



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DO CABO DE SANTO AGOSTINHO
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

EDUARDO JORGE NUNES CAVALCANTI

Diretrizes para descaracterização de barragem com abordagem na análise de
estabilidade e recuperação ambiental - Estudo de caso

Cabo de Santo Agostinho – PE

2023

EDUARDO JORGE NUNES CAVALCANTI

Diretrizes para descaracterização de barragem com abordagem na análise de estabilidade e recuperação ambiental - Estudo de caso

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho da Universidade Federal Rural de Pernambuco para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Thalita Maria Ramos Porto de Moraes.

Cabo de Santo Agostinho – PE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

C377d Cavalcanti, Eduardo Jorge Nunes.
Diretrizes para descaracterização de barragem com
abordagem na recuperação ambiental / Eduardo Jorge
Nunes Cavalcanti. – Cabo de Santo Agostinho, 2023.
52 f.; il.

Orientador(a): Thalita Maria Ramos Porto de Moraes.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade
Acadêmica Cabo de Santo Agostinho - UACSA,
Bacharelado em Engenharia Civil, Cabo de Santo
Agostinho, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Barragens de rejeitos. 2. Solos - Erosão . 3. Costa -
Proteção. 4. Monitoramento
5. Recuperação ecológica . I. Moraes, Thalita
Maria Ramos Porto de, orient. II. Título

CDD 624

Eduardo Jorge Nunes Cavalcanti

Diretrizes para descaracterização de barragem com abordagem na análise de estabilidade e recuperação ambiental – Estudo de caso

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho da Universidade Federal Rural de Pernambuco para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 28 de abril de 2023.

Banca examinadora

Profa. Dra. Thalita Maria Ramos Porto de Moraes
Orientadora - UFRPE/UACSA

Profa. Dra. Cecília Maria Mota Silva Lins
Examinador interno – UFRPE/RECIFE

Prof. Dr. Samuel França Amorim
Examinador interno - UFPE/RECIFE

DEDICATÓRIA

Dedico a mim mesmo e a minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo discernimento.

Aos meus pais, Tânia Nunes e Alberto Cavalcanti, pela coragem, dedicação, amor e ensinamentos. A minha sobrinha Maria Lizzie, que chega nas nossas vidas como um raio de esperança.

Aos meus familiares, que sempre estiveram comigo, em especial minha tia Maria de Fátima e minha tia Rosa Maria.

A orientadora Prof.^a Dr.^a Thalita Porto, e em seu nome agradeço a todo corpo docente da UACSA, por estarem dispostos a dividir suas experiências e conhecimentos.

A todos que compõem minha primeira equipe de trabalho, em especial, Dr.^a Ana Cadete, Dr.^a Roseane Silva e Eng.^a Lara Lis, pelo suporte e parceria na caminhada.

Aos meus orientadores de vida, Dr.^a Cecília Lins e Dr. Samuel Amorim, pelo carinho e apoio.

Por fim, agradeço a todos os demais amigos, que estiveram comigo durante esta jornada, no nome de Sabrina, Paulo, Manu, Juliana, Ana e Samuel.

RESUMO

Os desastres de rompimento de barragens nas últimas décadas evidenciaram problemas ambientais e sociais relacionados ao risco de danos irreparáveis ao meio ambiente e às comunidades locais. Esses eventos foram decisivos para a ampliação de um acompanhamento mais rigoroso das barragens, porém, em alguns casos, as estruturas não atendem aos padrões atuais de segurança e estabilidade, sendo a descaracterização uma das alternativas mais discutidas. A Lei nº 14.066 de 2020 determinou a descaracterização de barragens que não oferecessem mais condições de segurança, o que atingisse uma demanda crescente para a elaboração desses projetos, com preocupação consistente na recuperação ambiental da área degradada pela atividade mineradora. O estudo tem o objetivo de apresentar os diferentes requisitos e diretrizes para um desenvolvimento de um plano de recuperação ambiental em um processo de descaracterização de barragem, com base em um estudo de revisão bibliográfica. A metodologia consiste em três pontos principais: o primeiro, o desenvolvimento de um referencial teórico sobre a descaracterização de barragens de rejeito no Brasil; o segundo, uma análise de estudos que abordaram possíveis soluções para problemas aplicáveis a um plano de recuperação ambiental; e o terceiro, a apresentação dos requisitos e diretrizes para auxiliar na elaboração do plano. O estudo apresentou as bases legais para o desenvolvimento das atividades de descaracterização no Brasil, abordando os requisitos necessários para a elaboração de um plano de recuperação ambiental, com foco em duas das questões que envolvem a descaracterização: os impactos ambientais e sociais e a estabilidade de taludes expostos. A avaliação dos estudos bibliográficos, sugeriu a cobertura vegetal com espécies nativas associada a um sistema de drenagem superficial, para auxílio na proteção dos taludes remanescentes, bem como a utilização do plantio de hidrossemeadura associada a Manta Vegetal Projetada como suporte para crescimento das plantas, protegendo o solo, conduzindo o escoamento superficial e atenuando o impacto visual dos taludes. O impacto ambiental e social da descaracterização está relacionado com o transporte de rejeito nas atividades de escavação e regularização da camada superficial, neste ponto, a análise bibliográfica sugeriu a remineração como um dos processos de intervenção sustentável mais indicado para rejeito, uma vez que auxilia reduzir o volume de rejeitos depositados em barragens, além de recuperar minerais valiosos que poderiam ser perdidos. Tais medidas são sugeridas como forma de auxiliar a manutenção da segurança e sustentabilidade da obra.

Palavras-chave: rejeito remanescente; linha freática; cobertura vegetal nativa; monitoramento; remineração.

ABSTRACT

Dam failure disasters in recent decades have highlighted environmental and social problems related to the risk of irreparable damage to the environment and local communities. These events were decisive in expanding more rigorous monitoring of dams, however, in some cases, the structures do not meet current safety and stability standards, with decommissioning being one of the most discussed alternatives. Law No. 14,066 of 2020 determined the decommissioning of dams that no longer offered safety conditions, which met a growing demand for the development of these projects, with a consistent concern for the environmental recovery of the area degraded by mining activity. The study aims to present the different requirements and guidelines for developing an environmental recovery plan in a dam decommissioning process, based on a literature review study. The methodology consists of three main points: the first, the development of a theoretical framework on the decommissioning of tailings dams in Brazil; the second, an analysis of studies that addressed possible solutions to problems applicable to an environmental recovery plan; and the third, the presentation of requirements and guidelines to assist in the preparation of the plan. The study presented the legal bases for developing decharacterization activities in Brazil, addressing the necessary requirements for preparing an environmental recovery plan, focusing on two of the issues involving decharacterization: environmental and social impacts and the stability of exposed slopes. The evaluation of the bibliographic studies suggested vegetation cover with native species associated with a surface drainage system, to help protect the remaining slopes, as well as the use of hydroseeding planting associated with Projected Vegetation Blanket as support for plant growth, protecting the soil, conducting surface runoff and attenuating the visual impact of the slopes. The environmental and social impact of decharacterization is related to the transportation of waste in excavation activities and the regularization of the surface layer. At this point, the bibliographic analysis suggested remaining as one of the most suitable sustainable intervention processes for waste, since it helps to reduce the volume of waste deposited in dams, in addition to recovering valuable minerals that could otherwise be lost. Such measures are suggested to help maintain the safety and sustainability of the work.

Keywords: remaining tailings; phreatic line; native vegetation cover; monitoring; remaining.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fluxograma com as etapas do desenvolvimento do estudo.	14
Figura 2: Fases do ciclo de uma mina e de uma estrutura de disposição de rejeitos.	15
Figura 3: Sequenciamento construtivo do método a montante.	16
Figura 4: Sequenciamento construtivo do método a jusante.	17
Figura 5: Sequenciamento construtivo do método de linha de centro.	18
Figura 6: Barragem de Fundão, (a) antes e (b) depois da ruptura.	19
Figura 7: Rompimento da Barragem em Brumadinho.	20
Figura 8: Etapas para o desenvolvimento de um projeto de descaracterização de barragem de rejeito.	24
Figura 9: Etapas de um programa de encerramento de estruturas de disposição de rejeitos.	25

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Impactos sociais e ambientais.....	36
Quadro 2: Medidas mitigadoras e compensatórias para recuperação ambiental em projeto de descaracterização de barragem.	39
Quadro 3: Diretrizes para a elaboração de um plano de recuperação ambiental.	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	METODOLOGIA	14
4	BARRAGENS DE REJEITOS NO BRASIL.....	15
4.1	LEGISLAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA	18
5	DESCARACTERIZAÇÃO DE BARRAGEM DE REJEITO	21
6	REQUISITOS PARA UM PLANO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL	26
6.1	LICENCIAMENTO AMBIENTAL E OUTORGA.....	26
6.2	IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS	28
6.3	ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP).....	30
6.4	UNIDADE DE CONSERVAÇÃO (UC) E ÁREAS PRIORITÁRIAS.....	31
6.5	ÁREA DIRETAMENTE AFETADA (ADA)	32
6.6	ZONA DE AUTOSSALVAMENTO (ZAS) E ZONA DE SALVAMENTO SECUNDÁRIO.....	32
7	PLANO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA DESCARACTERIZAÇÃO DE UMA BARRAGEM	33
8	SOLUÇÕES APLICÁVEIS AO PLANO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA DESCARACTERIZAÇÃO DE UMA BARRAGEM DE REJEITO	40
9	DIRETRIZES PARA UM PLANO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE UM PROCESSO DE DESCARACTERIZAÇÃO DE BARRAGEM DE REJEITO	44
10	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

O rompimento de barragens é uma problemática ambiental e social grave. Os eventos em Mariana (MG) em 2015, seguido por Brumadinho (MG) em 2019, são exemplos trágicos. Tais acontecimentos resultaram em perda de vidas humanas, danos ambientais significativos e prejuízos financeiros substanciais (Laschefski, 2020; Rocha *et al*, 2016; Neves-silva e Heller, 2020).

De acordo com Lacaz (2017) a origem da tragédia está diretamente relacionada ao modelo da megamineração de minério de ferro, particularmente em Minas Gerais e em Carajás, no Pará. Laschefski (2020) aborda em seu trabalho que o evento não foi resultado de uma catástrofe natural, mas sim de uma negligência criminosa. Negligência não apenas das empresas envolvidas, mas também dos órgãos públicos responsáveis pelo licenciamento e pela fiscalização das barragens.

Esses eventos revisitaram a necessidade de um monitoramento mais rigoroso das barragens, no entanto, em alguns casos, as estruturas são barragens antigas que foram construídas sem a utilização de tecnologias modernas de engenharia, e que não atendem aos padrões de segurança e sustentabilidade atuais, sendo a descaracterização uma das alternativas mais abordadas. Thomé e Ribeiro (2019) abordam que barragens de rejeito, ativas ou desativadas, podem representar uma grande ameaça à vida humana e ao meio ambiente caso não sejam adequadamente monitoradas e descaracterizadas.

A descaracterização de barragens é regulamentada pela Lei n.º 14.066 de 2020, que alterou a Lei n.º 12.334 de 2010 (Brasil, 2020) e que determina que as barragens que não oferecem mais condições de segurança devem ser descaracterizadas, ou seja, devem ser desativadas e recuperadas ambientalmente para evitar possíveis riscos.

Um projeto de descaracterização envolve várias etapas. Segundo Fernandes *et al*. (2022) as etapas a serem seguidas para descaracterização de uma estrutura dependem de fatores limitantes de projeto, bem como de fatores associados a custo, técnica e prazo. Dentro de um projeto é feita a avaliação das características da barragem e são realizados estudos de análise de estabilidade. A etapa de escavação envolve a retirada do material do reservatório, o que pode incluir a remoção de sedimentos e resíduos. Depois, é feita a desmontagem dos

componentes da barragem, como a estrutura principal e as comportas. Por fim, a área é restaurada e monitorada para garantir que não haja impactos ambientais ou riscos de segurança.

Thomé e Ribeiro (2019) afirmam que as normas ambientais nacionais passaram a exigir que o empreendimento apresente ao poder público as medidas a serem adotadas tanto para evitar ou minimizar os impactos socioambientais da fase final da exploração mineral, quanto para a recuperação da área degradada pelo empreendimento.

Visando abordar a problemática sobre a elaboração de um projeto de descaracterização de barragem, esse trabalho justifica-se pela necessidade criada pela Lei n.º 14.066 que determina a descaracterização de barragens que não oferecem mais condições de segurança e pela crescente na elaboração desses projetos (Brasil, 2020).

O trabalho foi inicialmente pensado para ser base de um estudo de caso, com abordagem na análise de estabilidade e recuperação ambiental da área degradada pela barragem de mineração e pela obra de descaracterização da estrutura. Em razão de privacidade dos dados utilizados, as partes referentes a análise de estabilidade e estudo de caso foram suprimidos do trabalho aberto ao público, mas apresentado a banca para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Desta forma, do item 2 ao item 10, o trabalho trata apenas das diretrizes para descaracterização de barragem com abordagem na recuperação ambiental, com base em um estudo de revisão bibliográfica.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar os diferentes requisitos e diretrizes para um desenvolvimento de um plano de recuperação ambiental em um processo de descaracterização de barragem, com base em um estudo de revisão bibliográfica.

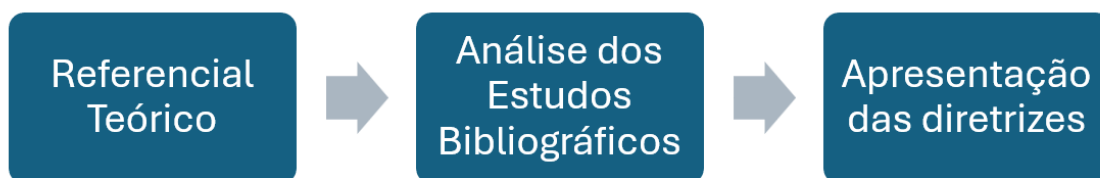
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar, por meio de uma revisão bibliográfica, os requisitos necessários para um desenvolvimento de um plano de recuperação ambiental de um processo de descaracterização de barragem;
- Definir, por meio da revisão bibliográfica, possíveis diretrizes para o desenvolvimento de um plano de recuperação ambiental de um processo de descaracterização de barragem;

3 METODOLOGIA

Para obter as respostas acerca da problematização apresentado neste trabalho, o estudo consistiu em três pontos principais, o primeiro, com o desenvolvimento de um referencial teórico acerca da descaracterização de barragens de rejeito no Brasil, apresentando os requisitos para a elaboração de um plano de recuperação ambiental, o segundo, com a análise de estudos bibliográficos que abordem possíveis soluções para problemáticas dentro do desenvolvimento de um plano de recuperação ambiental, e o terceiro, com a apresentação das diretrizes que possam auxiliar na elaboração do plano. O fluxograma da metodologia é representado na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma com as etapas do desenvolvimento do estudo.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O referencial teórico compreendeu a apresentação de conceitos e estudos que envolvem o tema de descaracterização de barragem de rejeito, com a finalidade de apresentar a necessidade e os pontos principais para o desenvolvimento do plano de recuperação ambiental.

A análise dos estudos bibliográficos avalia uma série de soluções para problemáticas semelhantes aos abordados dentro de um plano de recuperação ambiental, que podem ser empregados para a aplicação do plano em um projeto de descaracterização de barragem de rejeito.

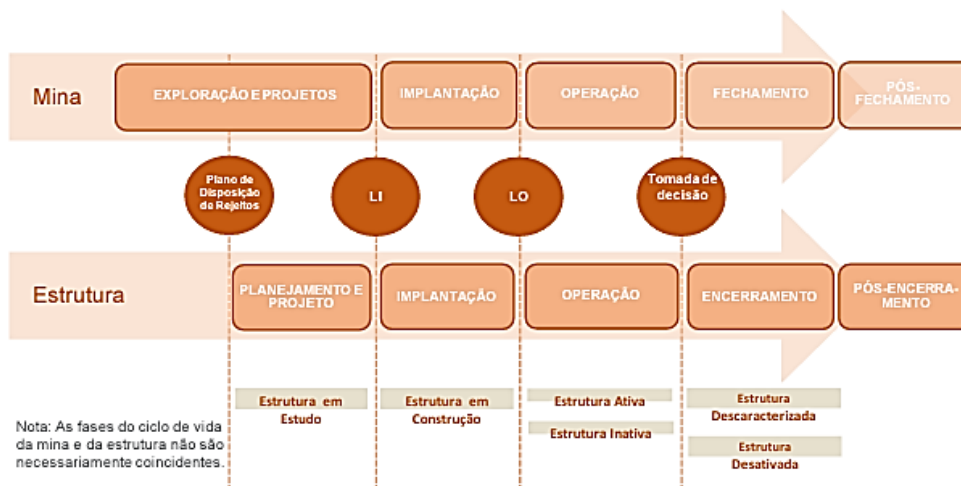
Em face do exposto na análise, são apresentadas diretrizes que tem por finalidade auxiliar no desenvolvimento de um plano de recuperação ambiental de uma descaracterização de uma barragem de rejeito.

4 BARRAGENS DE REJEITOS NO BRASIL

As barragens de rejeito são um dos métodos de disposição de rejeitos mais utilizados atualmente, são definidas pela Resolução ANM n.º 95/2022 como qualquer barragem, barramento, dique, cava com barramento construído, associado às atividades desenvolvidas com base em direito minerário, construídos em cota superior à da topografia original do terreno. Eles podem ter caráter temporário ou definitivo para fins de contenção, acumulação, decantação ou descarga de rejeitos ou de sedimentos provenientes de atividades de mineração com ou sem captação de água associada.

A atividade do barramento é classificada acordo com a Resolução ANM n.º 95/2022 como em construção (etapa de levantamento do barramento), ativa (etapa de funcionamento), abandonada ou desativada (etapas de inatividade). Todas essas etapas são expressas na Figura 2.

Figura 2: Fases do ciclo de uma mina e de uma estrutura de disposição de rejeitos.



Fonte: IBRAM, 2019.

Salienta-se a diferença entre uma barragem abandonada e desativada, ambas não recebem rejeitos e/ou sedimentos da mineradora, mas a desativada possui medidas de controle e/ou monitoramento, com manutenção preventiva e/ou corretiva do empreendedor, descaracterizando o abandono da estrutura.

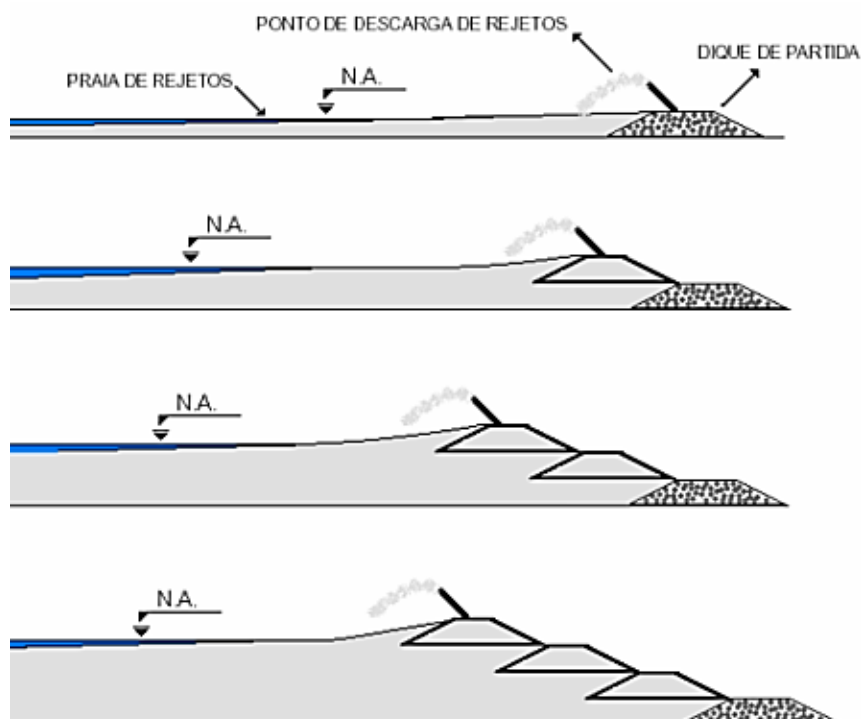
A construção de barragens pode ser feita por alguns métodos. Esses métodos, segundo Russo (2007), estão dispostos em duas maneiras distintas, em uma única etapa ou em várias etapas (alteamentos). É importante destacar

que o sistema de construção em alteamentos é uma prática comum na mineração em todo o mundo, tendo em visto que, com o decorrer do tempo, a capacidade de armazenamento das barragens de rejeito se esgota, tornando-se necessário construir novos alteamentos para aumentar a capacidade de armazenamento desses resíduos.

Quanto aos métodos construtivos por meio de alteamentos sucessivos, existem três tipos clássicos que podem ser citados: Método de Montante, Método de Jusante e Método de Linha de Centro.

O método de alteamento a montante (Figura 3) é o mais antigo, comum e simples. Nesse método, o material de rejeito é depositado sobre a parte mais baixa da barragem, de modo que cada camada seja construída sobre a anterior. Esse processo pode ser repetido diversas vezes, com a barragem se tornando cada vez mais alta.

Figura 3: Sequenciamento construtivo do método a montante.



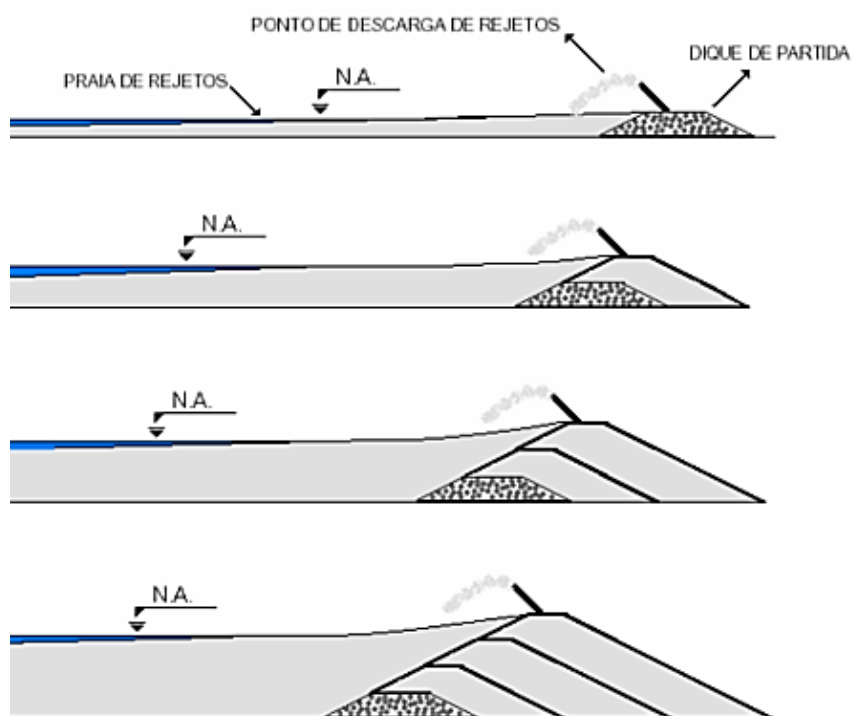
Fonte: Russo, 2007.

Milonas (2006) afirma que, o método de alteamento a montante apresenta como desvantagem a dificuldade de implementação de drenagem interna, podendo causar problemas de estabilidade e *piping*, se houver surgência de

água no talude. O que o torna, entre todos, o mais perigoso, pois a barragem está sempre apoiada sobre material não consolidado, aumentando o risco de rompimento.

O método de jusante (Figura 4) é um pouco mais sofisticado do que o método de montante, e envolve a construção de uma barragem à jusante da barragem original.

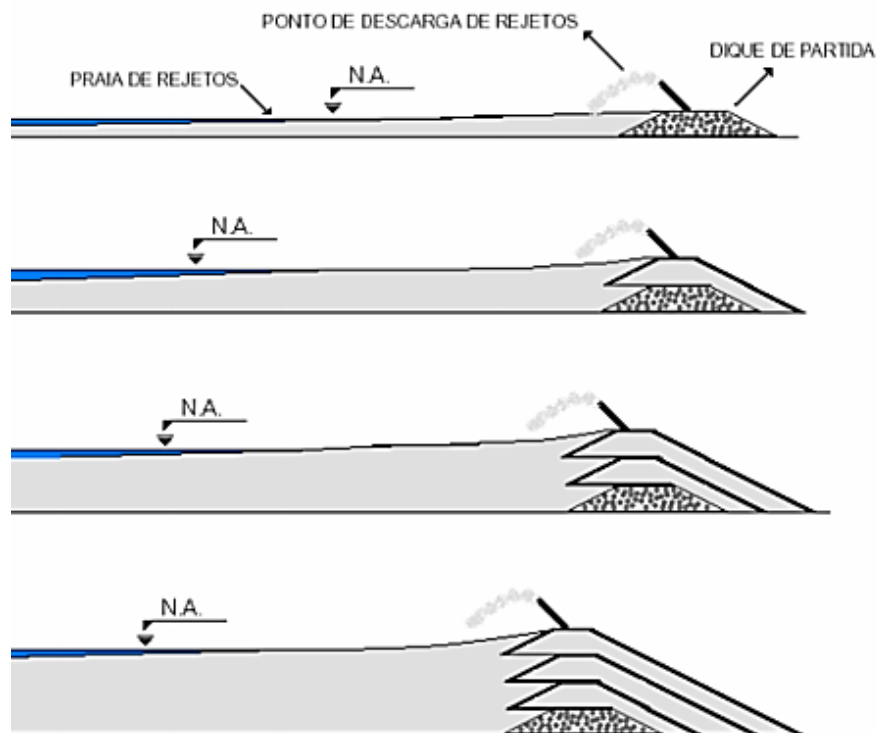
Figura 4: Sequenciamento construtivo do método a jusante.



Fonte: Russo, 2007.

O método de linha de centro (Figura 5) é uma combinação dos dois métodos anteriores. Ele envolve a construção de uma nova barragem no meio do reservatório existente, permitindo que a barragem original seja esvaziada e reformada. O material é depositado na nova barragem, e a água é liberada através do sistema de drenagem.

Figura 5: Sequenciamento construtivo do método de linha de centro.



Fonte: Russo, 2007.

4.1 LEGISLAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA

A situação do Brasil quanto a implementação de barragens está diretamente relacionada com a propriedade mineral. Em 28 de fevereiro de 1967, o Decreto-Lei n.º 227 que dispõe sobre o Código de Minas, é a lei que estabeleceu as primeiras diretrizes legais para a construção de barragens de rejeitos no Brasil. Esse código tem como objetivo a regulamentação da pesquisa e da lavra de minerais no Brasil, abrangendo as etapas de exploração, extração e beneficiamento, bem como o transporte, comercialização e armazenamento de substâncias minerais.

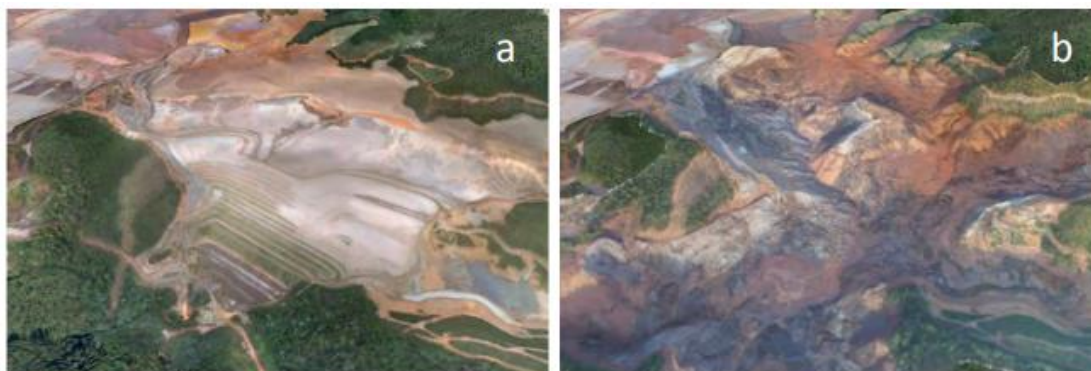
O Código de Minas também prevê a necessidade de autorização prévia para a construção de barragens de rejeito, estabelecendo critérios para a sua construção, operação e manutenção. A lei determina que as barragens devem ser construídas com o intuito de garantir a sua estabilidade, evitando riscos de acidentes e danos ambientais (Brasil, 1967).

Depois de 1967, a legislação ambiental e de segurança de barragem foi avançando a passos lentos. As duas principais leis criadas até o ano de 2015, foram:

- Lei n.º 6.938/1981: Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e estabelece critérios para licenciamento ambiental de empreendimentos.
- Lei n.º 12.334/2010: Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e define parâmetros para classificação de barragens e gestão de riscos.

O avanço das legislações voltados a barragens de mineração, deu-se com os desastres ambientais, ocorridos em Mariana e em Brumadinho. O desastre de Mariana (Figura 6) em 5 de novembro de 2015, com o rompimento da barragem do Fundão, da mineradora Samarco, liberou mais de 40 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração, que percorreram mais de 600 km de extensão na bacia do Rio Doce, em Minas Gerais, com 19 mortes e danos socioambientais irreversíveis na região (Passarinho, 2019).

Figura 6: Barragem de Fundão, (a) antes e (b) depois da ruptura.



Fonte: Morgenstern *et al.*, 2016.

Em 2017, a Lei n.º 13.575 alterou o Código de Minas, atualizando as regras para a construção e operação de barragens de rejeito no país. A nova legislação cria a Agência Nacional de Mineração (ANM) que tem função de implementar a o PNSB, requisitar, regular, normatizar e fiscalizar a atividade de mineração no país.

Em 25 de janeiro de 2019, ocorre o desastre de Brumadinho (Figura 7)., com o rompimento da barragem da mina Córrego do Feijão, em Minas Gerais, de responsabilidade da VALE S.A. O ocorrido deixou 270 pessoas mortas e cerca de 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos liberados, que percorreram mais de 46 km de extensão (Passarinho, 2019). Diferente do ocorrido em Mariana, as obras já estavam concluídas a cerca de 3 anos, estando descomissionados a barramento e o reservatório, ou seja, apenas se monitoravam o processo de sua integração no meio ambiente.

Figura 7: Rompimento da Barragem em Brumadinho.



Fonte: G1, 2019.

Em agosto de 2019, foi editada a Resolução n.º 13 (BRASIL, 2019) da Agência Nacional de Mineração (ANM), que determinou a interdição imediata de todas as barragens que apresentem risco iminente de rompimento ou que estejam classificadas como categoria de risco alto ou crítico. A resolução também estabeleceu prazos para a realização de inspeções, a elaboração de planos de segurança e a implementação de medidas de segurança em todas as barragens do país.

Em 2020, A Lei n.º 14.066, alterou a Lei n.º 12.334, e estabeleceu a proibição da construção de barragens pelo método de alteamento a montante, a necessidade de recuperação ambiental das áreas impactadas pela atividade mineradora e a necessidade de recuperar, desativar ou descaracterizar as barragens de mineração que não atendam aos requisitos de segurança, de acordo com os termos da legislação.

Em 7 de fevereiro de 2022 a ANM, por meio da Resolução n.º 95, consolidou os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração, em relação as medidas regulatórias aplicáveis, como o processo de classificação das barragens quanto aos seus riscos e aos danos potenciais associados em caso de rompimento, bem como quanto à sua categoria de dano potencial associado.

A classificação de barragens de rejeito, por nível de emergência, é feita de acordo com o potencial de dano ambiental e socioeconômico, em caso de rompimento da estrutura. A Resolução da ANM n.º 95 (Brasil, 2022) estabelece 3 níveis de emergência, sendo o nível 1, o de menor potencial de dano, e o nível 3, o de maior potencial de dano.

O método é baseado em critérios como volume de rejeitos, localização da barragem em relação a áreas urbanas e ecossistemas sensíveis, características geotécnicas da estrutura, histórico de segurança da barragem e plano de contingência.

A Resolução da ANM n.º 95 (Brasil, 2022), também estendeu o prazo da descaracterização de todas as barragens que se enquadram na categoria de "alto dano potencial" ou "risco alto" e que utilizam o método construtivo a montante para até 2027 a depender do seu dano Potencial.

Para barragens com Dano Potencial Associado Alto (DPA-H), o prazo máximo para conclusão da descaracterização é de 3 anos após a aprovação do projeto de descaracterização pela ANM e pelo Ministério Público (MP). Para barragens com Dano Potencial Associado Médio (DPA-M) ou Baixo (DPA-B), os prazos são de 4 e 5 anos, respectivamente. No entanto, vale lembrar que os prazos podem ser prorrogados em casos excepcionais, a critério da ANM e do MP.

5 DESCARACTERIZAÇÃO DE BARRAGEM DE REJEITO

De acordo com a Resolução ANM n.º 95 (Brasil, 2022), descaracterização de barragem é o conjunto de medidas e ações necessárias para a desativação, desconstrução, desmonte, descomissionamento, recuperação ambiental e segurança da barragem de mineração ou de seus remanescentes, após o fim da sua vida útil ou quando deixar de ser economicamente viável sua manutenção.

O processo de descaracterização deve seguir um Plano de Descaracterização, que inclui estudos, projetos, obras e ações de monitoramento e controle, com a finalidade de garantir a estabilidade da estrutura e a segurança das pessoas e do meio ambiente. O plano deve ser submetido à aprovação da ANM e acompanhado por uma equipe técnica especializada.

De acordo com Fernandes *et al.* (2022) o tamanho e o tipo da barragem, a quantidade de sedimentos e resíduos no reservatório, o fluxo na fundação da estrutura, os anseios do proprietário da barragem e quais são suas prioridades e o prazo de remoção da barragem, geralmente são fatores que afetam o processo de descaracterização. A descaracterização de uma barragem pode ocorrer total ou parcialmente, a depender das condições específicas de cada empreendimento e dos riscos envolvidos.

Na descaracterização total, a barragem é completamente desativada e retirada do local, o que pode ser o mais indicado em casos em que há riscos iminentes e a possibilidade de rompimento é alta. Já na descaracterização parcial, partes da estrutura podem ser mantidas no local e adaptadas para outras finalidades, desde que os riscos de segurança sejam adequadamente mitigados. Em ambos os casos, é fundamental que sejam realizados estudos e projetos específicos para cada barragem, que incluam a identificação dos riscos e a elaboração de planos detalhados para o descomissionamento, controle hidrológico e hidrogeológico, estabilização e monitoramento da área. Além disso, a escavação do rejeito é uma das etapas importantes do processo de descaracterização, que visa retirar o material acumulado na barragem e realizar o seu correto descarte ou disposição em locais adequados.

Fernandes *et al.* (2022) afirma que para o processo de descaracterização de uma barragem, o Brasil apresenta uma escassez de normas, legislações e bibliografias sobre o tema. A NBR 13.028 (ABNT, 2017), que versa sobre a elaboração e apresentação de projetos de barragem, não dita as normas e diretrizes para o processo de descaracterização dessas estruturas.

A descaracterização segundo a Resolução ANM n.º 95 (Brasil, 2022) deve ser realizada em etapas, que incluem: Descomissionamento, Controle hidrológico e hidrogeológico, Estabilização e Monitoramento.

O processo de descomissionamento é um processo que visa encerrar suas operações de maneira segura e adequada, com a finalidade de reduzir ou eliminar os riscos e impactos ambientais e sociais associados à sua presença. Esse processo inclui a remoção do barramento, a desativação de estruturas associadas, como canais e comportas, e a recuperação do terreno e do meio ambiente afetado. Essa etapa inclui a retirada de todos os rejeitos acumulados na barragem e o transporte para áreas de disposição final.

O controle hidrológico e hidrogeológico tem por objetivo controlar ou eliminar os fluxos de águas superficiais e subterrâneas do reservatório e garantir a estabilidade da barragem durante todo o processo de descaracterização (IBRAM, 2019). O objetivo é atingido por meio da instalação de dispositivos de drenagem, incluindo o monitoramento dos corpos d'água e do lençol freático na área da barragem e nas áreas afetadas pela descaracterização evitando riscos de ruptura e vazamentos de rejeitos.

A etapa de estabilização consiste na realização de obras de engenharia que buscam garantir a estabilidade física, química e geotécnica do barramento durante e após o descomissionamento (IBRAM, 2019).

Por fim, o monitoramento tem como objetivo avaliar a efetividade das medidas adotadas, bem como identificar quaisquer sinais de instabilidade e possíveis riscos para a segurança da população e do meio ambiente. Esse monitoramento deve ser realizado em três etapas: pré-operacional, durante a operação e pós-operacional, com a finalidade de assegurar que todas as medidas preventivas e corretivas foram tomadas e que os objetivos de segurança foram alcançados.

A Resolução ANM n.º 95 estabelece o período mínimo de monitoramento de 2 (dois) anos após a conclusão das obras de descaracterização, objetivando assegurar a eficácia das medidas de estabilização (Brasil, 2022).

De acordo com a Tetrattech (2022) as etapas básicas de um projeto de descaracterização são os estudos preliminares, estudos de alternativas, desenvolvimento de projeto e recuperação ambiental (Figura 8). A etapa de estudos preliminares envolve uma análise das informações existentes sobre a estrutura e, se necessário, são feitas especificações para estudos complementares.

O estudo de alternativas considera as particularidades da estrutura, interferências e estratégias dos empreendedores, que são avaliadas e apresentadas alternativas que atendam todas as condições de contorno.

O desenvolvimento do projeto leva em conta a definição da solução de fechamento, com a elaboração dos desenhos técnicos, planilhas, especificações e demais detalhamentos do projeto, conforme nível de execução (conceitual, básico e executivo). Por fim a recuperação ambiental é concebida de acordo com as estratégias dos empreendedores, normas e legislação, com a elaboração do projeto de recuperação da área e plano de monitoramento pós-fechamento (Tetrattech, 2022).

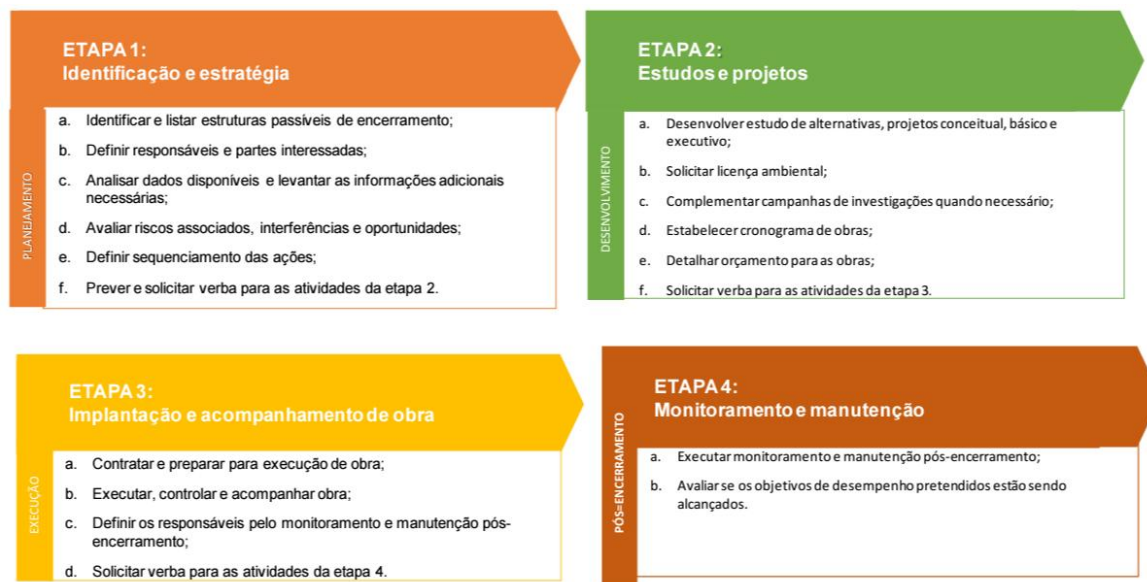
Figura 8: Etapas para o desenvolvimento de um projeto de descaracterização de barragem de rejeito.



Fonte: Tetrattech, 2022.

O IBRAM (2019) apresenta as etapas de um programa de encerramento de estruturas de disposição de rejeitos seguindo 4 etapas. Etapa 1 (planejamento) de Identificação e estratégia, etapa 2 (desenvolvimento) de estudos e projetos, etapa 3 (execução) de implantação e acompanhamento de obra e etapa 4 (pós-encerramento) de monitoramento e manutenção. O detalhamento de cada etapa pode acompanhados na Figura 9.

Figura 9: Etapas de um programa de encerramento de estruturas de disposição de rejeitos.



Fonte: IBRAM, 2019.

É importante ressaltar que na etapa 1 o levantamento e identificação de todas as estruturas devem levar em conta o estágio de ciclo de vida de cada estrutura e se ouve ou não modificação na estrutura inicialmente elaborada. A integração de todas as áreas da empresa responsável pela barragem é de extrema importância. Devem ser levantados os dados disponíveis e as informações complementares que se farão necessárias para subsidiar os projetos de encerramento, além da avaliação de risco de cada estrutura (IBRAM, 2019).

O monitoramento geotécnico, estrutural e ambiental comprovará a eficácia das ações implantadas e o alcance dos objetivos de desempenho pretendidos, nas etapas de execução da obra e no pós-obra. A manutenção deverá envolver aspectos técnicos das estruturas existentes, considerando sistema de drenagem, tratamento de eventuais efluentes gerados, vegetação, entre outras. O controle das características do rejeito é de extrema importância para o correto descomissionamento do material (IBRAM, 2019).

O processo de descaracterização requer o conhecimento da estrutura que compõe a barragem como também da região a qual a estrutura está localizada. Para a correta exploração do subsolo, deve-se segundo Das e Sobhan (2014) compilar as informações existentes relacionadas à estrutura, das condições do subsolo e das condições ambientais locais.

Quanto a estrutura a busca deve envolver projetos de construção e/ou reconformação da barragem, o tipo de barragem, o método construtivo utilizado, capacidade de armazenamento e volume de rejeito depositado, altura da barragem e inclinação dos taludes, características do sistema de drenagem e de monitoramento.

Quanto ao subsolo, deve-se fazer o levantamento de mapas de pesquisa geológica, fazendo um levantamento da geologia e da geomorfologia da área, abordando características do solo e rochas, topografia, drenagem, entre outros.

Quanto as condições ambientais devem-se conhecer as condições climáticas da região, como chuvas intensas e eventos extremos como também as condições da biodiversidade do local e ecossistemas que englobam toda a região da estrutura.

Essas informações são importantes para o desenvolvimento de um plano de descaracterização que seja seguro e eficaz, garantindo a estabilidade da barragem e minimizando os impactos ambientais e sociais.

6 REQUISITOS PARA UM PLANO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

As atividades desenvolvidas pelo homem alteram os meios físico, biótico e socioeconômico, com as mais adversas reações, benéficas ou não. Essas atividades geram impactos ambientais que precisam ser identificados e passarem por um processo de avaliação.

Dentro de um plano de recuperação ambiental deve ser abordados pontos importantes para o desenvolvimento das atividades pré-obra, durante a obra e pós-obra. A avaliação do plano deve abordar todo o período da obra, todas as estruturas definitivas ou provisórias e todas as atividades que afetarem o meio ambiente e a comunidade de forma direta e indiretamente.

Esta avaliação tem por base o levantamento de pontos importantes como:

6.1 LICENCIAMENTO AMBIENTAL E OUTORGA

As atividades dentro de um plano de descaracterização de barragens de rejeitos requerem licenciamento ambiental e, em alguns casos, outorga de

recursos hídricos devido aos possíveis impactos ao meio ambiente e à necessidade de garantir a segurança e a conformidade legal.

O licenciamento ambiental é obrigatório tendo em vista que o processo de descaracterização pode envolver a remoção e transporte de rejeitos, alteração do relevo, supressão de vegetação, geração de resíduos e efluentes, além de potenciais riscos de acidentes, como deslizamentos e erosão. Essas intervenções podem causar contaminação do solo, da água e do ar, e o licenciamento estabelece medidas mitigadoras e condições para a execução segura das atividades.

A outorga é exigida quando as atividades interferem diretamente nos recursos hídricos, como no caso do manejo ou descarte de água acumulada na barragem, captação de água para processos ou alterações no regime hidrológico, como desvio de rios ou drenagem de áreas alagadas. Esse instrumento garante que a utilização ou interferência seja feita de maneira sustentável, preservando o equilíbrio ambiental e respeitando as comunidades que dependem desses recursos. Além disso, o cumprimento dessas exigências demonstra o comprometimento da empresa com as normas regulatórias, reduzindo riscos de multas, embargos e ações judiciais, além de aumentar a credibilidade da organização perante os órgãos fiscalizadores e a sociedade.

Algumas atividades sujeitas aos processos de licenciamento ambiental, autorização e/ou anuência para intervenção dentro de um processo de descaracterização, são:

- Supressão de cobertura vegetal nativa, com destoca, para uso alternativo do solo;
- Intervenção na Área de Proteção Ambiental (APA) e nas zonas de amortecimento de outras Unidades de Conservação;
- Intervenção em APP - curso d'água, acúmulo de água e nascente (Intervenções sujeitas à outorga) e Topo de morro, encostas;
- Averbação da Reserva Legal – Caso o empreendimento esteja localizado em área rural, aplica-se o art. 12 da Lei n. 12.651 (BRASIL, 2012) – Código Florestal, que determina a preservação da Reserva Legal, observando o percentual mínimo de 20% em relação à área do imóvel. A Reserva Legal deve ser registrada no órgão ambiental competente por meio de inscrição no Cadastro Ambiental Rural – CAR;

- Manifestação dos órgãos intervenientes (IPHAN e IEPHA) – é de obrigação do empreendedor instruir o processo de licenciamento com as informações e documentos necessários à avaliação das intervenções pelos órgãos ou entidades públicas detentores das respectivas atribuições e competências para análise;
 - Rebaixamento do nível de água;
 - Retificação, canalização ou obras de drenagem e outras intervenções que alterem regime, quantidade ou qualidade dos corpos de água;
 - Bota-espera/Canteiro - atividade passível de autorização para intervenção ambiental em caso de supressão de vegetação ou intervenção em APP.

6.2 IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS

A Resolução n.º 001 do CONAMA (Brasil, 1986) cita no artigo 1º que impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humana. De acordo com a resolução, os principais prejudicados, diretamente ou indiretamente são: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

Para realização da identificação dos potenciais impactos gerados na descaracterização, é utilizado o conceito de aspecto ambiental, tal como empregado na norma internacional NBR ISO 14001 (ABNT, 2015) sobre sistemas de gestão ambiental e que vem sendo sugerido como de utilidade para identificar impactos no âmbito da preparação de estudos desses impactos. O procedimento também é fundamentado na literatura acadêmica, a exemplo os estudos de Sánchez e Hacking (2002). Dados importantes para avaliar os impactos ambientais e sociais de uma obra de descaracterização são:

- Dados da região (Bioma, Áreas de Preservação Permanente, Unidades de Conservação);

- Dados da estrutura antes e após a obra da alternativa de descaracterização a ser realizada,

Cada atividade dentro do aspecto de um projeto de descaracterização gera um impacto ambiental, cabe ao projeto identificar as atividades com impactos potencialmente prejudiciais, avaliando componentes ambientais e sociais.

Após a identificação e classificação dos impactos ambientais potenciais decorrentes das atividades de descaracterização, devem ser selecionadas medidas mitigadoras e medidas compensatórias que visam à redução ou eliminação dos impactos negativos oriundos da obra de descaracterização.

As medidas mitigadoras são ações adotadas para minimizar ou reduzir os impactos ambientais negativos causados por atividades humanas. As medidas compensatórias são ações adotadas para compensar os impactos ambientais negativos que não podem ser evitados ou mitigados pelas medidas adotadas durante a execução de um projeto ou empreendimento. Essas medidas têm como objetivo promover a reparação ou compensação ambiental, permitindo a conservação e a preservação do meio ambiente (Brasil, 1986; Peluzio *et al.*, 2021).

Entre as medidas mitigadoras e medidas compensatórias que visam à redução ou eliminação dos impactos negativos oriundos da obra de descaracterização, pode-se citar:

- Supressão vegetal:
 - Realização do corte dentro do limite licenciado, respeitando a vegetação remanescente;
 - Realização da compensação conforme estabelecido pelo órgão ambiental.
- Modificações da paisagem:
 - Redução, ao mínimo, da retirada de vegetação;
 - Proteção do solo, de modo a não o deixar exposto, após término da movimentação, sem cobertura vegetal e recobrimento com espécies arbóreas e/ou herbáceas;
 - Reconstituição do relevo nas áreas modificadas, tentando reintegrar a área à paisagem do entorno, à luz da Lei Federal n.º 9.985 (Brasil, 2000);

- Acompanhamento da execução de aterros e cortes para que sejam executados dentro dos critérios e normas aplicáveis.
- Intervenção em APP:
 - Prévia demarcação das áreas afetadas pela supressão vegetal;
 - Demarcação e sinalização com placas das Áreas de Preservação Permanentes – APPs e de Reserva Legal;
 - Definição de rotas de tráfego de veículos e pessoal na área interna do empreendimento durante a obra de descaracterização, visando evitar o desgaste da vegetação, ou mesmo os impactos sobre a área a serem conservadas.
- Risco de carreamento de sedimentos:
 - Proteção das áreas onde solo e resíduos serão armazenados, de forma a evitar o carreamento de material armazenado;
 - Implantação de estruturas de contenção de sedimentos.

6.3 ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP)

De acordo com a Novo Código Florestal, Lei n.º 12.651 (Brasil, 2012) as APPs são áreas protegidas por lei com a função ambiental de preservar recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas, coberta ou não de vegetação nativa.

Segundo a legislação brasileira, especialmente o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), as APPs são classificadas conforme sua localização e características naturais. Abaixo estão os principais tipos de APPs:

- Margens de Cursos d'Água Naturais: Faixas ao longo dos rios e outros cursos d'água, variando de largura conforme a largura do corpo hídrico. Por exemplo:
 - 30 metros para cursos d'água com largura de até 10 metros;
 - Até 500 metros para cursos com largura superior a 600 metros.
- Entorno de Nascentes e Olhos d'Água Perenes: Incluem áreas em um raio mínimo de 50 metros ao redor de nascentes e olhos d'água perenes.

- Margens de Reservatórios Naturais ou Artificiais: Abrangem as áreas no entorno de lagos, lagoas e reservatórios, com limites definidos pelo órgão ambiental competente ou pela legislação local.
- Topo de Morros, Montes e Montanhas: São APPs as áreas localizadas no topo dessas formações, visando evitar deslizamentos e preservar paisagens.
- Encostas com Declividade Superior a 45°: Incluem áreas com elevada inclinação, protegidas para evitar erosão e assoreamento de corpos d'água.
- Veredas: São áreas úmidas típicas de certas regiões do Brasil, protegidas em faixas de 50 metros ao redor da vegetação típica.
- Manguezais: Proteção integral para esses ecossistemas, fundamentais para a biodiversidade costeira.
- Restingas: Áreas de vegetação associadas a praias e dunas, com a função de estabilizar o solo e proteger contra erosões.
- Áreas em torno de Águas Subterrâneas ou Cavernas: Zonas destinadas a proteger aquíferos ou formações geológicas sensíveis.
- Áreas de Declividade entre 25° e 45°: Embora não sejam APPs automáticas, essas áreas têm restrições ao uso e podem ser declaradas APPs caso apresentem riscos de degradação.

A avaliação das APPs durante a elaboração de um projeto é importante para garantir que essas áreas sejam preservadas e protegidas adequadamente, evitando impactos ambientais negativos.

6.4 UNIDADE DE CONSERVAÇÃO (UC) E ÁREAS PRIORITÁRIAS

A Lei Federal n.º 9.985 define UC como um espaço territorial, continentais ou marinhos, e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público. Os objetivos incluem a conservação e delimitação da região, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (Brasil, 2000).

Áreas prioritárias são regiões ou ecossistemas que são identificados como tendo alta importância ou valor ambiental, seja por sua biodiversidade, ecossistemas únicos ou ameaças ambientais. Dentro de um estudo ambiental, são aqueles locais que combinam pelo menos duas características: elevada biodiversidade e alta pressão antrópica (Scaramuzza, 2008).

A avaliação das UCs e das áreas prioritárias é um elemento crucial em um estudo de projeto, especialmente em projetos que envolvem impactos ambientais significativos. Essa avaliação permite identificar as áreas mais sensíveis e importantes para a conservação da biodiversidade e dos ecossistemas, a fim de garantir a compatibilidade do empreendimento com a conservação ambiental.

6.5 ÁREA DIRETAMENTE AFETADA (ADA)

Segundo a Resolução n.º 001 do CONAMA (Brasil, 1986) a área de influência é a área corresponde à região geográfica em que se possa verificar os impactos ambientais decorrentes de atividades empreendedoras, direta ou indiretamente afetados. Quando se trata da área que concentra as intervenções diretas, aborda-se a definição da ADA, que corresponde a região que sofre diretamente com as intervenções decorrentes das atividades da obra.

Ao determinar a ADA, é possível identificar com mais clareza os impactos ambientais que serão gerados pelo empreendimento e, assim, adotar medidas de mitigação e compensação adequadas para minimizar esses impactos ainda na etapa de projeto.

A ADA deve ser identificada como abrangendo áreas que sofrerão intervenções na fase de obras (estruturas definitivas e provisórias) e que serão alvos da recuperação, sendo necessário serem monitoradas por no mínimo 2 anos, conforme Resolução n.º 95 da ANM de 2022.

6.6 ZONA DE AUTOSSALVAMENTO (ZAS) E ZONA DE SALVAMENTO SECUNDÁRIO

As ZAS e as ZSS são conceitos utilizados em planos de emergência e segurança de barragens, e têm como objetivo garantir a proteção das pessoas e do meio ambiente em caso de acidentes ou situações de risco.

De acordo com a Resolução ANM n.º 95, a ZAS é o trecho do vale à jusante da barragem em que se considera que os avisos de alerta à população são da responsabilidade do empreendedor, por não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em emergências (Brasil, 2022).

Ela é delimitada com o uso do mapa de inundação que delimita geograficamente as áreas potencialmente afetadas por eventual vazamento ou ruptura da barragem. A resolução define a região como contendo a menor distância, entre a distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a 30 minutos ou 10 km (Brasil, 2022).

A Resolução ANM n.º 95 (Brasil, 2022) também define ZSS como o trecho constante do mapa de inundação, não definida como ZAS.

7 PLANO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA DESCARACTERIZAÇÃO DE UMA BARRAGEM

Recuperação ambiental é, segundo a Lei Federal n.º 9.985, a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original (Brasil, 2000).

Um projeto de recuperação ambiental de uma área descaracterizada envolve várias etapas e atividades para restaurar a qualidade ambiental e a funcionalidade do ecossistema afetado pelos resíduos da atividade mineradora.

Algumas das principais etapas que estão envolvidos em um projeto de recuperação ambiental incluem:

- O estudo do bioma de inserção do projeto e das APPs, abordando UCs e Áreas Prioritárias;
- Levantamento dos dados sociais e comunitários da região no entorno do projeto, abordando aspectos de patrimônio histórico, cultura, arqueológico;
- A definição da ADA pelo projeto de descaracterização;
- Levantamento dos impactos ambientais potencialmente prejudiciais e medidas mitigadoras e medidas compensatórias que visam à redução ou eliminação do impacto negativo;

- Recuperação da área, após a finalização da obra, prevendo atividades como isolamento das áreas e implantação de espécies nativas.

De acordo com o Decreto Estadual n.º 47.749, qualquer intervenção sobre a cobertura vegetal nativa ou sobre área de uso restrito, ainda que não implique em supressão de vegetação dependerão de autorização prévia do órgão ambiental competente, quer estejam em áreas de domínio público ou privado (Governo do estado de minas gerais, 2019). Além disso, intervenções que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade dos recursos hídricos, listadas no Decreto n.º 47.705 (Governo do estado de minas gerais, 2019) são passíveis de outorga.

Os impactos ambientais e sociais de um projeto de descaracterização levantados pela FDTE (2021) e por Paula (2021) tem, entre uma de suas bases, o risco de rompimento de seu barramento. Polignano e Lemos (2020) abordam em seu estudo os impactos socioambientais do rompimento de uma barragem de rejeito.

Segundo Polignano e Lemos (2020) os principais impactos ambientais de um rompimento de barragem estão ligados as alterações morfológicas no sistema fluvial, como retirada de vegetação, pela erosão nas margens dos cursos d'água, pelas alterações no traçado fluvial e ainda pela deposição de materiais sedimentares no leito fluvial. Dentre os impactos sociais abordados, os riscos levantados levam por base a presença comunitária na região presente dentro do Mapa de Inundação, envolvendo as ZAS e ZSS. Os riscos associados ao rompimento da barragem são muito complexos e passaram por diferentes linhas de discussão, sendo levantados por Polignano e Lemos (2020) como:

- Perda de vida humana;
- Deslocamento forçado;
- Destruição de estruturas públicas e privadas;
- Alteração do modo de vida de comunidades tradicionais e perda de patrimônio imaterial;
- Perda de fonte de subsistência: Perda da capacidade produtiva de pequeno agricultor;

- Impactos na saúde de comunidades ribeirinhas e atingidos (danos psicológicos, saúde mental, doenças de veiculação hídrica);
- Proliferação de vetores (ratos, insetos);
- Restrição de usos possíveis para as águas; impossibilidade/diminuição da oferta de pescado;
- Limitação dos usos da água.

Os impactos relacionados a biota foram levantados, sendo os principais a retirada de vegetação ciliar, a mortandade da biota aquática e os impactos na biota terrestre (Polignano e lemos, 2020).

Quanto aos impactos ambientais do projeto de descaracterização de barragem, Paula (2021) aborda em seu trabalho os impactos sociais e ambientais, apresentando potenciais medidas para mitigar esses impactos.

Quando voltados aos impactos dentro do aspecto social aparece como principal fator a remoção das populações localizadas nas Zonas de Autossalvamento (ZAS) e nas Zonas Secundárias de Salvamento (ZSS). Baseado no Quadro 1 da Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (2021) que apresenta os impactos sociais e ambientais, Paula (2021) aponta que o trauma advindo de um processo de realocação/remoção é inegável, haja vista que a população afetada, muitas vezes, perde os meios de sua subsistência, desorganiza seus laços sociais, dentre outros efeitos nefastos.

Outro principal efeito decorrente do processo é sentido pelas comunidades que estão situadas nos acessos aos locais de obras. Isto porque, as pessoas que residem no entorno de onde acontecerá a obra terão que conviver diariamente com o deslocamento de maquinário e veículos pesados, os quais elevam o estresse da comunidade (Paula, 2021).

Quadro 1: Impactos sociais e ambientais. (continua)

Nº	IMPACTO	EXPLANAÇÃO
1	Degradação do solo	Alteração de características físicas, químicas ou biológicas do solo, como compactação, perda de solo por erosão, lixiviação ou outros processos.
2	Contaminação do solo	Forma de degradação do solo decorrente da introdução de substâncias ou resíduos por meio de depósito, armazenamento ou infiltração, principalmente no caso de vazamento de combustíveis e óleos lubrificantes.
3	Degradação da qualidade do ar	Aumento da concentração de poluentes devido a emissões fugitivas nas áreas de obras, emissões de motores a combustão de veículos e equipamentos nas áreas de obra e nas vias de transporte.
4	Degradação da qualidade águas superficiais	A qualidade da água é degradada devido ao lançamento ou vazamento de efluentes (por exemplo, efluentes de lavagem de equipamentos), resíduos e partículas sólidas, como aquelas provenientes de áreas de solo exposto.
5	Redução da disponibilidade de água	Ao abstrair água de corpos hídricos, a quantidade disponível para outros usos ou para a biota aquática é reduzida.
6	Redução da área de habitat natural/ seminatural	Ambiente seminatural é empregado no sentido conceituado pelo Painel Intergovernamental de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos: um ecossistema com a maioria de seus processos e biodiversidade intactos embora alterado por ação humana (IPBES, 2021).
7	Redução da área de habitat antropizado	Habitat antropizado é utilizado no sentido de habitat modificado por ação humana, contendo grande proporção de espécies não nativas e/ou onde a atividade humana modificou substancialmente as funções ecológicas e a composição de espécies da área, a exemplo de áreas agrícolas e de plantios florestais homogêneos.
8	Morte ou lesão de indivíduos da fauna	Pode ocorrer majoritariamente por atropelamento.
9	Perturbação da fauna	Pode ocorrer devido a mudanças no ambiente, como aumento de ruído.
10	Deterioração do ambiente sonoro	Este impacto refere-se ao ambiente sonoro (ou paisagem sonora) no qual vivem e trabalham pessoas da comunidade.
11	Redução do estoque de recursos naturais	Redução de reservas de recursos minerais, em especial de materiais naturais de construção (areia, brita e cascalho) empregados nas obras.
12	Impacto visual	Alterações da paisagem devido à movimentação de solo, inclusive exposição de solo e taludes desprovidos de vegetação.
13	Incômodo e desconforto pessoal	Refere-se ao desconforto individual face a diferentes formas de poluição, como material particulado e ruído, mesmo que dentro de padrões legais, e ao tráfego de caminhões.
14	Perdas de locais de moradia trabalho e convívio social	Nos casos em que há deslocamento involuntário, como na remoção de moradores e impedimento de atividades econômicas nas zonas de autossalvamento.
15	Perda deterioração ou descontextualização de bens culturais	Bens culturais podem ser afetados por destruição (como a escavação ou soterramento de um sítio arqueológico), porque o contexto paisagístico do entorno é drasticamente alterado (como no caso de uma edificação "ilhada" em uma área industrial).
16	Deterioração de vias públicas	Desgaste e deterioração do pavimento devido ao incremento do fluxo de veículos pesados.
17	Aumento de tempos de viagem	Aumento do tempo de deslocamento de pessoas e do tempo de transporte de cargas devido ao incremento de tráfego de veículos pesados.
18	Aumento do risco de transmissão de doenças	Disseminação de doenças transmissíveis, em particular Covid 19.
19	Aumento do risco de comprometimento da saúde mental	Situações de estresse devido ao conhecimento de riscos associados a presença de barragens de rejeito, com possível desenvolvimento de transtornos como ansiedade em indivíduos expostos.
20	Perda de valor imobiliário	Desvalorização de imóveis residenciais e comerciais situados nas Zonas de Autossalvamento e/ou nas imediações destas.
21	Aumento / redução dos níveis de emprego	Haverá geração de novos postos de trabalho temporários durante as obras de descaracterização.
22	Aumento da atividade econômica	Aumento da produção de bens, do fornecimento de serviços, de vendas do comércio e outras atividades econômicas.

Fonte: FDTE, 2021.

Quadro 1: Impactos sociais e ambientais. (conclusão)

Nº	IMPACTO	EXPLANAÇÃO
23	Capacitação da força de trabalho	Ao se tratar de projetos inovadores, as atividades de descaracterização requerem o desenvolvimento de novas habilidades do pessoal técnico e operacional e desenvolvimento tecnológico.
24	Aumento da arrecadação tributária	A aquisição de bens e serviços é fator gerador do recolhimento de impostos e contribuições.
25	Aumento da demanda de serviços públicos	No caso de barragens de rejeitos e obras de desativação, este impacto refere-se principalmente aos serviços de Defesa Civil.
26	Restauração/ melhoria do estado de conservação de ambientes	Melhoria da condição de um ecossistema degradado como resultado de ações de recuperação, de regeneração natural ou da combinação de ambas.
27	Mudanças climáticas	Mudança no estado do clima que pode ser identificada (por exemplo, usando testes estatísticos) por mudança na média ou na variabilidade de suas propriedades e que persiste por longo período, tipicamente de décadas ou maior (IPCC, 2018).
28	Impactos indiretos em áreas externas provedoras de recursos naturais e de materiais, insumos e equipamentos utilizados nas obras	Impactos ambientais e sociais das atividades de produção de equipamentos, insumos, materiais naturais de construção e outras, para atender à demanda das obras de descaracterização, que ocorrem devido às atividades, produtos ou serviços de terceiros, realizadas fora das áreas de estudo.

Fonte: FDTE, 2021.

A FDTE (2021) associa um quantitativo de 38 atividades associadas ao projeto de descaracterização a 8 componentes sociais e ambientais. Os componentes envolvem as comunidades, o patrimônio cultural, as vias públicas, os fornecedores de bens e serviços, a vegetação nativa, as águas superficiais, a qualidade do ar e o clima. As atividades levantadas foram:

1. Implantação e operação de canteiro de obras;
2. Contratação de mão de obra;
3. Aquisição de bens e serviços;
4. Supressão de vegetação nativa;
5. Supressão de vegetação (outras);
6. Abertura ou adequação de vias de acesso;
7. Escavação de material de empréstimo;
8. Transporte de material de empréstimo ou de estéreis;
9. Escavação de solo;
10. Construção de tapete drenante;
11. Revestimento de canais de drenagem;
12. Perfuração de poços e bombeamento de água subterrânea;
13. Construção de aterro de reforço;

14. Construção de barragem de contenção de sedimentos;
15. Transporte de agregados de construção civil;
16. Transporte de materiais, equipamentos e insumos para obras;
17. Escavação de rejeitos do reservatório;
18. Desmonte do maciço da barragem;
19. Transporte interno de rejeitos;
20. Transporte rodoviário externo de rejeitos;
21. Reprocessamento de rejeitos;
22. Disposição de rejeitos reprocessados;
23. Reconformação topográfica do reservatório;
24. Construção de extravasores e demais estruturas de drenagem;
25. Revestimento vegetal de superfície;
26. Manutenção de equipamentos, instalações e estruturas;
27. Desmontagem e/ou demolição;
28. Recuperação de áreas degradadas;
29. Desmobilização e dispensa de mão de obra;
30. Obtenção de direitos de uso das áreas de obras;
31. Remoção de população;
32. Desvio de rio e construção de ensecadeira;
33. Instalação e operação de central de concreto e utilidades;
34. Captação de água;
35. Construção de estruturas de concreto;
36. Desmonte de barragem de contenção a jusante;
37. Transporte de materiais de desmonte;
38. Disposição de materiais de desmonte.

Essas atividades foram analisadas pela FDTE (2021) e por Paula (2021) quanto a presença dos impactos ambientais e sociais abordados no Quadro 1. Baseado nos estudos da FDTE (2021), Paula (2021) apresenta quatro como os principais impactos catalogados, sendo eles:

- A degradação da qualidade do ar, devido ao maquinário e equipamentos a combustão que serão utilizados durante a obra;

- O risco de degradação e contaminação do solo, decorrentes de problema como compactação, erosão, lixiviação e possibilidade de armazenamento ou infiltração no solo de combustíveis do maquinário utilizado;
- A poluição visual, no que se refere a modificação da paisagem durante a obra;
- A poluição sonora, relativo aos veículos e equipamentos utilizados durante a obra.

Paula (2021) afirmou que diante do vazio normativo, o trabalho realizado pela FDTE (2021) cuidou de elencar algumas medidas para mitigar e compensar os impactos do processo de descaracterização, que é destacado no Quadro 2.

Quadro 2: Medidas mitigadoras e compensatórias para recuperação ambiental em projeto de descaracterização de barragem.

Impacto envolvido	Medidas mitigadoras e compensatórias
Social	Atuação colaborativa das empresas, com o desenvolvimento de programas de comunicação, repositórios de dados de monitoramento, promovam umectação de estradas, desenvolvam aplicativos para comunicar emergências, entre outros.
Social	Manutenção do diálogo permanente entre os empreendedores e as comunidades diretamente afetadas, oportunidade na qual aqueles que estão “sofrendo” com o processo possam manifestar seus interesses e preocupações.
Social	Desenvolvimento de uma grande pesquisa objetivando entender preocupações, expectativas e percepção sobre a desativação/fechamento das barragens.
Social	Investigação da saúde mental dos diretamente envolvidos no processo, com promoção de uma política séria de reassentamento e realocação daqueles envolvidos no processo, garantido suporte financeiro, moral, entre outros.
Ambiental	Promoção das compensações florestais pela supressão do bioma, bem como intensificar o acompanhamento ambiental nos períodos de influência da obra e pós-obra.
Ambiental	Implementação de relatórios consolidados de conclusão das obras de descaracterização.

Fonte: Paula, 2021 e FDTE, 2021.

Existem vários modelos e técnicas para a recuperação de uma área degradada, cuja escolha depende da situação de degradação da área e das

condições de regeneração do ecossistema afetado. Abaixo, são apresentadas as atividades voltadas a área degradada dentro de um plano de recuperação ambiental.

- Isolamento da área: Cercamento de áreas de divisas com maior trânsito de veículos e pessoas, como área de canteiro de obras e na área de deposição temporária de material escavado;
- Placas normativas e informativas: Instalação de placas informativas e normativas nos acessos principais a área, contendo informações a serem definidas pela empresa e órgão ambiental licenciador;
- Contenção de processos erosivos: Estruturação do escoamento superficial da região, conjuntamente com utilização de cobertura vegetal para contribuir com a estabilização de taludes e áreas instáveis.
- Escolha das espécies: Definição das espécies nativas e o número de indivíduos por hectare para plantio, tomando por base a particularidade de cada região;
- Escolha das espécies herbáceas – gramíneas e leguminosas: Definição e plantio das espécies herbáceas, dentro da particularidade da região, com aspecto fundamental para o sucesso do revestimento vegetal e controle da erosão do solo.
- Monitoramento da contenção de processos erosivos e do plantio da cobertura vegetal, no período de 2 anos, conforme Resolução n.º 95 da ANM (BRASIL, 2022).

8 SOLUÇÕES APLICÁVEIS AO PLANO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA DESCARACTERIZAÇÃO DE UMA BARRAGEM DE REJEITO

A descaracterização de uma barragem de rejeito apresenta algumas problemáticas, como o impacto ambiental e social, bem como a estabilidade dos taludes remanescentes. Uma parte destes impactos estão relacionados com a presença de metais pesados nos rejeitos, que vão ser escavados e transportados até uma nova área de deposição.

Quanto aos impactos ambientais do rejeito, uma solução abordada por alguns estudiosos é a remineração do rejeito de minério de ferro. No passado, a caracterização dos rejeitos de usinas de beneficiamento de minérios era pouco aplicada, resultando em descarte sem maiores conhecimentos de suas características físicas, químicas e mineralógicas, além de sua resposta a processos de refino.

Com o passar do tempo, os minérios foram ficando cada vez mais pobres em teores de ferro, o que obrigou as usinas de beneficiamento a processarem uma maior quantidade de minério para obter a mesma quantidade de ferro. Como resultado, a quantidade de rejeitos gerados aumentou significativamente, tornando ainda mais importante a sua caracterização para a identificação de possíveis aplicações ou processos de recuperação (Gomes *et al.*, 2011).

O conhecimento dos rejeitos favorece a viabilização de seu posterior aproveitamento como subproduto na própria usina, ou em outro segmento industrial (Borges, 2008).

Nos estudos de Gomes (2017) foi levantado o aproveitamento do rejeito de mineração disposto na barragem da mina de Pau Branco da Vallourec (localizada na Rodovia Br 040, Km 562,5, Brumadinho - MG). Os testes realizados comprovaram que o material estudado que possuía teores iniciais de 36,53% Fe e 43,64% SiO₂ alcançou as especificações do produto comercial de minério de ferro pellet feed fines (aproximadamente 65% Fe e 3% de contaminantes) com concentração magnética.

Constatou-se, no estudo de Gomes (2017), que a barragem de rejeitos em questão pode ser reprocessada e o produto gerado pode ser empregado para uso em alto forno. Cerca de 50% de todo material estocado e 80% de Fe seria recuperado, o que, além de receita, diminuiria o dano ambiental associado e o volume de material.

Ferrante (2014) avaliou a viabilidade econômica de recuperação de minério de ferro contidos em barragens de rejeito, que se mostrou viável para o período analisado e para o investimento necessário. O investimento seria pago a uma taxa de 10% a.a. durante 4 anos, enquanto a implementação do projeto, ao final dos 4 anos, teria gerado uma taxa de rendimento de 232% a.a.

Além dos resultados positivos em termos de produção, a recuperação de rejeito pode aumentar a vida útil dos reservatórios das barragens de rejeito e

reduzir a pressão por uso de terra, além do desenvolvimento sustentável que essa operação apresenta (Ferrante, 2014; Gomes, 2017).

Para o sucesso do trabalho de estabilização e recuperação das áreas das descaracterizadas, o relevo final deve atender aos seguintes objetivos: estabilidade do solo e taludes; controle de erosão; aspectos paisagísticos e estéticos e similaridade com o relevo original.

Conforme os estudos de Lemes (2001), a presença de raízes de árvores em taludes não influencia no ângulo de atrito interno e nem na coesão do solo, o que ocorre é uma contribuição à resistência ao cisalhamento na forma de coesão aparente e o reforço a resistência do solo é fornecido pela tensão das raízes.

A vegetação nativa do local é a mais indicada para a proteção do ambiente e contra erosão do solo pois é a que conserva as condições ecológicas de origem protegendo todo o ecossistema em taludes íngremes (Lemes, 2001).

Grande parte dos estudos abordados por Lemes (2001) consideram que o peso da vegetação em taludes íngremes acaba incrementando a componente desestabilizador. Lan *et al.* (2020) afirma que tal quesito pode ocorrer em taludes com inclinação acima de 35 graus. Isso porque o peso das árvores pode aumentar a carga no talude e reduzir a sua estabilidade. Além disso, a penetração das raízes pode causar fraturas no solo, aumentando a probabilidade de deslizamentos.

Uma solução que pode ser empregada para a questão de proteção contra processos erosivos em taludes pós obra, com ou sem a presença de rejeito remanescente, é a utilização do plantio de hidrossemeadura associada a Manta Vegetal Projetada (MVP), que se mostrou eficaz em estudos, como no caso no trabalho de Cruz *et al.* (2017) em que possibilitou a germinação das sementes e deu suporte para crescimento das plantas, protegendo o solo, diminuindo o escoamento superficial e mitigando o impacto visual dos taludes.

Conforme Lan *et al.* (2020), plantar árvores em taludes entre 20 e 35 graus têm efeito de proteção do solo, acima disso tem efeito desestabilizante. Nesse sentido, para o plantio de espécies arbustivo-arbóreas e herbáceas, de maneira conservadora, pode-se considerar uma declividade máxima de 20% para o plantio de espécies arbustivo-arbóreas.

A partir das obras de descaracterização da barragem deve haver a necessidade de redelimitação das APPs, a fim de contemplar a nova configuração da área, após todas as modificações previstas na área.

Deve-se salientar a importância de se realizar o estudo de levantamento das atividades de um projeto de descaracterização e seus impactos, abordando as atividades mitigadoras e compensatórias como meio de amenizar esses impactos e atividades que visam o direcionamento de um plano de recuperação ambiental da área estudada.

A exemplo desta relevância, pode-se citar o estudo de Polignano e Lemos (2020), realizado com base no levantamento de impactos a partir do estudo do rompimento da barragem do córrego do feijão em Brumadinho. Os impactos diagnosticados por ele, foram abordados no trabalho em conjunto com os impactos de cada atividade, proposta pela FDTE (2021), com a finalidade de manter segura a comunidade e a biota a qual a barragem está inserida.

Dentre os impactos levantados por Polignano e Lemos (2020) e pela FDTE (2021), a destruição de estruturas públicas e a perda de patrimônio cultural e imaterial foi descartado no contexto em que se insere a barragem.

Baseado no Quadro 1 da FDTE (2021) que apresenta os impactos sociais e ambientais, Paula (2021) e Polignano e Lemos (2020) apontam que os principais impactos sociais são resultado do trauma advindo de um processo de realocação/remoção é inegável, haja vista que a população afetada, muitas vezes, perde os meios de sua subsistência, desorganiza seus laços sociais, dentre outros efeitos nefastos.

Outro principal efeito decorrente do processo é sentido pelas comunidades que estão situadas nos acessos aos locais de obras. Isto porque, as pessoas que residem no entorno de onde acontecerá a obra terão que conviver diariamente com o deslocamento de maquinário e veículos pesados, os quais elevam o estresse da comunidade (Paula, 2021).

Polignano e Lemos (2020) aponta, sobre os impactos ambientais, como o que pode ser abordado como medidas compensatórias, as atitudes tomadas a partir das consequências de um rompimento de barragem dentro de três possibilidades: recuperação, reabilitação e restauração.

A recuperação diz respeito ao retorno das condições do uso do solo e estabilidade do meio ambiente da área degradada. A reabilitação diz respeito ao

retorno da área degradada a um estado biológico apropriado e a restauração diz respeito ao retorno do estado original da área antes do rompimento (Polignano e Lemos, 2020).

As atividades compensatórias abordadas pelo trabalho estão conectadas aos estudos de Polignano e Lemos (2020) quando abordam a recuperação (implantação de estruturas de contenção de sedimentos), a reabilitação (realização da compensação da supressão vegetal e a restauração (reconstituição do relevo nas áreas modificadas, tentando reintegrar a área à paisagem do entorno).

Vale salientar que estas soluções podem ser empregadas devido a necessidade do monitoramento da região escavada durante o processo de descaracterização da barragem e após, para o controle da contenção de processos erosivos, da manutenção da estabilidade dos taludes remanescentes e do controle do plantio da cobertura vegetal por um período de 2 anos, conforme Resolução n.º 95 da ANM (Brasil, 2022).

9 DIRETRIZES PARA UM PLANO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE UM PROCESSO DE DESCARACTERIZAÇÃO DE BARRAGEM DE REJEITO

Com base nas soluções aplicáveis ao plano de recuperação ambiental na descaracterização de uma barragem de rejeito, pode-se sugerir ter por base o plantio de árvores e gramíneas associados ao sistema de drenagem superficial como fator primordial para manutenção da estabilização de taludes e das áreas instáveis. Nos estudos abordados é possível levantar possíveis diretrizes, apresentadas a seguir.

A presença de vegetação na recuperação ambiental e a sugestão de uma declividade máxima de 20% para o plantio de espécies arbustivo-arbóreas estão dentro das preocupações abordadas nos estudos de Lan *et al.* (2020) e Lemes (2001) quanto a presença de vegetação em taludes íngremes, com a finalidade de proteção contra erosão, auxiliando a estabilização.

Vale salientar que a utilização de vegetação nativa é defendida por Lemes (2001) onde sabe-se que vegetação nativa fez parte do processo de evolução das encostas da região nas condições ambientais particulares.

Uma alternativa a ser considerada durante o processo de descaracterização, vista como alternativa sustentável a disposição completa do rejeito de mineração é o seu reprocessamento.

A remineração é um dos processos de intervenção sustentável mais indicado para o rejeito da barragem estudada, pois ajuda a reduzir o volume de rejeitos depositados em barragens, além de recuperar minerais valiosos que poderiam ser perdidos.

Nos estudos de Gomes (2017), onde o material estudado que possuía teores de 36,53% de Fe e 43,64% de SiO₂, chegaria a níveis de 50% de aproveitamento de todo material estocado, desses 80% de Fe seria recuperado, o que, além de receita, diminuiria o dano ambiental associado. A situação da barragem estudada apresenta características químicas do rejeito superiores ao apresentado, em se tratando dos teores de Fe, com um percentual acima de 40% e em média 27% de SiO₂.

O estudo apresentado por Ferrante (2014) é um ótimo indicador de que o processo é economicamente viável, apresentado resultados positivos em termos de produção, podendo aumentar a vida útil dos reservatórios das barragens de rejeito e prezar pelo desenvolvimento sustentável.

A análise dos requisitos para a elaboração de um plano de recuperação ambiental, bem como a análise dos estudos sobre possíveis soluções aplicáveis ao plano, auxiliou na sugestão de diretrizes que podem ser instrumento de aplicação em projetos de descaracterização de barragem de rejeito, e que são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3: Diretrizes para a elaboração de um plano de recuperação ambiental.

N.º	Diretriz
1	Realizar o levantamento da ADA da descaracterização que envolva todo o projeto, abordando as áreas que sofrerão intervenções na fase de obras (que serão alvos da recuperação) e as áreas das estruturas definitivas e provisórias.
2	Definição do Bioma a qual está inserida a estrutura, com levantamento das APPs, UC e Áreas prioritárias.
3	Levantamento das ZAS e ZSS de acordo com o mapa de inundação previsto em caso de rompimento.
4	Identificar as atividades com necessidade de licenciamento ambiental e outorgas durante toda a atividade da obra de descaracterização.
5	Todas as atividades devem ser realizadas dentro das áreas licenciadas.
6	Avaliar a alternativa de remineração do rejeito.
7	Levantamento das atividades previstas durante a descaracterização e avaliar os impactos ambientais e sociais para definir as medidas mitigadores e compensatórias para amenizar os impactos.
8	Definição das espécies nativas arbustivo-arbóreas e de herbáceas que possam ser utilizadas na recuperação ambiental da região, em seguida prosseguir com a definição do número de indivíduos por hectare para plantio, tomando por base a particularidade de cada região.
9	Adotar uma declividade máxima de 20% para o plantio de espécies arbustivo-arbóreas.
10	Avaliar a utilização do plantio de hidrossemeadura associada a Manta Vegetal Projetada (MVP) como suporte para crescimento das plantas, protegendo o solo, diminuindo o escoamento superficial e mitigando o impacto visual dos taludes.
11	Ao final, deve-se avaliar a necessidade de redelimitação das APPs, a fim de contemplar a nova configuração da área, após todas as modificações.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

10 CONCLUSÃO

Todo o trabalho foi realizado com o intuito de apresentar possíveis diretrizes para o desenvolvimento de um projeto de recuperação ambiental da área afetada de uma barragem de rejeito a ser descaracterizada.

A revisão bibliográfica apresentou os requisitos básicos que devem ser avaliados dentro de um plano de recuperação ambiental e estudos que avaliaram os impactos das atividades da obra (limpeza da superfície, escavação, regularização do terreno, movimentação do rejeito etc.) até a definição do arranjo final.

As diretrizes foram apresentadas com base nestes requisitos básicos e em soluções que podem ser aplicados a problemáticas existentes durante a elaboração de um projeto de descaracterização de barragem, em principal, o impacto ambiental das atividades do rejeito e a estabilidade do solo e taludes remanescentes ao final da obra.

A presença de vegetação nativa, nas condições ambientais particulares da região, sendo espécies arbustivo-arbóreas ou herbáceas, possuem a finalidade de integrar a nova configuração da região pós-obra, de forma a proteger e ajudar no controle a erosão do talude remanescente, auxiliando a estabilidade da estrutura, cada uma respeitando a declividade máxima para o plantio. Quando a declividade da região descaracterizada for maior do que a recomendada para o plantio, a junção da manta vegetal projetada com a hidrossemeadura é apresenta como alternativa de cobertura da região.

Uma alternativa, apresentada como diretriz, que possivelmente diminuiria o quantitativo de volume de rejeito e o dano ambiental associado, como foi abordado em estudos, seria o processo de remineração. O reprocessamento pode gerar a recuperação de minerais valiosos dentro do que é considerado “descartável”, tornando-se uma alternativa sustentável a simples escavação.

Destaca-se que em razão de privacidade dos dados utilizados, as partes referentes a análise de estabilidade e estudo de caso foram suprimidos do trabalho, na versão final. Desta forma, o trabalho aqui apresentado tratou apenas das diretrizes para descaracterização de barragem com abordagem na recuperação ambiental, com base em um estudo de revisão bibliográfica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR /ISO-14001:** Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BORGES, A. A. Caracterização da parcela magnética de minério fosfático de carbonatito. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 61, n.1, p. 29-34, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672008000100006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/xvCBKyYNbCqhQQStZBSvgNc/?lang=pt>. Acesso em: 16 abr. 2023.

BRASIL. Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Dá nova redação ao decreto-lei nº 1.985 (código de minas), de 29 de janeiro de 1940. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEL&numero=227&ano=1967&ato=8c5oXUq50MZRVtd2>. Acesso em: 09 mar. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Brasília, DF: Congresso Nacional, [2010]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm. Acesso em: 11 mar. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 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 nºs 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. Brasília, DF: Congresso Nacional, [2012]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 04 abr. 2023.

BRASIL. **Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017**. Cria a Agência Nacional de Mineração (ANM); extingue o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM); altera as Leis nº 11.046, de 27 de dezembro de 2004, e 10.826, de 22 de dezembro de 2003; e revoga a Lei nº 8.876, de 2 de maio de 1994, e dispositivos do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). Brasília, DF: Congresso Nacional, [2017]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13575.htm. Acesso em: 11 mar. 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 (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). Brasília, DF: Congresso nacional, [2020]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14066.htm. Acesso em: 20 abr. 2023.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF: Congresso nacional,

[2000]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 04 abr. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resolução ANM n.º 95 de 7 de fevereiro de 2022**. Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração. Brasília: Diário Oficial da União, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-95-de-7-de-fevereiro-de-2022-380760962>. Acesso em: 20 fev. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre a necessidade de se estabelecerem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília: Diário Oficial da União, 1986. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8902>. Acesso em: 04 abr. 2023.

CRUZ, E. J. S. *et al.* Estudo de caso utilização da Manta Vegetal Projetada Dupla para revegetação de taludes de estéril e rejeito de mineração/ Brasil. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**. [s. l.], jul. 2017. Disponível em: <http://www.eumed.net/rev/cccscs/2017/03/manta-vegetal-projetada.html>. Acesso em: 20 abr. 2023.

DAS, B. M.; SOBHAN, K. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 8 ed. Cengage Learning, São Paulo, 2014. 607 p.

FERNANDES, R. B. SILVA, L. de S. M. da. SIERA, A. C. F. Estudo de caso: Descomissionamento e Descaracterização de barragens de água para fins de acumulação. *In: COBRAMSEG, 20., 2022, Campinas. Anais eletrônicos [...]* Campinas, Galoá, 2022. Tema: Obras de terra. Disponível em: <https://proceedings.science/cobramseg-2022/trabalhos/estudo-de-caso-descomissionamento-e-descaracterizacao-de-barragens-de-agua-para?lang=pt-br>. Acesso em: 12 mar. 2023.

FERRANTE, F. **Estudo de viabilidade para recuperação de minério de ferro em rejeitos contidos em barragens**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/server/api/core/bitstreams/f7fbf7e6-798e-4c44-8253-1597408830db/content>. Acesso em: 16 abr. 2023.

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA. **Avaliação Ambiental Integrada das Obras de Descaracterização das Barragens de Rejeitos Alteadas pelo Método a Montante no Estado de Minas Gerais**. Resumo para Consulta Pública. São Paulo: FDTE, 2021. Disponível em: <http://www.feam.br/avaliacao-ambiental-e-gestao-do-territorio/-avaliacao-ambiental-integrada-aai-das-obras-de-descaracterizacao-de-barragens-alteadas-pelo-metodo-a-montante-no-estado-de-minas-gerais>. Acesso em: 04 abr. 2023.

GOMES, A. C. F. **Estudo de aproveitamento de rejeito de mineração**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-AN9QQC>. Acesso em: 16 abr. 2023.

GOMES, M. A. *et al.* Caracterização Tecnológica De Rejeito De Minério De Ferro. Rem: **Revista Escola De Minas**, v. 64, n. 2, p.233-236, 2011. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rem/a/dMJ6XKYz4NWz4t4tqhVGGP/?lang=pt#>. Acesso em: 16 abr. 2023.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Decreto n.º 47.705, de 04 de setembro de 2019. Estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: Diário Oficial de Minas Gerais, 2019. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/DEC/47705/2019/?cons=1>. Acesso em: 20 abr. 2023.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Decreto n.º 47.749, de 11 de novembro de 2019. Dispõe sobre os processos de autorização para intervenção ambiental e sobre produção florestal no âmbito do Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Belo Horizonte: Diário Oficial de Minas Gerais, 2019. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/DEC/47749/2019/?cons=1>. Acesso em: 04 abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Guia de boas práticas: Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos**. IBRAM, 2019. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2019/09/arte_gestao_barragem_ibram_web.pdf. Acesso em: 12 mar. 2023.

LAN, H. *et al.* *Experimental study on the effects of tree planting on slope stability. Landslides*, v. 17, p. 1021–1035, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-020-01348-z>. Acesso em: 16 abr. 2023.

LASCHEFSKI, K. A. Rompimento de barragens em Mariana e Brumadinho (MG): Desastres como meio de acumulação por despossessão. **AMBIENTES**, v. 2, n. 1, p. 98-143, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/49836/2/Rompimento%20de%20barragens%20em%20Mariana%20e%20Brumadinho%20%28MG%29%20-%20Desastres%20como%20meio%20de%20acumula%C3%A7%C3%A3o%20por%20despossess%C3%A3o%20%281%29.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2023.

LEMES, M. R. T. **Revisão dos efeitos da vegetação em taludes**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/1675>. Acesso em: 18 abr. 2023.

MILONAS, J. G. **Análise do processo de reconstituição de amostras para caracterização do comportamento de barragens de rejeito de minério de ferro em aterro hidráulico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/6429/1/2006_Joice%20Gon%C3%A7alves%20Milonas.pdf. Acesso em: 07 mar. 2023.

MORGENSTERN, N. R., VICK, S. G., VIOTTI, C. B., WATTS, B. D. **Fundão Tailings Dam Review Panel: Report on the Immediate Causes of the Failure of the Fundão Dam**, 2016. Disponível em: <https://www.resolutionmineeis.us/sites/default/files/references/fundao-2016.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2023.

NEVES-SILVA, Priscila; HELLER, Léo. Rompimento da barragem em Brumadinho e o acesso à água das comunidades atingidas: um caso de direitos humanos. **Cienc.**

Cult., São Paulo, v. 72, n. 2, p. 47-50, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602020000200013>. Acesso em: 20 abr. 2023.

O que se sabe até agora sobre o rompimento da barragem em Brumadinho. **G1**, 25 jan 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/25/veja-o-que-se-sabe-ate-agora-sobre-o-rompimento-da-barragem-da-vale-em-brumadinho.ghtml>. Acesso em: 10 mar. 2023.

PASSARINHO, N. Tragédia com barragem da Vale em Brumadinho pode ser a pior no mundo em 3 décadas. **BBC News Brasil**, Londres, 29 jan. 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-47034499>. Acesso em: 26 abr. 2023.

PAULA, I. S. de. **Estado da arte da descaracterização de barragens em Minas Gerais**. 50 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2021. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/handle/35400000/3215>. Acesso em: 16 abr. 2023.

PELUZIO, T. M. de O. *et al.* Medidas mitigadoras e estudo de impactos ambientais. *IN: PELUZIO, T. M. de O. et al. Introdução à Avaliação de Impactos Ambientais: perguntas e respostas*. Vitória: Edifes, 2021. cap 9, p. 67-73. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/1145/Introdu%c3%a7%c3%a3o%20a%20avalia%c3%a7%c3%a3o%20de%20impactos%20ambientais%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 abr. 2023.

POLIGNANO, M. V.; LEMOS, R. S. Rompimento da barragem da Vale em Brumadinho: impactos socioambientais na Bacia do Rio Paraopeba. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 72, n. 2, p. 37-43, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602020000200011>. Acesso em: 18 abr. 2023.

ROCHA, E. M. *et al.* Impacto do rompimento da barragem em Mariana–MG na saúde da população ribeirinha da cidade de Colatina–ES. **Tempus – Actas de Saúde Coletiva**, v. 10, n. 3, p. Pág. 31-49, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.18569/tempus.v10i3.1902>. Acesso em: 20 abr. 2023.

RUSSO, F. M. **Comportamento de barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico**: caracterização laboratorial e simulação numérica do processo construtivo. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/1619/1/2007_FelipeDeMoraesRusso.pdf. Acesso em: 05 mar. 2023.

SÁNCHEZ, L. E.; HACKING, T. An approach to linking environmental impact assessment and environmental management systems. **Impact assessment and project appraisal**, v. 20, n. 1, p. 25-38, Fev. 2002. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3152/147154602781766843>. Acesso em: 03 abr. 2023.

SCARAMUZZA, C. A de M. *et al.* Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade em Goiás. *In: FERREIRA, L. G. (Ed.) Conservação da biodiversidade e sustentabilidade ambiental em Goiás: Prioridades, estratégias e perspectivas*. Goiânia, Editora UFG, 2008. Disponível em: <http://protectedareas.info/upload/document/priorityareasgoiasstatebrazil.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2023.

TETRATECH. **Descaracterização de Barragens de Rejeito Projetos**. 2022. Disponível em: <https://www.tetrattech.com.br/descaracterizacao-de-barragens-de-rejeito-projetos/>. Acesso em: 12 mar. 2023.