08. O resultado é: R\$571.346.957,90. Este valor está amplamente subestimado, pois não considerou os custos e técnicas para realocação dos rejeitos em outros locais, não considerou os custos envolvendo a limpeza e descontaminação dos funcionários, etc.

Considerando que a lama ainda está presente na área, apesar de já ter secado, então, quer dizer que os serviços ecossistêmicos prestados pela vegetação natural que existia na área foram perdidos ao longo desses anos. Porém, como no VUI+VO+VE tínhamos colocado um horizonte de 25 anos que representa o período em que o serviço ambiental da área deixará de ser prestado, então o VUI+VO+VE continuam os mesmos valores. O MCR dependeria se as técnicas de recuperação da vegetação seriam efetivas ou não, então ele também continua o mesmo. Contudo, como já ocorreu o rompimento da barragem e a lama de rejeitos se solidificou no local, o que dificulta sua remoção, atualmente, o MCR também foi considerado neste trabalho, como um a indenização pecuniária ambiental. O MCO já está atualizado para valores de 2024.

Em suma, utilizando a metodologia VERA adaptada, a Valoração Econômica dos Danos Ambientais (VERA) atualizada para 2024, para a barragem de Brumadinho encontrada neste trabalho foi de R\$752,795,014.00. Esse valor representa, atualmente, US\$130,920,872.00 e R\$4.986,388.18 por hectares aproximadamente. Ou seja, o valor do dano à vegetação natural de Mata Atlântica atingida pelo rompimento da barragem em estudo, por hectares, gira em torno de R\$4.986,388.18. Reitera-se aqui, que calculamos o valor do dano e não somente o valor do recurso ambiental.

3.2 Valoração Econômica de Danos Ambientais (VEDA) por meio do Método de Custos Ambientais Totais Esperados para danos Contínuos (CATE II)

O valor de CATE II resultou em R\$803.149.367,60 e DAÍ foi igual a R\$519.996,460.60. Nesse sentido, VEDA por DAÍ, via CATE II, resultou em R\$519.996,460.60. Esse valor representa US\$90,434,167.06. É um valor mais baixo quando comparado ao VEDA via VERA, porém o CATE II não considerou as abordagens de serviços ecossistêmicos ocorridos pelo rompimento da barragem.

3.3 Valoração Econômica de Danos Ambientais (VEDA) por meio do Valor de Compensação em Pecúnia (VCP)

O valor de VEDA via VCP resultou em R\$744,491,664.00 que significa R\$4,931,388.11.

3.4. Comparação entre os métodos que utilizam o conceito VERA, métodos CATE II e VCP encontrados neste trabalho e valores encontrados em outros trabalhos científicos

A Valoração Econômica de Danos Ambientais (VEDA) é um procedimento importante para determinar o impacto financeiro relativo aos danos ao meio ambiente. Neste estudo de caso, no qual foi utilizada a vegetação natural do bioma Mata Atlântica atingida pelo rompimento da barragem de Brumadinho, calculamos os métodos que utilizam o conceito do VERA, CATE II e VCP.

Em relação à metodologia VERA, podemos perceber que ela considera diversos fatores para a valoração e isso inclui serviços ecossistêmicos, métodos que incluem custos de reparação, custos evitados, custos de oportunidade e outros tipos de custos, desde que se

tenham variáveis quantificáveis. Contudo, ela é uma abordagem mais complexa no tocante à aplicação e na quantificação de variáveis.

O CATE II utiliza uma abordagem mais técnica e com menores variáveis quantificáveis em relação à metodologia VERA. O ponto positivo é que ele apresenta taxa de juros e o fator de relação entre danos diretos e indiretos. É um método mais rápido e fácil de valorar, desde que se tenham variáveis quantificáveis e justificáveis. Porém, como restou claro, é limitado pela quantidade de variáveis quantificáveis.

O VCP pode ser considerado como uma clara adaptação da metodologia VERA, pois é possível a manipulação das variáveis para que sejam aproximadas do VERA. Apesar de ser, como os métodos CATES, ou seja, mais simples e de fácil aplicação, pode ser carente de variáveis quantificáveis em relação aos danos ambientais de uma área.

É importante frisar, que a maioria das abordagens aqui mencionadas utilizaram como base, o valor dos serviços ecossistêmicos em relação à vegetação que foram perdidos na área, o que nem sempre acontece em valorações periciais. Assim, é importante, que a valoração esteja alinhada com os propósitos e variáveis perdidas ou danificadas no meio ambiente.

Outra questão importante a ser tratada é sobre a possibilidade de pagamento de VEDA pelas empresas responsáveis pelos danos. Diferentes peritos podem apresentar diferentes cálculos, assim como neste trabalho. Pode ocorrer de um perito defender o cálculo que apresentou o menor valor, com o argumento de que valores maiores possam ser impagáveis pela empresa, assim como aborda Corrêa & De Souza (2013), em seu trabalho quando se trata de majoração de valores em razão da utilização de taxa de juros compostos (CORRÊA & SOUZA, 2013). Visando preencher essa lacuna, o sistema judiciário poderia adotar o VEDA pelo menos como um valor de referência para negociações. Porém, antes de tudo, o cálculo deve valorar os danos aos recursos ambientais que foram ou serão suprimidos em decorrência de degradação.

Assim, vejamos os resultados tabulados na Tabela 3:

Tabela 3. Análise de VEDA

MÉTODO	VALOR DE VEDA	VEDA POR HECTARES	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO E VARIÂNCIA
VERA	R\$752,795,014.00	R\$4,986,388.117		
CATE II	R\$519.996,460.60	R\$3,444,369.48	R\$672,427,712.90	R\$132,074,605.50 R\$1,74 X 10 ¹⁶
VCP	R\$744,491,664.00	R\$4,931,388.117		

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Contudo, apesar de medirmos a média e a variância, não temos neste caso, dados estatísticos o suficiente para realizar testes de Análise de Variância (ANOVA). Apesar da variância medida indicar que existe uma dispersão entre os valores estimados para cada método em relação à média, podemos apenas concluir que os valores encontrados de VEDA, variam entre si. Cabe salientar que o VERA foi maior em relação à média geral em R\$80,367,301.10, enquanto o CATE II foi menor R\$152,431,252.30 e VCP menor em R\$72,063,951.10. Nesse sentido, o VCP se aproximou mais da média geral quando tratamos os valores encontrados matematicamente. Porém essa informação torna-se irrelevante quando estamos tratando de abordagens metodológicas que são diferentes entre si e que estimam danos ambientais de formas diferentes. Mas, em casos judiciais, se restar dúvidas infinitas sobre qual a abordagem o juízo deverá escolher para valoração, a média entre os valores de diferentes métodos poderá ser utilizada, no sentido de que aquele método que mais se aproximar da média, poderá ser escolhido para negociações. No caso em estudo, seria o método VCP, uma adaptação do VERA.

Contudo, a escolha do método para a valoração em se tratando de rompimentos de barragens deve levar em consideração diversos fatores. Na prática, em eventos de desastres com barragens, leva-se tempo para que os danos ambientais sejam quantificados e não necessariamente a resposta a estes danos deve ser dada automaticamente pelos órgãos responsáveis pelas indenizações ambientais. Nesse caso, pode-se optar por métodos que dispensam maiores quantidades de tempo na sua elaboração, como os que utilizam o conceito VERA. Ele também é uma opção mais segura, quando se trata de arcabouço normativo para sua utilização, sendo que está pressuposto no Decreto da Política Nacional da Biodiversidade (Decreto nº 4.339, de 22 de agosto de 2002), presente na ABNT 2008, corrigida para 2009 na NBR 14653 - parte 6 - recursos naturais e ambientais (ABNT, 2009) e também na portaria IBAMA nº 118, de 03 de outubro de 2022 (IBAMA, 2022). Outra vantagem da utilização da

metodologia é que ela não é limitada a variáveis quantificáveis. Enquanto tiver variáveis quantificáveis no caso concreto ou não, elas poderão ser colocadas na metodologia.

Apesar das vantagens da utilização da metodologia VERA, ela precisa estar alinhada com o caso que será estudado ou o caso concreto e incorporar a máxima quantidade de variáveis possíveis para quantificar monetariamente o dano ambiental. Isso porque os resultados para valoração monetária encontrados nesta pesquisa, diferem substancialmente daqueles encontrados em outras pesquisas científicas para a mesma barragem em estudo. Veja na Tabela 4, abaixo:

Tabela 4. Comparações entre valores encontrados em diferentes pesquisas para valoração de danos ambientais

AUTOR	METODOLOGIA	VALORES	VALORES POR HECTARES
Silva (2020)	VERA	R\$39.306.763,72	R\$260,361.42
Barcelos et al. (2021)	VERA	R\$480,875,129.60	R\$3,185,236.34
Presente pesquisa	VEDA	R\$752,795,014.00	R\$4,986,388.117

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Silva (2020), chegou ao valor pecuniário de R\$39.306.763,72 para a mesma quantidade de hectares de vegetação suprimidos com o rompimento da barragem de Brumadinho utilizando a valoração contingencial da metodologia VERA. Por outro lado, Barcelos et al., (2021), que também utilizou a valoração contingencial, chegou ao valor de R\$189.712.676,15/ano para 297,98 hectares de área total afetada, independente se possuía vegetação natural ou não. Fazendo um paralelo com a presente pesquisa, equiparando a quantidade de hectares de 150,97 para supressão da vegetação natural, esse valor representaria o montante de R\$96,175. 025,92 por ano. Projetando essa estimativa para um período de 5 anos de rompimento da barragem de Brumadinho, se fosse realizado o cálculo do lucro cessante no trabalho de Barcelos et al., (2021), o valor proposto na pesquisa para indenização ambiental da vegetação natural, seria de R\$480,875,129.60 para os 5 anos, mesmo assim, é um valor bem abaixo do estimado na presente pesquisa, quando se trata da metodologia VERA. Isso pode ser explicado, pela forma como os pesquisadores manipulam e modelam as variáveis quantificáveis do dano para o rompimento. Pelas pesquisas, nota-se que cada pesquisador comunicou o dano de uma forma matemático-financeira diferente. Silva (2020), priorizou a capitalização de renda para capturar um valor único pela degradação ambiental da

área, enquanto Barcelos et al., (2021), priorizou o montante relacionado à perda de serviços ecossistêmicos, sem comunicar os efeitos dos danos nos cálculos.

Diante das informações mencionadas, a pesquisa proposta no presente trabalho, buscou preencher a lacuna existente nas pesquisas citadas, uma vez que foi priorizado tanto a perda de serviços ecossistêmicos, como os valores dos danos e o valor da influência desses danos ao longo dos anos.

Assim, esta pesquisa elege a metodologia VERA, como a ferramenta adaptável para valoração de danos que envolvem o rompimento de barragens de rejeitos de mineração, sendo necessário, portanto, adaptações na metodologia para sua aplicabilidade, para que sejam acopladas variáveis referentes a danos ambientais, quando tratamos do rompimento de barragens de rejeitos de mineração.

3. 5 Críticas às abordagens metodológicas para VEDA

Esta pesquisa apontou que, embora as metodologias para VEDA sejam ferramentas importantes para orientar as autoridades competentes na resposta a intervenções que causam danos ambientais, elas não são uma solução definitiva para tais problemas. Um dos principais motivos é que essas metodologias não conseguem estimar completamente os danos reais em uma determinada área, sendo baseadas em estimativas e projeções que podem variar significativamente da realidade. Além disso, a VEDA não consegue atribuir valores monetários à vida, incluindo a vegetação, que é uma parte vital do ecossistema. A VEDA não se trata, também, de uma indenização moral. Ela representa apenas uma dimensão financeira dos danos, sem capturar plenamente a extensão total da degradação ambiental.

Esta pesquisa também considera que não existe abordagem metodológica ideal para VEDA em casos de rompimentos de barragens. O que existe, é uma abordagem que pode ser adaptada para tentar estar mais próxima de valorar boa parte dos danos ambientais e assim, informar as autoridades competentes no tocante a indenização pecuniária dos danos. A escolha do método adaptável para a valoração nesse caso, deve levar em consideração diversos fatores. Na prática, em eventos de desastres com barragens, leva-se tempo para que os danos ambientais sejam quantificados e não necessariamente a resposta a estes danos deve ser dada automaticamente pelos órgãos responsáveis pelas indenizações ambientais. Assim, pode-se optar por valorar os danos por meio de métodos que dependem de maiores quantidades de tempo na sua elaboração, como os que utilizam o conceito VERA. Ele é considerado por esta pesquisa uma opção segura para ser utilizado em valorações judiciais

porque ele tem arcabouço normativo para sua utilização, está pressuposto no Decreto da Política Nacional da Biodiversidade (Decreto nº 4.339, de 22 de agosto de 2002), também está presente na ABNT 2008, corrigida para 2009 na NBR 14653 - parte 6 - recursos naturais e ambientais (ABNT, 2009) e na portaria IBAMA nº 118, de 03 de outubro de 2022 (IBAMA, 2022).

Outra vantagem da utilização da metodologia VERA é que ela não é limitada a variáveis quantificáveis. Enquanto tiver variáveis quantificáveis no caso concreto ou não, elas poderão ser colocadas na metodologia e não existe óbice jurídico para a utilização de diversos métodos do VERA para valorar os recursos ambientais vítimas de degradação. Porém, vale destacar que o objetivo do VEDA, que representa o valor do dano gerado e não do recurso em pé, de representar os danos ambientais em fórmula de cálculo e não ser uma ferramenta puramente de enquadramento jurídico normativo. Há de se considerar também, o quanto a ferramenta consegue valorar de variáveis ambientais.

Destaca-se, como crítica feita por esta pesquisa, a falta de consolidação mundial de valores de recursos e funções ambientais de biomas existentes na literatura técnico-científica. Sabe-se que estimar valores para recursos e funções ambientais de cada tipo de bioma existente no planeta Terra pode ser uma tarefa difícil. Todavia, a estimação de tais valores é importante para fins de cálculos de indenização e portanto tem sua aplicação para fins, não somente acadêmicos e de pesquisa, mas também para fins judiciais. Acredita-se que se mais pesquisas fossem realizadas nessa seara, poderia ser suprida a lacuna existente relacionada a insegurança jurídica que pode estar atrelada à utilização de valores existentes em publicações técnico-científicas relacionados à DAP ou a DAA, que se refere a opiniões de apenas uma parcela da população sobre o valor de determinado recurso ambiental, contidas em um recorte de contexto.

Outra crítica aos cálculos de VEDA está relacionada à dependência do valor do dólar, quando são utilizados valores de serviços ecossistêmicos como os da tabela de Costanza et al. (2014). Obviamente, que em outros países que não tem o dólar como a moeda oficial, a exemplo do Brasil, ao utilizar a tabela mencionada, deverá ser feita a conversão de moedas.

No entanto, surge a questão: o meio ambiente tem valores diferenciados dependendo do país? Ou não seria mais sustentável estabelecer um valor global para cada tipo de bioma existente na Terra? Bom, tanto a biodiversidade como as funções ecossistêmicas variam amplamente entre os diferentes biomas. O bioma Mata Atlântica, por exemplo, um dos biomas brasileiros onde estão localizadas quantidades expressivas de barragens, como

constatado em consulta por estados da federação ao site SNISB (2024), têm espécies e funções ecossistêmicas que não são encontradas em outras regiões do mundo.

Por isso, recomenda-se a outros pesquisadores o aprimoramento e melhoramento dos valores existentes na literatura científica relacionados a serviços ecossistêmicos, porque danos ambientais não deixarão de existir e os sistemas judiciários de responsabilização das empresas geradoras de danos necessitam de segurança quanto a esses valores, para que se possa aplicar uma justiça mais justa no tocante à degradação do meio ambiente.

Assim, esta pesquisa elege a metodologia VERA, como a ferramenta adaptável em se tratando de valoração de danos que envolvem o rompimento de barragens de rejeitos de mineração.

5 CONCLUSÃO

Diante das três abordagens utilizadas para valoração de danos por VEDA neste trabalho (VERA, CATE II e VCP) aplicadas no estudo de caso concreto do rompimento da barragem B1 em Brumadinho em 2019, conclui-se que a abordagem que mais se enquadrava para casos de rompimentos de barragens de rejeitos de mineração, foi a metodologia VERA, porque além dela permitir a incorporação de métodos diferentes para valoração, o que permite quantificar mais danos ambientais, ela permite a valoração de serviços ecossistêmicos e possui suporte normativo.

Apesar de não existir óbice jurídico para a utilização dos demais métodos em casos periciais, para casos de rompimento de barragens percebemos que os demais métodos testados neste trabalho, não são capazes de oferecer uma visão mais abrangente sobre danos ambientais. Porém, por meio de adaptações desses métodos, poderia ser possível a eleição deles para casos envolvendo rompimentos de barragens.

Vale ressaltar, que estudamos neste trabalho, a valoração apenas para a componente vegetação atingida. Para uma valoração completa dos danos ambientais de uma área, seriam necessários estudar também os danos ao solo, ao ar e à água. Este estudo, ofereceu apenas um exemplar de componente para a valoração. Assim, por meio da valoração das outras componentes, é possível fazer a VEDA total da área afetada.

Ainda que a VEDA seja uma ferramenta para quantificação financeira dos danos ambientais, ela não é e nunca será a solução para os danos ambientais sofridos em uma determinada área. Ela se compromete em ser uma ferramenta financeira para estimar os danos

ambientais, oferecer e subsidiar informações para tomada de decisões por autoridades competentes no âmbito jurídico-criminal relacionadas a indenizações.

O cálculo, antes de tudo, deve priorizar a comunicação dos danos, tipos de danos, que serviço não será prestado em advento do dano, etc e buscar quantificá-los, evitando que seja um cálculo baseado puramente em estimativas financeiras.

Por meio de melhorias e aprofundamentos no campo da pesquisa técnico científica, VEDA poderá ser utilizada para responsabilizar empresas mineradoras com base na estimativa de danos futuros, levando-as a internalizar os custos ambientais, e consequentemente a adotar práticas mais seguras. Caso, futuramente, empresas mineradoras sejam obrigadas a pagar fundos ou seguros de emergência para barragens, VEDA poderá ser utilizada como ferramenta para estimar previamente os danos ambientais e seus custos econômicos-financeiros.

Mas, primeiramente, para ser amplamente difundido e valorizado, VEDA precisa superar barreiras de visibilidade e implementação prática. Seu potencial de transformação da gestão ambiental e da prevenção de desastres pode ser realizado por meio de integração entre pesquisa, políticas públicas e engajamento da sociedade.

REFERÊNCIAS

ABNT/Coleção. **Associação Brasileira de Normas Técnicas. Coleções.** Normas técnicas para um mundo de oportunidades - ABNT 2008 (corrigida, 2009). Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?Q=SDAH>. Acesso em 04/04/2023.

AMBOS, Kai et al. **El Estatuto de Roma de la Corte Penal Internacional.** Books,v.1, 1999.

AGÊNCIA BRASIL . Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-06/vale-destina-r18-bi-ate-2023-para-obra-s-e-remocao-de-lama-em-minas>. Acesso em 03/02/2023.

ARAÚJO, Romana Coêlho de. **Valoração econômica do dano ambiental em inquérito civil público.** Brasília: Escola Superior do Ministério Público da União, 2011.

ARAÚJO, P. a. et al. Idade **Relativa como subsídio à determinação de ciclo de corte no manejo sustentável de povoamentos florestais nativos.** Revista Árvore. sociedade de Investigações Florestais. universidade Federal de Viçosa. Vol. 17. Número 1. Jan/Abril. 1993. 100-116.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14654-3: **recursos naturais e ambientais.**p.16.jun.2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14653 - **Avaliação de bens Parte 6: Recursos naturais e ambientais.** Fixa diretrizes para a valoração de recursos naturais e ambientais. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BANCO MERCANTIL. **Histórico de cotação do dólar.** Disponível em: <https://bancomercantil.com.br/Voce/Cartões/Paginas/Historico-de-Cota%C3%A7%C3%B5es-de-Dolar.aspx..> Acesso em 03/02/2023.

BADINI, Luciano. **Apresentação.** Revista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais, [S.1], 2011. Edição Especial meio ambiente, 2011.

Brasil. Conselho Nacional do Ministério Público. **Diretrizes para a valoração de danos ambientais.** Brasília: CNMP, 2021. 509 p. Disponível em: https://www.cnmp.mp.br/portal/images/Publicacoes/documentos/2021/DIRETRIZES-PARA-VALORACAO-DE-DANOS-AMBIENTAIS_compressed1.pdf. Acesso em 12/03/2023.

BRASIL. Lei nº 8.078 de 11 de setembro de 1990. **Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências.** Disponível em : http://www.planalto.gov.br/ccvil_03/leis/18078compilado.html#:~:tex=LEI%20N%C2%BA%208.078%2C%20DE%2011%20DE%20SETEMBRO%20DE%201990.&text=Disp%C3%b5e%20sobre%20a%20prote%C3%A7%C3%A3o%20do%20consumidor%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias. Acesso em 20 de março de 2023.

BRASIL. Decreto nº 4.339, de 22 de agosto de 2002. **Institui princípios e diretrizes para implementação da Política Nacional de Biodiversidade.** Diário Oficial da União, Brasília, 23 de ago. 2002b. Disponível em

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4339.html. Acesso em 21 de dezembro de 2022.

BARCELOS, Tiago Soares et al. **A valoração ecossistêmica da área afetada pela barragem 1 da Vale SA- Brumadinho/MG: uma análise pautada na teoria da sociedade de risco e do decrescimento**. DRd- Desenvolvimento Regional em debate, v. 11, p. 21-47, 2021.

BRASIL. 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**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.html. Acesso em 20 de março de 2023.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências**. Brasília, DF, 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm. Acesso em 24 de março de 2023.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil, de 05 de outubro de 1998**. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao.html. Acesso em 12 de janeiro de 2023.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. **Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.ttm. Acesso em 24/04/2023.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. **Dispõe sobre a Política Nacional de Segurança das Barragens e dá outras providências**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/-ato2007-2010/lei/112334.html. Acesso em 12 de janeiro de 2023.

CORDIOLI, Maria Luiza Apolinário et. al. **Aplicação de diferentes métodos de valoração econômica do dano ambiental em um estudo de caso da perícia criminal do estado de Santa Catarina**. Repositório UFSC, 2013.

CORRÊA, Rodrigo Studart; SOUZA, Álvaro Nogueira de. **Valoração de danos indiretos em perícias ambientais**. revista Brasileira de Criminalística, vol.2(1), 7-15, 2013. Disponível em <http://rbc.org.br/ojs/index.php/rbc/article/view/23/pdf>. Acesso em 13 de janeiro de 2023.

COSTANZA, R. et al. **The value of the world 's ecosystem services and natural capital**. Nature, v.387,1997.15 de maio de 1997.

COSTANZA, Robert et al. **Changes in the global value of ecosystem services**. Global environmental change, v. 26, p, 152-158, 2014.

CUNHA, Nivaldo Caetano da. **A metodologia oficial de valoração de recursos e dos danos ambientais no Brasil**. Conselho Nacional do Ministério Público, 2020.

CUNHA, Nivaldo Caetano da. **Curso Prático de Valoração Monetária Ambiental**.

DAJOZ, R. **Princípios de Ecologia**. 7. ed Porto Alegre: ArtMed editora, 2005. DALY.

Delpupo, Michely Vargas; Bueno, José Geraldo Romanello. **Responsabilidade civil por dano ambiental decorrente do rompimento de barragem**. REVISTA QUAESTIO IURIS, v.10, n.3, p. 2135-2168,2017.

DA SILVA, Sandey Bernardes. **Perícia Ambiental: Definições, Danos e Crimes Ambientais**. Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas, v. 13, n.1, 2012.

DE SOUZA, Lázaro Avelino; DE ARAÚJO, Sérgio Murilo Santos; BARBOSA, Maria de Fátima Nóbrega. **Rompimento de barragens na literatura científica internacional: Uma análise bibliométrica**. Research, Society and Development, v.10, n.5, p. e16610514780-e16610514780,2021.

DE SOUZA, Isaac Silva, **NOVAS TECNOLOGIAS APLICADAS EM BARRAGENS DE REJEITOS**, 2020.

DE VASCONCELLOS, Emanuelli BERRUETA. **O Ministério Público na tutela do meio ambiente**. 2015.

EMATER. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. **Valor da Terra Nua, 2024**. Disponível em:
<https://www.emater.mg.gov.br/portal.do?flagweb=novosite.vtn&grupo=1148>. Acesso em 02/04/2024.

ESTATUTO DE ROMA. Decreto nº 4.388, de 25 de setembro de 2002. **Promulga o Estatuto de Roma do Tribunal Penal Internacional**. Disponível em
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4388.htm. Acesso em 20/04/2023.

FARLEY, J. **Ecological Economics: Principles and Applications**. Washington DC: Island press,2004.

FERREIRA, Isabela Nicole Ribeiro da Silva. **(In) constitucionalidade x direitos humanos: responsabilidade em face das violações aos direitos à vida, à propriedade, ao meio ambiente e da dignidade da pessoa humana das vítimas dos rompimentos de barragens**, 2022.

FREELAND, Steven. **Derechos humanos, medio ambiente y conflictos: Enfrentando los crímenes ambientales**. Sur. Revista Internacional de Direitos Humanos, v. 2, p. 118-145, 2005.

HENKES, Silvana Lucia; GASTRAL, Alexandre Fernandes; MIELKE, Priscila. **O direito-dever à cultura e à preservação do patrimônio cultural**. Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, v.10, n.20, 2013.

IBAMA. **Portaria nº 83, 13 de setembro de 2022. Institui o Procedimento Operacional Padrão (POP) para o levantamento de Informações, pela Fiscalização, para a Caracterização do Dano Ambiental em áreas Alteradas ou Degradadas por Processo de Supressão de Vegetação Nativa sem prévia Licença/Autorização ou em Desacordo com Licença/Autorização Válida. Produzido em 2022**. Disponível em:

<https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao=139182>. Acesso em 02/01/2023.

ICOLD: **Committee on Seismic Aspect Of Dam Design Bulletins**. Internacional On Large Dams, Paris. Disponível em: <https://www.icold-cigb.org/>. Acesso em 23 de março de 2023.

INVESTING.COM. **Monitor de Taxa de Juros Federal Reserve**. Disponível em: <https://br.investing.com/central-banks/fed-ate-monitor>. Acesso em 29 de maio de 2024.

KOIFMAN, Gustavo Teixeira; CASTILHOS, Zuleica Carmen, CESAR, Ricardo Gonçalves. **Riscos ecológicos terrestres após o rompimento da Barragem I de mineração de ferro em Brumadinho (MG, Brasil)**, 2023.

LADEIRA, Josias Eduardo Rossi. **Avaliação de segurança em barragem de terra, sob o cenário de erosão tubular regressiva, por métodos probabilísticos: O caso UHE São Simão**. 2007.

LUZ, Alexia Rodrigues Campos et al. **Land cover effects on regenerants density and richness in restoration treatments in the Atlantic Rainforest biome**. Revista Árvore, 2024.

MARX, Karl. **Kritik des Gothaer Programms. MEW 19**. Berlin: Dietz Verlag, 1962.

LEITE, José Rubens Morato. **Dano Ambiental: do individual ao coletivo extrapatrimonial**. 2. ed. São Paulo: Revista dos tribunais. 2003.

LEITE, José Rubens Morato. **Dano ambiental na sociedade de risco**. Saraiva Educação SA, 2017.

LOPES, Luciano Motta Nunes. **O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais**. Sinapse Múltipla, v.5.1, p. 1-14, 2016.

MAGLIANO, Mauro. **Valoração de danos em crimes ambientais**. Experiência da Polícia Federal. Disponível em: www.mpf.mp.br. Acesso em: 25 de fevereiro de 2023.

MAIA, Alexandre Gori; ROMEIRO, Ademar Ribeiro; REYDON, Bastiaan Philip. **Valoração de recursos ambientais-metodologias e recomendações**. Texto para Discussão, instituto de economia/UNICAMP, v.116, 2004.

MENDES, Rafaella Gouveia et al. **A partial least squares-path model of causality among environmental deterioration indicators in the dry period of Paraopeba River after the rupture of B1 tailings dam in Brumadinho (Minas Gerais, Brazil)**. Environmental pollution, v.306,p.119341, 2011.

MEDEIROS, Marcelino Antônio Asano de; ARRUDA, Flávia Silva Tavares de. **Valoração Econômica do Meio Ambiente; ciência ou empirismo?** Cadernos de Ciência e Tecnologia, Brasília, v.17,n.2,p.81-115, maio/ago.2000.

MINAS GERAIS. Lei Estadual nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019. **Institui a Política Estadual de Segurança das Barragens**. Minas Gerais Diário do executivo de 26.02.2019 -

pág. 1 Col. 1). Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/LEI/23291/2019>. Acesso em 28 de março de 2023.

MINAS GERAIS. Decreto nº 48140, de 25 de fevereiro de 2021. **Regulamenta dispositivos da lei nº 23. 291, de 25 de fevereiro de 2019, que institui a política Estadual de Segurança de Barragens**, estabelece medidas para aplicação do art. 29 da lei nº 21.972, de 21 de janeiro de 2016, e dá outras providências. Disponível em : <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/DEC/48140/2021/>. Acesso em 28 de março de 2023.

MINAS GERAIS. Decreto nº 48.078, de 05 de novembro de 2020. **Regulamenta os procedimentos para análise e aprovação do Plano de Ação de Emergência - PAE -**, estabelecido no art, v.9, 2020. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/DEC/48078/2020>. Acesso em 28 de março de 2023.

Ministério Público do Estado de Minas Gerais. Revista MPMG Jurídico, edição especial meio ambiente: **a valoração de serviços e danos ambientais**, belo horizonte, p.24-30, jul./set. 2011. Disponível em : <https://www.mpmg.mp.br/coneca-o-mpmg/escola-institucional/publicacoestecnicas/revista-mpmg-juridico>. Acesso em 10 de novembro de 2022.

Ministério Público do Estado de Minas Gerais. **Ação Civil Pública**. Disponível em [https://www.mpmg.mp.br/data/files/21/F\\$/E1/51/2/D44A7109CEB34A7760849A8/Brumadinho%20-%20ACP%20Principal%20-%20_rea%20sociec_nomica%20.pdf](https://www.mpmg.mp.br/data/files/21/F$/E1/51/2/D44A7109CEB34A7760849A8/Brumadinho%20-%20ACP%20Principal%20-%20_rea%20sociec_nomica%20.pdf). 2019. Acesso em 23 de março de 2023.

MIRRA, Álvaro Luiz Valery. **Ação civil pública e a reparação do dano ao meio ambiente**. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2002.

MOTTA, Ronaldo serôa da. **Economia ambiental**. rio de janeiro: FGV Editora, 2006.

MOTTA, R.S.da. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. Brasília: MMA, 1998.

NOTÍCIAS DE MINERAÇÃO. MPMG realiza nova operação em “barragens-fantasma” da Vale. **Notícias de Mineração, 2020**. Disponível em: <https://www.noticiasdemineracao.com/seguran%C3%A7a/news/1289875/mpmg-realiza-nova-opera%C3%A7%C3%A3o-em-barragens-fantasma-da-vale>. Acesso em 12/05/2023.

PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias de et al. **Barragens e Rupturas: compilação histórica nacional e internacional**. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (23.: Foz do Iguaçu, 2019). Anais [recurso eletrônico]. Porto Alegre: ABRH, 2019.

PEARCE, D.; MORAN, D. **The economic value of biodiversity**. Earthscan, 1994.

PEARCE, et al. **Valuing the future**. World economics, [S.1.], v. 4, n.2, p. 121 - 141, 2003.

PEARCE, D. **Economic values and the natural world**. Londres: Earthscan publications, 1993.

- PEREIRA, F.L.; CRUZ, G.B.; GUIMARÃES, R. M. F. **Impacto do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada na cobertura da terra.** Journal of Environmental Analysis and Progress. v.04, n. 02, p.122-129, 2019. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.4.2.2019.2373.122-129>.
- POLIGNANO, Marcus Vinicius, LEMOS, Rodrigo Silva. **Rompimento da barragem da Vale em Brumadinho: impactos socioambientais na Bacia do Rio Paraopeba.** Ciência e Cultura, v.72, n.2, p.37-43, 2020.
- PEREIRA, Adriana Soares et. al. **Metodologia da pesquisa científica.** 2018.
- RIBAS, L.C. **Metodologia de valoração de danos ambientais - caso florestal.** tese (doutorado) - Escola politécnica da universidade de são paulo, USP, São Paulo, 1996.
- RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; GANDOLFI, Sergius; BRANCALION, Pedro Henrique Santin. **Restauração florestal.** Oficina de Textos, 2015.
- SAMPAIO, José Adércio Leite. **Arqueologia e história do princípio da proporcionalidade.** Espaço Jurídico Journal of Law [EJJL], v.23.n.2,p.393-414,2022.
- SANTOS, J.E; Nogueira, F.; Pires, J.S.R; Obara, A.T. & Pires, A. M.Z.C.R. **Funções Ambientais e Valores dos Ecossistemas Naturais. Estudo de Caso.** estação Ecológica de Jataí, v.1. São Paulo, Rima Editora, 2000.
- SILVA, Washington Pirete da. **Estudo do Potencial de liquefação estática de uma barragem de rejeito alteada para montante aplicando a metodologia de Olson (2001).** 2010.
- SILVA, Shisnara Bryeska Barros da. **Valoração econômica de danos à vegetação natural decorrente do rompimento da barragem de rejeitos Mina do Feijão em Brumadinho,** Minas Gerais, 2020.
- SILVA, Mariano Andrade da et al. **Sobreposição de riscos e impactos no desastre da Vale em Brumadinho.** Ciência e Cultura, v. 72, n.2, p.21-28, 2020.
- SILVA, Gabriela Fideles; SANTANA, Fernanda Mello. **Degradação ambiental e desastres socioambientais: o princípio da prevenção como meio de proteção da saúde e do meio ambiente - uma análise do caso de Brumadinho.** Meio Ambiente (Brasil), v.3,n.2, 2021.
- SILVA, Fabiana Ingrid Torres da. **Construção e desativação de barragens: caso Brumadinho.** 2022.
- SIGBM. **Sistema de Informações sobre Gestão de Barragens.** Disponível em: <http://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>. Acesso em 08/02/2023.
- SIGBM. **Sistema de Informações sobre Gestão de Barragens.** Disponível em: <http://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>. Acesso em 02/04/2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS (SNISB). **Barragens**. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/barragens>. Acesso em 24/04/2023

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS (SNISB). **Quem fiscaliza**. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/barragens>. Acesso em 24/04/2024.

SOARES, Ana Luiza Cunha et. al. **Impacto do rompimento da barragem de rejeitos de minério de ferro da Mina do Feijão, em Brumadinho, quanto ao uso e à cobertura do solo e à qualidade das águas superficiais do rio Paraopeba**. Revista da Universidade Federal de Minas Gerais, v. 27, n.2, p. 356-381,2020.

SOARES, Alexandra Fátima Saraiva; Diniz, Paula Santana; De Moraes Silva, Luís Fernando. **Valoração de danos aos recursos hídricos em Brumadinho**. Dom Helder Revista de Direito, v. 3, n. 6, 2020.

SUDECAP/PBH. Superintendência de Desenvolvimento da Capital. **Tabela de preços 2023**. disponível em: <https://www.prefeitura.pbh.gov.br/sudecap/tabela-de-precos>. acesso em 03/03/2024.

STEIGLEDER, Annelise Monteiro. **Responsabilidade civil ambiental: as dimensões do dano ambiental no Direito Brasileiro**. Porto Alegre: Livraria do Advogado Editora, 2004. VALORAÇÃO ECONÔMICA DE DANOS AMBIENTAIS. **Coletânea da Central de Apoio Técnico do Ministério Público do Estado de Minas Gerais**. Disponível em: http://www.cntp.mp.br/portal/images/CMA/Valoracao_economica_de_danos_ambientais-CEAT.pdf. Acesso em 15/02/2023.

VALORAÇÃO ECONÔMICA DE DANOS AMBIENTAIS. Coletânea da Central de Apoio Técnico do Ministério Público de Minas Gerais.

VIEIRA, Simone Aparecida et al. **Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest**. Biota Neotropica, v.8,p.21-29, 2008.

TIETENBERG. T. **Environmental and natural resource economics**. Harper Collins Publishers. Second Edition. USA, 1998.

TINDOVA, Maria Gennadievna. **Modelo difuso para avaliação econômica de danos ambientais**. Economia: ontem, hoje amanhã, n.3-4, pág.129-139, 2012.

THOMÉ, Romeu; PASSINI, Matheus Leonardo. **Barragens de rejeitos de mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais**. Ciências Sociais Aplicadas em Revista, v.18, n.34, p. 49-65,2018.

VALE S.A. **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM)**. Disponível em: <http://vale.com/pt/paebm/vargemgrande>. Acesso em 04 set. 2023.

VALE S.A. **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM)**. Disponível em: <http://vale.com/pt/paebm/vargemgrande>. Acesso em 12 jan. 2024.