



ARCHANGE MICHAEL ILAMBWETSI

**ANÁLISE GEOTÉCNICA E AMBIENTAL DO SISTEMA DE
EMPILHAMENTO DE REJEITO MINERÁRIO
CONSIDERANDO A LEI 14.066/2020**

**LAVRAS - MG
2023**

ARCHANGE MICHAEL ILAMBWETSI

**ANÁLISE GEOTÉCNICA E AMBIENTAL DO SISTEMA DE EMPILHAMENTO DE
REJEITO MINERÁRIO CONSIDERANDO A LEI 14.066/2020**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, área de concentração em Saneamento e Geotecnia Ambiental, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Luis Antônio Coimbra Borges
Orientador

Prof. Dr. Eduardo Antonio Gomes Marques
Coorientador

**LAVRAS - MG
2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo (a) próprio (a) autor (a).

Ilambwetsi, Archange Michael.

Análise geotécnica e ambiental do sistema de empilhamento de
rejeito mineral considerando a Lei 14.066/2020 / Archange
Michael Ilambwetsi. - 2023.

126 p.: il.

Orientador (a): Luis Antonio Coimbra Borges.

Coorientador (a): Eduardo Antonio Gomes Marques.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Descomissionamento. 2. Plano de Segurança de Barragem. 3.
Leis Ambientais. I. Borges, Luis Antonio Coimbra. II. Marques,
Eduardo Antonio Gomes. III. Título.

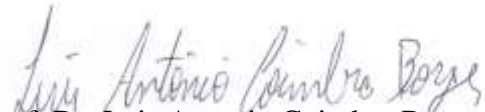
ARCHANGE MICHAEL ILAMBWETSI

**ANÁLISE GEOTÉCNICA E AMBIENTAL DO SISTEMA DE EMPILHAMENTO DE
REJEITO MINERÁRIO CONSIDERANDO A LEI 14.066/2020**

**GEOTECHNICAL AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF THE MINING
TAILINGS STACKING SYSTEM CONSIDERING LAW 14.066/2020**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, área de concentração em Saneamento e Geotecnia Ambiental, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 14 de Julho de 2023.
Dr. André Geraldo Cornelio Ribeiro – UFLA
Dr. Marcio Fernandes Leão – UFV


Prof. Dr. Luis Antonio Coimbra Borges
Orientador

Prof. Dr. Eduardo Antonio Gomes Marques
Coorientador

**LAVRAS – MG
2023**

Ao Senhor Jesus Cristo o autor da vida e
à minha esposa
companheira de todas
as horas.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor JESUS CRISTO, pela promessa; por iluminar os meus pensamentos, guiar os meus caminhos e por tornar tudo possível;

A minha esposa Patrícia, por acreditar, incentivar, compreender, dizer a todo o momento que sou capaz; pelas orações; pela presença; por fazer parte integrante desta conquista;

Ao papa André José e a mamãe Alfreda, pelas orações, pelos incentivos, por acreditarem;

Ao professor Dr. Luís Antônio C. Borges pelas orientações, pelos conselhos e tornar possível este trabalho;

Ao professor Dr. Eduardo Antonio G. Marques por me apoiar, aconselhar e orientar;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, por contribuírem para a minha formação;

Aos professores membros da banca, pela contribuição e disponibilidade para a leitura deste trabalho;

Ao Thiago Bretas, pelos ensinamentos, conselhos e discussões frutíferas;

Ao Edmundo Talamini, pelos conselhos e parceria;

Ao Felipe Cruz, pelas orientações, discussões e pelos conselhos;

Ao Hugo Leonam, pelas orientações e disponibilidade;

Ao professor Dr. Josias Ladeira, pelos ensinamentos, conselhos e apoio;

Ao Flávio Cruz, pela compreensão e encorajamento;

Ao Yuri Bernardes, pela compreensão, flexibilidade e encorajamento;

Aos meus colegas de alojamento em São Gonçalo do Rio Abaixo: Matheus, Siney, Fernando, Pedro Henrique, Alberto Inácio, Heleno Alves, a todos, muito obrigado;

Ao Leandro Silva, pelo incentivo e pelas discussões;

A toda equipe da BVP Engenharia e Projetos;

Aos amigos do mestrado, pelo incentivo, pela paciência e pelos trabalhos em equipe;

A todos os profissionais que responderam no questionário, pelo tempo dedicado;

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade e pela infraestrutura disponibilizada;

Enfim, a todos que fazem parte da minha vida e torcem pelo meu sucesso, o meu

“MUITO OBRIGADO”!

"Ao Senhor Jesus seja toda a honra, toda a glória e todo o louvor."

RESUMO

O crescimento em ritmo acelerado do setor minerário tem provocado a geração excessiva de rejeitos nos reservatórios de pilhas e barragens, o que tem trazido uma forte preocupação no âmbito socioambiental. A presente pesquisa trata do estudo de caso de uma pilha de rejeito localizado no estado de Minas Gerais/Brasil em processo de descomissionamento por estar em estágio final da vida útil e com elevado potencial de causar danos à sociedade, que passou a se enquadrar como uma Barragem de Rejeito com a atualização da Política Nacional de Segurança de Barragem – Lei 14.066/2020. Objetivou-se avaliar as características geotécnicas e ambientais e a regularização dos passivos ambientais gerados no processo de descomissionamento de uma pilha de rejeitos (PDR) de minério de ferro, localizado no Quadrilátero Ferrífero, considerando os cenários precedente e subsequente à atualização da Política Nacional de Segurança de Barragens – Lei 14.066/2020. Para isso, foram selecionadas literaturas científicas, documentos técnicos em órgãos ambientais, indicadores ambientais, parâmetros geotécnicos de estabilidade, visitas técnicas no local do estudo e um questionário aplicado a diversos profissionais atuantes, desde pesquisadores a executantes de obra. Como resultado, obteve-se não só a constatação de que o método construtivo da pilha foi o ápice para que a Lei a enquadrasse como barragem de rejeito, como também, a necessidade de: atribuir as mineradoras à responsabilidade de realizar estudos mais detalhados dos principais parâmetros geotécnicos e ambientais, tais como: propriedades dos materiais, análise de estabilidade, categoria de risco e dano potencial associado, para iniciar o processo de descomissionamento por se tratar de um passivo ambiental com riscos socioambientais elevados; e, atribuir aos órgãos fiscalizadores, a responsabilidade de executar a fiscalização de forma mais acentuada.

Palavras-chave: Descomissionamento. Plano de Segurança de Barragem. Indicadores Geotécnicos. Indicadores Ambientais. Leis Ambientais.

ABSTRACT

The growth in rhythm accelerated growth in the mining sector has generated the excessive production of tailings in piles and dams' reservoirs, leading to a Strong concern in the socio-environmental scope. The present research deals with the case study of a tailings pile located in the state of Minas Gerais/Brazil in the process of decommissioning because it is in the final stage of its useful life with a high potential to cause harm to Society and the environment, which came to be classified as a Tailing Dam with the update of the National Dam Safety Policy - Law 14.066/2020. The objective was to evaluate the geotechnical and environmental characteristics and the regularization of the environmental liabilities generated in the process of de-characterization and decommissioning of an iron ore tailings pile (PDR), located in the Iron Quadrangle, considering the scenarios preceding and after the update of the Policy National Dam Safety - Law 14.066/2020. For this, scientific literature, technical documents from environmental agencies, environmental indicators, geotechnical stability parameters, technical visits to the study site, and a questionnaire applied to various professionals, from researchers to construction workers, were selected. As a result, it was not only verified that the construction method of the pile was the apex for the Law to classify it as a tailings dam, but also the need to: assign to the mining companies the responsibility of carrying out more detailed studies of the main geotechnical and environmental parameters, such as material properties, stability analysis, risk category, and associated potential damage, to start the decommissioning process as it is an environmental liability with high socio-environmental risks; and, attributing to the supervisory bodies, the responsibility to inspect in a more accentuated way.

Keywords: Decommissioning. Dam Safety Plan. Geotechnical Indicators. Environmental Indicators. Environmental Laws.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Percentual das principais substâncias minerais metálicas brasileiras exportadas, em dólar americano (US\$)	18
Figura 2 – Localização das principais reservas minerais do Brasil, destacando as substâncias metálicas	19
Figura 3 – Representação da barragem alteada pelos métodos: (1) método a montante; (2) método a jusante; (3) método de linha de centro.....	21
Figura 4 – Lançamento e deposição de rejeitos granulares através de canhões	23
Figura 5 – Depósito de rejeito pelo método de empilhamento drenado	23
Figura 6 – Ruptura da Barragem da mina Córrego do Feijão, em Brumadinho (MG).....	27
Figura 7 – Síntese da aplicação dos critérios de elegibilidade	37
Figura 8 – Localização da área de pesquisa no sudeste do estado de Minas Gerais.....	38
Figura 9 – Ábaco de classificação dos solos por meio de ensaios CPTu – Ábaco SBT.....	41
Figura 10 – Execução do ensaio do Piezocone na Barragem XRS	42
Figura 11 – Mapa de localização do Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais/Brasil.....	50
Figura 12 – Vista geral da Barragem XRS	51
Figura 13 – Configuração da berma e do talude da Barragem XRS	51
Figura 14 – Planta e seção geológico-geotécnica da Barragem XRS	52
Figura 15 – Perfil geológico-geotécnica identificando as três zonas da Barragem XRS	53
Figura 16 – Curvas e faixas granulométricas dos rejeitos constituintes da Barragem XRS	53
Figura 17 – (a) Rejeito argiloso característico da Zona I; (b) Ábaco de classificação do rejeito da Zona I a partir do ensaio de CPT	56
Figura 18 – Resultados dos ensaios de CPTu para a Zona I da Barragem XRS	57
Figura 19 – (a) Rejeito silto-arenoso característico da Zona II; (b) Ábaco de classificação do rejeito da Zona II a partir do ensaio de CPT	58
Figura 20 – Resultados dos ensaios de CPTu para a Zona II da Barragem XRS	59
Figura 21 – (a) Rejeito granular característico da Zona III; (b) Ábaco de Classificação do rejeito da Zona III a partir do ensaio de CPT	61
Figura 22 – Resultados dos ensaios de CPTu para a Zona III da Barragem XRS	62
Figura 23 – Configuração esquemática de permeabilidade dos rejeitos considerando o ponto inicial e final dos lançamentos de rejeitos.....	64
Figura 24 – Seção Geológica do Talude B1	65
Figura 25 – Seção Geológica do Talude B2	66
Figura 26 – Seção Geológica do Talude B3	66

Figura 27 – Análise de estabilidade com ruptura circular do Talude B1 pelo método de Bishop Simplified.....	70
Figura 28 – Vista do Talude B2	71
Figura 29 – Análise de estabilidade com ruptura circular do Talude B2 pelo método de Bishop Simplified.....	72
Figura 30 – Análises de estabilidade considerando a ruptura circular e não-circular do Talude B2 pelo método de Bishop e Morgenstern-Price (Continua)	72
Figura 31 – Seção analisada do Talude B3.....	74
Figura 32 – Análises de estabilidade considerando a superfície circular no B3 pelo método de Bishop Simplified.....	75
Figura 33 – Análises de estabilidade considerando a ruptura circular e não circular no B3 pelo método de Bishop e Morgenstern-Price	76
Figura 34 – Mudanças nas legislações para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragem.....	87
Figura 35 – Vista do reservatório da Barragem XRS	92
Figura 36 – Opinião dos entrevistados sobre o funcionamento da atualização da Política Nacional de Segurança de Barragem.....	99
Figura 37 – Cenário precedente à Lei 14.066/2020 em relação à regularização dos passivos ambientais oriundos da atividade minerária	100
Figura 38 – Posicionamento das mineradoras em relação à atualização da Política Nacional de Segurança de Barragem.....	101
Figura 39 – Como melhorar a segurança e a vida útil de uma barragem de rejeito.....	101
Figura 40 – Projeto de reforço para o processo de descomissionamento	102
Figura 41 – Aspectos de melhoria na Política de Segurança de Barragem	103
Figura 42 – Classificação das estruturas geotécnicas com a Lei 14.066/2020	104
Figura 43 – Pilha e barragem de rejeito diferem entre si?	104
Figura 44 – Sistema de disposição de rejeito considerado seguro	105
Figura 45 – Disposição final para os rejeitos de mineração.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferenças no enquadramento de qualquer estrutura em barragem conforme estabelecido pela Política Nacional de Segurança de Barragem (2020) e pela Política Estadual de Segurança de Barragem em Minas Gerais (2019)	34
Tabela 2 – Classificação do coeficiente de permeabilidade.....	46
Tabela 3 – Ensaios de Granulometria da Barragem XRS	54
Tabela 4 – Caracterização das propriedades físicas dos rejeitos para a Zona II e III.....	55
Tabela 5 – Média do coeficiente de permeabilidade (k) para os rejeitos das três zonas da Barragem XRS obtidos por meio de ensaios de CPTu e Laboratório.....	63
Tabela 6 – Parâmetros utilizados nas análises de estabilidade da Barragem XRS.....	68
Tabela 7 – Fatores de Seguranças resultando das análises de estabilidade do B1.....	70
Tabela 8 – Fatores de Seguranças resultando das análises de estabilidade do B2.....	73
Tabela 9 – Fatores de Seguranças resultando das análises de estabilidade do B3.....	77
Tabela 10 – Os parâmetros que influenciam nas Características Técnicas da Barragem XRS	78
Tabela 11 – Parâmetros indicadores do estado de conservação da Barragem XRS (Continua)	79
Tabela 12 – Plano de Segurança de Barragem (PSB) elaborado para a Barragem XRS (Continua)	81
Tabela 13 – Resultados dos Parâmetros avaliados para classificação da Categoria de Risco	82
Tabela 14 – Faixa de classificação da Categoria de Risco da Barragem XRS	83
Tabela 15 – Dano Potencial Associado (DPA) da Barragem XRS	84
Tabela 16 – Faixa de classificação Dano Potencial Associado (DPA)	85
Tabela 17 – Associação entre Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA)	85
Tabela 18 – Mudanças na Lei 14.066/2020 para o enquadramento das estruturas em barragem, com foco na Barragem XRS (Continua)	89
Tabela 19 – Principais itens da Barragem XRS solicitados pelas resoluções SEMAD/FEAM nº 2.784/2019, SEMAD/FEAM/IEF/ IGAM nº 2827/2019 e ANM nº 95/2022	96
Tabela 20 – Área de atuação dos profissionais entrevistados	99

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos e Contribuição	15
1.2	Estruturação do Trabalho.....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Sistemas de Disposição de Rejeitos	20
2.2	Descomissionamento de Barragem e Pilhas de Rejeito de Mineração	25
2.3	Lei 14.066/2020 – Atualização da Política de Segurança de Barragem – considerando os cenários precedentes e subsequentes	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1	ESTUDO DE CASO: BARRAGEM / PILHA DE REJEITO XRS (Quadrilátero Ferrífero)	49
4.1.1	Descrição da área do estudo.....	49
4.1.2	Descrição dos riscos associados considerando os parâmetros geotécnicos e ambientais apontando as principais mudanças na LEI 14.066/2020	51
4.1.2.1	Classificação dos rejeitos	53
4.1.2.2	Seção geológica.....	65
4.1.2.3	Análise da estabilidade.....	67
4.1.2.4	Categoria de Risco (CRI).....	78
4.1.2.5	Dano Potencial Associado (DPA).....	83
4.1.2.6	As principais mudanças na LEI 14.066/2020 considerando os parâmetros geotécnicos e indicadores ambientais	86
4.1.3	Descrição dos passivos ambientais e plano de contingências.....	90
4.1.3.1	Plano de descomissionamento da Barragem XRS	92
4.1.3.2	Etapas do Descomissionamento da Barragem XRS	93
4.1.3.3	Principais ações protocoladas pela mineradora para execução do plano de descomissionamento exigidas pelas políticas Nacional e Estadual de Segurança de Barragem.....	94
4.1.3.4	Aproveitamento dos rejeitos da Barragem XRS com reabilitação da área degradada considerando o cenário de preservação ambiental.....	97
4.2	PESQUISA DE OPINIÃO CONSIDERANDO A LEI FEDERAL 14.066/2020 - Atualização da Política Nacional de Segurança de Barragem.....	98

4.3	ESTRATÉGIAS LEGAIS PARA REDUÇÃO DOS PASSIVOS AMBIENTAIS E ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL À REUTILIZAÇÃO DOS REJEITOS MINERÁRIOS	106
5	CONCLUSÃO	108
	REFERÊNCIAS	111
	ANEXO A	121

1 INTRODUÇÃO

A mineração é um dos principais setores que, a cada ano, vem apresentando crescimento, tornando-se fator importante para a movimentação econômica. A importância desse setor está diretamente conectada ao consumo dos bens minerários e às necessidades de fontes alternativas de energia.

Esse setor é composto por atividades de pesquisa mineral, desenvolvimento de mina, operações de lavra, concentração e transformação de minérios para várias finalidades, tais como: matéria-prima para indústria de transformação metalúrgica, construção civil, insumos agrícolas, tecnologia, geração de energia, dentre outros.

Embora esse setor apresente extrema importância para a economia, o crescimento em ritmo acelerado do consumo de bens minerais e redução de teor em algumas minas têm provocado a geração em grande escala de rejeitos nos reservatórios das barragens (COSTA, 2009). Os rejeitos são efluentes líquidos ou drenados provenientes do processo de beneficiamento da mineração com aspecto turvo compostos, geralmente, por materiais granulares arenosos não plásticos até solos de granulometria fina, as lamas, que apresentam elevada plasticidade, baixa permeabilidade, baixa capacidade de sedimentação e adensamento (D'AGOSTINHO, 2008; SILVA, 2010; REZENDE, 2013; SOUZA JUNIOR *et al.*, 2018).

O excesso de rejeitos não só tem atentado a uma forte preocupação no âmbito socioambiental, bem como se tornou um assunto relevante nos últimos tempos devido ao tamanho que as estruturas têm alcançado, diminuindo assim, o ciclo de vida útil e, conseqüentemente, resultando em danos catastróficos quando ocorrem falhas e rupturas provocadas pela percolação descontrolada de água pelo maciço, ocorrência de deslocamentos e deformações na estrutura, erosão superficial, liquefação e galgamento (PINTO, 2010; SILVA *et al.*, 2015 e VINAUD, 2019).

No Brasil, constam em registros 871 barragens de mineração, das quais 12% apresentam a Categoria de Alto Risco (CRI), que diz respeito aos aspectos da própria barragem, tais como: aspectos de projeto, integridade da estrutura, estado de conservação e operação, manutenção e atendimento ao Plano de Segurança, que possam influenciar na probabilidade de um acidente; e 59% estão classificadas com Dano Potencial Associado elevado (DPA), que caracteriza o dano resultante do rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem (RELATÓRIO ANUAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO - ANM, 2020).

Vários estudos apontam ainda que existem muitos entraves para execução do processo de descomissionamento, devido ao abandono de muitas instalações sem nenhum processo de reaproveitamento dos rejeitos e da reabilitação das áreas degradadas, em função dos custos elevados e da falta de mecanismos legais que disciplinem a fase de desativação dentro de um cenário de preservação ambiental.

Faz-se imprescindível não só dispor das políticas que observem as práticas efetivas do licenciamento ambiental para a execução do processo de descomissionamento considerando, principalmente: as mudanças adotadas a partir do ano de 2020, que marcou o decênio da Política Nacional de Segurança de Barragem no Brasil (Lei 13.334/2010) e a sua atualização por meio da Lei 14.066/2020 (BRASIL, 2020) bem como, a apresentação de técnicas para a reutilização dos rejeitos e reabilitação das áreas degradadas, de forma a evitar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, a mortes de seres vivos, entre outros.

Com as atribuições da Portaria DNPM 770389/2017, Resolução 13/2019 da ANM e, conseqüentemente, a atualização da Política Nacional de Segurança de Barragem - Lei 14.066/2020, as estruturas de empilhamentos drenados passaram a atender às mesmas obrigações normativas das barragens alteadas pelo método a montante, principalmente no que diz respeito ao processo do descomissionamento. Pensando nisso, uma descrição minuciosa irá contribuir para o conhecimento e amadurecimento de novos estudos em relação à adequação do enquadramento das características geotécnicas e ambientais dos empilhamentos drenados em atenção às leis vigentes, que regem a segurança de Barragens.

Considerando que o Brasil sofreu por duas vezes, em quase três anos, perdas em vidas humanas e de destruição do patrimônio e do meio ambiente provocadas por acidentes envolvendo barragem de rejeitos de mineração, a Lei 14.066/2020 proíbe a construção ou o alteamento de barragens a montante, que é aquela construída com a colocação de camadas sucessivas de rejeito mineral uma em cima da outra, o mesmo tipo que provocou o desastre de Brumadinho (MG), em janeiro de 2019.

1.1 Objetivos e Contribuição

A presente pesquisa, de uma forma geral, objetiva avaliar os parâmetros geotécnicos e ambientais que induziram a estrutura definida como pilha de rejeito drenado a ser caracterizada por barragem de contenção após a atualização da Lei de Segurança de Barragem – Lei 14.066/2020, tendo em vista o potencial de dano associado e a obrigatoriedade do

descomissionamento, por meio do estudo de caso de uma Pilha de Rejeito Drenado (PDR), nomeada por XRS, localizado no Quadrilátero Ferrífero, MG/Brasil. Para isso, foram estudados alguns temas considerados relevantes na área de Geotecnia e de Sistemas de Contenção de Rejeitos que necessitavam de aprofundamento.

O presente estudo visa contribuir não só para ampliar o conhecimento em relação à postura das mineradoras e dos órgãos fiscalizadores perante à atualização da Política Nacional de Segurança de Barragem, como também, informar e definir parâmetros geotécnicos e ambientais que afetam diretamente o processo de descomissionamento de uma pilha de rejeitos e a sua segurança socioambiental.

1.1.1 Objetivos Específicos

1. Identificar e avaliar os parâmetros geotécnicos e indicadores ambientais da pilha de rejeito, fundamentados no Termo de Referência da Resolução Conjunta SEMAD/FEAM nº 2.784/2019, da Resolução Conjunta SEMAD/FEAM/IEF/ IGAM nº 2827/2019 e da Resolução nº 13/2019 da Agência Nacional de Mineração - ANM, que resultaram no enquadramento dessas estruturas como barragens de rejeito alteadas a montante, apontando as principais mudanças estabelecidas na Lei 14.066/2020;
2. Identificar e caracterizar os passivos ambientais presentes no processo de descomissionamento da pilha em estudo;
3. Avaliar e discutir os aspectos legais da Política Nacional e Estadual de Minas Gerais de Segurança de Barragem para redução e/ou extinção dos passivos ambientais no processo de descomissionamento, levando em consideração o grande volume dos rejeitos oriundo da mineração disposto em barragens e a sua disposição final;
4. Avaliar a opinião dos profissionais que atuam na área de mineração a respeito da atualização Política Nacional de Segurança de Barragem pela Lei Federal 14.066/2020.

1.2 Estruturação do Trabalho

Esta pesquisa está organizada em três capítulos e um texto de conclusão geral em que serão exploradas a parte teórica, geotécnica e ambiental com as leis vigentes que regem a segurança de barragem em processo de descomissionamento.

No capítulo 2 será apresentada uma revisão dos conceitos fundamentais para compreensão e contextualização do tema da pesquisa, ressaltando as leis ambientais e as alterações na Política Nacional de Segurança de Barragem – Lei 14.066/2020.

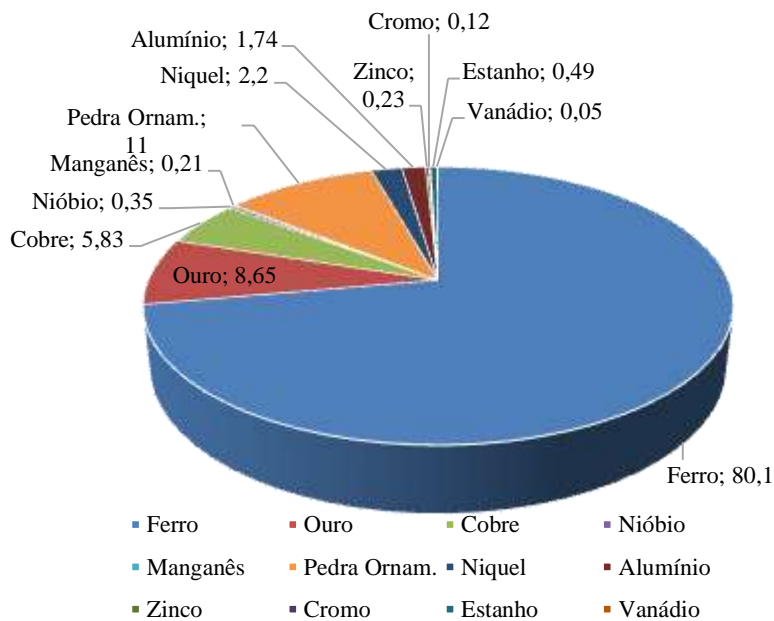
No capítulo 3 será apresentado o estudo de caso de uma pilha de rejeito (PDR) que passou a atender às mesmas obrigações normativas das barragens alteadas pelo método a montante em decorrência da Resolução nº 13/2019 e da Lei 14.066/2020. Neste capítulo, será apresentada uma breve descrição da área do estudo e toda metodologia utilizada para realização da pesquisa. Também serão apresentados os parâmetros geotécnicos e ambientais com uma análise detalhada do comportamento do solo, do perfil geológico, da estabilidade estrutural, da categoria de risco e do dano potencial associado que contribuíram para o enquadramento da pilha de rejeito como barramento a montante, tendo em vista os riscos associados; o plano de descomissionamento, com identificação das possíveis falhas no sistema de classificação e os passivos ambientais, assim como uma breve discussão das estratégias para disposição final, aproveitamento dos rejeitos de mineração e uma análise descritiva dos dados obtidos via questionário com relação à satisfação e sugestões dos profissionais que atuam na área de mineração, sobre as atualizações realizadas recentemente na Política de Segurança de Barragem.

Finalmente, no texto de conclusão geral, são retomados os principais resultados das análises e exposta uma reflexão sobre o trabalho desenvolvido e possíveis trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A atividade de mineração envolve a intervenção humana direta sobre os recursos minerais em riquezas aproveitáveis e benefícios socioeconômicos essenciais. No Brasil, segundo a Agência Nacional de Mineração (ANM, 2021), o minério de ferro tem ocupado o posto principal dos recursos minerais que geram as maiores rendas nas exportações, já que ele é o principal minério utilizado na fabricação de aço e ferro fundido, como ilustra a Figura 1.

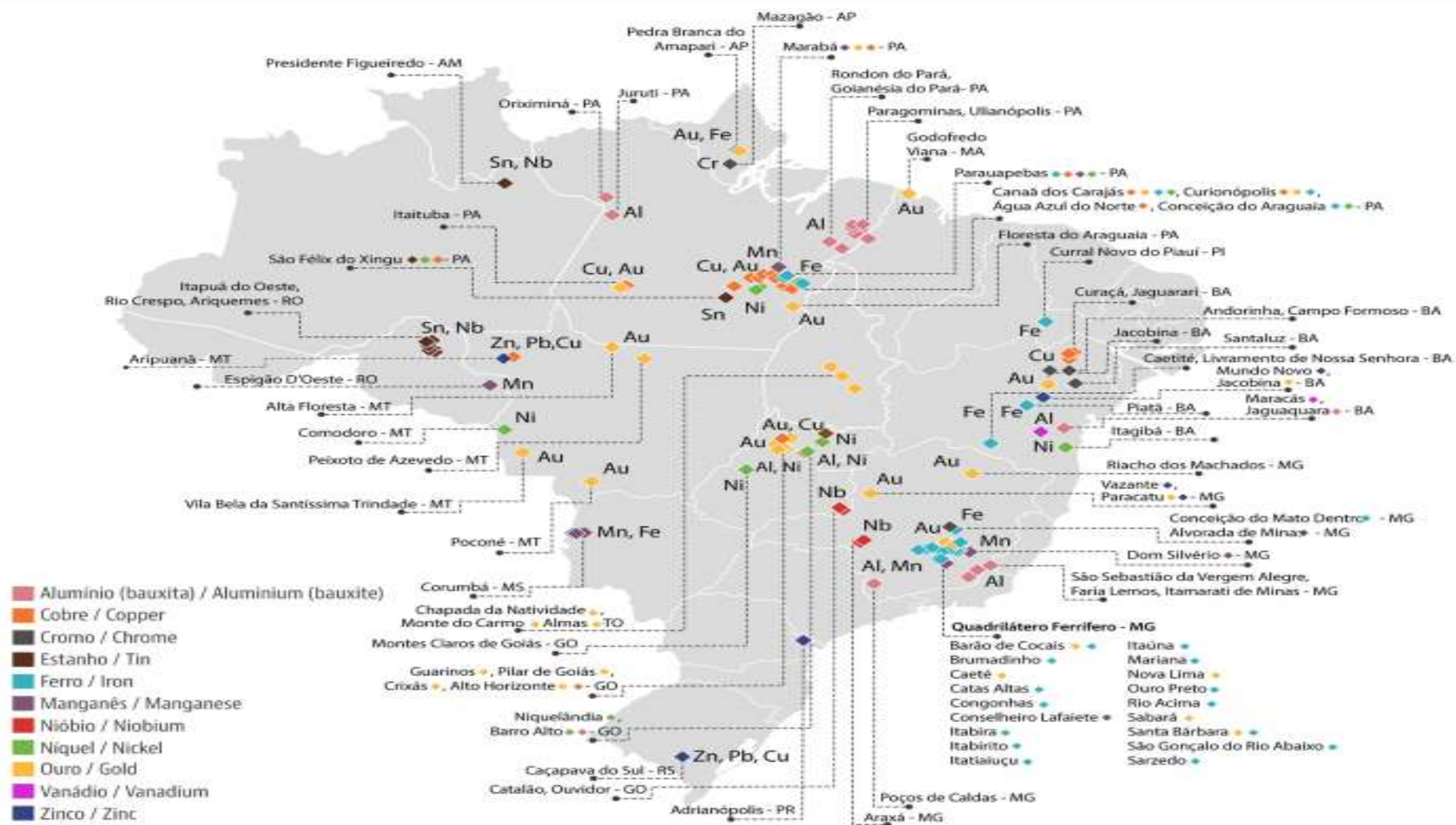
Figura 1 – Percentual das principais substâncias minerais metálicas brasileiras exportadas, em dólar americano (US\$)



Fonte: Adaptado de ANM, Agência Nacional de Mineração, Anuário de Substâncias Metálicas, 2022. Ano de Base 2021.

A Figura 2 apresenta a localização das principais reservas ou produção de minérios metálicos em todos os estados do Brasil.

Figura 2 – Localização das principais reservas minerais do Brasil, destacando as substâncias metálicas



Fonte: ANM - Agência Nacional de Mineração, 2022.

O beneficiamento do minério está associado à geração de rejeitos em enormes proporções (maiores do que a do próprio mineral desejado) que, no primeiro momento, são vistos como descartes da atividade por não conter quantidades suficientes do mineral desejado para viabilizar sua exploração econômica.

Abrão (1987) já tinha constatado que a razão média entre o produto final e a geração de rejeitos de alguns minerais se dava da seguinte maneira: ferro 2/1, carvão 1/3, fosfato 1/5, cobre 1/30 e ouro 1/10000, resultando em uma quantidade significativa de rejeitos descartados em estruturas de disposição que afetam o meio ambiente de forma qualitativa e quantitativa. Boscov (2008) e ANM (2022) estimam que, para cada tonelada de minério ferro produzido, são eliminados, em média, 0,5 a 0,6 toneladas de rejeitos.

As estruturas destinadas à disposição destes rejeitos, frequentemente, ocupam grandes áreas e, devido ao fim da vida útil, demandam atenção especial para a elaboração e execução de um plano de descomissionamento. Os rejeitos podem ser dispostos em reservatórios de barragens ou empilhamentos dependendo do processo de beneficiamento e da proporção de água no material.

Visando alcançar os objetivos dessa pesquisa, faz-se necessário apresentar os conceitos fundamentais para a compreensão dos sistemas de disposição dos rejeitos da mineração e, como o descomissionamento dessas estruturas estão sendo tratadas na legislação ambiental brasileira subsequente à atualização da Política Nacional de Segurança de Barragens – Lei 14.066/2020.

2.1 Sistemas de Disposição de Rejeitos

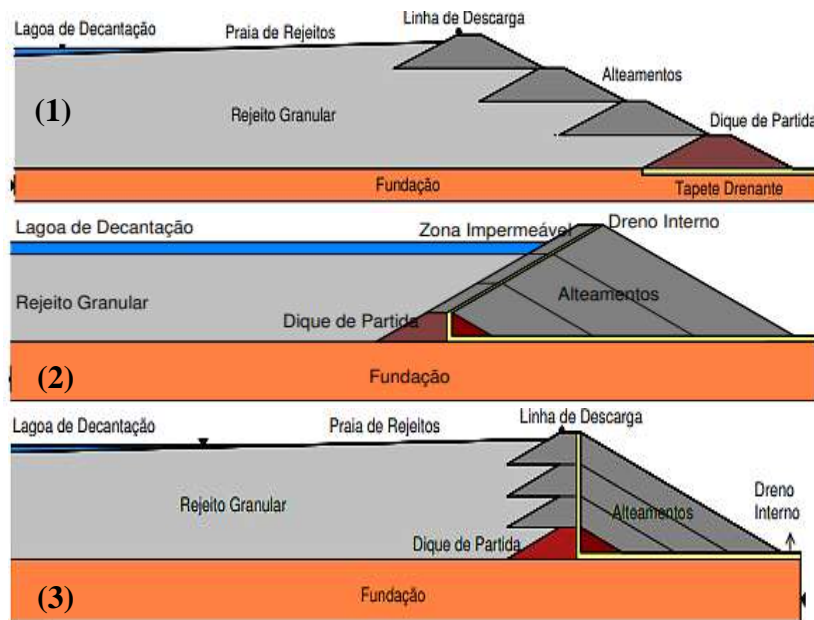
2.1.1 Barragem de Rejeito de Mineração

As estruturas de contenção conhecidas por barragem de rejeitos são construídas com a finalidade de acondicionar os rejeitos compostos por materiais de granulometria mais finas (lamas) provenientes do beneficiamento minerário (CARDOZO, 2019) e devem observar as normas ambientais e de segurança exigidos para esse fim, por causarem alterações no meio ambiente, riscos ambientais e impactos socioambientais (SOARES, 2010; TOMÉ; PASSINI, 2018).

Tais estruturas acompanham o ritmo de lavra para o desenvolvimento das etapas de construção e, à medida que os rejeitos são gerados, novos alteamentos são estabelecidos (DUARTE, 2008). Os métodos construtivos de barragens de rejeitos por alteamento

consecutivo podem se resumir em três formas tradicionais: o método a montante, o método a jusante e o método de linha de centro (Figura 3). Cada um destes métodos possui características, requisitos, vantagens e riscos intrínsecos (ALBUQUERQUE FILHO, 2004; CARDOSO *et al*, 2016).

Figura 3 – Representação da barragem alteada pelos métodos: (1) método a montante; (2) método a jusante; (3) método de linha de centro



Fonte: Albuquerque Filho, 2004.

O método a montante utiliza a técnica do aterro hidráulico que consiste em construir degraus com materiais de empréstimos ou com o próprio material do rejeito, a partir da construção de um dique inicial (dique de partida) compactado que irá receber o rejeito descarregado hidráulicamente, formando uma praia de rejeito para ser adensada e usada como fundação para a construção de novos diques de alteamento. Esse método é considerado o mais simples, econômico e menos seguro, pela dificuldade de controle da superfície freática, redução na capacidade de armazenamento do reservatório, susceptibilidade ao *piping*, superfícies erodíveis e probabilidade de liquefação, no caso de rejeitos granulares, fofos e saturados (ESPÓSITO, 2000).

O método a jusante segue a ideia inicial da construção de um dique (dique de partida) compactado. No entanto a disposição lembra o formato de pirâmide, fazendo com que o barramento fique mais seguro à medida que o rejeito é depositado hidráulicamente, reduzindo, assim, os riscos de liquefação em zonas de atividade sísmica e a instabilidade da estrutura

devido à instalação de zonas de drenagem e núcleos impermeáveis. Esse método demanda um grande volume de materiais para aterro, encarecendo a construção; e maiores áreas, resultando em maior desmatamento e, portanto, maiores impactos ambientais.

O método de linha de centro é considerado um sistema intermediário, por possuir maior estabilidade do que o método a montante e, economicamente, ser mais viável do que o método a jusante, por não exigir grandes volumes de materiais. A construção da barragem por esse método mantém um eixo de simetria inalterado.

Araújo (2006) e Cardoso *et al.* (2016) explicam que no método a montante, como o material não é consolidado, os rejeitos tendem não só apresentar uma baixa resistência ao cisalhamento e maior possibilidade de ruptura devido à liquefação por carregamento dinâmico e estático, como também, problemas no sistema de drenagem. Além disso, ressaltam que o alteamento a jusante, devido à dinâmica de construção, apresenta menos problemas em relação à constância da geometria da barragem e, também, do controle das propriedades dos materiais na construção, tais como: compactação, implantação de drenos e impermeabilização. Já o método de linha de centro apresenta mais riscos associados que o método a jusante e menos que o a montante.

Os alteamentos são indispensáveis para a ampliação da capacidade de armazenamento de rejeitos de mineração no reservatório da barragem. No entanto, o excesso dos rejeitos compostos por uma estrutura arenosa não plástica (rejeitos granulares) até solos de granulometria fina e alta plasticidade (lamas), tem contribuído para os principais condicionantes que influenciam no fim do ciclo da vida útil das barragens e, conseqüentemente, resultando em danos catastróficos quando ocorrem falhas e rupturas provocadas por: assoreamento; percolação descontrolada de água pelo maciço; ocorrência de deslocamentos e deformações nas estruturas; erosão superficial; liquefação e galgamento (HOLTZ; KOVACS, 1981; PINTO, 2010; SILVA *et al.*, 2015; VINAUD, 2019).

Alguns métodos alternativos considerados, na literatura, como operacionais, seguros e sustentáveis para armazenar e conter os rejeitos são: empilhamento drenado; lama espessada; pasta; disposição de rejeitos filtrados e co-disposição. (FERRANTE *et al.*, 2016; IBRAM 2016; ALVES, 2020).

2.1.2 Empilhamento Drenado de Rejeito de Mineração

O sistema de empilhamento drenado consiste em utilizar a técnica de aterro hidráulico para conter a disposição de rejeitos granulares (Figura 4), uma vez que esses materiais

apresentam propriedades de resistência considerável e alto coeficiente de permeabilidade, que favorecem a livre drenagem, principalmente em fluxo gravitacional e subvertical, e servem de suporte aos alteamentos (ALVES, 2015).

Figura 4 – Lançamento e deposição de rejeitos granulares através de canhões



Fonte: Espósito, 2000.

Os alteamentos sucessivos da estrutura são edificados pelo próprio rejeito sob a forma de pilha a montante e apresenta um sistema de drenagem interna eficiente para permitir a drenagem da camada de rejeito lançada (PORTES, 2013), como ilustra a Figura 5.

Figura 5 – Depósito de rejeito pelo método de empilhamento drenado



Fonte: IBRAM, 2016.

O sistema de drenagem deve permitir o fluxo gravitacional e subvertical de água no interior do reservatório, diminuindo, assim, a atuação de forças de poro-pressão e favorecendo a estabilidade dos taludes (ALVES, 2015; ALVES, 2020).

Oliveira-Filho e Abrão (2015) destacam que é possível visualizar uma lagoa na superfície do reservatório proveniente da polpa do rejeito que acaba desaparecendo quando as operações são cessadas e, por isso, rejeitos com granulometria fina não são recomendados para esse tipo de método por não possuir condições geotécnicas adequadas para o processo de drenagem.

Pimenta (2011) mostra que o método de empilhamento drenado produz um maciço não saturado e estável com maior densidade, capacidade, vida útil e menor potencial de dano em uma eventual ruptura. Além de facilitar o processo de descomissionamento e recuperação ambiental com baixo risco de liquefação e de ruptura na aplicação do método a montante.

Com o fim da vida útil das barragens e dos empilhamentos drenados de rejeito se faz necessário estabelecer um processo de elaboração e aprovação do plano para o descomissionamento, mas, em função dos custos elevados e da falta de mecanismos legais que disciplinem essa fase de desativação, percebe-se a existência de um cenário favorável à manutenção de vários passivos ambientais, devido ao abandono de muitas estruturas sem nenhum processo de reaproveitamento dos rejeitos e da reabilitação das áreas degradadas.

Com a Resolução nº 13/2019 da Agência Nacional de Mineração (ANM, 2019) a estrutura caracterizada como empilhamento drenado de rejeito passou a sujeitar-se às mesmas obrigações atribuídas às barragens a montante, tendo em vista o potencial de dano associado e categoria de risco.

Art. 12. Os empilhamentos drenados construídos por meio de disposição hidráulica dos rejeitos e que sejam suscetíveis à liquefação conforme definida pelo projetista, ficam sujeitos às mesmas obrigações atribuídas às barragens a montante, previstas nesta Resolução e na Portaria DNPM nº 70.389, de 17 de maio de 2017 ou normas que as sucedam (ANM, 2019).

E, a partir de 2020, com a atualização da Lei de Segurança de Barragem – Lei 14.066/2020 – passou a vigorar a obrigatoriedade da descaracterização dessas estruturas e de toda barragem construída pelo método a montante.

Dorman *et al.* (1996) descrevem que o processo de descaracterização e descomissionamento dessas estruturas sofrem influência direta das características físicas e químicas dos rejeitos associadas à natureza química do fluido de transporte, tais como: distribuição granulométrica da fração sólida; tipo de mineralogia; massa específica in situ associada com característica de consolidação e deformação; massa específica dos grãos e mudanças do índice de vazios com o tempo; resistência ao cisalhamento drenado e não drenado; susceptibilidade à liquefação; permeabilidade; composição química e mineralógica dos líquidos e sólidos constituintes dos rejeitos granulares com identificação de possíveis

ácidos, metais pesados ou materiais tóxicos; concentração e velocidade de transporte dos materiais granulares.

Alves (2015) enfatiza que o processo de descaracterização e descomissionamento deve ser contemplado com estudos geotécnicos de tensão-deformação, percolação e estabilidade, no intuito de abranger os possíveis mecanismos de falhas e rupturas que podem ser desenvolvidos durante o processo, garantindo assim a segurança ambiental e socioeconômica das partes envolvidas, tais como operários e da população do entorno.

2.2 Descomissionamento de Barragem e Pilhas de Rejeito de Mineração

Com o aumento expressivo do consumo dos bens minerários e, conseqüentemente, a exaustão e o fim da vida útil das barragens e pilha de rejeitos, surgiu a necessidade de implantar legislações para direcionar com segurança as fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento, primeiro vertimento, operação, desativação, descomissionamento e aproveitamento dos rejeitos para a redução de efluentes dispostos na natureza (ROCHA E PERES, 2009).

No Brasil, a partir de 2010, com a implantação da Lei Federal 12.334/2010 (BRASIL, 2010), que se refere à Política Nacional de Segurança de Barragem (PNSB), foram impostas às mineradoras várias normas ambientais e, conseqüentemente, definidos os órgãos responsáveis pela fiscalização das barragens, dentre eles: a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, atual Agência Nacional de Mineração), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), entendendo que cada órgão terá a sua responsabilidade quanto ao cadastramento das barragens sob sua jurisdição, assim como instituir o plano de segurança das barragens.

Tonidandel (2011); Souza *et al.* (2017); Thomé *et al.* (2019) relataram que as regulamentações referentes ao licenciamento ambiental relacionadas aos planos de segurança de barragem que envolvem ações para a descaracterização, recuperação da área degradada e uma nova destinação aos rejeitos de mineração, seguiam em ritmo muito lento no país.

Em 2015 após o rompimento da barragem do Fundão, localizada na unidade industrial de Germano, no subdistrito de Bento Rodrigues, no Município de Mariana, Minas Gerais/Brasil, sob uma visão catastrófica de dano socioambiental, começaram os avanços em muitos aspectos na legislação (BORGES, 2018).

No mesmo ano, o Ministério do Meio Ambiente propôs um plano de manejo envolvendo estudos com diagnósticos do meio físico, biológico e social, para estabelecer normas com restrições de uso, ações a serem desenvolvidas e utilização dos recursos naturais de uma área, buscando minimizar os impactos ambientais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2015).

Pereira (2020) cita que várias medidas provisórias foram criadas em 2017, por meio do Programa de Revitalização da Indústria Mineral, no intuito de instituir novas diretrizes para a reestruturação dos órgãos regulamentadores da mineração no país, das normas previstas no Código de Mineração e das regras de Compensação Financeira pela Exploração Mineral – CFEM.

Em 2020, após o desastre catastrófico da barragem B1, localizada no Ribeirão Ferro-Carvão, na região de Córrego do Feijão, no Município de Brumadinho (Figura 6), Minas Gerais/Brasil, ocorreu a atualização da Política Nacional de Segurança de Barragem, consolidada pela Lei 14.066/2020 (BRASIL, 2020), que intensificou as exigências para as mineradoras quanto às diretrizes técnicas do descomissionamento, tratamento e disposição de rejeitos, observando as novas normas aprovadas no âmbito do licenciamento ambiental, para minimizar os passivos ambientais gerados. O que pode ser verificado no Art. 2º-A e 43-A da Lei 14.066/2020 (BRASIL, 2020):

§ 2º O empreendedor deve concluir a descaracterização da barragem construída ou alteada pelo método a montante até 25 de fevereiro de 2022, considerada a solução técnica exigida pela entidade que regula e fiscaliza a atividade minerária e pela autoridade licenciadora do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama). (Art. 2º-A da Lei 14.066/2020 que altera a Política Nacional de Segurança de Barragem – Lei 12.334/2010).

Parágrafo único. A recuperação do ambiente degradado prevista no caput deste artigo deverá abarcar, entre outros, o fechamento da mina e o descomissionamento de todas as instalações, incluídas barragens de rejeitos, de acordo com a legislação vigente. (Art. 43 da Lei 14.066/2020 que altera o Código de Mineração - Decreto-Lei nº 227/1967)

Figura 6 – Ruptura da Barragem da mina Córrego do Feijão, em Brumadinho (MG)



Fonte: <https://www.brasil247.com>.

A Lei 14.066/2020 passou-se a exigir o descomissionamento de toda estrutura construída pelo método de alteamento a montante no Brasil. Silva e Ribeiro (2020) ressaltam que embora a Austrália ainda faça o uso de barragens construídas pelo método a montante, é exido o plano de descomissionamento antes mesmo do processo de autorização para exploração mineral. E segundo a autora, países como Peru e Chile já vetaram, enquanto que, África do Sul ainda está em processo de proibição.

Para alguns países as questões socioambientais são determinantes para o descomissionamento, em outros, consideram mais o desenvolvimento. Por exemplo, nos Estados Unidos, a taxa de descomissionamento supera a de construção de novas barragens, enquanto que, China e Índia apresentam altas taxas de construção (Malferrari,2000). Embora, Malferrari tenha feito essas observações no ano de 2000, os cenários continuam a se configurar nos dias atuais, pelo estado de desenvolvimentos desses países.

Entretanto, mesmo os países desenvolvidos e em desenvolvimento, tais como: Austrália, Canadá, Reino Unido, Estados Unidos, Índia, Peru, Chile e África do Sul, a garantia de uma destinação ambientalmente correta para os resíduos tem sido uma preocupação. Países como Portugal, França e Reino Unido, utilizam a teoria da responsabilização subsidiária para resolver a perspectiva de reparação do dano ambiental (Pereira, 2020).

Apesar da existência de autonomia legislativa presentes nos países, o Plano de Fechamento é exigido em todos eles. Dessa forma, as principais medidas a serem adotadas para minimizar os passivos ambientais, gerados por barragens e empilhamentos drenados/filtrados, para avançar com o processo de descomissionamento observam as seguintes etapas: Estudo e monitoramento da estabilidade geológica e geotécnica;

Desmobilização das instrumentações geotécnicas que compoñham a infraestrutura da barragem; Estudo das águas superficiais e subterrâneas; Monitoramento, acompanhamento e direcionamento dos sistemas de disposição de rejeitos; Recuperação ambiental da área degradada; e Avaliação da aptidão e o propósito para o uso futuro da área (PEREIRA, 2020).

2.2.1 Estabilidade geológica e geotécnica considerando avaliações hidrológicas e hidrogeológicas

O estudo da estabilidade geológica e geotécnica da área de uma barragem se faz necessário para a compreensão não só dos principais indicadores ambientais relacionados às causas e consequências de rupturas e eventos catastróficos como, também, para avaliar e dimensionar dados que possam corroborar para estabelecer medidas de segurança em protocolos de projeto, sistema de gerenciamento e manutenção da barragem (LIMA JUNIOR; de PAIVA, 2018).

Espósito (2000) e Machado (2017) sugerem avaliar, principalmente com relação aos rejeitos que são reaproveitados como material estrutural da barragem, parâmetros tais como: densidade dos grãos, granulometria, permeabilidade, resistência ao cisalhamento drenada ou não drenada, limite de plasticidade e liquidez, índice de plasticidade, percolação e porosidade.

Considerando que a ruptura de uma barragem se deve ao processo de instabilidade do maciço e/ou da fundação, liquefação dos rejeitos do reservatório ou dos alteamentos da crista, galgamento e erosão interna regressiva ou progressiva, as análises dos parâmetros registrados devem considerar as condições específicas do ambiente de cada ponto do solo amostrado, tais como: densidade/compacidade, tensão de confinamento, profundidade e fatores geológicos da região, buscando uma caracterização do solo com efetiva qualidade e representatividade (FONSECA *et al.*, 2021).

Outro fator relevante que deve ser avaliado no processo de segurança no descomissionamento de uma barragem refere-se aos estudos hidrológicos e hidrogeológicos da estrutura e da região na qual a mesma se insere. Esse tipo de estudo é importante para determinar não só a vazão máxima de cheia, mas ao volume de armazenamento necessário à regularização da vazão, ao dimensionamento do dissipador de energia, à segurança hidrológica da estrutura em armazenar os fluxos de precipitação para tempos de recorrência previsto na legislação, como também, a qualidade das águas superficiais e subterrâneas para o reaproveitamento das áreas degradadas.

2.2.2 Reaproveitamento dos rejeitos de mineração e reabilitação das áreas degradadas

O setor minerário em ritmo acelerado de crescimento, associado à lavra de minérios com teores cada vez mais baixos, tem gerado uma excessiva produção de rejeitos nos reservatórios das barragens, provocando uma forte preocupação no âmbito socioambiental. Em busca de soluções para evitar o abandono dessas barragens sem a avaliação e reabilitação dos impactos gerados, o Ministério de Minas e Energia – MME e a Agência Nacional de Mineração – ANM sugerem o reaproveitamento como medida prévia ao armazenamento dos rejeitos, inclusive através de aditamento ao título Lavra por meio de processo simplificado (VINAUD, 2019).

Vale destacar algumas alternativas sustentáveis para o reaproveitamento dos rejeitos, tais como: Vieira (2008) produziu em laboratório *pellet feed* ao processar rejeitos da flotação mecânica da mineradora Samarco em um circuito misto de separação magnética/flotação colunar; Rocha *et al.* (2009) propuseram a utilização de técnicas de flotação catiônica reversa na separação dos minerais sólidos presentes nas lamas, agregando valor econômico aos rejeitos; Silva *et al.* (2015) apresentou a produção de rejeitos gerado nas mineradoras em pastas para substituir o método utilizado nas barragens por um sistema de eliminação de pilhas; Fontes *et al.* (2018) desenvolveram ladrilho hidráulico sustentável por meio dos rejeitos da barragem de minério de ferro para serem utilizados como materiais de construção; Silva e Paiva (2020) produziram materiais rochosos artificiais a partir dos rejeitos de minério de ferro provenientes do rompimento da barragem de rejeitos do Fundão, localizada em Mariana-MG; dentre outros.

Exemplos práticos de sustentabilidade ambiental para o reaproveitamento dos rejeitos podem contribuir para acelerar o processo de descomissionamento e reabilitação das áreas degradadas, evitando assim, desastres socioeconômico-ambientais catastróficos tais como ocorreu nos últimos anos em Minas Gerais/Brasil, nos municípios de Mariana no ano de 2015 e em Brumadinho no ano de 2019, deixando partes dos municípios imersos em lama de rejeitos e provocando mortes, poluição dos recursos hídricos e solo, além da perda de biodiversidade tanto em relação à fauna quanto à flora. Para maiores detalhes sobre os desastres ocorridos verificar Lacaz *et al.* (2017), Borges (2018), Costa (2020), Laschefski (2020).

Os rejeitos compostos por materiais de granulometria mais fina (lamas) que outrora eram descartadas para o meio ambiente, hoje podem ser transformados em bens de consumo, trazendo benefício socioeconômico-ambiental para as mineradoras e, principalmente, para a

sociedade (SILVA E PAIVA, 2020). Vale ressaltar que, atualmente, devido à grande quantidade de volume dos rejeitos de mineração, precisa-se estudar de forma mais eficaz a transformação em grande escala destes materiais como bens de consumo.

2.3 Lei 14.066/2020 – Atualização da Política de Segurança de Barragem – considerando os cenários precedentes e subsequentes

As barragens de contenção são imprescindíveis para receber os rejeitos produzidos no processo de beneficiamento do minério. Essas estruturas apresentam um prazo de vida útil e são passíveis de ruptura (FONSECA *et al.*, 2019). Pinto (2010) relata que os problemas relacionados ao descomissionamento requerem uma atenção muito especial pois, de acordo com o autor, barragens não foram projetadas para sofrer o processo de descomissionamento, principalmente, no caso em que os rejeitos estão contaminados e oferecem riscos à saúde. Esse autor ressalta também que a legislação vigente até o ano de 2010 só levava em consideração algumas diretrizes para o controle ambiental, sem dispor de regras claras e objetivas no que diz respeito ao plano de licenciamento ambiental para a projeção da descaracterização e reabilitação das áreas degradadas, gerando assim passivos ambientais.

Souza Junior e Heineck (2018) trazem uma confirmação para os estudos de Pinto (2010) quando orientam sobre a importância das práticas do licenciamento ambiental e do estudo prévio com seus respectivos relatórios sobre os impactos ambientais (EIA/RIMA) necessários à implantação desse tipo de empreendimento. Esses autores apresentam um destaque especial para a Lei 12.334 que foi criada no ano de 2010, e que instituiu a Política Nacional de Segurança de Barragem (PNSB) e o Sistema Nacional de Informações sobre a Segurança de Barragens (SNISB).

A Política Nacional de Segurança de Barragem passou a regulamentar as medidas de segurança e controle ambiental exigidas em todo o processo de vida útil da barragem, tais como: criação de planos de segurança desde as etapas de construção, operação e descomissionamento, classificação das barragens por categoria de risco, definição dos órgãos fiscalizadores com suas específicas funções, criação de planos emergenciais e de informações a sociedade, entre outros. Para maiores detalhes, Aguiar (2014) e Vinaud (2019) fazem uma descrição completa e cronológica dos trâmites políticos necessários desde a criação da mina até o descomissionamento de barragem, considerando a formulação da Lei 12.334/2010.

Regulamentar essas medidas de segurança são fundamentais pois, de acordo com Borges (2018), a exploração dos recursos minerais exige o conhecimento da dimensão

espacial da vulnerabilidade das barragens devido à capacidade de gerar danos, incertezas, exposição ao perigo, perdas, prejuízos e grandes probabilidades de ocorrência de eventos desastrosos no tempo e no espaço.

Sousa Junior e Heineck (2018) descrevem que em 2012 foi constituída a Resolução CNRH 143/2012 para estabelecer os critérios de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, considerando os aspectos referentes às características técnicas, estado de conservação, plano de segurança e fechamento das barragens. Medidas legais sobre o tema se intensificaram, segundo Borges (2018), com a criação da Portaria DNPM 70.389/2017, em que o Governo Federal passou a exigir, em caráter obrigatório: o cadastro nacional das barragens de mineração; um sistema de gestão em segurança de barragem; a periodicidade das inspeções de segurança regular e especial; a qualificação dos responsáveis técnicos; o plano de ação para o descomissionamento e a reparação do dano ambiental com reabilitação das áreas degradadas.

Ao Senado Nacional em 2012 foi levada uma proposta de emenda à Constituição de 1988 – PEC 65/2012, que tinha como norma assegurar a continuidade de uma obra pública independente dos impactos ambientais gerados, alterando as regras do licenciamento ambiental, o que, para Borges (2018), se aprovada, representaria um retrocesso na legislação ambiental do país. Segundo Thomé e Ribeiro (2019), após os desastres que ocorreram em 2015 e 2019 envolvendo barragem de rejeitos em Minas Gerais - Brasil, a PEC 65/2012 foi desconsiderada e a legislação ambiental nacional vigente passou a exigir o cumprimento das normas ambientais propostas pela Política Nacional de Segurança de Barragem com a elaboração de projetos (NBR 13.028:2017), para evitar e/ou minimizar não só os impactos ambientais gerados pela exploração mineral, bem como o descomissionamento de barragem e recuperação das áreas degradadas, visando atender às condições de segurança, operacionalidade, economicidade. Fatos que podem ser verificados nos estudos de Lacaz *et al.* (2016), Souza e Sampaio (2017), Costa e Bravim (2020) e Stela *et al.* (2020).

Pereira (2020) cita a criação de várias Medidas Provisórias elaboradas no ano de 2017 para promover um Programa de Revitalização da Indústria Mineral e, em 2018, a publicação do Decreto-Lei 9.406/2018 para regulamentar a Lei 227/1967, trazendo medidas mais sólidas e concretas para o desfecho das minas e barragens de rejeito. Isso pode ser verificado no Art. 5º do Decreto-Lei 9.406/2018:

Art. 5º A atividade de mineração abrange a pesquisa, a lavra, o desenvolvimento da mina, o beneficiamento, a comercialização dos minérios, o aproveitamento de rejeitos e estéreis e o fechamento da mina. [...] §3º O fechamento da mina pode incluir, entre outros aspectos, os

seguintes: I - a recuperação ambiental da área degradada; 16 II - a desmobilização das instalações e dos equipamentos que componham a infraestrutura do empreendimento; III - a aptidão e o propósito para o uso futuro da área; e IV - o monitoramento e o acompanhamento dos sistemas de disposição de rejeitos e estéreis, da estabilidade geotécnica das áreas mineradas e das áreas de servidão, do comportamento do aquífero e da drenagem das águas. (BRASIL, 2018).

Além disso, o Governo Federal sancionou a Lei de nº 14.066 em 30 de setembro de 2020, uma atualização da Política Nacional de Segurança de Barragem, para estabelecer importantes alterações na legislação, principalmente, no que se refere às barragens de rejeitos minerários, tais como: proibição de novas construções e descomissionamento de todas as barragens construídas pelo método a montante no país; a classificação da estrutura por categoria de risco deverá levar em consideração a idade e o método de construção da barragem; os órgãos fiscalizadores deverão exigir do empreendedor a adoção de medidas que levem à redução da categoria de risco da barragem; o empreendedor deverá notificar imediatamente o órgão fiscalizador, a autoridade ambiental licenciadora e o órgão de proteção e defesa civil em caso de alteração das condições de segurança da barragem que possa implicar acidente ou desastre; o empreendedor, em caso de acidente ou desastre, deverá prover à reparação dos danos à vida humana, ao meio ambiente e aos patrimônios público e privado até a completa descaracterização da estrutura e reabilitação das áreas degradadas, dentre outros (BRASIL, 2020).

Pereira (2020) utilizando o documento de guia em boas práticas do International Council on Mining & Metals (ICMM, 2019) apresentou detalhadamente todo o processo necessário para o descomissionamento de barragem considerando os aspectos socioambientais e visando a sustentabilidade para o uso futuro, com reabilitação/vegetação das áreas mineradas. Todavia, considerando uma observação de Pereira (2020) e confirmando-a por meio dos estudos de Thomé e Ribeiro (2019), percebe-se que o processo de descomissionamento e reabilitação podem durar anos e apresentar um custo muito elevado, o que corrobora para as mineradoras abandonar as áreas sem observar e praticar as políticas ambientais necessárias para extinguir e/ou diminuir os passivos ambientais gerados.

2.3.1 Regularização dos Passivos Ambientais para Barragem de Rejeitos em Minas Gerais

A aplicação de técnicas inadequadas na execução dos planos de descomissionamento e a não reabilitação das áreas degradadas dão origem aos passivos ambientais, que podem

provocar acidentes, danos ao meio ambiente e risco à saúde dos seres vivos (TONIDANDEL, 2017).

Diante das repercussões sociais e ambientais dos acidentes de grandes impactos em barragens, o estado de Minas Gerais foi pioneiro na regulamentação das diretrizes para o Plano de Fechamento de Mina contemplando a Deliberação Normativa COPAM nº 127 de 27 de novembro de 2008, que estabelecia a obrigação de inclusão dos Planos de Reabilitação da Mina e Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental (RADA) na revalidação da licença operacional. Em 2018, após a alteração na Deliberação Normativa COPAM Nº 127/2008, passando a ser Deliberação Normativa Nº 220/2018, foram estabelecidas novas diretrizes quanto à área impactada e mina abandonada e paralisada, exigindo a apresentação do Plano de Fechamento da Mina até dois anos antes do encerramento das atividades para os empreendimentos em operação ou paralisados que se enquadram nas classes 5 e 6, nos termos da Deliberação Normativa 217/2017 (PEREIRA, 2020).

A Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD passaram a exigir o cadastramento com a classificação do potencial de risco das barragens, seguindo os parâmetros da DN 62 (COPAM, 2002), DN 87 (COPAM, 2005) e DN 113 (COPAM, 2007); relatórios das auditorias periódicas nas barragens para avaliação das condições físicas e estruturais para condições seguras de estabilidade; e plano de ações com prazo para implantação de melhorias a fim de corrigir as falhas e garantir a estabilidade das estruturas (DUARTE, 2008).

A Lei Estadual nº 21.972/2016 trouxe a reestruturação do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, reformulando o processo de licenciamento ambiental no processo minerário em três modalidades: Licenciamento Ambiental Trifásico; Licenciamento Ambiental Concomitante e Licenciamento Ambiental Simplificado, no objetivo de conservar, preservar e recuperar os recursos ambientais e promover o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade ambiental do Estado (MINAS GERAIS, 2016).

A Lei Ordinária 23.291/2019 promoveu em 2019 um novo avanço ao criar a Política Estadual de Segurança de Barragem em Minas Gerais e determinar o descomissionamento das barragens de contenção de rejeitos alteadas pelo método a montante no prazo de 3 (três) anos considerando a regulamentação do órgão ambiental competente.

A Política Estadual de Segurança de Barragem em Minas Gerais baseou-se nos critérios de enquadramento de qualquer estrutura em barragem semelhante à Política Nacional de Segurança de Barragem criada em 2010 e atualizada pela Lei 14.066 em 2020. Entretanto,

as duas políticas diferem nos valores da altura do maciço e da capacidade total da estrutura conforme a Tabela 1 (BRASIL, 2010; MINAS GERAIS, 2019):

Tabela 1 – Diferenças no enquadramento de qualquer estrutura em barragem conforme estabelecido pela Política Nacional de Segurança de Barragem (2020) e pela Política Estadual de Segurança de Barragem em Minas Gerais (2019)

	Lei nº14.066/2020 PNSB	Lei nº23.291/2019 PESB_MG
I - altura do maciço	maior ou igual a 15 metros	maior ou igual a 10 metros
II - capacidade total	maior ou igual a 3.000.000m ³ (três milhões de metros cúbicos)	maior ou igual a 1.000.000m ³ (três milhões de metros cúbicos)

Fonte: Adaptado de Brasil (2010) e Minas Gerais 2019.

Em 2021 foi determinada, pelo Decreto de nº 48.140/2021, uma proposta de descomissionamento de barragem a montante consolidada em um projeto que contenha o programa de manutenção e monitoramento observando os critérios definidos em Termo de Referência aprovado e disponibilizado pela FEAM (MINAS GERAIS, 2021) por meio da Resolução Conjunta SEMAD/FEAM nº 2.784, de 21 de março 2019 e da Resolução Conjunta SEMAD/FEAM/IEF/ IGAM nº 2827, de 24 de julho de 2019, que determinam as diretrizes a seguir:

Art. 1º – Esta resolução regulamenta o caput e os parágrafos do art. 13 da Lei nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019, que institui a Política Estadual de Segurança de Barragens, e dá outras providências.

Parágrafo único – As barragens a que se refere esta resolução são as destinadas à acumulação ou à disposição final ou temporária de rejeitos e resíduos de mineração, que apresentem, no mínimo, uma das características a seguir:

I – Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 10m (dez metros);

II – Capacidade total do reservatório maior ou igual a 1.000.000m³ (um milhão de metros cúbicos);

III – Reservatório com resíduos perigosos;

IV – Potencial de dano ambiental médio ou alto, conforme regulamento.

Art. 3º – Fica vedada a concessão de licença ambiental para operação ou ampliação de barragens destinadas à acumulação ou à disposição final ou temporária de rejeitos ou resíduos da mineração que utilizem o método de alteamento a montante.

Art. 4º – Fica determinada a descaracterização de todas as barragens de contenção de rejeitos que utilizem o método de alteamento a montante,

provenientes de atividades minerárias, existentes no Estado de Minas Gerais, na forma desta resolução.

O descomissionamento das barragens no método a jusante ou linha de centro deve observar as diretrizes da Instrução de Serviço Sisema 02/2018, que estabelece procedimentos aplicáveis à gestão das declarações de condição de estabilidade, cadastro, descaracterização, descadastramento e licenciamento ambiental de barragens de contenção.

Em geral, a avaliação da estabilidade da barragem, associada à incerteza probabilística dos riscos envolvidos ao observar as normas ambientais vigentes no estado, pode fundamentar em decisões acuradas para avaliar a margem de segurança, sua integridade e vulnerabilidade, considerando a gravidade do efeito no colapso da vida útil de uma barragem, saúde das pessoas e animais presentes na região, propriedades e preservação do meio ambiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

De forma sucinta, o desenvolvimento da presente pesquisa compreendeu a realização de quatro partes descritas a seguir.

1ª Parte – Avaliação da literatura científica acerca da destinação dos rejeitos da mineração considerando a Lei 14.066/2020. Neste item foi desenvolvido o referencial teórico da pesquisa, com o nivelamento conceitual dos sistemas de disposição de rejeitos (barragem e empilhamento drenado) e a necessidade de descomissionamento de barragens e pilhas de rejeitos para atender a legislação atual. Foram apresentados os estudos de estabilidade geológica e geotécnica para avaliação hidrológica e hidrogeológica para o sistema de gerenciamento e manutenção de barragem, bem como foram citados estudos para o reaproveitamento dos rejeitos da mineração e reabilitação das áreas degradadas quando em fase de descomissionamento. Em função do grande volume de rejeitos produzidos pela mineração, faz-se necessário estudar de forma eficaz a transformação destes materiais em bens de consumo. Por fim, foram avaliados os principais efeitos da Lei 14.066/2022 que atualiza o Plano Nacional de Segurança de Barragem (PNSB) e, também a legislação minerária de MG, considerando as principais mudanças à essas inovações e os seus impactos na solução dos passivos ambientais decorrentes da geração dos rejeitos minerários.

Foram utilizados cinco indexadores: Scielo, Science Researd.com, BDTD (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações) e Portal de Periódicos da CAPES. Ao finalizar as

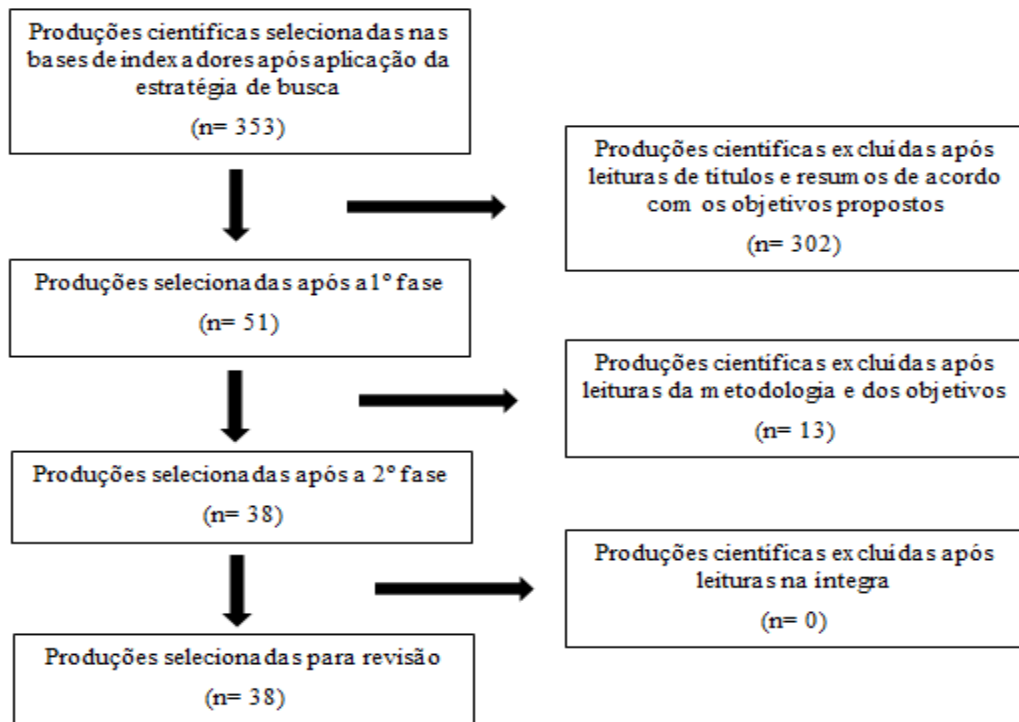
pesquisas em cada base, as referências duplicadas foram excluídas. A busca nestes indexadores englobou produções do ano de 2008 a 2021.

Foram usadas as terminologias de busca como critérios de elegibilidade, tais como: descomissionamento de barragem; reutilização dos rejeitos provenientes das barragens; barragem de rejeitos minerários; licenciamento ambiental para barragens de rejeito; Política Nacional de Segurança de Barragem; Política Estadual de Segurança de Barragem, de acordo com o objetivo proposto. E foram aceitos trabalhos científicos de língua: inglesa, portuguesa e espanhola, publicados e disponíveis na íntegra.

Na primeira etapa foram excluídos os trabalhos científicos que abordavam os temas sobre barragem não utilizada para fins de beneficiamento minerários; efeitos psicossociais sobre o rompimento das barragens, assim como pesquisas documentais, anais de congressos e textos em que o objetivo não mencionou os temas propostos nesse trabalho. Nessa etapa, encontrou-se 236 trabalhos científicos na Science Researd.com, 105 nos Periódicos CAPES, quatro na BDTD e oito na Scielo, revelando a grande expressividade de contribuições sobre o tema em literaturas especializadas na geotecnia, geologia e geotecnia ambiental. Foram selecionados 51 trabalhos científicos, mediante a leitura dos títulos e resumos do material coletado, aplicando-se os critérios de elegibilidade e de 100% de concordância entre os autores.

Na segunda etapa, foi efetuada a leitura da metodologia e dos objetivos das pesquisas, totalizando 38 trabalhos científicos. Porém, dentre os 38, apenas 11 apresentaram sugestões para a reutilização dos rejeitos. E, na terceira etapa, procedeu-se a leitura na íntegra, examinando a compatibilidade com critérios de elegibilidade. As fases e aplicações dos critérios podem ser visualizadas na síntese apresentada pela Figura 7.

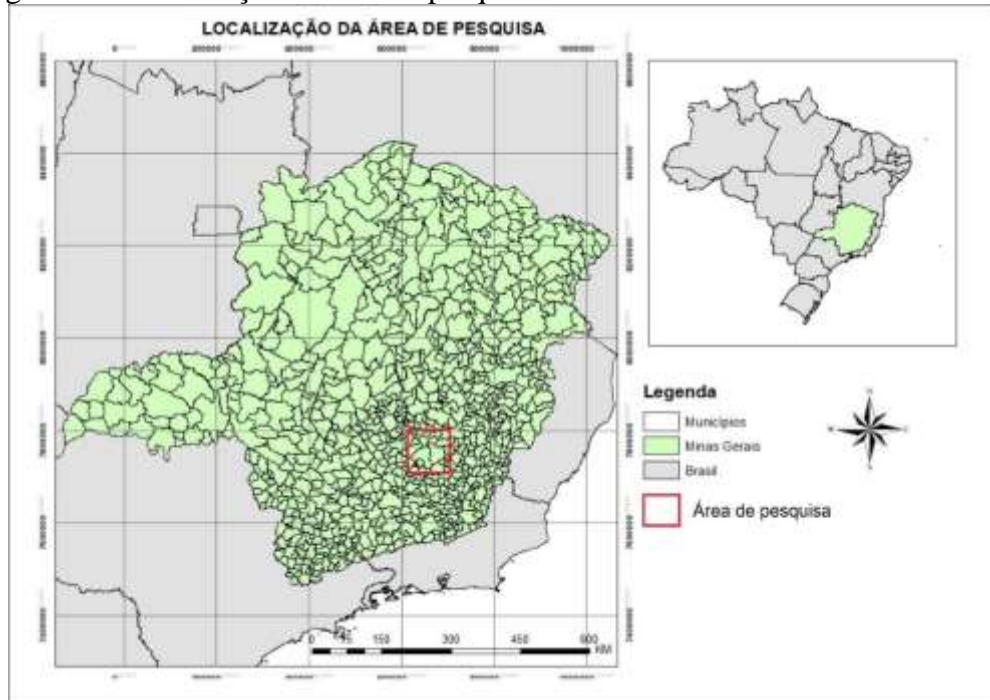
Figura 7 – Síntese da aplicação dos critérios de elegibilidade



Fonte: Adaptada de Chierrito-Arruda *et al.*, 2018.

2ª parte – Estudo de caso: como base para presente pesquisa, analisou-se uma barragem de rejeito (antiga pilha de rejeito) de uma empresa de mineração que tem suas operações de mineração localizada no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, que explora, classifica, beneficia e exporta o minério de ferro. Entre suas operações, a empresa realiza recuperação de rejeito das barragens e beneficia, através de concentração magnética e flotação, gerando o produto concentrado, que também é exportado. A estrutura em questão está situada na região sudeste do Quadrilátero Ferrífero, no Fuso 23S (SIRGAS 2000), no estado de Minas Gerais, a mais de 200 km da capital Belo Horizonte, como ilustra a Figura 8. Por questão de sigilo, não serão revelados nomes, localizações nem dados do empreendimento, ou ainda, do empreendedor. Sendo assim, usar-se-á a nomenclatura de XRS para identificar a barragem de rejeito em estudo e, ESSEN, será o nome fictício usado para mina proveniente dos rejeitos.

Figura 8 – Localização da área de pesquisa no sudeste do estado de Minas Gerais



Fonte: Do autor

Para a análise do estudo de caso da barragem XRS foi realizado não só o levantamento detalhado dos laudos técnicos sobre o aspecto geral da barragem, tais como: arranjo geral, geologia regional e local, seções típicas, materiais de construção, critérios de projeto e instrumentação instalada, planos de descomissionamento e de ações emergenciais, plano de segurança de barragem e a legislação ambiental vigente; como também, visitas técnicas de campo para a descrição visual, fotográfica e coleta de dados geotécnicos e ambientais sobre a real situação da barragem identificando zonas de instabilidade, pontos de anomalias e os passivos ambientais presentes.

Foram estabelecidos parâmetros geotécnicos e ambientais, fundamentados nas Resoluções Conjuntas: SEMAD/FEAM nº 2.784/2019 e SEMAD/FEAM/IEF/ IGAM nº 2827/2019 que são responsáveis pela regularização das diretrizes ambientais necessárias para o descomissionamento de barragens, tais como: granulometria; resistência, poro-pressão; permeabilidade; propriedades físicas; categoria de risco e dano potencial associado.

Os parâmetros geotécnicos foram usados para classificar os rejeitos, traçar a seção geológica e a análise de estabilidade da Barragem XRS para avaliar os riscos geotécnicos associados a uma eventual ruptura. A classificação dos rejeitos foi realizada por meio de ensaios de laboratório e de campo (CPTu) das amostras coletadas na barragem. O perfil geológico foi feito por uma análise visual com representação gráfica de um corte vertical da estrutura geológica representada em seções transversais ou longitudinais nas fundações da

barragem. A modelagem de estabilidade foi realizada de forma conceitual revisando os dados de geometria, parâmetros de materiais, condições de contorno e instrumentação considerando as informações do projeto protocolado da barragem e os que foram observados em campo.

Os parâmetros ambientais foram considerados para quantificar os riscos sócios ambientais relacionados à ruptura da Barragem XRS (“probabilidade de ruptura”) considerando os critérios estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) que é a combinação dos parâmetros relacionados ao CRI e DPA, ou seja, o risco é igual a $CRI \times DPA$.

Os riscos de ruptura associados à parte geotécnica e ambiental foram utilizados para definir se o enquadramento da pilha como barragem de rejeito conforme determinado pela Lei 14.066/2020 é justificável.

Foram apontadas as principais mudanças que ocorreram nas legislações em cenários precedente e subsequentes a Lei 14.066/2020 quanto à fiscalização e monitoramento das atividades minerárias com foco na barragem XRS.

Foi realizada uma análise de apontamento comparativo entre as principais ações em execução e as que foram protocoladas nos planos de descomissionamento considerando o cenário da legislação vigente.

Foi realizado um levantamento literário e documental para uma descrição sobre as principais estratégias legais para tornar o plano de descomissionamento da barragem XRS ágil e eficiente, como também, formas de aproveitamento dos rejeitos e reabilitação das áreas degradadas.

Para auxiliar na modelagem numérica da análise de estabilidade da Barragem XRS, foi utilizado o software SLIDE2, da ROCSCIENCE®.

3ª parte – Pesquisa de Opinião: consulta, por meio da aplicação de questionário semiestruturado (Anexo A) especificamente elaborado para o presente estudo, aos especialistas e profissionais que atuam no setor tanto de mineração como de geotecnia sobre a destinação de rejeitos em barragem e empilhamento drenado. O questionário tem por propósito avaliar e entender a percepção dos profissionais que atuam na área de mineração em relação ao processo de descomissionamento de barragens.

4ª parte – Estratégias Legais e Alternativas para Reaproveitamento dos Rejeitos: constatação final resultando da integração dos dados obtidos a partir de análise da literatura, estudo de caso e consulta a especialistas, com o intuito de propor estratégias legais para

redução dos passivos ambientais e aproveitamento dos rejeitos com foco em possíveis ganhos econômicos e socioambientais dentro de um cenário de preservação ambiental.

Nas subseções que seguem apresenta-se uma breve introdução dos conceitos fundamentais para compreensão dos resultados no Estudo de Caso da Barragem XRS.

3.1 Ensaios de piezocone – CPTu em campo e Ábacos de classificação

Os piezômetros são instrumentos que usam medições da influência da água em percolação que permite a determinação da pressão existente ou sua cota piezométrica equivalente (Santos, 2005). Tipos de Piezômetros:

- PE – Piezômetro Elétrico;
- PH – Piezômetro Hidráulico;
- PN – Piezômetro Pneumático;
- PZ – Piezômetro de Tubo.

Souza (2018) enfatiza que os resultados dos testes de CPTu podem ser usados para traçar perfis estratigráficos bem detalhados do solo, estimar parâmetros geotécnicos em comparação com amostragem e testes de laboratório, avaliação de propriedades dos materiais investigados e previsão da capacidade de liquefação dos solos (SOUZA, 2018 e Campos, 2021).

O ensaio de Piezocone / CPTu (Cone Penetration Test with Pore Pressure) consiste em cravar no solo um cone elétrico equipado de elemento filtrante para determinar a poropressão (u_2), o atrito lateral (F_r) e a resistência de ponta (Q_t), medidas que são fundamentais para quantificar a resistência de um solo à penetração contínua.

Para a classificação do comportamento dos rejeitos da Barragem XRS foi utilizado o método de Solo Normalizado, representado matematicamente por Schneider et. al. (2012) e modificado por Robertson (2016) com base nas equações a seguir.

$$Q_{tn} = [(q_t - \sigma_v) / pa] * (pa / \sigma'_{vo})^n \quad (1)$$

$$q_t = q_c + u_2 (1-a) \quad (2)$$

$$n = 0,381 (I_c) + 0,05 (\sigma'_{vo} / pa) - 0,15 \quad (3)$$

$$I_c = \sqrt{[(3,47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1,22)^2]} \quad (4)$$

$$F_r = [(f_s / (q_t - \sigma_{vo})) * 100\% \quad (5)$$

$$I_B = 100 (Q_{tn} + 10) / (Q_{tn} F_r + 70) \quad (6)$$

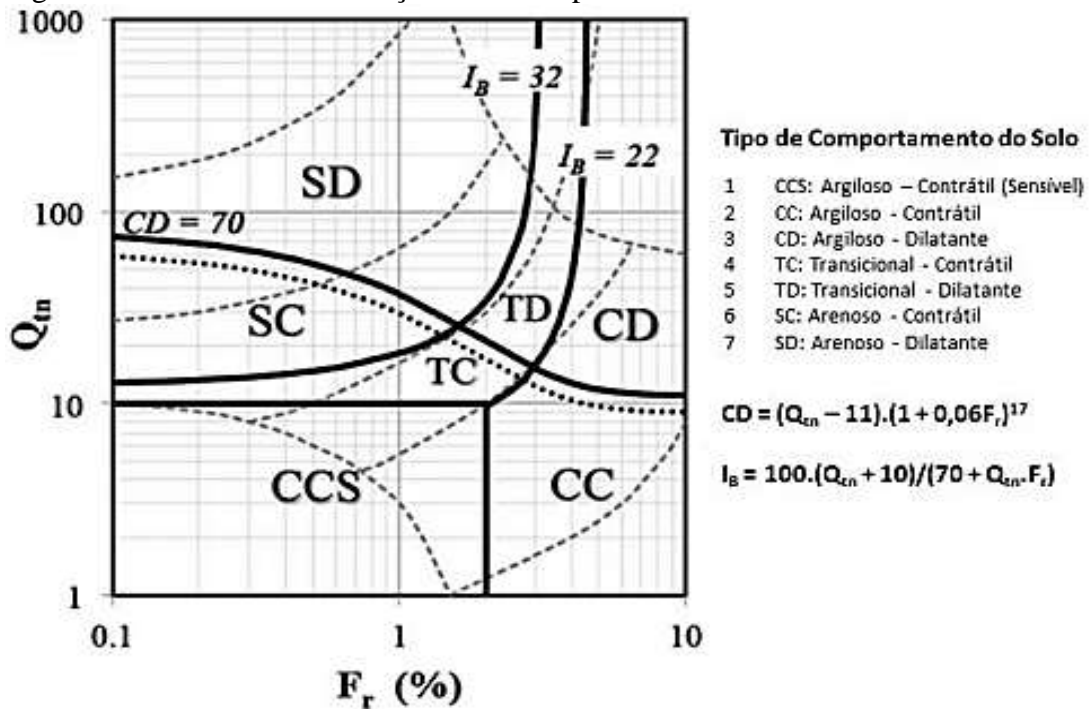
Em que: Q_{tn} é a resistência de ponta normalizada adimensional; Q_t é a resistência de ponta; F_r é a resistência lateral normalizada; I_C e I_B são índices de comportamento do solo; q_t resistência de ponta do cone para meio saturado; q_c resistência de ponta do cone; u_2 é a poro-pressão; A a área do cone; σ_v tensão total (vertical); p_a pressão atmosférica, σ'_{vo} tensão efetiva; n expoente de tensão; f_s resistência lateral do piezocone.

A resistência de ponta (q_t) e o atrito lateral (F_r) são influenciados diretamente pela poro-pressão, principalmente em materiais moles em que a poro-pressão apresenta valores significativos em relação a resistência de ponta, sendo necessário a correção da resistência de ponta (Equação 2) e do atrito lateral (Equação 5) (CAMPANELLA et al., 1982 apud ABULQUERQUE FILHO, 2004).

O atrito lateral e a resistência de ponta são usadas para classificar o solo com base no seu tipo de comportamento, o que tem sido feito através do uso de ábacos de classificação dos solos e, além disso, pode definir a estratigrafia.

Os ábacos de classificação definidos por Robertson (2016) podem auxiliar na caracterização e na identificação física dos rejeitos, com o intuito de melhor entender o comportamento desses materiais (Figura 9).

Figura 9 – Ábaco de classificação dos solos por meio de ensaios CPTu – Ábaco SBT



Fonte: Robertson, 2016.

A curva $CD=70$ (Equação 7) separa os solos dilatantes que não são susceptíveis a liquefação (plotados acima desta curva) daqueles contrácteis (plotados abaixo da mesma) e,

portanto, suscetíveis à liquefação e, conseqüentemente, pode acarretar a instabilidade de uma barragem (Figura 7).

$$CD = (Q_{tm} - 11) (1 + 0,006 F_r) \quad (7)$$

Os pontos do gráfico situados à esquerda da curva $I_B=32$ classificam-se como tipicamente arenosos, enquanto que, os pontos plotados à direita da curva $I_B=22$ classificam-se como tipicamente argilosos. Na região entre as curvas $I_B=32$ e $I_B=22$ situam-se os pontos que podem ser classificados tanto como arenosos quanto argilosos, isto é, são materiais de transição (Figura 9).

Para a execução do ensaio de Piezocone na Barragem XRS foi cravada uma ponteira cônica (60° ângulo de abertura) no terreno, devidamente ancorado no solo ou com peso de reação suficiente para a realização do ensaio, a uma velocidade constante de 2,00 cm/s, variando de $\pm 0,5$ cm/s. A seção transversal do cone geralmente é de 10 cm², podendo atingir 15 cm² para equipamentos mais robustos e 5 cm² para condições especiais (Sosnoski, 2016 *in apud* Schnaid e Odebrecht, 2012) (Figura 10).

Figura 10 – Execução do ensaio do Piezocone na Barragem XRS



Fonte: Do autor.

O equipamento utilizado para a cravação é normalmente constituído por um sistema mecânico hidráulico que pode ser alimentado por um motor à combustão ou elétrico. Um

conjunto, para ensaios *on-shore*, contempla um par de hastes helicoidais que são ancoradas no solo com o intuito de fornecer reação à cravação. A penetração é obtida por meio da cravação contínua de hastes de comprimento de 1,00 m.

A medida que é inserida as hastes no solo, efetua-se a cada 2,0cm de profundidade a aquisição automática das seguintes informações:

- Resistência à penetração da ponta (q_c);
- Resistência por atrito lateral (f_s);
- Poro-pressão (u_2).

No Brasil, o ensaio de Piezocone é normalizado pela Associação de Normas Técnicas ABNT MB-3406 (1991) para determinar as diretrizes sobre a dimensão do equipamento, procedimento do ensaio e interpretação. Internacionalmente, é normatizado pela ASTM (D3441-79 atualizada em 1986) e pela IRTP (1999).

3.2 Parâmetros Geotécnicos

- **Granulometria**

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para a determinação da percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Através dos resultados obtidos desse ensaio é possível a construção da curva de distribuição granulométrica, tão importante para estimação de parâmetros para filtros, bases estabilizadas, permeabilidade, capilaridade, dentre outros; bem como, para a classificação dos solos. No gráfico, o eixo das ordenadas é representada pela porcentagem em peso do material que passa na peneira correspondente e, no eixo das abcissas, é representado o diâmetro das partículas em milímetros, em escala logarítmica. (CAPUTO, 1988).

A determinação da granulometria de um solo pode ser feita apenas por peneiramento ou por peneiramento e sedimentação, se necessário.

Para à classificação granulométrica dos rejeitos da Barragem XRS, foi realizado ensaio de peneiramento em laboratório conforme estabelecido pela norma NBR - 7181 da ABNT atualizada em 2016.

- **Resistência**

A capacidade dos solos em suportar cargas depende de sua resistência ao cisalhamento, isto é, da tensão (τ) máxima que pode atuar no solo sem que haja ruptura. Os parâmetros de resistência do solo podem ser avaliados por meio da realização de ensaios triaxiais em

laboratoriais ou por meio dos ensaios de CPTu em campo. São importantes para a análise de estabilidade (Santana, 2022). Segundo Vick (1990) o ângulo de atrito para os rejeitos de ferro varia entre 32,3° e 36,7°.

Na Barragem XRS foram usados dois critérios para determinar a resistência.

1) Em laboratório - Critério de Mohr-Coulomb

O colapso se dá quando a tensão cisalhante atuante no plano de resistência alcança o valor da tensão cisalhante de resistência do material. Os estados de tensão possíveis de serem aplicados ao material são restritos por uma envoltória de resistência, matematicamente representado por:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (8)$$

Em que: τ é a tensão cisalhante; σ é a tensão normal do material; ϕ é o ângulo de atrito interno e c é a coesão.

2) Em campo CPTu - Critério não drenante

A estimativa da resistência de pico (S_u) definido matematicamente por Campos (2021) é dado por:

$$S_u = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{N_{kt}} \quad (9)$$

Em que: q_t é a resistência de ponta do cone corrigido; σ_{vo} é a tensão efetiva na vertical pré-ruptura; N_{kt} fator de capacidade de carga.

Por não ter o valor de N_{kt} de ensaios de campo para este material, para o cálculo da razão de resistência não drenada de pico foi usada a correlação pela formulação de N_{kt} proposta por Robertson (2012) no paper Interpretation of in-situ tests – some insights – (J.K. Mitchell Lecture, Proceedings of ISC'4): $N_{kt} = 10,5 + 7 \log(F_r)$. Robertson (2014 apud Mellia, 2017), enfatiza que o valor de N_{kt} tende a aumentar com o aumento da plasticidade e diminuir com o aumento da sensibilidade do solo.

O cálculo para a razão de resistência de pico (Equação 10) levou em consideração o tipo de material de cada zona.

$$\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} \cong \tan \phi_y \quad (10)$$

Em que: ϕ_y é o ângulo de atrito mobilizado para a resistência ao cisalhamento de pico; S_u é a resistência não drenada de pico; σ'_{vo} é a tensão efetiva na vertical pré-ruptura.

Para a Zona I considerou a metodologia de Robertson (2010) para materiais argilosos.

Para a Zona III: a metodologia de Olson & Stark (2002) para materiais arenosos.

Para a Zona II, após uma análise de sensibilidade entre as duas metodologias usadas para a Zona I e II, por se tratar de um material de transição, foi considerado a metodologia de Olson & Stark (2002) resultou em parâmetros intermediários para o material de transição.

Vale ressaltar que Robertson (2010) desenvolveu ábacos para identificar solos dilatantes de solos contrativos durante o cisalhamento, levando em consideração o atrito lateral e a resistência de ponta bem como algumas outras normalizações e correções, para definir o potencial de liquefação dos solos (Campos, 2021).

- **Poro-pressão**

Poro-pressão (u_2) pode ser entendido como a pressão da água que preenche os espaços vazios entre as partículas sólidas. Robertson *et al.* (1986) foram os pioneiros a utilizarem gráficos obtidos pelos ensaios de CPTu com a resistência de ponta (q_t) corrigida pelo parâmetro de poro-pressão (B_q).

O parâmetro de poro-pressão (B_q) é obtido a partir das medidas de poro-pressões geradas durante o processo de cravação por CPTu, definido por Campos (2021)

$$B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma_{vo}} \quad (11)$$

Em que: u_2 é a poro-pressão medida na base da sonda piezométrica; u_0 é a poro-pressão de equilíbrio; q_t é a resistência real mobilizada; σ_{vo} é a tensão vertical na profundidade.

A poro-pressão de equilíbrio é considerada, normalmente, como sendo hidrostática, devido a coluna de água no local. No entanto, existem diversas situações em que a poro-pressão de equilíbrio não é a hidrostática ao considerar materiais com percolação ou em processo de adensamento, fenômenos que pode ser visto em Thá e Guimarães (2019).

Na Barragem XRS a distribuição de poro-pressão foi obtida a partir das leituras da instrumentação instalada e dos resultados dos ensaios CPTu.

- **Permeabilidade (k)**

A permeabilidade é um atributo do solo relacionado à facilidade ou dificuldade do escoamento de água. A determinação do coeficiente de permeabilidade é importante para o estudo da percolação do fluxo d'água em um dado material para facilitar o entendimento da mobilidade desse fluido. É utilizado no estudo de barragens, obras de drenagem, rebaixamento do nível d'água, adensamento, entre outros, pelo fato de a ocorrência de graves problemas nas estruturas estarem relacionados à presença de água (Rezende 2013). O coeficiente de permeabilidade sofre influência de vários fatores tais como: granulometria, índice de vazios, composição mineralógica, estrutura, fluido, macroestrutura e a temperatura, e são determinados através de ensaios em campo "in situ" e ensaios de laboratório.

Na Barragem XRS a determinação da permeabilidade dos rejeitos ocorreu de duas maneiras, descritas a seguir.

1) **Em campo:** foi usado o ensaio de CPTu para determinar a permeabilidade do material com base nos resultados do ensaio de dissipação. A relação entre a permeabilidade (k) e o índice de comportamento do solo (I_c) pode ser representada por:

$$k=10^{(0,952 - 3,04I_c)}; \quad 1,0 < I_c \leq 3,27 \quad (12)$$

$$k=10^{(-4,52 - 1,37I_c)}; \quad 3,27 < I_c \leq 4,00 \quad (13)$$

$$I_c = \sqrt{[(3,47 - \log Qt)^2 + (\log F_r + 1,22)^2]} \quad (14)$$

Em que Qt é a resistência de ponta; F_r é a resistência lateral normalizada.

A opção de utilização dos ensaios de CPTu para auxiliar na determinação da permeabilidade ao invés dos ensaios in-situ de infiltração, deve-se ao fato que, atualmente, pelos estudos de DAM BREAK (Sawai *et.al*, 2019), está vedada a utilização de água no rejeito, já que a mesma pode ser interpretado como um gatilho para uma eventual ruptura da estrutura.

2) **Em laboratório:** foram realizados ensaios de laboratório para determinar o coeficiente de permeabilidade dos rejeitos depositados na barragem. O ensaio consiste em fixar a amostra de rejeitos, colhida em campo, em um permeâmetro, sob condições, de carga hidráulica constante, por se tratar de materiais granulares, com indicativo de elevadas permeabilidades.

A Tabela 2 apresenta o grau de classificação do coeficiente de permeabilidade dado por Terzaghi e Peck (1967) e adaptado Santos (2005) utilizado para classificar o grau de permeabilidade dos rejeitos da Barragem XRS.

Tabela 2 – Classificação do coeficiente de permeabilidade

Coeficiente de Permeabilidade K (cm/s)	Grau de Permeabilidade Terzaghi & Peck (1967)	Tipo de Solo Mello & Teixeira (1967)
10^0 a 1	Alta	Pedregulhos
1 a 10^{-1}		Areias
10^{-1} a 10^{-3}	Média	Areias finas siltosas e argilosas, siltes argilosos
10^{-3} a 10^{-5}	Baixa	
10^{-5} a 10^{-7}	Muito Baixa	
$< 10^{-7}$	Praticamente Impermeável	Argilas

Fonte: Terzaghi e Peck (1967) e adaptado Santos (2005)

- **Propriedades Físicas**

As propriedades físicas dos rejeitos tais como: a massa específica dos grãos (ρ), o índice de vazio (e) e a porosidade (n); são responsáveis pelo comportamento mecânico desses materiais diante de eventuais tensões neles aplicados. Essas propriedades influenciam diretamente na estabilidade de uma estrutura de contenção de rejeito. Em campo por ensaios de CPTu pode-se obter a específica dos grãos (ρ), e em laboratório, o índice de vazio (e), a porosidade (n), massa específica secados grãos (ρ_d) e massa específica sólida dos grãos (ρ_s).

Relações empíricas que correlacionam algumas propriedades permitem de estimar e deduzir outros parâmetros físicos essenciais para controlar o comportamento dos rejeitos, a saber: grau de saturação (S_r), umidade (w), grau de compactação (G) e pesos específicos dos grãos (γ).

Na Barragem XRS as propriedades físicas dos rejeitos foram definidas a partir de coletas de rejeitos deformados nos taludes para determinar os índices físicos da Zona III e no reservatório da estrutura para caracterizar os índices tanto da Zona I quanto da Zona II, dado que esses rejeitos afloram no reservatório da estrutura em estudo.

Para coleta das amostras a utilização de pá e sacos plásticos foi suficiente. Em laboratório, as amostras foram moldadas em corpos de provas para execução dos ensaios de caracterização.

3.3 Indicadores Ambientais

- **Categoria de risco**

A classificação por categoria de risco (CRI) pode ser feita como alto, médio ou baixo em função das características técnicas (CT), do estado de conservação da estrutura (EC) e conformidade à documentação do Plano de Segurança da Barragem (PSB). Cada um desses três parâmetros se divide em níveis com pesos ponderados. A finalidade principal dessa classificação é avaliar e medir a integridade estrutural da barragem (ANA, 2014).

Foram analisadas as características técnicas da Barragem XRS considerando cinco (5) parâmetros: altura e comprimento da estrutura, vazão de projeto, método construtivo e sistemas de auscultação. Esses parâmetros são as características que descrevem o projeto original da barragem.

Os parâmetros referentes ao estado de conservação descrevem as deficiências/falhas mais recorrentes que podem ocorrer em uma barragem. Essas deficiências podem ocasionar rupturas potenciais que são avaliados em campanhas de inspeção, monitoramento do sistema

de instrumentação, revisão da documentação existente, tais como: projeto “como construído” (*As Built*), fotos históricas, registros da construção e inspeções e avaliações anteriores), análise da engenharia e trocas de ideias (*brainstorming*) entre uma equipe multidisciplinar de profissionais em segurança de barragens. Os modos de falha potenciais primários pertinentes ao estado de conservação são a erosão tubular ou interna debaixo das fundações ou através de aterros e ombreiras, ineficiência das estruturas (vertedouros ou obras de descarga) devido a eventos hidrológicos que causam o galgamento e instabilidade da fundação ou estrutural (ANA, 2014).

No caso da estrutura em estudo, foram considerados os somatórios dos quatro (4) parâmetros existentes que podem induzir modos de falha potenciais: confiabilidade das estruturas extravasoras, percolação, deformações e recalques, degradação dos taludes.

O plano de segurança de barragem é, basicamente, o acervo principal onde se guarda todos os documentos relacionados com a segurança de um projeto específico, tais como: desenhos, especificações, o projeto “como construído”, relatórios de inspeções, o PAE, a regra operacional dos dispositivos de descarga e o manual de operação e manutenção. Por conter documentos recorrentes e também atualizações, o plano de segurança de barragem é considerado um arquivo vivo, que cresce com o tempo.

Os parâmetros deste critério são ótimas medidas para identificar a qualidade e o conteúdo de um plano de segurança de barragem para qualquer projeto específico, como ferramentas de análise para avaliar o estado de conservação da barragem e a eficiência da organização para garantir a fiscalização, manutenção e operação da barragem.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) estabeleceu cinco parâmetros para o plano de segurança de barragem e foram considerados para a barragem em estudo: existência de documentação de projeto, estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem, procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação.

- **Dano potencial associado.**

O dano potencial associado (DPA) é definido como o potencial para perda de vidas e danos à propriedade na eventualidade de um rompimento de barragem. Também é importante notar que a classificação de dano potencial atribuída a uma estrutura específica se baseia apenas nas consequências potenciais para vidas e bens a jusante que ocorreriam em função de

um rompimento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem e da liberação repentina da água.

Foi analisado o DPA da Barragem XRS pelo somatório de quatro fatores, sendo três voltados para os impactos tanto ambientais quanto socioeconômicos: volume total de reservatório, existência de população a jusante, impacto ambiental e socioeconômico.

A intenção é classificar barragens por suas consequências adversas incrementais a jusante e a montante para vidas humanas e para interesses econômicos, ambientais e de serviços vitais na eventualidade de uma ruptura ou mau funcionamento da barragem. As consequências devem se basear nas condições gerais da calha do rio a jusante e nas áreas de interesse localizadas a montante da barragem até as nascentes do reservatório, se bem que estas áreas a montante são mais difíceis de estimar. Por isso, somente os impactos a jusante são considerados, a não ser quando se realiza uma análise de rompimento da barragem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

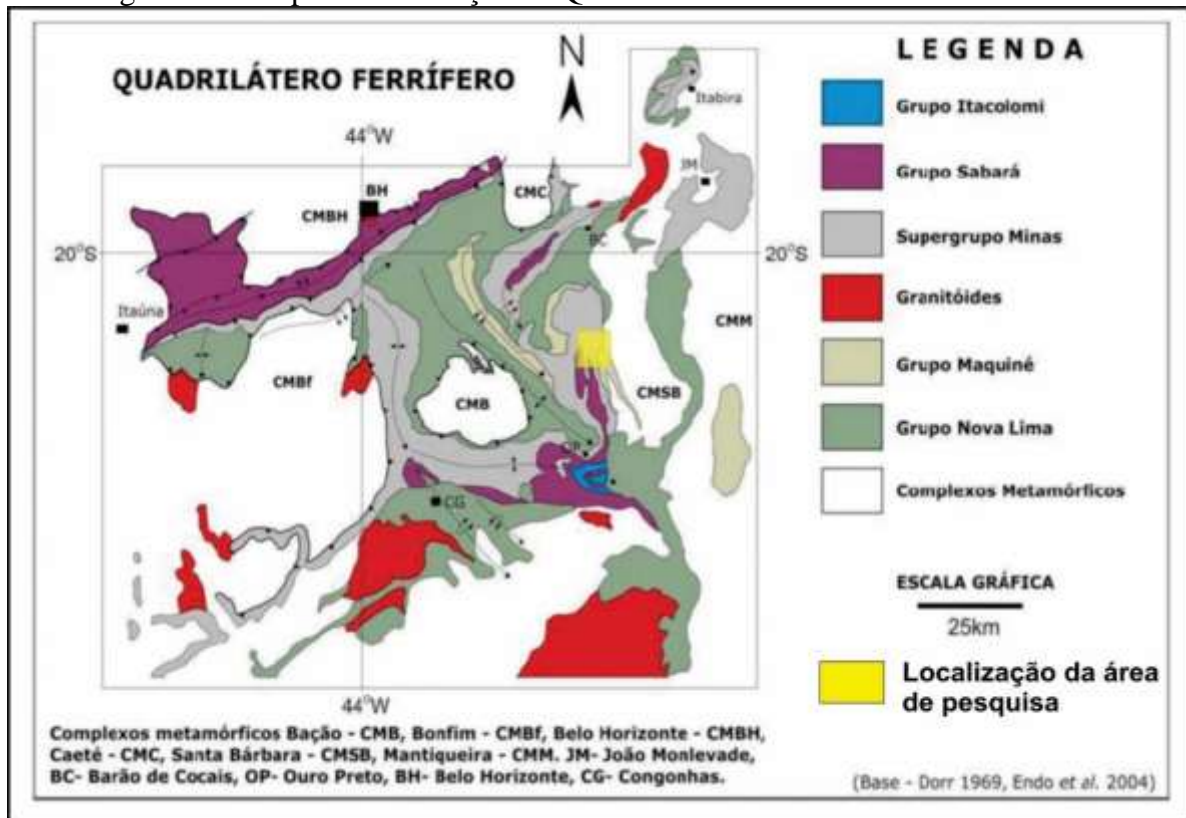
4.1 ESTUDO DE CASO: BARRAGEM / PILHA DE REJEITO XRS (Quadrilátero Ferrífero)

4.1.1 Descrição da área do estudo

A área em estudo é, originalmente, uma antiga pilha de rejeito drenado (PDR), que iniciou as suas atividades na década dos anos 80 e encerrou no final dos anos 90, ano esse, em que a estrutura cessou de receber o lançamento dos rejeitos da mineradora. Em função de mudanças na legislação impostas pela Lei 14.066/2022 a estrutura passou a ser classificada como barragem de alteamento a montante.

A Barragem XRS está situada, geograficamente, a leste do Quadrilátero Ferrífero (QF) e, geologicamente, está sobreposta ao Super Grupo Minas (Figura 11).

Figura 11 – Mapa de localização do Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais/Brasil



Fonte: Adaptado de Endo *et al.* 2004.

A Barragem XRS foi construída com a finalidade de conter e armazenar os rejeitos granulares de minério de ferro da mina nas suas imediações (Figura 12). Atualmente em processo de descomissionamento, a barragem serve apenas para a contenção de rejeitos de minério de ferro após o beneficiamento, ressaltando que não ocorre mais a incidência de disposição de rejeitos desde o fim dos anos 90.

A estrutura foi edificada pelo processo de aterro hidráulico, ou seja, transporte e deposição com água, dependentes de fatores hidromecânicos. A geometria construtiva corresponde ao método de alteamento a montante que consistiu na implantação de um dique de itabirito friável apoiado sobre praia de rejeitos de minério de ferro com uma crista de cota de 962,20m, altura total de 70m e volume de aproximadamente 6.150.000,00 m³ (Figura 12).

Figura 12 – Vista geral da Barragem XRS



Fonte: Do autor

A estrutura XRS foi classificada na categoria II, de médio risco, conforme suas características técnicas, estado de conservação e plano de segurança, observando a Portaria de nº 70.389/2017, constituída pelo antigo Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (atual ANM). O Dano Potencial Associado (DPA) foi classificado como médio devido à existência de população a jusante e impacto ambiental e socioeconômico no caso de uma ruptura.

4.1.2 Descrição dos riscos associados considerando os parâmetros geotécnicos e ambientais apontando as principais mudanças na LEI 14.066/2020

A Barragem XRS apresenta-se como uma pilha de rejeito zoneado. Inicialmente, o lançamento do rejeito ocorreu a partir de um dique de partida com lançamento de aterro hidráulico por trás dos diques, a cada 5,00 metros, gerando taludes com inclinação de 3H:1V, o que configura o método executivo da barragem como estrutura alteada a montante sobre o próprio rejeito.

As bermas entre os taludes têm uma diminuta inclinação para dentro da barragem e atuam como drenagem superficial (Figura 13).

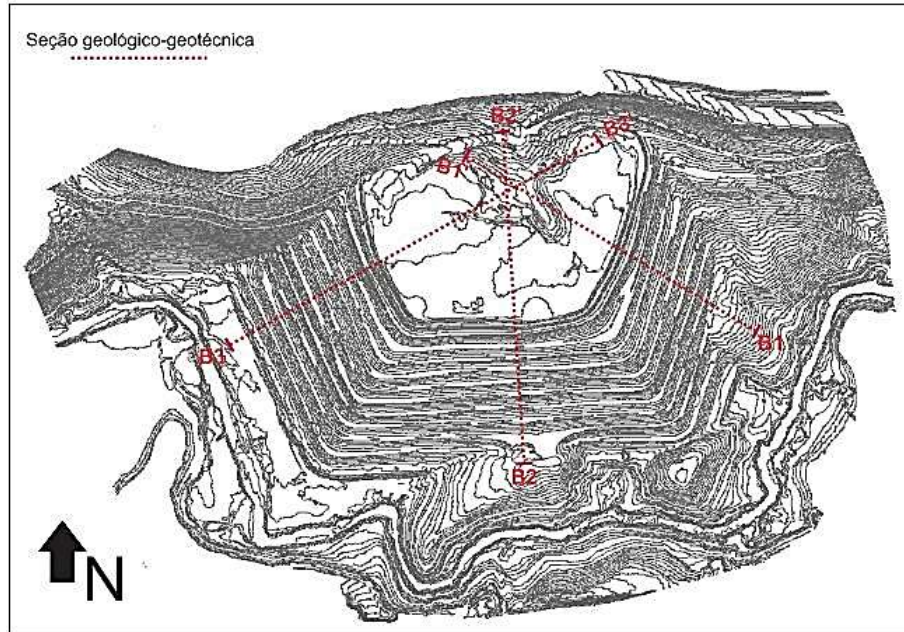
Figura 13 – Configuração da berma e do talude da Barragem XRS



Fonte: Do autor

A estrutura empilhada da Barragem XRS é subdividida em três subáreas: Talude B1; Talude B2; Talude B3 (Figura 14):

Figura 14 – Planta e seção geológico-geotécnica da Barragem XRS

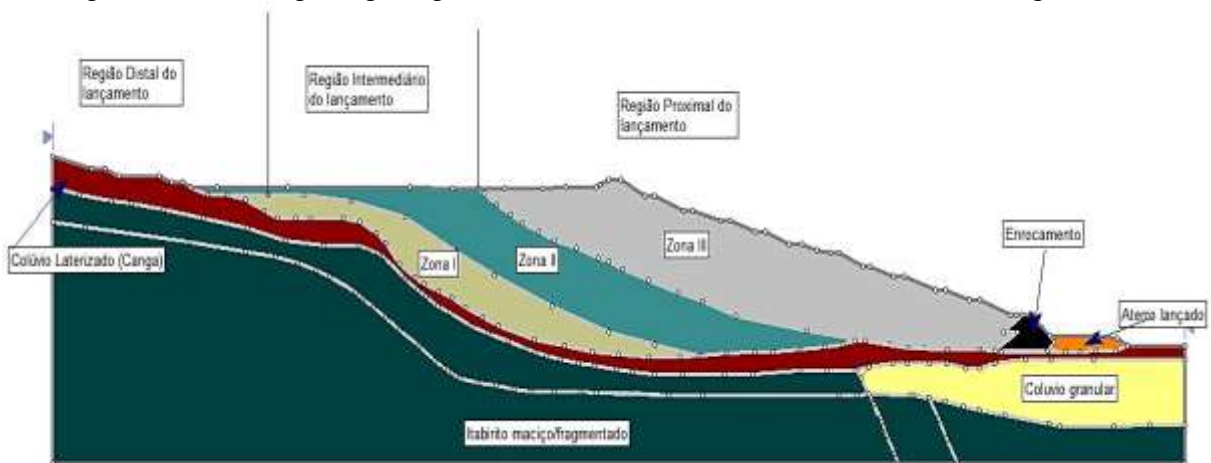


Fonte: Do autor

Em cada subárea, foram identificados três tipos de rejeitos originados do processo de flotação e classificados por zona, a saber (Figura 15):

- Rejeito do tipo argiloso, localizado na região distal do ponto de lançamento de rejeitos, denominado de Zona I;
- Rejeito do tipo siltoso, ocorre como faixa de transição entre a região distal e proximal do lançamento de rejeitos, denominado de Zona II;
- Rejeito do tipo arenoso, o mais abundante a jusante, localizado na região proximal do ponto de lançamento, denominado de Zona III.

Figura 15 – Perfil geológico-geotécnica identificando as três zonas da Barragem XRS



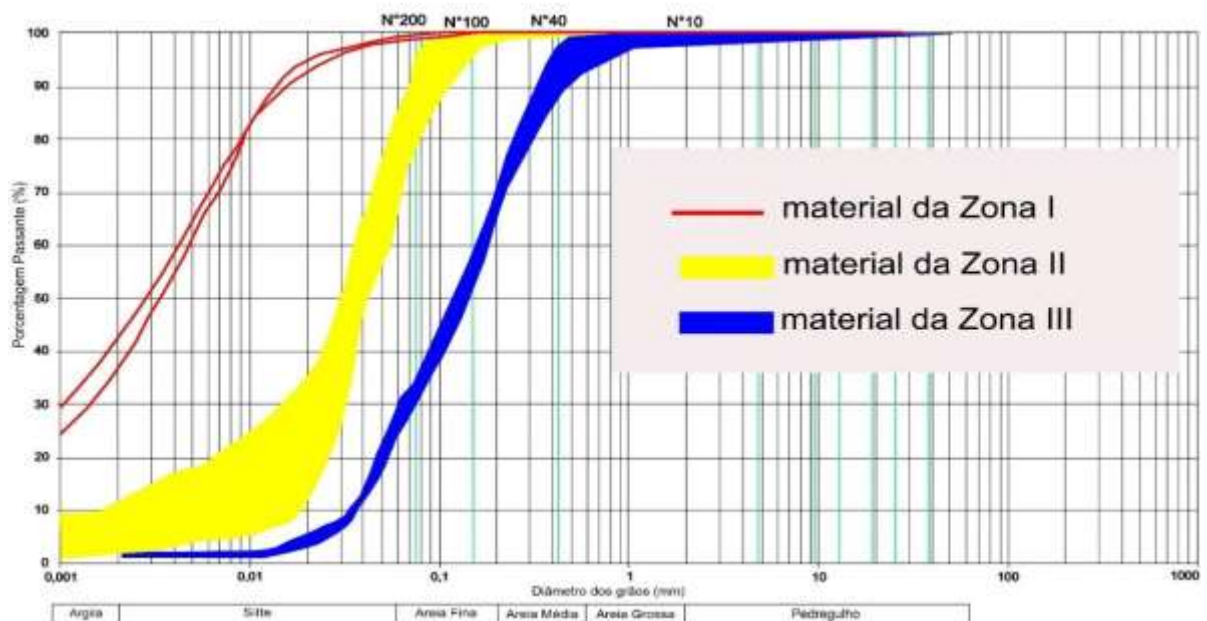
Fonte: Do autor

O zoneamento dos rejeitos só foi possível a partir de várias campanhas de coleta das amostras para ensaios laboratoriais e de campo do tipo CPTus.

4.1.2.1 Classificação dos rejeitos

A Figura 16 apresenta a curva granulométrica que caracterizaram o tipo de rejeito presente nas três zonas citadas acima.

Figura 16 – Curvas e faixas granulométricas dos rejeitos constituintes da Barragem XRS



Fonte: Do autor

A curva granulométrica determinada, conforme a norma técnica NBR-6502 (1995), evidencia que a Zona I é composta predominantemente por material fino com um percentual superior a 97% passando na malha de N°200, a Zona II apresentou um percentual entre 75% e 95% e a Zona III um percentual abaixo de 35%, indicando um material mais grosso (Figura 16).

Observa-se, ainda, que as distribuições granulométricas das amostras se mostraram afastadas, indicando a não uniformidade do material e validando as interpretações realizadas de forma conjunta dos resultados das amostras.

A Tabela 3 dispõe dos resultados dos ensaios granulométricos da Barragem XRS realizados em laboratório.

Tabela 3 – Ensaio de Granulometria da Barragem XRS

Classificação	Granulometria (%)		
	Argila	Silte	Areia
Zona I	48,64	48,55	2,81
Zona II	12,35	57,68	29,96
Zona III	1,85	23,03	75,10

Fonte: Do autor

A Zona I apresentou o percentual de argila (48,64%) e silte (48,55%) semelhantes, denominado de argilo-siltoso. Na Zona II observa-se a predominância de silte (57,68%) seguida de areia (29,96%), designado de silto-arenoso. A Zona III foi verificada a presença predominante de areia (75%) com um percentual pequeno de argila (1,85%), nomeado de arenoso. As nomeações foram designadas conforme o triângulo simplificado da Embrapa (Embrapa, 2006).

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios que caracterizam as propriedades físicas dos rejeitos coletados na Barragem XRS. Os ensaios laboratoriais permitiram definir a massa específica dos grãos (ρ), o índice de vazio (e) e a porosidade (n). Vale ressaltar que, devido às dificuldades de amostragem em campo dos rejeitos da Zona I, os resultados obtidos na Tabela 4 foram na maioria para a Zona II e Zona III, sendo esta última zona a mais abundante na estrutura.

Tabela 4 – Caracterização das propriedades físicas dos rejeitos para a Zona II e III

Amostra	ρ (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)	Umidade Nat. w (%)	ρ_d (g/cm ³)	Índice de vãos (e)	Porosidade (%)
AMT-01	2,22	3,77	4,20	2,13	0,77	43,50
AMT-02	2,44	4,21	4,30	2,34	0,80	44,45
AMT-03	2,56	3,92	3,10	2,19	0,79	44,20
AMT-04	2,39	4,23	4,70	2,29	0,85	45,95
AMT-05	2,54	4,57	3,30	2,46	0,86	46,27
AMT-06	2,19	3,99	4,10	2,11	0,90	48,00
AMT-07	2,27	4,14	4,00	2,18	0,90	47,37
AMT-08	2,20	4,01	3,70	2,12	0,89	47,15
AMT-09	2,18	3,80	3,80	2,10	0,81	44,72
AMT-10	2,3	4,11	4,50	2,17	0,90	47,31
AMT-11	2,25	4,14	4,40	2,16	0,92	47,92
AMT-12	2,36	4,09	3,90	2,26	0,81	44,75
Máximo	2,56	4,57	4,70	2,46	0,92	48,00
Mínimo	2,18	3,77	3,10	2,10	0,77	43,50
Média	2,33	4,08	4,00	2,21	0,85	45,97
Desvio Padrão	0,13	0,21	0,47	0,11	0,05	1,59

Fonte: Do autor

Os parâmetros físicos da Barragem XRS apresentam um comportamento dentro do esperado para os rejeitos de minério de ferro. Em geral, os rejeitos da Barragem XRS são predominantemente arenosos (valor médio de 0,85 para o índice de vazio) com uma porosidade relativamente boa (média de 45,97) o que é indicativo de compactação baixa, ou seja, a estrutura não apresentou um controle tecnológico no que diz respeito à compactação. Além disso, percebe-se uma umidade natural baixa, o que associada à porosidade média relativamente boa dos rejeitos predominantes, sinaliza um comportamento drenante.

Os resultados encontrados nesses ensaios estão concordantes com os resultados que foram apresentados nos trabalhos realizados em pilhas de rejeitos de minérios de ferro, na região do Quadrilátero Ferrífero, na qual se destacam: Espósito (2000), Guimarães (2011), Portes (2013) e Alves (2020).

Os ensaios de CPTus realizados na Barragem XRS indicaram a existência de 3 (três) zonas distintas de rejeitos, classificadas como: Zona I, Zona II e Zona III, o que permitiram compreender o comportamento da estrutura e a sua geometria.

Os resultados provenientes de ensaios CPTu permitiram conceituar as tendências de comportamento de cada zona de rejeito encontrada na barragem. O gráfico da curva

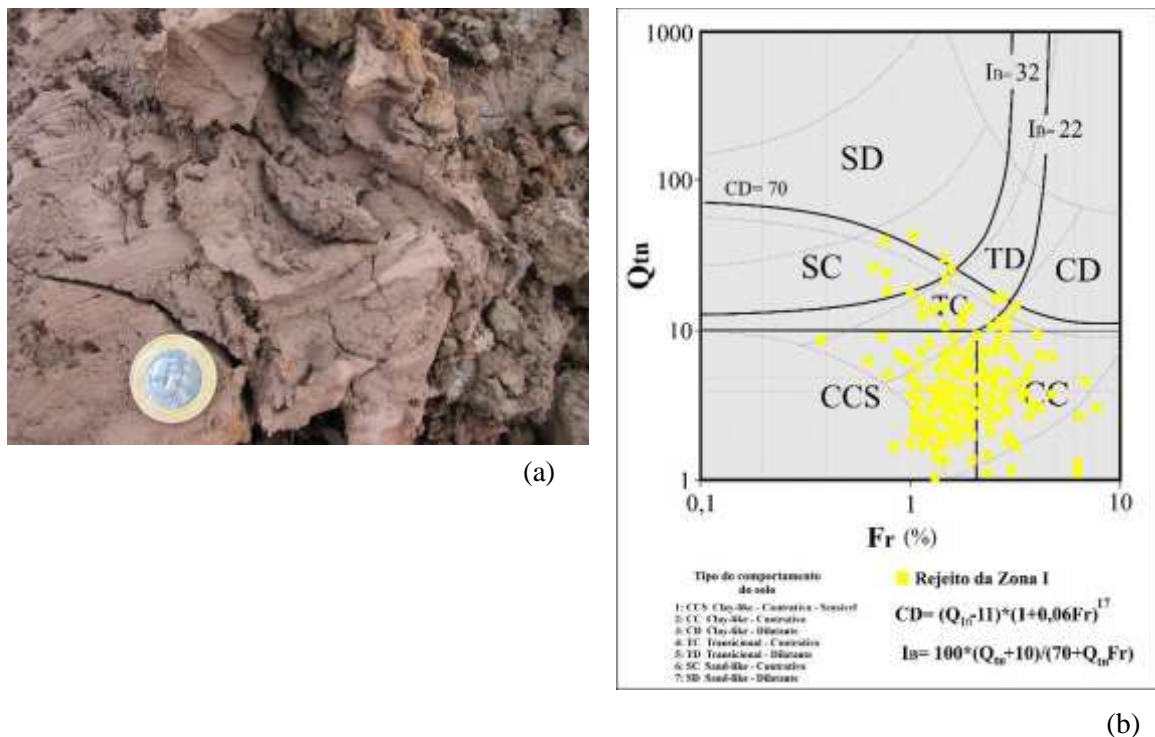
granulométrica (Figura 16) reforça o conceito de zoneamento indicado pelos dados obtidos nos ensaios de piezocone realizados *in-situ*.

Para avaliar o comportamento geomecânico da Barragem XRS como um todo, procedeu-se no estudo, separadamente, à análise de cada Zona (I, II e III), no qual os parâmetros geotécnicos e comportamento dos rejeitos zonados são considerados distintos.

ZONA I

A Figura 17 apresenta os rejeitos argilosos característicos da Zona I e o ábaco de classificação obtidos por ensaios de CPTu em campo.

Figura 17 – (a) Rejeito argiloso característico da Zona I; (b) Ábaco de classificação de rejeito da Zona I a partir do ensaio de CPT



A Zona I é constituída por rejeitos do tipo argiloso com resistência de ponta (q_t) variando entre 0,45 a 1,5 MPa, atrito lateral normalizado (Fr) entre 0,05 a 0,6%, e tempo de dissipação de 50% da poropressão em torno de 68 a 480s (Figura 17a). No estudo de caso foram considerados os menores valores para resistência de ponta e atrito lateral; e os maiores para dissipação de poropressão.

Os índices de comportamento dos rejeitos I_c e I_B apresentam valores entre 3,0 e 3,3 (valor de referência 2,6) e 16 a 19 (valor de referência 22) respectivamente, resultando em rejeitos classificados como materiais *clay-like*, ou seja, material argiloso.

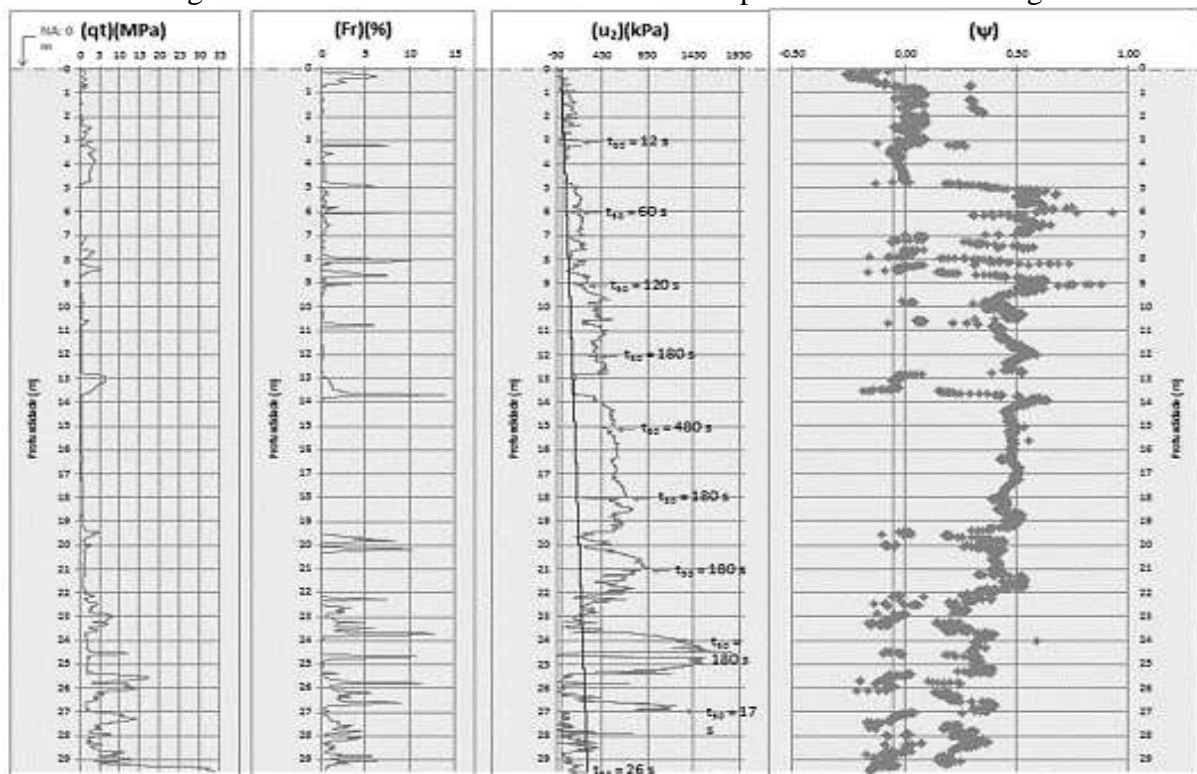
De acordo com a classificação SBTn Mod (Robertson, 2016), os rejeitos que compõem a Zona I apresentam comportamentos predominantemente e equivalentes que variam desde *Clay-like Contrative* (CC) a *Clay-like Contrative Sensitive* (CCS), isto significa que a Zona I é constituída por rejeitos argilosos contráteis. A Figura 17b apresenta o gráfico Qtn x Fr dos ensaios de piezocone para Zona I, que representaram grande quantidade do material da Zona I.

A avaliação do perfil SBTn Mod e dos resultados de resistência real mobilizada (qt) e atrito lateral normalizado (Fr) indicou a predominância do comportamento equivalente na região contrátil de argilas

Os pontos estão concentrados na região com $CD < 70$, indicando que os rejeitos da Zona I são predominantemente contráteis e susceptíveis à liquefação (Figura 17).

A Figura 18 exibe os gráficos de resistência de ponta (qt), atrito lateral (Fr), poropressão (u_2) com t_{50} do ensaio de dissipação e parâmetro de estado (ψ), todos em relação à profundidade do ensaio de CPTu para a Zona I.

Figura 18 – Resultados dos ensaios de CPTu para a Zona I da Barragem XRS



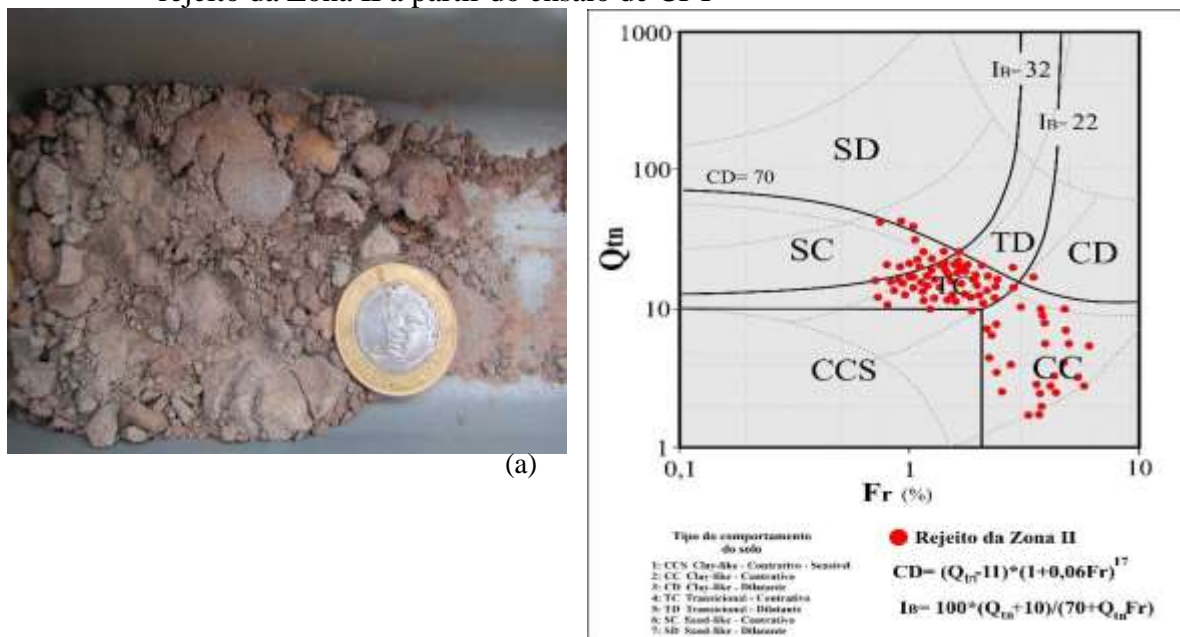
Fonte: Do autor

O ensaio de CPTu apresentou baixos valores de resistência de ponta (q_t) associados a valores significativos de excesso de poro-pressão (u_2) entre 0 e 29 m de profundidade, indicando uma camada mais homogênea e com características típicas de solo argiloso. Durante todo o ensaio pode-se observar que o tempo médio de dissipação (t_{50}) foi mais longo devido a característica do material da Zona I, que embora a ausência da linha freática durante a sondagem investigativa (perfuração a seco), exibiu uma poro-pressão, o que foi definido previamente como lençóis empoleirados (Figura 18: coluna u_2 x profundidade). Os resultados dos gráficos de resistência (q_t) e poro-pressão (u_2) são corroborados para as afirmações de Schnaid e Odebrecht (2012 apud MELLIA, 2017) quando dizem que uma camada de argila mole é identificada por altos valores de poro-pressão e baixos valores de q_t (Figura 18). Observa-se também que a Zona I apresenta materiais suscetíveis à liquefação, principalmente nas profundidades abaixo de 5m, o que pode ser visto pela elevada quantidade de valores positivos para o parâmetro de estado (ψ), o que é confirmado pelos estudos de Neto (2009).

ZONA II

A Figura 19 apresenta os rejeitos silto-arenoso característicos da Zona II e o ábaco de classificação obtidos por ensaios de CPTu em campo.

Figura 19 – (a) Rejeito silto-arenoso característico da Zona II; (b) Ábaco de classificação do rejeito da Zona II a partir do ensaio de CPT



Fonte: Do autor

A Zona II é composta, essencialmente, por rejeito silto-argiloso, com uma pequena fração arenosa, que apresenta resistência de ponta (q_t) variando entre 5 a 11 MPa, atrito lateral (Fr) entre 1,5 a 2% e tempo de dissipação de 50% da poro-pressão em torno de 8,00 a 60,00s (Figura 19a). Se comparado à Zona I, obteve-se para a Zona II, maiores valores de resistência de ponta e de atrito lateral e menores valores de tempo de dissipação de poro-pressão.

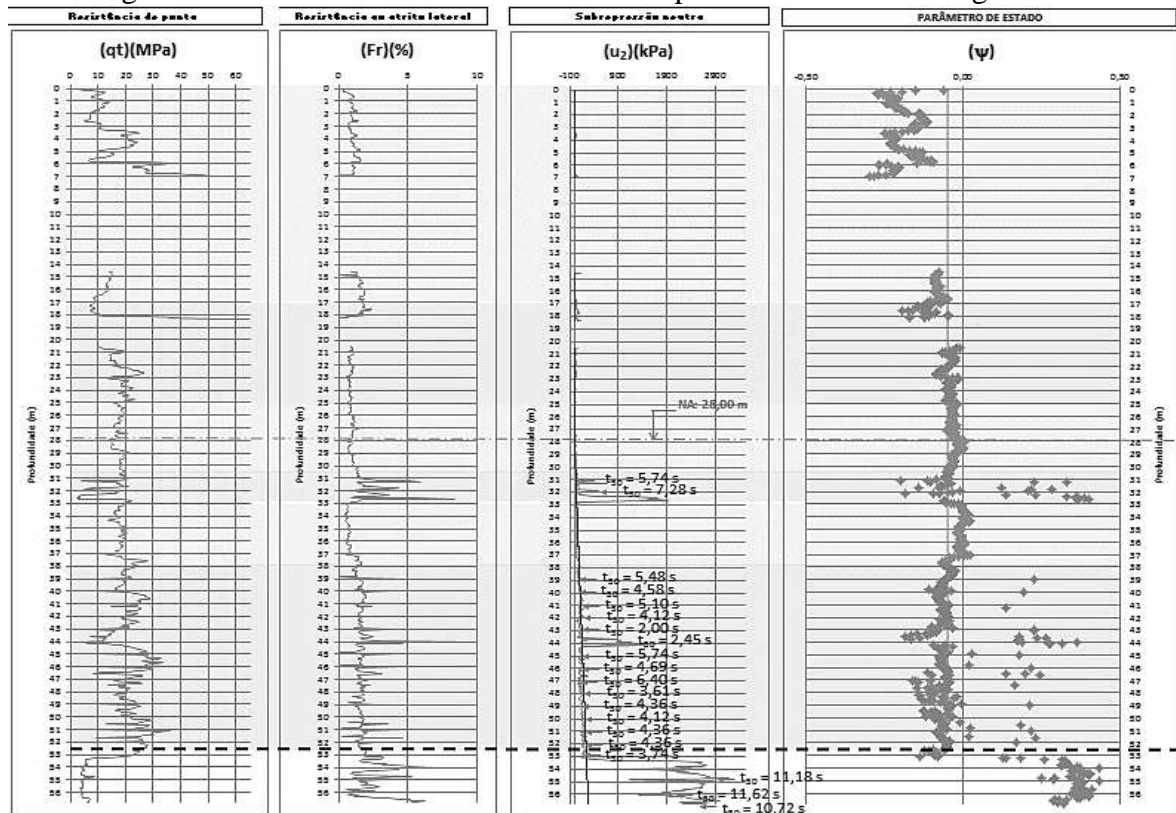
Os índices de comportamento dos rejeitos I_C e I_B apresentam valores entre 2,5 e 2,7 (valor de referência 2,6) e 24 a 30 (valor de referência 22) respectivamente. Os rejeitos foram classificados como materiais transicionais.

De acordo com a classificação SBTn Mod (Robertson, 2016) os rejeitos que compõem a Zona II apresentam predominância de materiais transicionais, conforme é indicado no gráfico Qtn x Fr, da Figura 19b. A referida zona foi observada na região central da barragem, entre as Zonas I (distal) e III (proximal).

Os pontos estão agrupados na região com $CD < 70$, indicando que os rejeitos da Zona II são predominantemente contráteis e susceptíveis à liquefação (Figura 19).

A Figura 20 exhibe os gráficos dos ensaios de CPTU realizados na Zona II para resistência de ponta (q_t), atrito lateral (Fr), poro-pressão (u_2) com t_{50} do ensaio de dissipação (c) e parâmetro de estado (ψ), todos em relação à profundidade.

Figura 20 – Resultados dos ensaios de CPTu para a Zona II da Barragem XRS



Fonte: Do autor

O ensaio de CPTu apresenta valores médios de resistência de ponta (q_t) associados a valores baixos de poropressão (u_2) entre 0 e 52 m de profundidade, indicando uma camada mais heterogênea e com características típicas de solo de transição, variando de silte-argiloso a silte-arenoso. Durante todo o ensaio pode-se observar que o tempo médio de dissipação (t_{50}) foi menor, em relação a Zona I, devido a característica do material da Zona II e pode-se observar em campo a presença de lençol freático no furo (Figura 20).

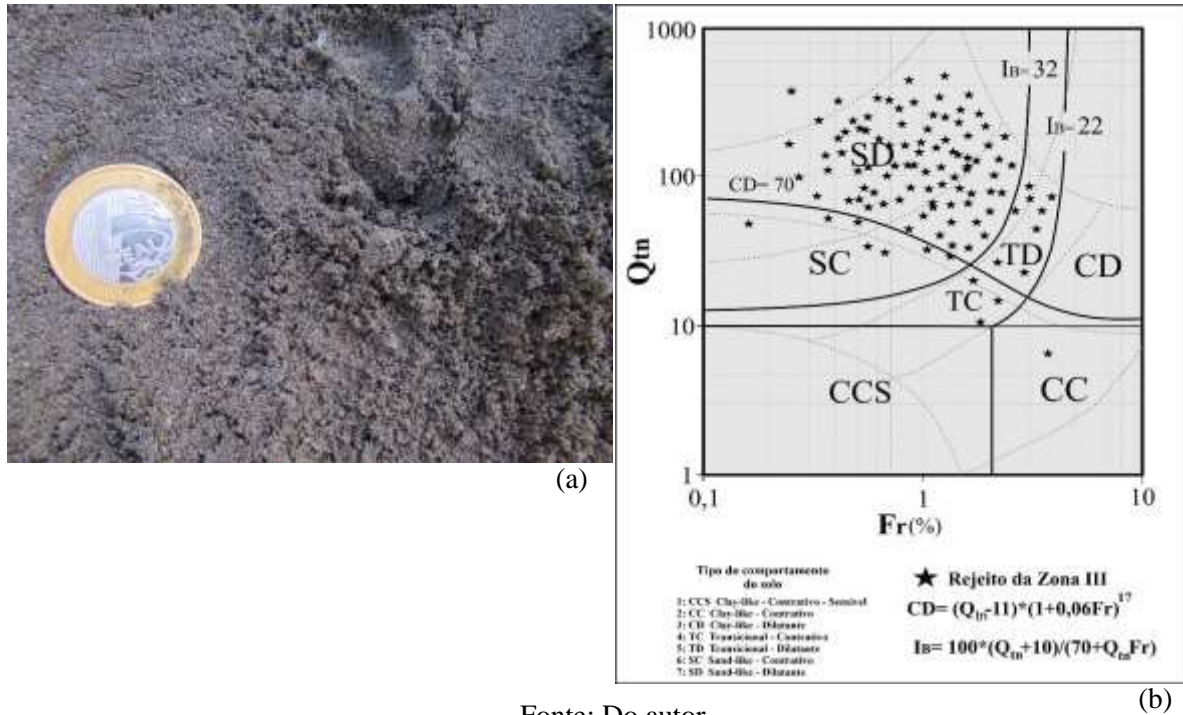
O comportamento que pode se observar nos gráficos de resistência (q_t) e poropressão (u_2) condiz com o tipo de material da Zona II, silto-arenoso. Pois, segundo as afirmações de Schnaid e Odebrecht (2012 apud MELLIA, 2017) camada de areia é indicada por poropressão próxima à hidrostática e valores altos de q_t (Figura 20)

Percebe-se a existência de uma camada de material mole na profundidade de 31 a 33m e, principalmente a partir da profundidade de 53m pelo excesso de poro-pressão (u_2) e por baixos valores de resistência de ponta q_t (Figura 20). Nota-se também que os valores do parâmetro de estado estão próximos de zero o que é sugestivo, de acordo com Neto (2009), à presença de areia fofa com compactação média, material suscetíveis à liquefação, principalmente, a partir da profundidade de 53m, que apresenta elevada quantidade de valores positivos para o parâmetro de estado (ψ).

ZONA III

A Figura 21 apresenta os rejeitos granulares característicos da Zona III e o ábaco de classificação obtidos por ensaios de CPTu em campo.

Figura 21 – (a) Rejeito granular característico da Zona III; (b) Ábaco de Classificação do rejeito da Zona III a partir do ensaio de CPT



Os índices de comportamento dos rejeitos I_C e I_B apresentam valores entre 1,7 e 2,3 (valor de referência 2,6) e entre 40 a 60 (valor de referência 32) respectivamente, classificando os rejeitos como *sand-like* materiais, ou seja, arenoso.

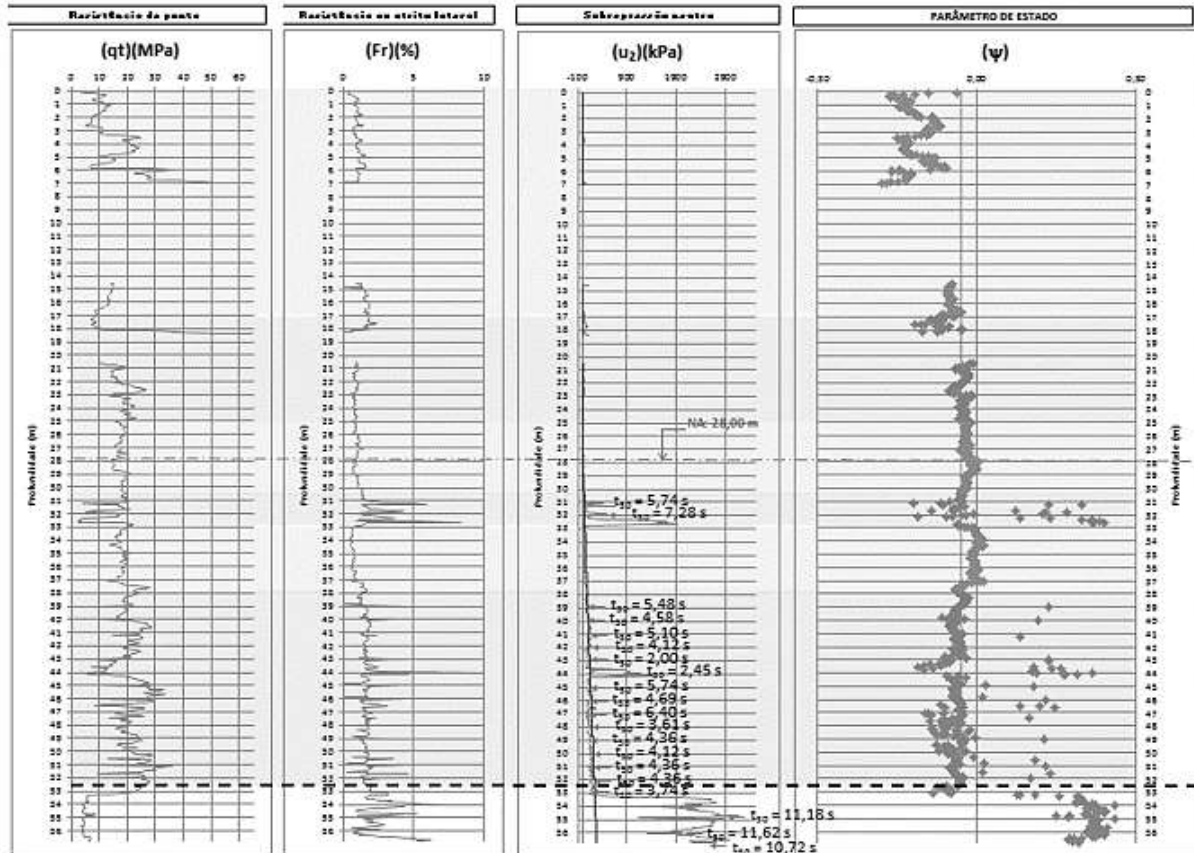
De acordo com a classificação SBTn Mod (Robertson, 2016) os rejeitos que compõem a Zona III apresentam comportamentos equivalentes à areia, conforme é indicado no gráfico $Q_{tn} \times Fr$, da Figura 21b. A referida zona foi observada próxima aos pontos de lançamento do rejeito nas imediações do talude de jusante e da encosta a montante.

A Zona III é constituída por rejeito granular que apresenta valores médios de resistência de ponta corrigida (q_t) variando entre 10 a 20 MPa, atrito lateral normalizado (Fr) de aproximadamente 1% e tempo de dissipação de 50% da poro-pressão entre de 8-10 segundos (Figura 21a). Se comparado às Zonas I e II obteve-se maiores valores de resistência de ponta e menores valores de tempo de dissipação de poro-pressão.

Os pontos em sua maioria ocorrem na região com $CD > 70$, indicando que os rejeitos da Zona III são predominantemente dilatantes e não susceptíveis à liquefação (Figura 21).

A Figura 22 mostra os gráficos de resistência de ponta (q_t), atrito lateral (Fr), poro-pressão (u_2) com t_{50} do ensaio de dissipação (c) e parâmetro de estado (ψ), todos em relação à profundidade, obtidos por meio dos ensaios de CPTU para a Zona III.

Figura 22 – Resultados dos ensaios de CPTu para a Zona III da Barragem XRS



Fonte: Do autor

O ensaio de CPTu apresenta valores médios de resistência de ponta (q_t) associados a valores insignificativos de poro-pressão (u_2) entre 0 e 52 m de profundidade, indicando uma camada mais homogênea e com características típicas de solo arenoso. Durante todo o ensaio pode-se observar que o tempo médio de dissipação (t_{50}) foi bem menor, em relação a Zona I e II, devido a característica do material. Também, pode-se observar em campo a presença de lençol freático no furo (Figura 22).

As afirmações de Schnaid e Odebrecht (2012 apud MELLIA, 2017) de que uma camada de areia é indicada por uma poro-pressão próxima à hidrostática e altos valores de q_t podem ser vistos nos gráficos de resistência (q_t) e poro-pressão (u_2) da Zona III (Figura 22).

Na Zona II, nas profundidades superiores a 53m observa-se material mole pela presença de baixos valores de resistência de ponta (q_t) e excesso de poro-pressão (u_2).

Observa-se também a presença de materiais suscetíveis à liquefação pela elevada quantidade de valores positivos para o parâmetro de estado (ψ). (Figura 22).

A Tabela 5 apresenta a média dos resultados dos coeficientes de permeabilidade (k) obtidos a partir dos ensaios de CPTu realizados em campo e em laboratório para os rejeitos das três zonas da Barragem XRS.

Tabela 5 – Média do coeficiente de permeabilidade (k) para os rejeitos das três zonas da Barragem XRS obtidos por meio de ensaios de CPTu e Laboratório

	CPTu	Laboratório
	k_médio (cm/s)	k_médio (cm/s)
ZONA I	5,43E-08	5,01E-08
ZONA II	2,10E-07	2,30E-07
ZONA III	5,72E-05	6,26E-05

Fonte: Do autor

O valor médio do coeficiente de permeabilidade (k) para a Zona I definidos pelos ensaios de CPTus foi de 5,43E-08 cm/s, o que se assemelha aos valores encontrados em laboratório (Tabela 5). Levando em consideração a tabela de classificação de Terzaghi e Peck (1967) adaptado por Santos (2005) e o tipo de material da Zona I (argiloso) pode-se classificar como uma zona praticamente impermeável ($< 10E-07$). Os materiais dessa zona apresentaram-se saturados, porém, os furos realizados nas sondagens investigativas para coleta das amostras permaneceram secos, o que explica o comportamento saturado sem presença de uma linha freática (nível d'água). Para a Zona II o valor médio do coeficiente de permeabilidade (k) em ensaios de CPTu foi de 2,10E-07 cm/s, bem semelhante ao obtido por laboratório e relativamente maior do que o valor encontrado na Zona I (Tabela 5). Considerando a tabela de classificação e o tipo de material siltoso, a Zona II pode ser classificada por uma permeabilidade muito baixa ($10E-5$ a $10E-7$), entretanto, está permitindo uma percolação. Esses resultados, tanto para a Zona I e II, são justificáveis pela caracterização e natureza distinta de ambos os rejeitos. A Zona III apresentou uma permeabilidade baixa ($10E-3$ a $10E-5$) tanto para os ensaios de CPTu (5,72E-05) e laboratório(6,26E-05), ao considerar o tipo de material arenoso e a tabela de classificação. Porém, como observado em campo, a permeabilidade do material da Zona III, embora classificada como baixa pela tabela, pode ser considerada boa para o tipo de função que desempenha na Barragem XRS, por

apresentar uma ótima drenagem, principalmente, em períodos chuvosos, o que está em conformidade com Vick (1990) quando diz que a permeabilidade média dos rejeitos aumenta com a redução do teor de materiais finos. A Figura 23 apresenta o grau de permeabilidade classificado em cada zona da Barragem XRS conforme observado no comportamento dos materiais nas visitas de campo.

Figura 23 – Configuração esquemática de permeabilidade dos rejeitos considerando o ponto inicial e final dos lançamentos de rejeitos



Fonte: Do autor

Cada uma das zonas constitui um conjunto de comportamento e resultados que devem ser tratados separadamente, levando em conta as características as quais predomina cada material. Os resultados de permeabilidade corroboram para os encontrados nos estudos de granulometria da Barragem XRS (Tabela 3), pois a presença de três tipos de materiais com permeabilidade diferente configura-se como uma barragem a montante (Figura 23).

Vale ressaltar que os materiais tanto da Zona I como da Zona II apresentam-se como materiais de baixa competência diante as tensões aplicadas, baixa permeabilidade e são susceptíveis ao processo de liquefação. Apresentaram CDs inferiores a 70% e pode causar a instabilidade da Barragem XRS (Figura 17 e 19).

Os rejeitos da Zona III apresentam-se hidraulicamente eficiente permitindo a drenagem das águas pluviais e superficiais, e apresentou uma maior resistência de ponta em relação à Zona I e II, ainda que exiba a presença de materiais susceptíveis a liquefação, principalmente a partir da profundidade de 53m.

Vale ressaltar que os materiais da Zona III estão esculpindo os taludes e as bermas que constituem o plano de inclinação da Barragem XRS, quer dizer, este material ocorre em abundância e exerce uma influência na estabilidade dos taludes a jusante.

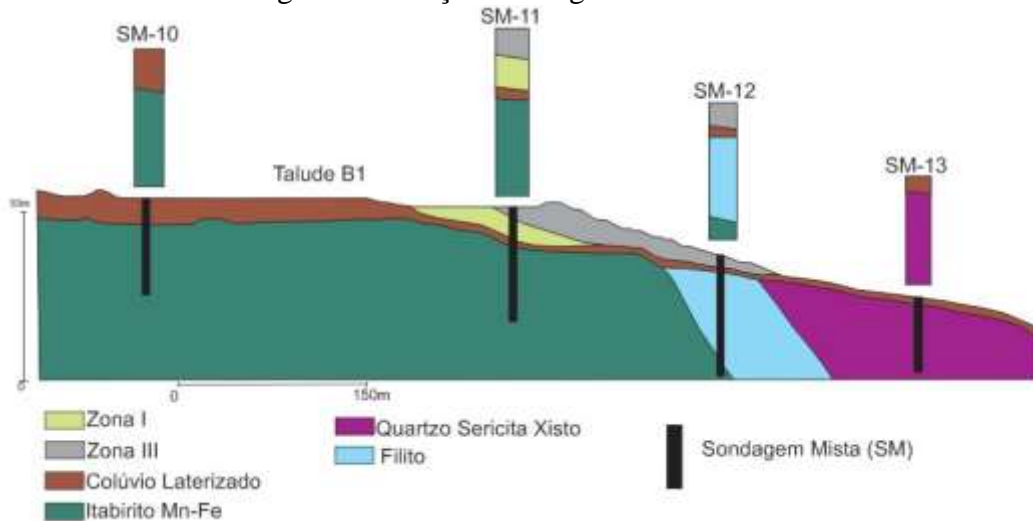
O material recomendado para uma pilha drenada seria de rejeitos granulares como pode ser visto em Aragão (2008), Santana (2022), Meneses (2023), entre outros, o que significa apresentar exclusivamente em toda estrutura somente os rejeitos da Zona III. A Barragem XRS exibiu três tipos de rejeitos, o que é característico de uma barragem de contenção pela capacidade de armazenar mais de um tipo de rejeito. Portanto, esse fato associado ao método construtivo a montante, alteamento em etapa única, provavelmente corroborou e tornou-se justificável o seu enquadramento de pilha de rejeito em barragem a montante pela Lei 14066/2020.

4.1.2.2 Seção geológica

O processo de lançamento dos rejeitos na fundação do terreno que constitui a Barragem XRS formaram depósitos de materiais bem heterogêneos com camadas que variam em espessura e granulometria. Tais fatos são constatados pela seção geológica vertical da fundação desse terreno associado aos depósitos dos materiais.

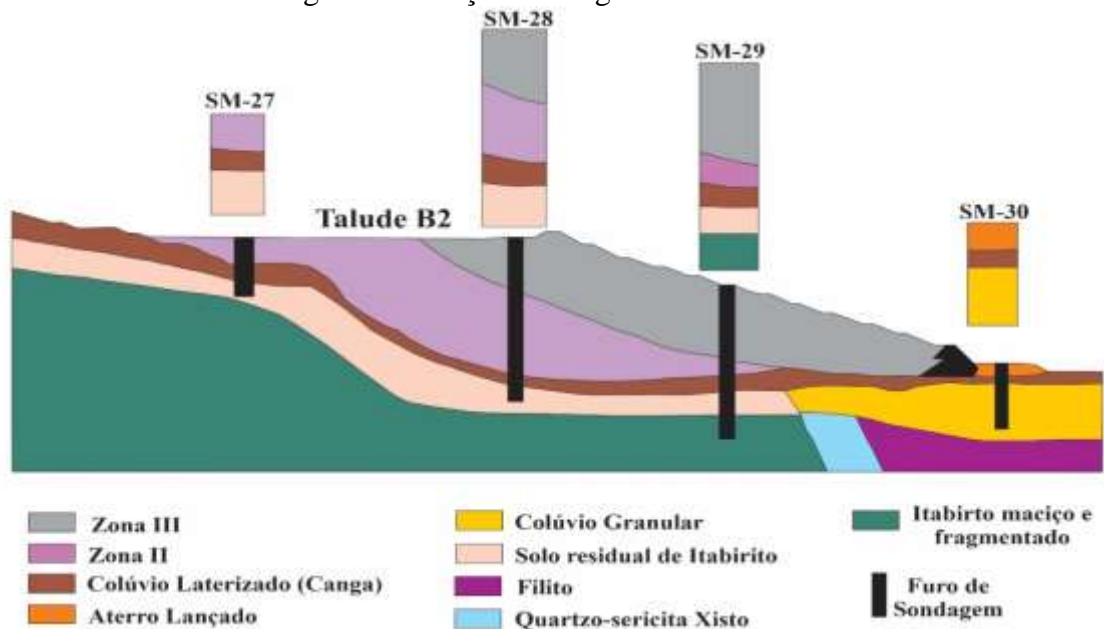
As Figuras 24, 25 e 26 exibem, respectivamente, a seção geológica do Talude B1, B2 e B3 da Barragem XRS apresentando as camadas que compõe o subsolo.

Figura 24 – Seção Geológica do Talude B1



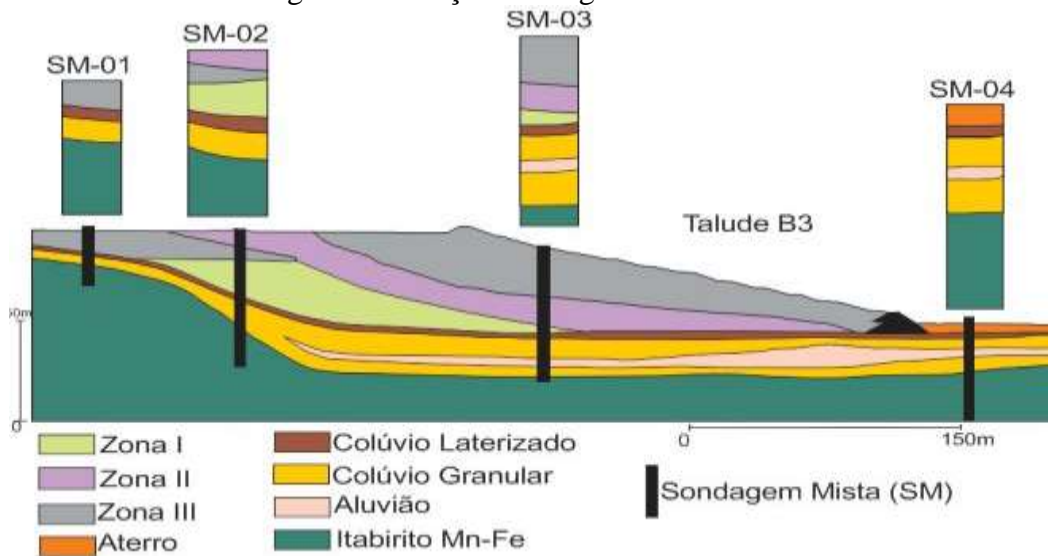
Fonte: Do autor

Figura 25 – Seção Geológica do Talude B2



Fonte: Do autor

Figura 26 – Seção Geológica do Talude B3



Fonte: Do autor

Conforme indicadas pelas seções geológicas apresentadas nas Figuras 24, 25 e 26 observa-se que a fundação (terreno natural) da Barragem XRS, superficialmente, consiste em: colúvio laterizado, gerado por processo químico (Canga), que varia de friável a maciço com presença de seixos polimíticos (canga ortoconglomerado), localizado em toda estrutura.

Sotoposto ao colúvio laterizado, ocorrem solos coluvionares granulares com presença de quartzo arredondados e translúcidos, estes materiais ocorrem exclusivamente nos Taludes

B2 e B3. Intercalados a esses colúvios granulares, encontram-se material aluvionar de baixa consistência e granulometria fina, este solo é típico dos Taludes B2 e B3. Para os Taludes B1 e B2 observa-se, descensionalmente, a ocorrência de um filito do tipo manganesífero de cor cinza escura; em seguida, um solo residual de quartzo-sericita xisto com presença de veio de quartzo. E, por fim, é visto a presença de itabirito manganesífero intemperizada como solo residual e/ou saprólito, presente em toda extensão da barragem. Os materiais destacados na fundação são fortemente intemperizados, podendo alcançar uma espessura de 30 a 60,00 m de manto de intemperismo.

Cabe ressaltar que embora idênticos e presentes em toda a extensão da Barragem XRS, uma mesma litologia pode apresentar consistências diferentes, tal qual o itabirito manganesífero do Talude B1 que indica uma baixa consistência em relação aos demais localizados nos Taludes B2 e B3, o que incide em uma baixa resistência do Talude B1.

4.1.2.3 Análise da estabilidade

A estabilidade dos taludes na Barragem XRS foi verificada em termos de valores do fator de segurança (FS) adotando os critérios estabelecidos pela norma NBR 13028 (ABNT, 2017).

Foi realizada uma seção geológico-geotécnica para cada talude da Barragem XRS e, a partir das análises laboratoriais foram obtidos parâmetros geotécnicos, tais como: coesão (c), peso específico natural (γ), ângulo de atrito (ϕ'), necessários para análise de estabilidade em questão.

Foi considerado para a análise de estabilidade da Barragem de XRS um cenário mais conservador e de situações mais críticas, tal como: excesso de poro-pressão em materiais não drenados. Para fins de comparação, será apresentada para cada talude da Barragem XRS a análise de estabilidade considerando a ruptura circular e não circular com poro-pressão, entretanto, cabe ressaltar que a maioria das rupturas de talude de barragem não é circular.

Dentre os diversos métodos de verificação de estabilidade de taludes por equilíbrio limite, foram levados em consideração os métodos de Bishop simplificado (BISHOP, 1955), Morgenstern – Price (1965) e Spencer (1967) por apresentarem acurácia satisfatória, sendo adequados para os objetivos das análises. Para cada método, foram realizadas simulações de análise de estabilidade considerando o talude não drenado e drenado para estudar o local mais crítico de eventual ruptura da barragem e prever a superfície de menor Fator de Segurança (FS).

A Tabela 6 apresenta os parâmetros geotécnicos utilizados para analisar a estabilidade de cada Talude.

Tabela 6 – Parâmetros utilizados nas análises de estabilidade da Barragem XRS

MATERIAL	ORIGEM DOS PARÂMETROS	γ (kN/m ³)	TIPO DE RESISTÊNCIA	Mohr-Coulomb		S_u/σ'_v	S_u/σ'_v
				c' (kPa)	ϕ' (°)	Pico	Residual
Zona I - Não Saturado	Triaxial (AM-01)	21,0	Mohr-Coulomb	2	20	-	-
Zona I - Saturado	CPTu - Robertson (2010)	21,0	Não-Drenada	-	-	0,119	0,004
Zona II - Não Saturado	Triaxial (AM-01)	21,0	Mohr-Coulomb	10	22	-	-
Zona II - Saturado	CPTu – Olson e Stark (2002)	22,0	Não-Drenada	-	-	0,258	0,089
Zona III - Não Saturado	Triaxial (AM-01)	24,0	Mohr-Coulomb	5	25	-	-
Zona III - Saturado	CPTu – Olson e Stark (2002)	26,0	Não-Drenada	-	-	0,261	0,086
Colúvio	Estimado	18	Mohr-Coulomb	5	25	-	-
Colúvio	CPTu - Robertson (2010)	18	Não-Drenado	-	-	0,450	0,201
Nível granular (colúvio)	Estimado	20	Mohr-Coulomb	8	27	-	-
Aterro	Estimado	18	Mohr-Coulomb	3	25	-	-
Enrocamento	Estimado	>30	Mohr-Coulomb	0	40	-	-
Canga ou laterita	Estimado	20	Mohr-Coulomb	8	30	-	-
Quartzo-sericita Xisto	Estimado a partir de ensaios em outras barragens	20	Mohr-Coulomb	10	30	-	-
Filito Manganêsífero	Triaxial (AM-02)	21	Mohr-Coulomb	12	27	-	-
Itabirito manganêsífero	CPTu - Robertson (2010)	25	Mohr-Coulomb	25	40	-	-

Fonte: Do autor

O ângulo de atrito, estimado pelo critério Mohr-Coulomb para as três zonas da Barragem XRS, exibiu valores subestimados ao considerar a faixa de valores sugerido por Vick (1990) que é de 30° a 37°, por Espósito (2000) que utilizou de 32° a 40°, por Carneiro

(2021) de 32,3° a 36,7° e Oliveira (2021) que apresentou por simulações o melhor ajuste para faixa de 33° a 35°, favorecendo ao cenário mais conservador. Entretanto, para a Zona III foi encontrado um cenário mais otimista ao comparar com Albuquerque Filho (2004) que usou a faixa de 25° a 35° para o ângulo de atrito (Tabela 6). Os valores da razão da resistência não drenada de pico e residual estão em conformidade com Carneiro (2021) que sugeriu a faixa de variação de 0,23 a 0,54 para a de pico e de 0,005 a 0,29 para a residual. Exceto para a Zona I que apresentou valores inferiores para ambas às resistências (Tabela 6). Os resultados da razão de resistência de pico não drenada encontrados para Zona II e III indicam solos normalmente adensados, e da Zona I em adensamento, conforme pode ser visto em Bjerrum (1973), Schnaid e Odebrecht (2012) que classificaram solos normalmente adensados quando a resistência de pico esperada é da ordem de 0,25 enquanto que valores inferiores a este correspondem a solos em adensamento e valores superiores indicam pré-adensamento, o que é corroborado com os ensinamentos de Marangon (2018). Neto (2009) afirma que solos adensados não apresentam excesso de poro-pressão, o que corrobora para os resultados dos ensaios de CPTu da Barragem XRS para a Zona II e III (Figura 20 e 22). O valor estimado do ângulo de atrito para o colúvio de nível granular, o aterro, o enrocamento e a canga estão em conformidade com as faixas de valores estabelecidas pelos autores citados acima (Tabela 6).

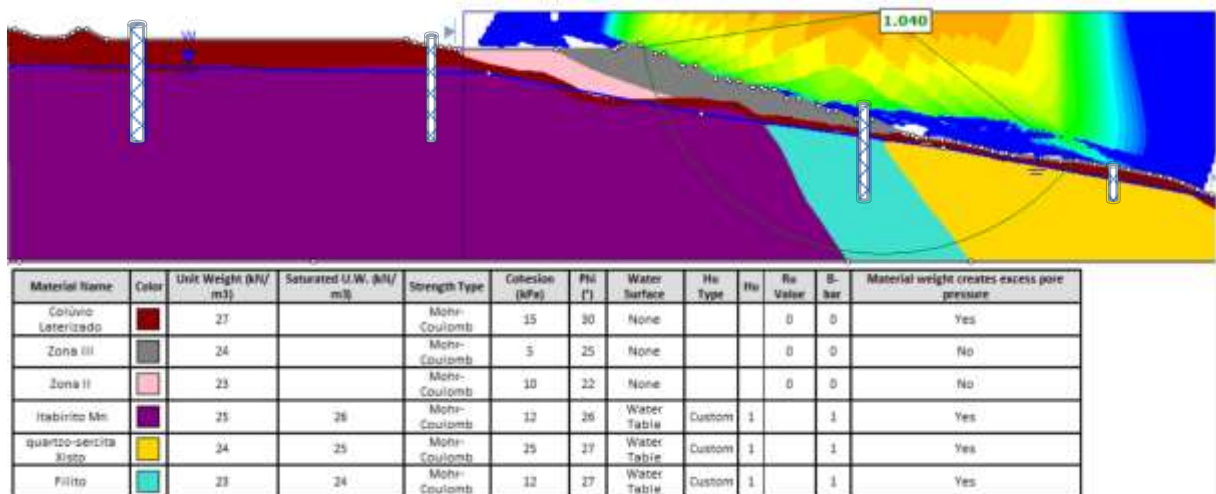
A seguir será apresentada a análise de estabilidade para cada talude da Barragem XRS.

- **Estabilidade do Talude B1**

O Talude B1 consiste em sua maioria por rejeito das zonas II e III, tendo em sua fundação solos residuais de filito com sericita, quartzo-mica xisto e itabirito manganésífero. O contato com o rejeito – fundação ocorre via interface do material coluvionar laterizado (canga).

A Figura 27 apresenta a análise de estabilidade Talude B1 considerando um cenário de ruptura circular pelo método de Bishop Simplified com poro-pressão.

Figura 27 – Análise de estabilidade com ruptura circular do Talude B1 pelo método de Bishop Simplified



Fonte: Do autor

A modelagem de análise de estabilidade para o Talude B1, considerando a ruptura não-circular, apresentou valores de Fatores de Segurança inferiores a 0,5, o que não tem uma representação física. Isto significa que o Talude B1 rompeu, porém não é o que consta em campo. Portanto, após avaliações das modelagens realizadas para esse talude, conclui-se que a análise de estabilidade por ruptura circular se adequa melhor para o Talude B1.

A Tabela 7 apresenta os Fatores de Segurança (FS) do Talude B1 resultante das simulações de análise da estabilidade.

Tabela 7 – Fatores de Segurança resultando das análises de estabilidade do B1

Tipo de Ruptura	Métodos Analíticos		
	Bishop Simplificado	Morgenstern-Price	Spencer
FS – Circular	1,04	1,05	1,05
FS – Não Circular	Não aplicado	Não aplicado	Não aplicado

Fonte: Do autor

As análises de estabilidade realizadas no Talude B1, em condições não-drenantes, indicam uma faixa de Fator de Segurança (FS) variando de 1,04 a 1,05, inferior ao mínimo requerido pela ANM (2019) que é de 1,30. De acordo com Meirelles (2013), a estabilidade desse talude não está assegurada resultando na classificação de nível baixo de segurança para danos a vidas humanas, materiais e ambientais. As análises comparativas realizadas em superfícies circular e não-circular, indicam valores do Fator de Segurança aproximados

(Tabela 7). Vale ressaltar que o menor valor para o Fator de Segurança indicou a área mais crítica de ruptura, o que pode ser visto na Tabela 7 e Figura 27.

As análises apresentadas estão em conformidade com a realidade observada em campo. Mesmo que o fator de segurança não esteja atendendo a norma da ANM, o Talude B1 encontra-se estável. No entanto, B1 precisaria da elaboração de um projeto de reforço antes de iniciar o seu processo de descomissionamento por apresentar um material mole na fundação.

- **Estabilidade do Talude B2**

O Talude B2 indicou ocorrência de rejeitos característico da Zona II e III. A fundação do Talude B2 consiste com aterro lançado, composto essencialmente de solo areno-silto argiloso com uma espessa camada (7,00m) de material coluvionar laterizado e, tanto o solo residual como o saprólito (rocha intemperizada), de itabirito manganésífero (Figura 29).

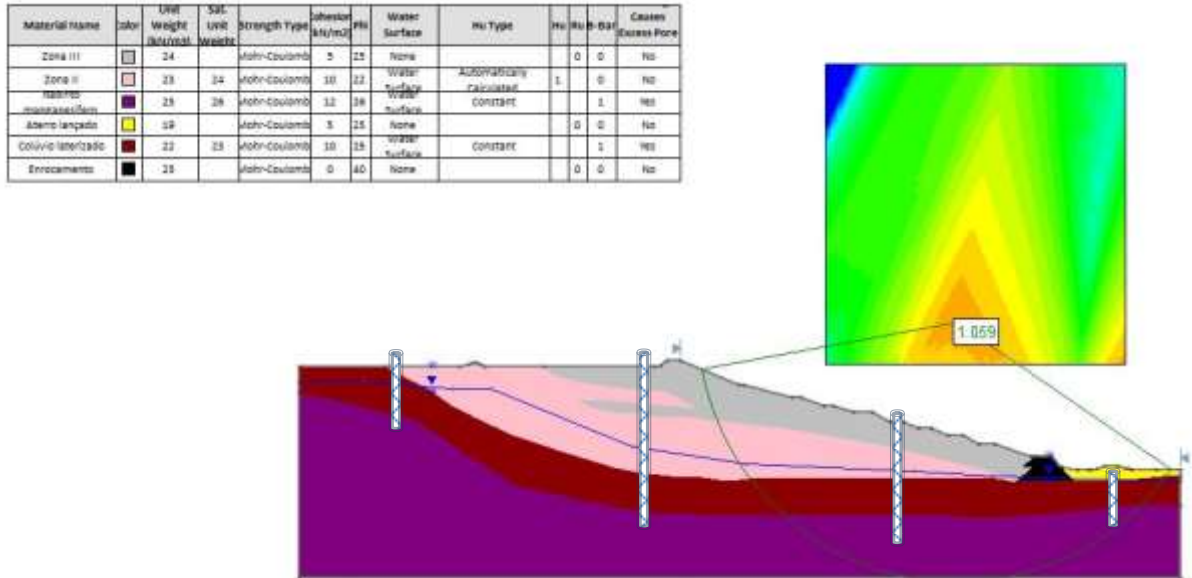
Figura 28 – Vista do Talude B2



Fonte: Do autor

A Figura 29 apresenta a análise de estabilidade com ruptura circular do Talude B2 pelo método de Bishop Simplified com poro-pressão.

Figura 29 – Análise de estabilidade com ruptura circular do Talude B2 pelo método de Bishop Simplified



Fonte: Do autor

A Figura 30 apresenta a análise de estabilidade com ruptura não circular do Talude B2 pelo método de Bishop e Morgenstern-Price com poro-pressão, com o intuito de indicar o menor valor de FS e o método que melhor avalia a ruptura não-circular.

Figura 30 – Análises de estabilidade considerando a ruptura circular e não-circular do Talude B2 pelo método de Bishop e Morgenstern-Price (Continua)

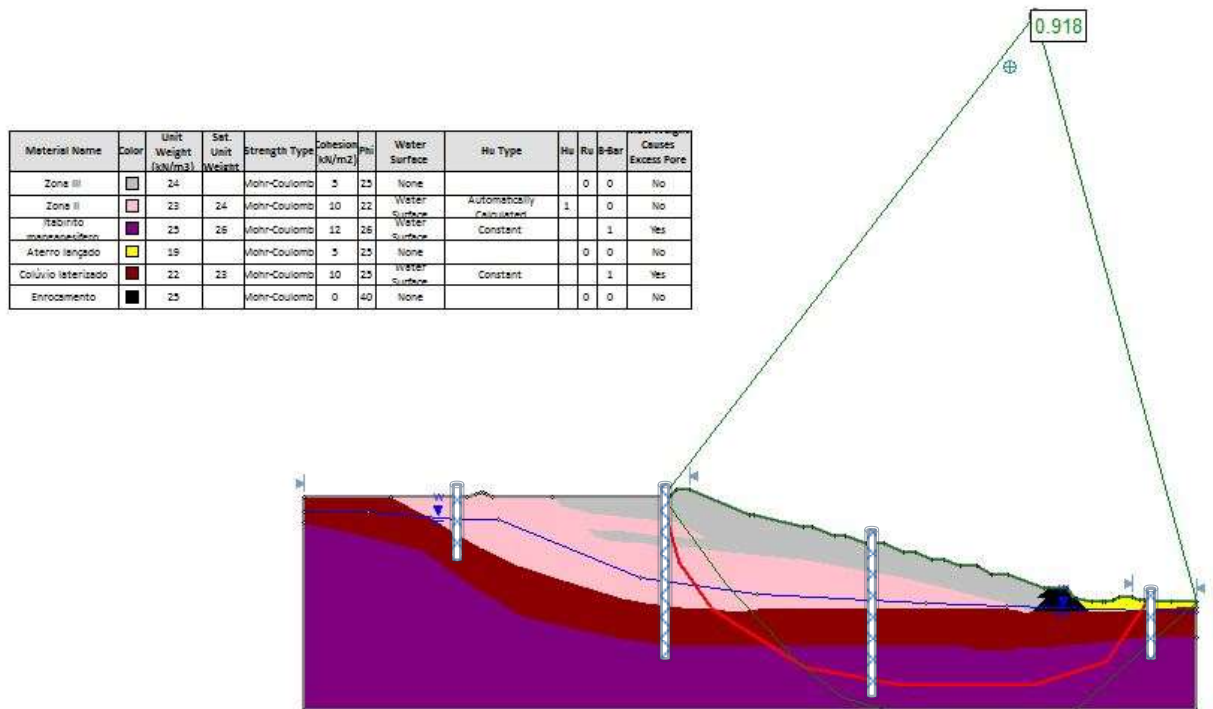
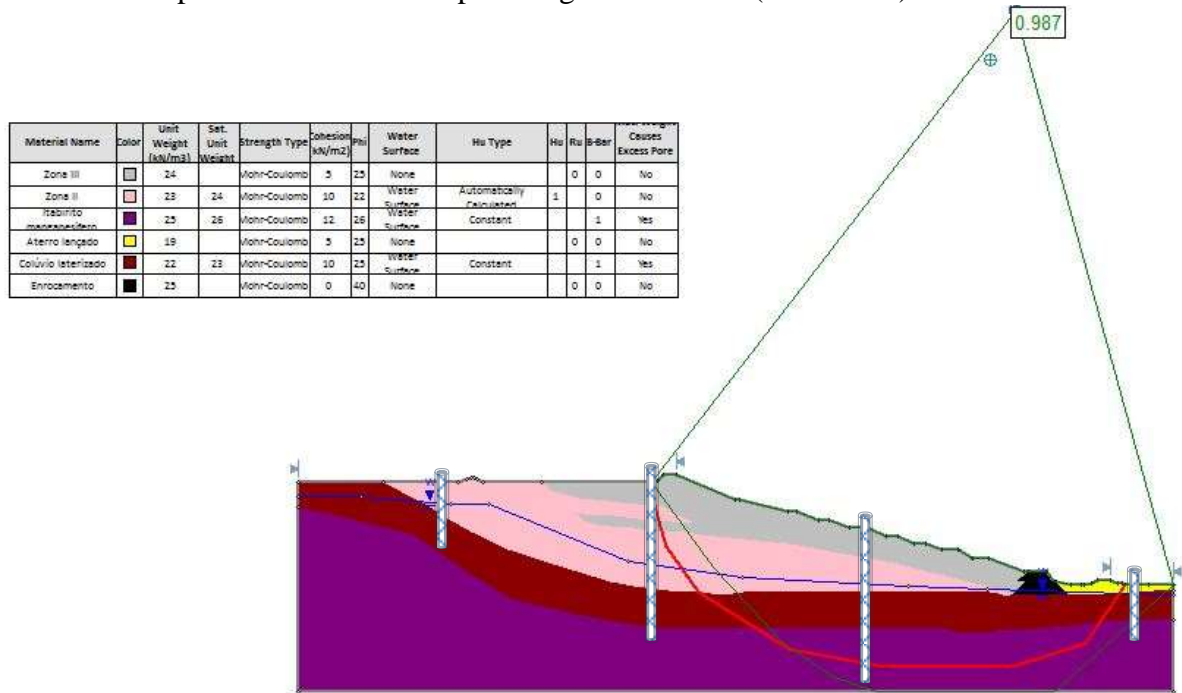


Figura 30 – Análises de estabilidade considerando a ruptura circular e não-circular do Talude B2 pelo método de Bishop e Morgenstern-Price (Conclusão)



Fonte: Do autor

A Tabela 8 apresenta os Fatores de Segurança (FS) do Talude B2 resultante da análise de estabilidade.

Tabela 8 – Fatores de Segurança resultando das análises de estabilidade do B2

Tipo de Ruptura	Métodos Analíticos		
	Bishop Simplificado	Morgenstern-Price	Spencer
FS - Circular	1,06	1,12	1,13
FS – Não Circular	0,92	0,99	1,00

Fonte: Do autor

As análises de estabilidade realizadas no Talude B2, levando em consideração as condições não-drenantes com excesso de poro-pressão, indica uma faixa de Fator de Segurança (FS) variando de 1,06 a 1,13, inferior ao mínimo estabelecido pela ANM (2019) que é de 1,30. Fato que corrobora para a classificação de nível baixo de segurança para danos a vidas humanas, materiais e ambientais. Pode-se observar que, tanto para rupturas circulares como para não-circulares, os fatores de segurança, embora próximos, estão abaixo do mínimo requerido pela ANM (2019), como indica a Tabela 8. Cabe ressaltar que, o menor valor para o Fator de Segurança indicou a área mais crítica de ruptura, o que pode ser visto na Tabela 8 e na Figura 30.

A análise de estabilidade em superfície não-circular do Talude B2 não diferiu significativamente dos valores obtidos em superfícies circulares (Figura 30). As análises apresentadas estão em consonância com as condições dos materiais observadas em campo e laboratório. Os resultados mostraram que mesmo não estando de acordo com a norma da ANM, esse barramento está estável, e não precisará de projeto de reforço para iniciar o processo de descomissionamento.

- **Estabilidade do Talude B3**

O Talude B3 é composto pelos rejeitos da Zona I, II e III, sendo a Zona II e III as mais abundantes. A composição da fundação na seção do Talude B3, consiste em sua maioria de solo residual com fragmentos de itabirito manganésífero, sotoposto a um material de solo coluvionar laterizado por processo químico (Figura 31).

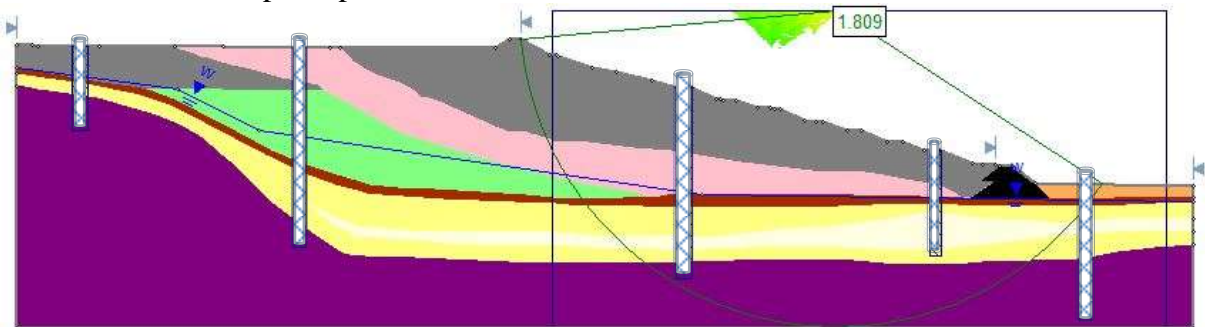
Figura 31 – Seção analisada do Talude B3



Fonte: Do autor

A Figura 32 apresenta a análise de estabilidade do Talude B3 considerando um cenário de ruptura circular pelo método de Bishop Simplified com poro-pressão.

Figura 32 – Análises de estabilidade considerando a superfície circular no B3 pelo método de Bishop Simplified

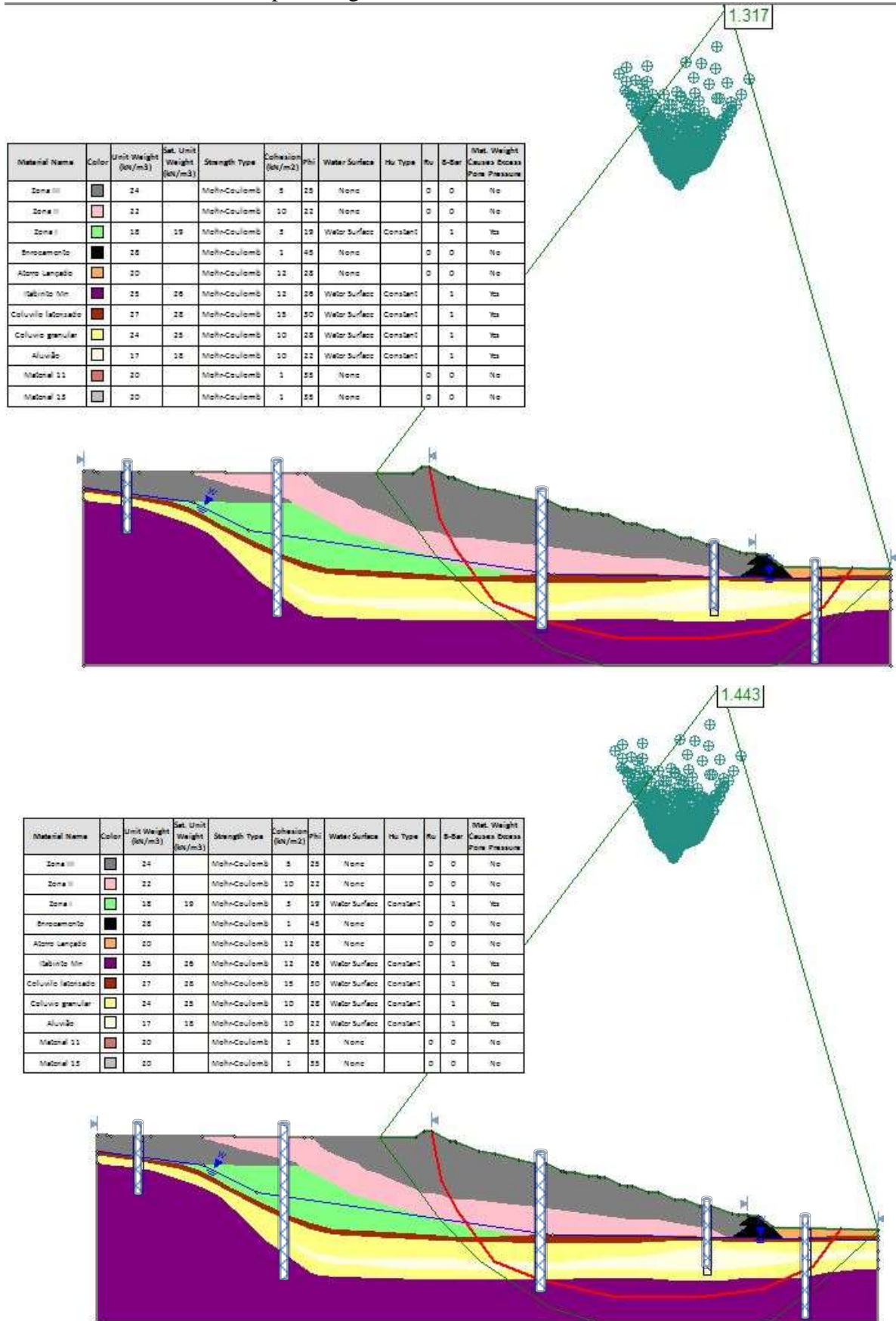


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Set. Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Hu Type	Ru	B-Bar	Mat. Weight Causes Excess Pore Pressure
Zona III		24		Mohr-Coulomb	5	25	None		0	0	No
Zona II		22		Mohr-Coulomb	10	22	None		0	0	No
Zona I		18	19	Mohr-Coulomb	3	19	Water Surface	Constant	1		Yes
Enrocamento		28		Mohr-Coulomb	1	45	None		0	0	No
Aterro Lançado		20		Mohr-Coulomb	12	28	None		0	0	No
Itabirito Mn		25	26	Mohr-Coulomb	12	26	Water Surface	Constant	1		Yes
Colúvio laterizado		27	28	Mohr-Coulomb	15	30	Water Surface	Constant	1		Yes
Colúvio granular		24	25	Mohr-Coulomb	10	28	Water Surface	Constant	1		Yes
Aluvião		17	18	Mohr-Coulomb	10	22	Water Surface	Constant	1		Yes
Material 11		20		Mohr-Coulomb	1	35	None		0	0	No
Material 13		20		Mohr-Coulomb	1	35	None		0	0	No

Fonte: Do autor

A Figura 33 apresenta a análise de estabilidade do Talude B3 considerando um cenário de ruptura não-circular pelo método de Bishop e Morgenstern-Price com poro-pressão.

Figura 33 – Análises de estabilidade considerando a ruptura circular e não circular no B3 pelo método de Bishop e Morgenstern-Price



Fonte: Do autor

A Tabela 9 apresenta os Fatores de Segurança (FS) do Talude B3 resultante da análise de estabilidade.

Tabela 9 – Fatores de Seguranças resultando das análises de estabilidade do B3

Tipo de Ruptura	Métodos Analíticos		
	Bishop Simplificado	Morgenstern-Price	Spencer
FS - Circular	1,81	1,83	1,84
FS – Não Circular	1,32	1,44	1,45

Fonte: Do autor

As análises de estabilidade realizadas no Talude (B3), principalmente em condições não-drenantes, indicam uma faixa de Fator de Segurança (FS) variando de 1,81 a 1,84 para ruptura circular, superior ao mínimo preconizado pela ANM (2019) que estipula um valor mínimo de Fator de Segurança para as condições não drenantes de 1,30. No que diz respeito a ruptura não circular, observa-se um estado de equilíbrio limite do talude, ou seja, variando de 1,32 a 1,45 (Tabela 9). Embora o método de Bishop, de maneira geral, não seja muito adequado para ruptura de superfície não-circular, deve-se levar em consideração o valor de Fator de Segurança indicado para a análise de estabilidade do talude em estudo. Sendo assim, os valores de fatores de segurança, tanto para rupturas circulares como não-circulares resultam na classificação de nível médio de segurança para danos a vidas humanas, materiais e ambientais. Vale ressaltar que, o menor valor para o Fator de Segurança indicou a área mais crítica de ruptura o que pode ser visto na Tabela 9 e na Figura 33.

A análise de estabilidade em superfície não-circular do Talude B3 não diferiu significativamente dos valores obtidos em superfícies circulares, no que diz respeito à norma da ANM que estipula o Fator de Segurança a 1,30. As análises estão em consonância com as observações de campo e com a norma da ANM indicando o B3 como estável. Teoricamente, o Talude B3 não precisaria de um projeto de reforço antes de iniciar o seu descomissionamento.

Ambos os cenários de estabilidade dos taludes apresentaram semelhança dos valores de fatores de segurança entre rupturas circulares e não circulares, exceto no caso do Talude B1. A conexão dos três taludes exige a necessidade de um projeto de reforço para toda a estrutura da Barragem XRS no intuito de garantir e reduzir qualquer risco de instabilidade que poderia ocorrer durante o processo de remoção dos rejeitos da barragem por apresentar material mole na fundação. Os resultados por apresentarem condições limite de equilíbrio da Barragem XRS corroboram para as exigências estabelecidas pela Lei 14.066/2020, o que torna justificável e seguro o enquadramento dessa estrutura em barragem de rejeito a

montante e a obrigatoriedade do descomissionamento observando um cenário de preservação sócio-ambiental.

4.1.2.4 Categoria de Risco (CRI)

As características técnicas da Barragem XRS são observadas em destaque na Tabela 10. Os parâmetros considerados na tabela são fundamentais e podem influenciar a probabilidade de uma eventual ruptura. Outros parâmetros, tais quais: a presença de condutos atravessando uma barragem de aterro, os tipos de vertedouro e a orla do reservatório; apesar de não figurar como principais devem ser considerados, principalmente, durante as inspeções semanais.

Tabela 10 – Os parâmetros que influenciam nas Características Técnicas da Barragem XRS

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS (CT)				
Altura (a)	Comprimento (b)	Vazão de projeto (c)	Método Construtivo (d)	Auscultação (e)
Altura \leq 15 m (0)	Comprimento \leq 50m (0)	CMP- (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)
15m < Altura < 30 m (1)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)
30m \leq Altura \leq 60 m (4)	200m \leq Comprimento \leq 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)
Altura > 60m (7)	Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento a montante ou desconhecido (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)
Resultado da Avaliação CT = \sum (a até e) => 30,00				

Fonte: Do autor

A Barragem XRS apresentou quatro características técnicas com valores superiores ao permitido pela Lei 14.066/2020 o que corrobora para o descomissionamento da estrutura.

Conforme os laudos técnicos, atualmente, a Barragem de rejeito XRS, construído pelo método a montante, exhibe uma altura de 70 metros, comprimento de 850m e um volume de aproximadamente 6.150.000,00 m³, sendo que 15m para altura e 3.000.000m³ para o volume

são os máximos permitidos por Lei para não ocorrer o enquadramento da estrutura como barragem de rejeito.

Portanto, acredita-se que a altura, o volume e, principalmente, o método construtivo de alteamento a montante foram bem significativos para o enquadramento da pilha em estudo como barragem de rejeito de contenção considerando a Lei 140.66/2020:

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).

Parágrafo único. Esta Lei aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

I - altura do maciço, medida do 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 2020)

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

Art. 2º-A. Fica proibida a construção ou o alteamento de barragem de mineração pelo método a montante. (Incluído pela Lei nº 14.066, de 2020)

§ 2º O empreendedor deve concluir a descaracterização da barragem construída ou alteada pelo método a montante até 25 de fevereiro de 2022, considerada a solução técnica exigida pela entidade que regula e fiscaliza a atividade minerária e pela autoridade licenciadora do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama). (Incluído pela Lei nº 14.066, de 2020)

Para verificar o estado de conservação da Barragem XRS foram considerados os parâmetros em destaque na Tabela 11.

Tabela 11 – Parâmetros indicadores do estado de conservação da Barragem XRS (Continua)

ESTADO DE CONSERVADO (EC)			
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (a)	Percolação (b)	Deformações e Recalques (c)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (d)
Estruturas civis bem mantidas e em operação normal /barragem sem necessidade de estruturas extravasoras (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (0)	Não existe deterioração de taludes e paramentos (0)
Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implantação (3)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados (3)	Existência de trincas e abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de vegetação arbustiva (2)

Tabela 11 – Parâmetros indicadores do estado de conservação da Barragem XRS (Conclusão)

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (a)	Percolação (b)	Deformações e Recalques (c)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (d)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Existência de trincas e abatimentos sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Erosões superficiais, ferragem exposta, presença de vegetação arbórea, sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)
Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas (10)	Surgência nas áreas de jusante com carreamento de material ou com vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)
Resultado da Avaliação EC = \sum (a até d) => 14,00			

Fonte: Do autor

Percebe-se que a estrutura em questão apresenta algumas anomalias no estado de conservação, no entanto, já estão em processo de monitoramento e correção. Pelas visitas em campo, podem-se observar erosões e raízes de plantas em alguns taludes e bermas.

A mineradora responsável pela Barragem XRS, desenvolveu o plano de segurança conforme especificado pela Lei, o que pode ser visto em destaque na Tabela 12.

Tabela 12 – Plano de Segurança de Barragem (PSB) elaborado para a Barragem XRS (Continua)

PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM (PSB)				
Documentação de Projeto (a)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (b)	Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento (c)	Plano de Ação Emergencial (PAE) (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (d)	Relatório de Inspeção e Monitoramento da Instrumentação e de Análise de Segurança (e)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui profissional técnico qualificado (próprio ou contratado) responsável pela segurança da barragem (1)	Possui apenas manual de procedimentos de monitoramento (2)	Não possui PAE (não é exigido pelo órgão fiscalizador) (2)	Emite regularmente apenas relatórios de Análise de Segurança (2)
Projeto "como está" (3)	Possui unidade administrativa sem profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (3)	Possui apenas manual de procedimentos de inspeção (4)	PAE em elaboração (4)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento (4)
Projeto básico (5)	Não possui unidade administrativa e responsável técnico qualificado pela segurança da barragem (6)	Não possui manuais ou procedimentos formais para monitoramento e inspeções (8)	Não possui PAE (quando for exigido pelo órgão fiscalizador) (8)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção visual (6)

Tabela 12 – Plano de Segurança de Barragem (PSB) elaborado para a Barragem XRS (Conclusão)

Documentação de Projeto (a)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (b)	Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento (c)	Plano de Ação Emergencial (PAE) (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (d)	Relatório de Inspeção e Monitoramento da Instrumentação e de Análise de Segurança (e)
Projeto conceitual (8)	-	-	-	Não emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento e de Análise de Segurança (8)
Não há documentação de projeto (10)	-	-	-	-

RESULTADO DA AVALIAÇÃO PS= \sum (a até e) => 8

Fonte: Do autor

A Tabela 13 apresenta o somatório dos resultados da avaliação das condicionantes dos três critérios de desempenho/vulnerabilidade associados à Categoria de Risco da Barragem XRS.

Tabela 13 – Resultados dos Parâmetros avaliados para classificação da Categoria de Risco

CATEGORIA DE RISCO (CRI)	
Parâmetros Avaliados	Pontuação
Caraterísticas Técnicas (CT)	30
Estado de Conservação (EC)	14
Plano de Segurança (PS)	8
Pontuação Total CRI = CT+EC+OS	52

Fonte: Do autor

O somatório dos resultados da avaliação das condicionantes dos três critérios de desempenho/vulnerabilidade associados à Categoria de Risco para Barragem XRS, levaram a um valor de **52 pontos** (Tabela 13).

A Tabela 14 apresenta a faixa de classificação da Barragem XRS associado à Categoria de Risco

Tabela 14 – Faixa de classificação da Categoria de Risco da Barragem XRS

Faixas de Classificação	CLASSIFICAÇÃO DE RISCO – CRI	
	Categoria de Risco	Pontuação CRI
	ALTO	≥ 65 ou $EC^{(*)}=10$
	MÉDIO	37 a 65
	BAIXO	≤ 37

Fonte: Do autor

Considerando o Quadro 1 (Classificação para barragens de mineração) do Anexo V, da PORTARIA Nº 70.389, DE 17 DE MAIO DE 2017, Versão com retificações de 05/06/2017, 10/11/2017, Resolução ANM nº 13/2019, de 08/08/2019, Resolução ANM nº 32/2020, de 11/05/2020 e retificação dessa resolução em 21/05/2020, Resolução nº 40/2020, de 06/07/2020; a classificação CRI da Barragem XRS, com 52 pontos, se enquadra como **CRI MÉDIO**, apresentando um peso maior para o parâmetro de características técnicas seguida do estado de conservação (Tabela 14), indicando uma probabilidade média na ocorrência de acidentes.

4.1.2.5 Dano Potencial Associado (DPA)

O Dano Potencial Associado da Barragem XRS pode ser observado em destaque na Tabela 15.

Tabela 15 – Dano Potencial Associado (DPA) da Barragem XRS

DANO POTENCIAL ASSOCIADO – DPA			
Volume Total do Reservatório	Existência de população a jusante	Impacto ambiental	Impacto sócio-econômico
Muito Pequeno ≤ 500 mil m ³ (1)	Inexistente (0)	Insignificante (0)	Inexistente (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	Pouco Freqüente (3)	Pouco Significativo (2)	Baixo (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (3)	Freqüente (5)	Significativo (6)	Médio (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (4)	Existente (10)	Muito Significativo (8)	Alto (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m ³ (5)	-	Muito Significativo Agravado (10)	-
RESULTADO DA AVALIAÇÃO DPA = \sum (a até d) =>17			

Fonte: Do autor

Pode-se observar que os fatores ambientais estão em estado de atenção o que requer monitoramento e vistoria com maior freqüência.

A pontuação igual 17 (Tabela 15) indica que a Barragem XRS apresenta a classificação de **DPA ALTO**. A pontuação superou o valor de referência estipulado (≥ 13) pela Portaria ANM N° 70.389/2017 que determinou as faixas de classificação quanto ao Dano Potencial Associado (Tabela 16).

A Tabela 16 apresenta a faixa de classificação da Barragem XRS associado ao DPA.

Tabela 16 – Faixa de classificação Dano Potencial Associado (DPA)

CLASSIFICAÇÃO DE DANO POTENCIAL ASSOCIADO – DPA		
Faixas de Classificação	Dano Potencial Associado	Pontuação DPA
	ALTO	≥ 13
	MÉDIO	7 < DPA < 13
	BAIXO	≤ 7

Fonte: Do autor

No que diz respeito ao enquadramento da Barragem XRS na matriz de classificação de barragens, foram associadas às duas classificações, ou seja, a Categoria de Risco (CRI) e o Dano Potencial Associado (DPA), o que resultou na classificação da estrutura em Barragem de **CLASSE B**, sendo ilustrada em destaque pela Tabela 17.

Tabela 17 – Associação entre Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA)

CATEGORIA DE RISCO - CRI	DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	B	C	D
BAIXO	B	C	E

Fonte: Do autor

A Barragem XRS enquadra-se como barragem de Classe B. Os impactos tanto socioeconômicos quanto ambientais foram decisivos na classificação: ALTO do DPA, o que implicou, diretamente, em seu enquadramento na Classe B, justificando o enquadramento da pilha como barragem de rejeito alteada a montante pela Lei 14.066/2020.

Cabe ressaltar que, embora não haja população que resida de maneira permanente à jusante da estrutura, ocorre frequentemente trânsito de população, principalmente, na rodovia estadual MG-129 e, estima-se nesse trecho da rodovia, cerca de 30 veículos por minutos no horário de fluxo intenso.

O impacto ambiental, no caso de uma eventual ruptura, afetaria diretamente o rio e mais de 100 hectares de vegetação nativa, além de contaminar tanto o solo como o subsolo.

As áreas a jusante da barragem que serão afetadas, caso haja um rompimento da estrutura, são consideradas como área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica pelo Decreto Federal 99.274 de junho de 1990.

De uma forma geral, pode-se dizer que os parâmetros geotécnicos e ambientais analisados estão corroborando com as exigências estabelecidas pela Lei 14.066/2020 e pelas Resoluções Estaduais.

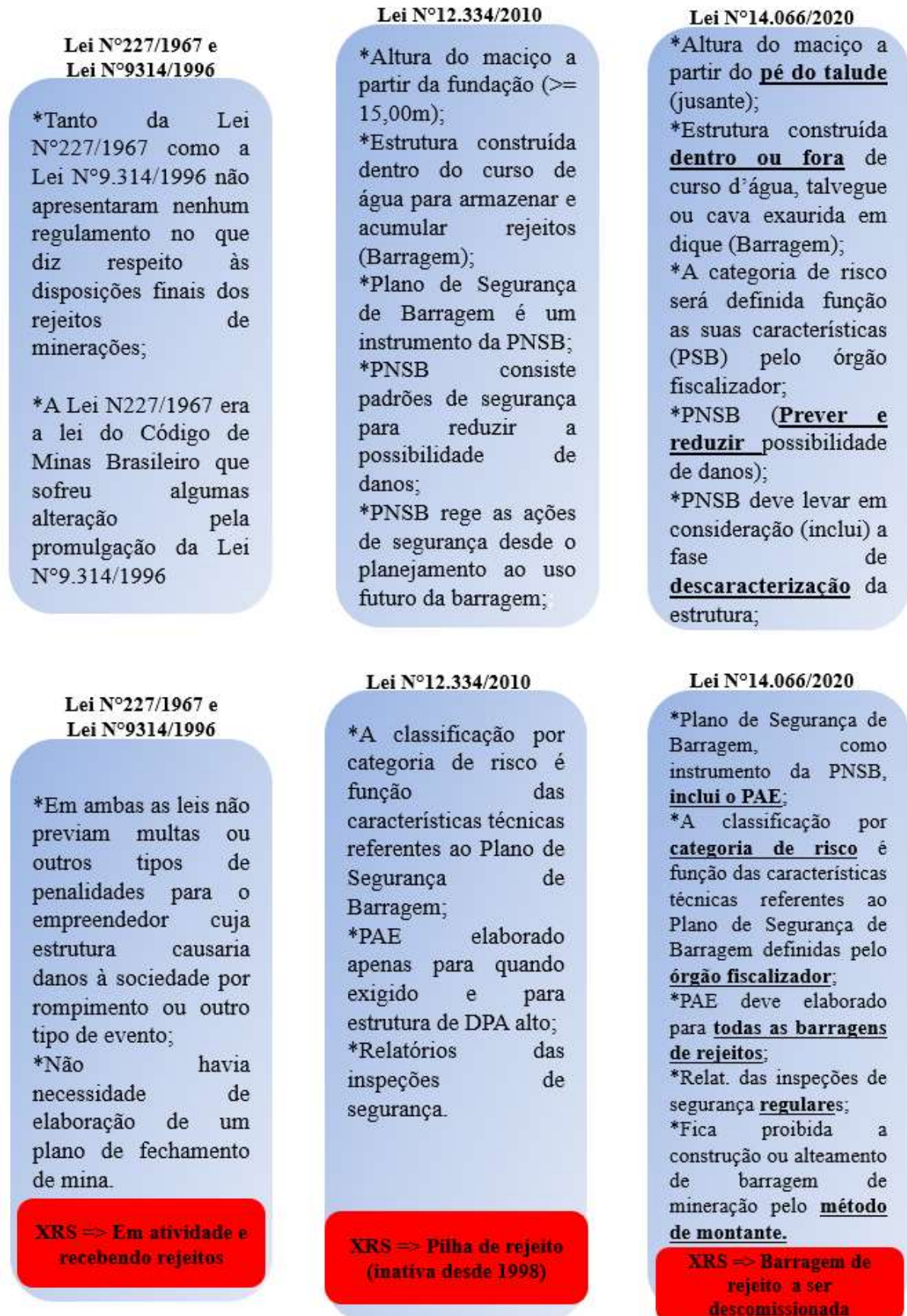
4.1.2.6 As principais mudanças na LEI 14.066/2020 considerando os parâmetros geotécnicos e indicadores ambientais

A Lei 14.066/2020, levando em consideração, principalmente, o método construtivo e as características ambientais, passou a enquadrar a pilha de rejeito drenado XRS como barragem de rejeito de contenção a montante, uma vez que essa estrutura foi construída como um empilhamento drenado pelo método a montante, em etapa única, há mais de três (3) décadas, corroborando para intensificar o processo de descomissionamento da estrutura.

Também, passou a exigir como instrumento de gestão o Plano de Segurança de Barragem (PSB) que consiste em uma série de documentos de inspeções de segurança regulares e especiais, incluindo um Plano de Ação Emergencial (PAE). Esses relatórios deverão sempre ser atualizado, disponíveis e acessíveis, antes do início da operação da estrutura, para a equipe responsável pela operação e gestão da barragem no local do empreendimento e para o órgão fiscalizador, bem como ser inserido no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

A Figura 34 apresenta as principais mudanças que ocorreram nas legislações em cenários precedente e subsequentes a Lei 14.066/2020 quanto à fiscalização e monitoramento das atividades minerárias.

Figura 34 – Mudanças nas legislações para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragem



Fonte: Do autor

As Leis Federais N°227/1967 e N°9314/1996, sendo Código Minerário, não apresentavam uma política de monitoramento ou de fiscalização para as atividades minerárias. Após uma sucessão de eventos que resultaram em acidentes envolvendo barragens de rejeitos de mineração, fez-se imprescindível uma fiscalização apropriada para mitigar tais eventos.

Nesse contexto, a Lei Federal 12.334/2010 promulgou e estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragem (PNSB), que consiste em garantir a observância de padrões de segurança de barragens, de maneira a fomentar a prevenção e a reduzir a possibilidade de acidente ou desastre e suas consequências, ou seja, a PNSB rege padrões de segurança para reduzir a possibilidade de danos. Embora o estabelecimento da PNSB tenha ocorrido em 2010, houve outros acidentes com barragens de rejeitos, dentre os mais recentes, destaca-se a ruptura da Barragem da Mina Córrego do Feijão (Brumadinho), em 2019, causando mais de 200 mortos, o que foi classificado como um dos maiores desastres socioambientais do Brasil.

Diante deste quadro, o Poder Público entendeu ser necessário realizar nova mudança na estruturação da PNSB, o que suscitou na promulgação da Lei Federal 14.066/2020. Esta nova lei redefine o que é uma barragem, indicando a altura, volume do reservatório, tipo de rejeito, categoria de risco que a barragem apresenta. A Lei 14.066/2020 reestrutura o objetivo da PNSB como um conjunto de padrões para não somente reduzir, mas desta vez, prever possíveis danos de uma eventual ruptura de barragem. A PNSB instituiu como instrumento de gestão o Plano de Segurança de Barragem (PSB) que consiste em série de documentos de inspeções de segurança regulares e especiais da barragem, incluindo um Plano de Ação Emergencial (PAE). Esses relatórios deverão sempre ser atualizados e estar disponíveis e acessíveis, antes do início da operação da estrutura, para a equipe responsável pela operação e gestão da barragem no local do empreendimento e para o órgão fiscalizador, bem como ser inserido no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

A Lei 14.066/2020 proíbe execução de barragem alteada pelo método a montante. As estruturas que já foram erigidas por este método de construção deverão ser descomissionadas e as áreas por elas ocupadas serão recuperadas.

A Tabela 18 apresenta as principais mudanças que a Lei 14.066/2020 gerou em relação à Barragem XRS, principalmente no que diz respeito à estrutura de contenção e Política de Segurança de Barragem. As mudanças que ocorreram foram com o intuito de supervisionar e monitorar de forma detalhada as estruturas geotécnicas de disposição final ou temporário de rejeitos.

Tabela 18 – Mudanças na Lei 14.066/2020 para o enquadramento das estruturas em barragem, com foco na Barragem XRS (Continua)

PARÂMETROS CONSIDERADOS	LEI FEDERAL 14.066/2020	BARRAGEM XRS
Altura do maciço - pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento	≥ 15	70
Volume do reservatório	3 Milhões de m ³	60 Milhões de m ³
Categoria de DPA	Baixa, Média e Alta	Alta
Método construtivo	Proibido alteamento a montante	Alteamento a montante
Plano de Descaracterização / Descomissionamento	A ser elaborado antes da implantação e operação	Em elaboração (fase final)
Plano de Ação Emergencial de barragem de Mineração	Incluído na PNSB	Disponível e atualizado
Cadastramento da estrutura em plataforma SIGBM	Incluído no Plano de Segurança de Barragem (PSB)	Disponível e atualizado
Fator de Segurança (não drenante)	$\geq 1,3$	FS de dois barramentos $< 1,3$
Natureza do resíduo armazenado	Inerte ou elaboração de medidas de mitigação	Inerte
Sistema de monitoramento automatizado	sistema de monitoramento automatizado de instrumentação	Alguns instalados e outros sendo instalados
Instalação de Sirenas (alerta)		Existentes
Inspeções rotineiras	$< 1,00$ (um) ano	semanais
Estruturas de contenção de rejeito	Todas as estruturas de contenção são BARRAGENS	Pilha de rejeito virou Barragem

Fonte: Do autor

A Lei 14066/2020 passou a exigir novas especificações para os parâmetros geotécnicos e ambientais relacionados a todas as estruturas de contenção de rejeitos, e as estruturas que se enquadrarem nas especificações da Tabela 18 serão consideradas como barragens. Conseqüentemente, fato que implica na estrutura em estudo, que outrora era considerada uma pilha, passou a ser considerada como uma barragem de contenção de rejeitos alteada pelo método a montante pelas especificações apresentadas.

A Lei 14.066/2020 não levou em consideração o modelo conceitual de disposição final que armazena rejeitos em pilha. A lei definiu e passou a considerar todas as estruturas de rejeitos que tenham mais de 15,00m e um reservatório de rejeitos superior ou igual a 3 (três) milhões de metro cúbico como barragens de contenção de rejeitos. Do ponto de visto técnico, uma pilha drenada, tal é o caso da Barragem XRS, difere em muito de uma barragem de contenção convencional, principalmente no que diz respeito ao volume de água disponível no reservatório. A Barragem XRS é um empilhamento drenado e alteado pela técnica de aterro hidráulico com um sistema de drenagem interno eficaz, já que possui um coeficiente de

permeabilidade relativamente elevado. A eficácia do sistema de drenagem interno confere a essa estrutura uma característica de depósito despressurizado, considerando o fator poro-pressão, o que geralmente, tende a elevar o fator de segurança da estrutura.

Por outro lado, a Lei 14.066/2020, considerando as estruturas de contenções de rejeitos como barragens, mesmo sendo pilhas, trouxe uma nova percepção no que diz respeito à segurança de barragem como ferramenta de extrema importância principalmente para o empreendedor. A lei, por intermédio da Política Nacional de Segurança de Barragem (PNSB), ampliou a responsabilidade do empreendedor diante de um passivo ambiental que outrora, pela inação do Poder Público, era legado à sociedade. Portanto, essa nova caracterização normativa estabelecida pela Lei 14.066/2020 está em consonância com o bem estar populacional e com a política de segurança ambiental.

Em geral, as mudanças que ocorreram no cenário minerário tiveram como objetivos supervisionar e monitorar de forma detalhada as estruturas geotécnicas de disposição final ou temporária de rejeitos.

4.1.3 Descrição dos passivos ambientais e plano de contingências

Um conjunto de resultados desfavoráveis em relação ao meio ambiente constitui uma contrapartida direta da mineração, sendo que tais impactos se distribuem em diferentes classes e categorias. Estes impactos causam, geralmente, poluição e contaminação dos recursos hídricos, degradação do solo e da cobertura vegetal, poluição sonora, visual e atmosférica, entre outras perturbações, conforme a modalidade exploratória da mineração. Tais impactos, embora quase sempre restritos ao local de exploração e suas imediações, costumam refletir em modificações significativamente profundas na paisagem, tal como o caso da Barragem XRS.

O desmatamento da vegetação nativa da região em que foi edificada a barragem resultou na redução da biota e no afugentamento/migrações dos animais autóctones.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, diante da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, alterada parcialmente pela Resolução 410/2009 e 430/2011, estabelece critérios sobre a classificação dos corpos de água superficiais e diretrizes ambientais para seu enquadramento em classe de curso d'água, bem como as condições e padrões de lançamento de efluentes. A classificação reúne uma série de definições com base na aptidão natural dos cursos d'água, observando a sua qualidade, capacidade, entre outras características específicas.

A renovação do enquadramento do rio Piracicaba, na região em estudo, caracterizou o rio como curso d'água de CLASSE 2. Este enquadramento levou em conta a qualidade da água resultante das ações antrópicas geradoras das maiores cargas poluentes em condições de vazão de referência, preferencialmente, nos períodos de estiagem ($Q_{7,10}$), considerando vazões pontuais.

As águas provenientes de rios de CLASSE 2 podem ser destinadas após tratamento convencional: ao abastecimento para consumo humano; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e à atividade de pesca.

A configuração hidrológica da Barragem XRS a caracteriza como um efluente do rio Piracicaba em razão da ocorrência do lançamento, no leito do rio, das águas provenientes dos rejeitos e da fundação. O lançamento dessas águas não se configura diretamente como uma forma de poluição do rio, em virtude da qualidade da água neste trecho, levando em consideração os parâmetros químico-biológicos relatados pelos técnicos que atuam no monitoramento e supervisão da integridade nesse trecho do Rio Piracicaba, o que pode ser confirmado pela PP06 – Proposta de Enquadramento e Programa de Efetivação da Circunscrição Hidrográfica do Rio Piracicaba (2022).

As águas do sistema de drenagem não apresentam parâmetros químico-biológicos suficientemente elevados para influenciar na qualidade das águas do rio Piracicaba. E vale ressaltar que a empresa mineradora possui uma equipe para monitorar e avaliar a qualidade da água durante todo ciclo hídrico da região.

Embora não haja passivos ambientais propriamente ditos, o erguimento da Barragem XRS apresenta-se como um passivo ambiental significativo, pois uma falha no funcionamento pode causar uma ruptura iminente na estrutura, que por sua vez pode acarretar danos ao meio ambiente e riscos à saúde humana.

Atualmente, encontra-se em elaboração e execução projetos para descaracterizar e descomissionar a estrutura da barragem como plano de ação para mitigar esse passivo ambiental. Os projetos contam com apoio de profissionais de vários níveis e esferas de atuação.

4.1.3.1 Plano de descomissionamento da Barragem XRS

A Portaria nº70.389/2017 da Agência Nacional de Mineração (ANM) define o processo de Descomissionamento como o encerramento das operações com a remoção das infraestruturas associadas, tais como: dutos, tubulações de sistema de drenagem, espigotes, tubulações, exceto aquelas destinadas à garantia da segurança da estrutura.

A Barragem XRS foi, inicialmente, construída como uma pilha de rejeito (PDR) armazenando resíduos sólidos oriundos de beneficiamento do minério de ferro (rejeitos) (Figura 35).

Figura 35 – Vista do reservatório da Barragem XRS



Fonte: Do autor

No final dos anos noventa (1998) foram cessadas todas as atividades relacionadas ao armazenamento de rejeitos na estrutura, o que lhe concedeu um status de estrutura descaracterizada, ou seja, que não recebe, permanentemente, aporte de rejeitos oriundos de sua atividade fim, a qual deixa de possuir características ou de exercer função de barragem, de acordo com projeto técnico.

A Barragem XRS, embora considerada com uma pilha de rejeito à luz da sua concepção, apresenta características, tais quais: altura, volume do reservatório, método de alteamento que foi executado sobre o seu próprio rejeito, que resultaram em seu enquadramento como barragem construída a montante pela Lei Federal 14.066/2020, que estipula que *“uma barragem: 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 misturas de líquidos e sólidos,*

compreendendo o barramento e as estruturas associadas”. Ademais, tem-se, na referida lei os seguintes itens:

Esta Lei altera dispositivos da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), da Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). Art. 2º A Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, passa a vigorar com as seguintes alterações:

Art. 1º.....

Parágrafo único. I - altura do maciço, medida do 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;

..... 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 desta Lei; V - categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador, conforme definido no art. 7º desta Lei. (NR)

Art. 3º A Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, passa a vigorar acrescida dos seguintes arts. 2º-A, 18-A, 18-B e 18-C: Art. 2º-A. Fica proibida a construção ou o alteamento de barragem de mineração pelo método a montante. § 1º Entende-se por alteamento a montante a metodologia construtiva de barragem em que os diques de contenção se apoiam sobre o próprio rejeito ou sedimento previamente lançado e depositado.

Art. 18-A. Fica vedada a implantação de barragem de mineração cujos estudos de cenários de ruptura identifiquem a existência de comunidade na ZAS.

Art. 18-B. Os órgãos fiscalizadores devem criar sistema de credenciamento de pessoas físicas e jurídicas habilitadas a atestar a segurança da barragem, incluída a certificação, na forma do regulamento.

Art. 18-C. O laudo técnico referente às causas do rompimento de barragem deve ser elaborado por peritos independentes, a expensas do empreendedor, em coordenação com o órgão fiscalizador.

A Barragem XRS será descomissionada, optando-se pela remoção dos rejeitos nela contidos. A remoção dos rejeitos ocorrerá em etapas, observando uma taxa pontual do volume de materiais removidos em função da área, levando em consideração a poro-pressão determinada nos ensaios CPTu realizados e anteriormente descritos e analisados.

4.1.3.2 Etapas do Descomissionamento da Barragem XRS

A Barragem XRS contém rejeitos de teor que permitiriam um reaproveitamento futuro na cadeia exploratória. Sendo assim, pode-se destacar duas etapas no processo de descomissionamento: etapa de remoção parcial e total. Entretanto, a remoção parcial, não se justifica pelo simples fato de que os rejeitos podem ser reprocessados e, portanto, gerar

recursos e eliminar passivos ambientais. Assim, a alternativa de remoção total é aquela para a qual será desenvolvido um projeto conceitual do descomissionamento da estrutura em estudo.

A seção proposta considera a remoção da estrutura até a elevação 935,80 m com o rebaixamento do reservatório. Estudos de percolação preliminares apontam uma taxa de rebaixamento do nível de água (NA) semelhante a 0,5m por mês (0,5m/mês), ou seja, aproximadamente 6,00 m em um intervalo de 1 (um) ano.

Para a remoção total da barragem serão necessárias a execução de cinco (5) etapas que irão considerar os parâmetros geotécnicos e ambientais estudados nas subseções anteriores, a saber:

- **Etapa 1:** Estudo das Propriedades físicas e parâmetros geotécnicos dos Rejeitos por meio dos ensaios de CPTu em campo e dos ensaios em laboratório, com foco na avaliação da poro-pressão a partir das leituras dos instrumentos instalados e uma análise de estabilidade de talude, incluindo estudos de Tensão – Deformação;
- **Etapa 2:** Estudo e elaboração de um projeto de reforço do maciço da barragem principalmente nos barramentos B1 e B2;
- **Etapa 3:** Rebaixamento da linha freática (NA) para que a remoção dos barramentos aconteça de maneira mais segura possível, evitando zonas de instabilidade;
- **Etapa 4:** Estudo de escavação e remoção dos rejeitos até alcançar a fundação, estruturando o terreno em uma declividade admissível, a ser definida em projeto;
- **Etapa 5:** Recuperação das áreas degradadas, reinserindo as espécies nativas tanto na vegetação como na fauna.

As etapas 1 e 2, citadas acima já estão sendo executadas na Barragem XRS com o projeto conceitual de *As Is* e de descaracterização, já que as informações da execução da estrutura não estão mais disponíveis. As etapas 3 e 4 iniciarão assim que as investigações geotécnicas e os projetos de descaracterização estiverem concluídos. A etapa 5 dará início durante e após a remoção total dos rejeitos.

4.1.3.3 Principais ações protocoladas pela mineradora para execução do plano de descomissionamento exigidas pelas políticas Nacional e Estadual de Segurança de Barragem

A Lei Federal 12.334/2010 estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB)

que tem por missão de coletar, tratar, armazenar e recuperar as informações e deve contemplar barragens em construção, em operação e desativadas. A PNSB tem por prerrogativa definir procedimentos emergenciais e fomentar a atuação conjunta de empreendedores, fiscalizadores e órgãos de proteção e defesa civil em caso de incidente, acidente ou desastre.

A Lei Federal 14.066/2020 altera a antiga Lei 12.334/2010, ampliando a atuação dos órgãos fiscalizadoras e intensifica as responsabilidades do empreendedor.

No nível estadual, os órgãos como a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento – SEMAD, a Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, o Instituto Estadual de Florestas – IEF e o Instituto Mineiro de Gestão das Águas, por meio da Resolução Conjunta SEMAD/FEAM nº 2.784/2019, Resolução Conjunta SEMAD/FEAM/IEF/IGAM nº 2827/2019 estabelecem que sejam descaracterizadas todas as barragens de contenção de rejeitos e resíduos, alteadas pelo método construtivo do tipo a montante, provenientes de atividades minerárias, existentes em Minas Gerais e dá outras providências.

A Resolução Conjunta SEMAD/FEAM nº 2.784/2019 prevê nos artigos 3 e 4 o fim de licença ambiental para operação de barragens a montante e determina as suas descaracterizações.

Art. 3º – Fica vedada a concessão de licença ambiental para operação ou ampliação de barragens destinadas à acumulação ou à disposição final ou temporária de rejeitos ou resíduos da mineração que utilizem o método de alteamento a montante.

Art. 4º – Fica determinada a descaracterização de todas as barragens de contenção de rejeitos que utilizem o método de alteamento a montante, provenientes de atividades minerárias, existentes no Estado de Minas Gerais, na forma desta resolução.

Em nível federal, as barragens de rejeitos da mineração, inativas ou em operação, que utilizem ou que tenham utilizado o método de alteamento a montante, deverão ser descaracterizadas no prazo máximo de três anos, contados a partir da data de publicação da Lei nº 23.291, de 2019. Também a Resolução nº 95/2022 da Agência Nacional de Mineração – ANM trata desse assunto.

A barragem em estudo conta com um plano descaracterização e descomissionamento e se enquadra tanto na Lei 14.066/2020 como nos termos das resoluções conjuntas SEMAD/FEAM nº 2.784/2019, SEMAD/FEAM/IEF/ IGAM nº 2827/2019 e ANM nº 95/2022, conforme ilustrado na Tabela 19.

Tabela 19 – Principais itens da Barragem XRS solicitados pelas resoluções SEMAD/FEAM nº 2.784/2019, SEMAD/FEAM/IEF/ IGAM nº 2827/2019 e ANM nº 95/2022

Termo de Referência das resoluções	Briefing descritivo do Termo de Referência	Situação da Barragem XRS
Informações e Projetos conceituais	Dados de topografia: curvas de níveis, delimitação da área e declividade	✓
	Caracterizações dos rejeitos e fundação: ensaio de campo e laboratório	✓
	Estudo de hidrotécnico e hidrogeológico	✓
	Investigações geotécnicas	✓
	Modelo geológico-geotecnico hidráulico	✓
	Análise de estabilidade e modelo de ruptura	✓
Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB)	Identificação do empreendedor e natureza do empreendimento	✓
	Tipo de estrutura de contenção	Barragem de contenção de rejeitos
	Sistema de classificação de barragens por CRI e DPA	Alto
	Elaboração e emissão do PAE	✓
	Cadastramento da estrutura no SNISB	✓
	Emissão periódica do Relatório de Segurança de Barragens	✓
	Elaboração do Plano de Segurança Emergencial	✓
	Plano de Ação Emergencial de Barragem de Mineração (PAEMB)	✓
Zona de ZAS, ZSS e Pontos de encontros	✓	
Projeto de descaracterização e Descomissionamento	Fase de descaracterização / descomissionamento	Estudos e elaborações de projetos
	ABNT NBR 13028/2017	✓
	Ensaio de campo e laboratoriais	✓
	Análise de estabilidade de talude e de hipotética ruptura	✓
	Tipo de remoção dos resíduos	Remoção total de rejeitos
	Instalação e automatização dos instrumentos de monitoramento	✓
	Estruturas de drenagem e canais de desvio de fluxo de água	✓
	Plano de rebaixamento da linha freática	✓
	Prazo para o início do descomissionamento	✗

Legenda: ✓ Existente

✗ Ausente

Fonte: Do autor

O não cumprimento das legislações vigentes acarretará em multas para o empreendedor variando de R\$ 2.000,00 (dois mil reais) a R\$ 1.000.000.000,00 (um bilhão de reais), segundo a gravidade da infração. De acordo com a Lei 14.066/2020, caso o empreendedor realizar atividades de lavra, de beneficiamento ou de armazenamento de minérios, ou de disposição de estéreis ou de rejeitos em condições que resultem em graves danos à população ou ao meio ambiente, será estabelecido um processo administrativo de caducidade do título minerário.

Haverá caducidade do título minerário uma vez que os danos sofridos tanto pela população como pelo meio ambiente forem da responsabilidade por culpa ou dolo do empreendedor.

4.1.3.4 Aproveitamento dos rejeitos da Barragem XRS com reabilitação da área degradada considerando o cenário de preservação ambiental

Os itens anteriores destacaram a mudança de cenários que a Lei Federal 14.066/2020 trouxe para atividade minerária, especificamente nos sistemas de contenção de resíduos (rejeitos) dela oriundo.

As estruturas de contenção de rejeitos, em si, são caracterizadas como passivos ambientes decorrentes das atividades ligadas ao beneficiamento de minérios. A nova lei amplia e intensifica a responsabilidade do empreendedor quanto à segurança e estabilidade da estrutura e suas imediações, principalmente, em regiões a jusante. O passivo ambiente que o empreendimento causa ou causou será do empreendedor, sendo este o principal responsável de uma eventual falha de funcionamento da estrutura, gerando incidentes ou acidentes.

Como forma de mitigar algumas ocorrências que podem gerar desastres ambientais, a lei estabeleceu a descaracterização e descomissionamento das barragens de contenção de rejeitos construídas a montante, o que implica na remoção parcial ou total dos rejeitos. Durante a remoção total de rejeitos, na etapa de descomissionamento, tem-se dois desafios significativos a serem cumpridos: o primeiro é de garantir a recuperação das áreas degradadas e o segundo é de definir, de maneira sustentável e ambientalmente correta, a disposição final de rejeitos removidos da estrutura descomissionada.

A Barragem XRS dispõe de um documento apresentando um Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), que direciona a realização e o acompanhamento (monitoramento) da recuperação ambiental de uma determinada área degradada.

As ações de recuperação da área devem ter como propósito, sempre que possível, o retorno da área atingida às suas condições originais de ecossistema, buscando sempre atingir as condições mais próximas às observadas na área controle ou área de referência mencionada antes da implantação do empreendimento que, neste caso, trata-se de uma barragem de contenção de rejeitos de minério de ferro. Em primeiro lugar, o projeto deverá assegurar o isolamento da área de fatores físicos ou biológicos que possam dificultar ou impedir sua consolidação e permitir a recomposição do ecossistema. Em seguida, proceder na reconformação topográfica, recuperação do solo, restauração da dinâmica hídrica superficial e subsuperficial, controle de erosão, como pré-requisitos para a recuperação da vegetação, etapa final do processo.

Atualmente, os estudos de PRAD para a Barragem XRS promoveram a listagem das espécies nativas na biota, tanto das circunvizinhanças como da região, com o intuito de catalogar cada espécime que, outrora, recobria a área.

O PRAD da Barragem XRS é um documento atualizado e, em conjunto com a Licença Ambiental, encontra-se disponível para averiguação dos órgãos fiscalizadores de Meio Ambiente.

No que diz respeito à disposição final dos rejeitos removidos da estrutura, acontece que geralmente os rejeitos removidos das barragens são dispostos em cavas ou até mesmo em novas em pilhas. No caso dos rejeitos presentes na Barragem XRS, eles serão rebeneficiados em usina pelo processo de separação magnética e flotação, com o propósito de serem comercializados, dado que os rejeitos dessa estrutura apresentam teor de ferro variando de 45 a 50%, o que é considerado relativamente alto.

4.2 PESQUISA DE OPINIÃO CONSIDERANDO A LEI FEDERAL 14.066/2020 - Atualização da Política Nacional de Segurança de Barragem

No intuito de estabelecer estudos complementares ao presente trabalho, foi realizada uma pesquisa de opinião por meio de um questionário envolvendo profissionais da área de mineração para extrair o conhecimento e a opinião deles sobre a atualização da Política de Segurança de Barragem e suas aplicabilidades.

O questionário foi desenvolvido na plataforma Google Forms (Anexo A) e enviado por e-mail à 47 profissionais, obtendo o retorno das respostas por apenas 16 profissionais dentre o total inicialmente convidado (Tabela 20). Como se depreende da Tabela 20, quase todas as categorias que compunham o perfil das áreas de atuação a serem consideradas tiveram

entrevistados que responderam à pesquisa. Infelizmente, membros das agências fiscalizadoras não retornaram os questionários.

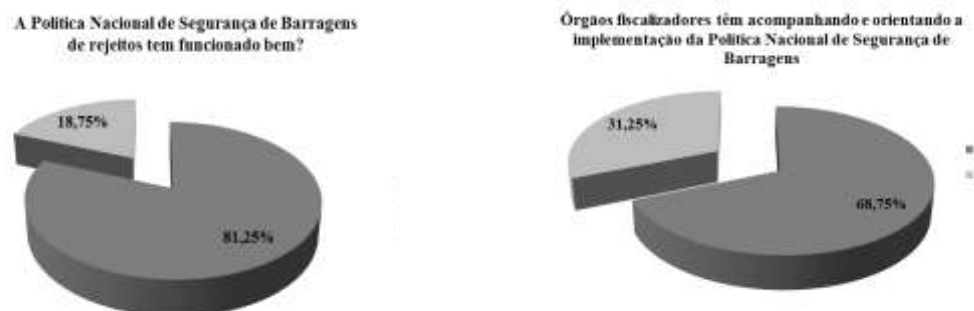
Tabela 20 – Área de atuação dos profissionais entrevistados

Área de atuação	Entrevistados	Percentual
Projetista	4	25,00%
Consultor(a)	4	25,00%
Outros	3	18,75%
Mineradora	2	12,50%
Professor	2	12,50%
Professor/consultor	1	6,25%
Pesquisador	0	0,00%
Agência Fiscalizadora (Órgão Público)	0	0,00%
Total	16	

Fonte: Do autor

A análise descritiva dos dados permitiu consolidar/extrair informações relevantes que corroboram os resultados obtidos por vários autores citados no decorrer desse trabalho. Com os recentes desastres envolvendo barragens de rejeitos em Minas Gerais se fez necessário atualizar a Política Nacional de Segurança de Barragem com medidas mais rigorosas em relação à segurança. Pelos dados analisados percebe-se que, praticamente, todos os profissionais entrevistados estão de acordo com as novas medidas adotadas e, que 68.7% desses profissionais, garantem que os órgãos fiscalizadores estão orientando de forma positiva sobre a implementação da nova Lei (Figura 36). O que é visto como um avanço positivo no requisito de segurança.

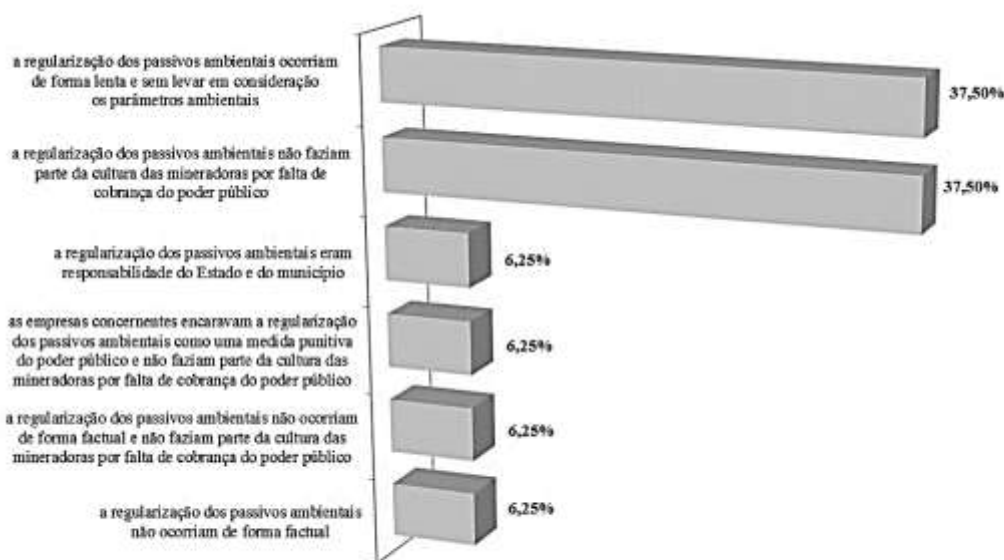
Figura 36 – Opinião dos entrevistados sobre o funcionamento da atualização da Política Nacional de Segurança de Barragem



Fonte: Do autor

De acordo com o resultado da pesquisa, 37.5% dos entrevistados afirmaram que não só a regularização dos passivos ambientais ocorria sem levar em consideração os parâmetros ambientais e de forma muito lenta por falta de cobrança do Poder Público, como também se configurava no cenário de responsabilidade do Estado e do município por não fazer parte da cultura das mineradoras (Figura 37), o que corrobora com os estudos de Tonidandel (2011); Souza *et al.* (2017) e Thomé *et al.* (2019).

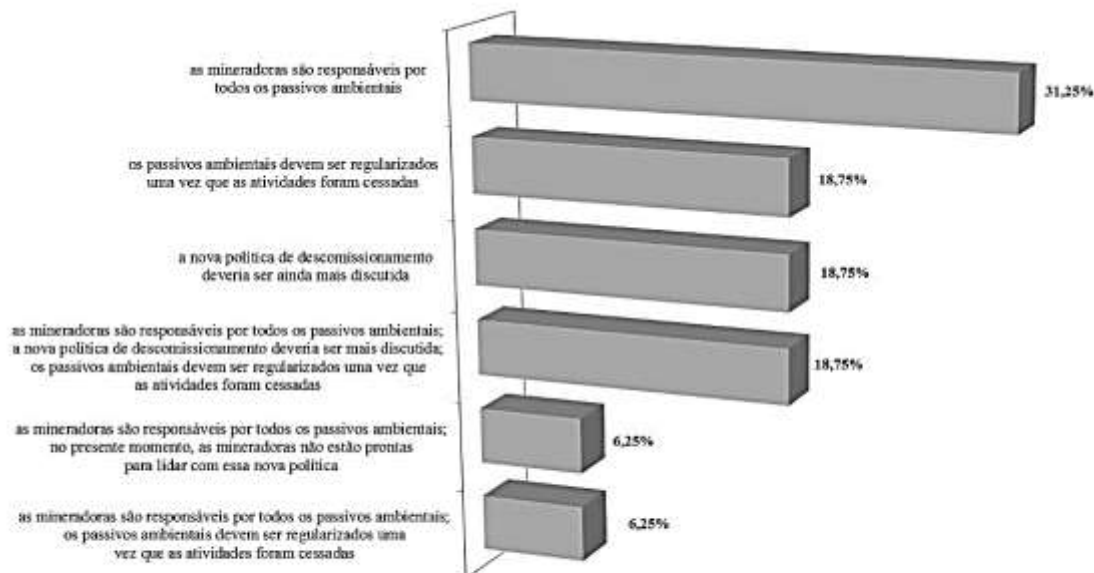
Figura 37 – Cenário precedente à Lei 14.066/2020 em relação à regularização dos passivos ambientais oriundos da atividade minerária



Fonte: Do autor

Pela Figura 38 percebe-se que em torno de 81% dos entrevistados acreditam que as mineradoras devem adotar a política de responsabilidade por todos os passivos ambientais gerados, uma vez que, as atividades sejam cessadas. Entretanto, 37.5% acreditam que a nova política do descomissionamento deveria ser discutida de forma mais eficiente antes da execução e, 6.25% defendem que as mineradoras ainda não estão prontas para lidar com as novas medidas impostas pela atualização da Lei (Figura 38).

Figura 38 – Posicionamento das mineradoras em relação à atualização da Política Nacional de Segurança de Barragem



Fonte: Do autor

Pensando no requisito de segurança e responsabilidade das mineradoras em relação às barragens, 68,75% dos entrevistados defendem a necessidade de uma política de manutenção e monitoramento da estrutura durante todo o período de operação e 18,75% acreditam que seja extremamente importante incluir obras de reforço antes mesmo do início das operações (Figura 39).

Figura 39 – Como melhorar a segurança e a vida útil de uma barragem de rejeito

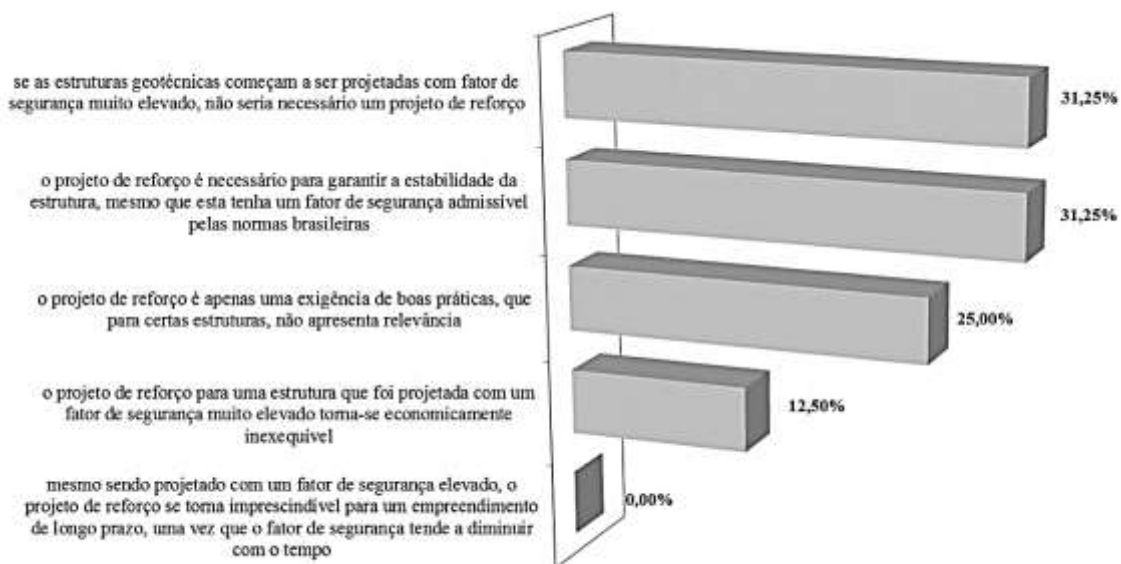


Fonte: Do autor

Entretanto, direcionando o foco para o descomissionamento percebe-se, pela Figura 40, que 70% dos entrevistados visam o projeto de reforço como desnecessário se a barragem

apresentar um fator de segurança muito elevado e apenas 30% enxerga o fator de segurança como garantia de estabilidade.

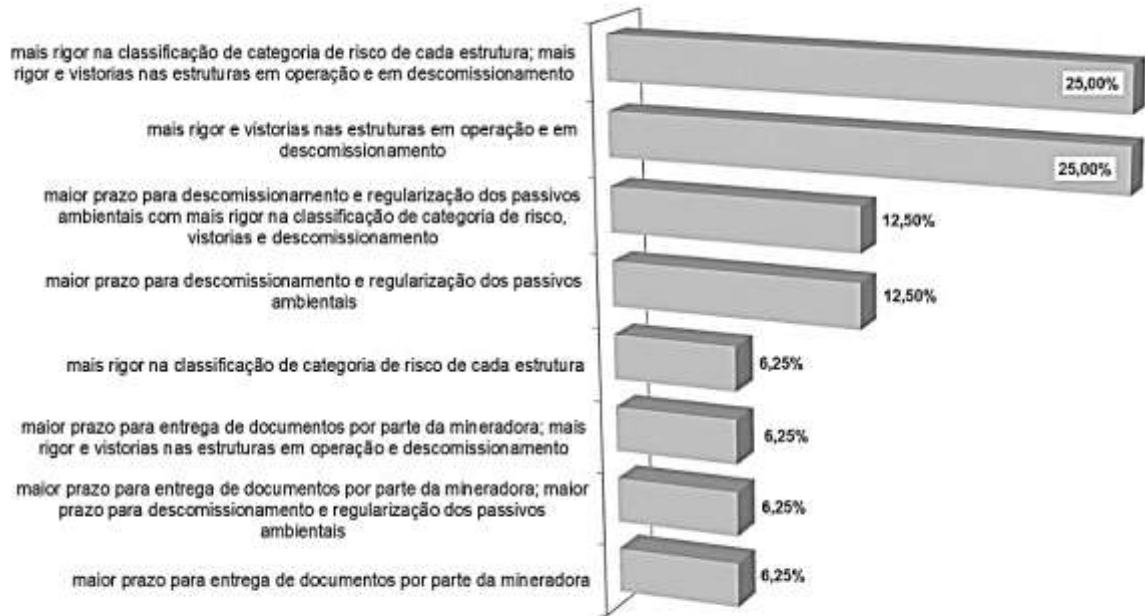
Figura 40 – Projeto de reforço para o processo de descomissionamento



Fonte: Do autor

Os resultados mostrados na Figura 39 e 40 corroboram com os da Figura 41, ao apresentar que mais de 68% dos entrevistados são favoráveis de que a Política Nacional de Segurança de Barragem deveria não só adotar certo rigor acentuado em relação à vistoria nas estruturas da barragem em processo de operação e de descomissionamento, como também, na classificação da categoria de risco. Porém, 44% defendem a necessidade de ampliar o prazo para entrega das obras de descomissionamento e regularização dos passivos ambientais.

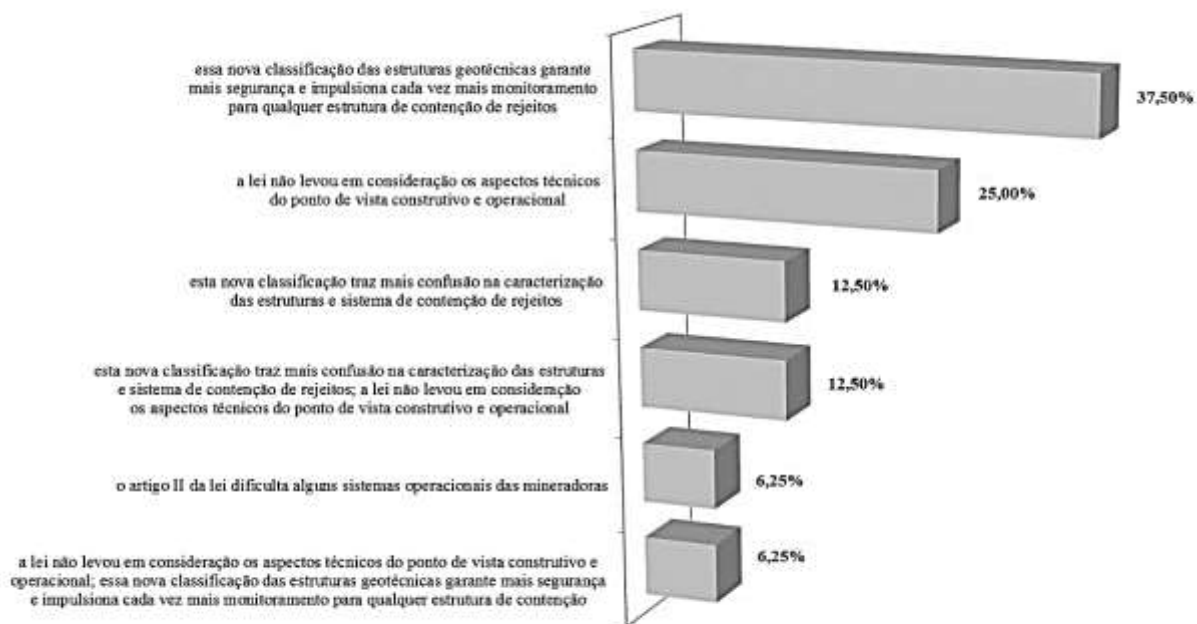
Figura 41 – Aspectos de melhoria na Política de Segurança de Barragem



Fonte: Do autor

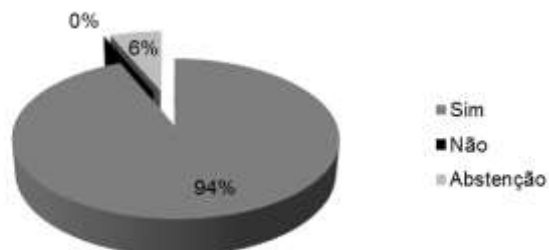
Percebe-se um descontentamento dos entrevistados em relação à classificação das estruturas geotécnicas após as alterações na Lei de Segurança de barragem. Pela Figura 42, observa-se que em torno de 60% dos entrevistados responderam que a nova lei não levou em consideração os aspectos técnicos do ponto de vista construtivo e operacional para classificar qualquer estrutura geotécnica como barragem de rejeito e, pela Figura 43, praticamente todos os entrevistados concordaram que pilha e barragem de rejeito são estruturas diferentes. O que corrobora com os resultados do presente trabalho, por mostrar que um empilhamento drenado apresenta maior eficiência do que uma barragem alteada a montante, já que o volume de água disponível no reservatório e a área ocupada são relativamente menores do que em uma barragem convencional. Alguns trabalhos científicos tais quais Alves (2020), Silva (2020), Portes (2013) e Souza (2020) detalham as diferenças existentes entre as duas estruturas.

Figura 42 – Classificação das estruturas geotécnicas com a Lei 14.066/2020



Fonte: Do autor

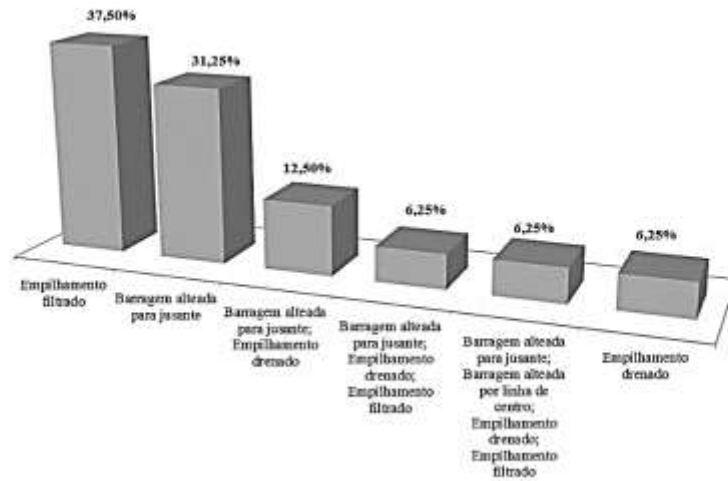
Figura 43 – Pilha e barragem de rejeito diferem entre si?



Fonte: Do autor

Ao excluir o sistema de disposição de rejeito a montante, os outros foram considerados seguros pelos entrevistados, conforme se mostra na Figura 44.

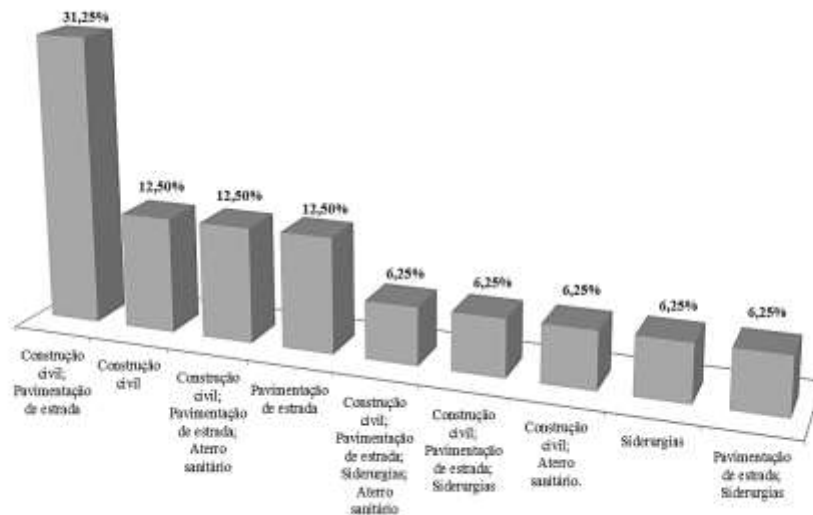
Figura 44 – Sistema de disposição de rejeito considerado seguro



Fonte: Do autor

Cabe enfatizar que, embora custoso, os métodos de empilhamento de rejeitos tanto drenados como filtrados são alternativas para substituir as barragens convencionais (Figura 44) e para reduzir os diferentes passivos ambientais, além de proporcionar uma reabilitação eficiente das áreas degradadas como, por exemplo, no caso da Barragem XRS.

Figura 45 – Disposição final para os rejeitos de mineração



Fonte: Do autor

No entanto, para se ter um nível de segurança elevado, as mineradoras devem seguir as leis vigentes e os órgãos fiscalizadores devem envolver-se para que isso aconteça. Assim, segundo os entrevistados, os rejeitos poderão ser destinados, principalmente, à construção civil como matéria-prima e pode ser empregado na pavimentação de estradas (Figura 45).

4.3 ESTRATÉGIAS LEGAIS PARA REDUÇÃO DOS PASSIVOS AMBIENTAIS E ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL À REUTILIZAÇÃO DOS REJEITOS MINERÁRIOS

O benefício econômico que as mineradoras têm gerado à sociedade pode ser visto de forma imensurável, pois o minério extraído é utilizado em praticamente todo bem de consumo. No entanto, o processo de descaracterização e descomissionamento de uma barragem de contenção de rejeito mineral pode acarretar uma série de preocupação pelo fato de essa estrutura ser um passivo ambiental colossal decorrente da deformação do meio ambiente e de riscos socioambientais.

Em busca de estratégias legais para redução desse passivo ambiental seria interessante criar parcerias entre governos, empreendedores, pesquisadores e profissionais de várias áreas de atuação para tomada de decisões eficazes. Pois, não basta apenas criar Leis que fiquem apenas no papel, mas devem ser aplicadas e exigidas de forma que existam estratégias legais e reais com tempo suficiente para que elas sejam cumpridas.

Com a implantação da Lei 14066/2020 e em busca de soluções para descomissionar todas as barragens em uso e/ou desativadas que foram alteadas pelo método a montante, pode-se destacar algumas estratégias necessárias.

Por parte do governo, seria interessante a criação de políticas de financiamento junto às mineradoras para disponibilizar recursos financeiros necessários para o cumprimento das exigências da Lei visando o processo de descomissionamento e redução de passivos ambientais.

Por parte dos órgãos ambientais, seria imprescindível a criação de diretrizes para orientar a elaboração dos planos de descomissionamento, visto que, na Lei 14.066/2020 e nas Resoluções estaduais de Minas Gerais não estão bem estabelecidas.

E, por fim, pensando nas mineradoras, a criação de uma gestão ambiental para traçar etapas de diagnósticos mais profundos não só sobre a realidade temporal do projeto inicial do descomissionamento da barragem com a realidade extraída no momento da descaracterização, como também, o diagnóstico da área degradada, hidrologia e hidrogeologia, flora e fauna, recuperação orgânica do solo e da população jusante ao local. E, também, desenvolver políticas, como exemplo, de capital social, para preparar e melhorar o bem-estar da comunidade durante o processo de transição para o período pós descomissionamento.

Além disso, vários pesquisadores, profissionais da área de mineração e o próprio empreendimento têm sugerido algumas alternativas sustentáveis para o reaproveitamento dos rejeitos, de forma a evitar multas e complicações com os órgãos fiscalizadores que passaram a monitorar esse processo de maneira mais rigorosa.

Dentre os pesquisadores, podemos citar: Vieira (2008) que produziu em laboratório pellet feed; Rocha et al. (2009) que propuseram a separação dos minerais sólidos presentes nas lamas agregando valor econômico aos rejeitos; Silva et al. (2015) que apresentou a produção de pastas; Fontes et al. (2018) que desenvolveram ladrilho hidráulico sustentável; Paiva e Silva (2020) que produziram materiais rochosos artificiais; entre outros.

Pela pesquisa de opinião com os profissionais atuantes na área de mineração, a sugestão mais acatada foi de utilizar os rejeitos na construção civil como matéria-prima e na pavimentação de estradas. Embora, foram apresentadas alternativas bem sustentáveis, tais como: usar na siderurgia e aterro sanitário.

Uma alternativa bem interessante apresentada pelo empreendedor do estudo de caso foi re-beneficiamento dos rejeitos, pois ainda são susceptíveis de gerar valores econômicos pelo teor de ferro que apresenta.

Apesar da Lei de Segurança de Barragem existir desde 2010 é perceptível que a regularização dos passivos ambientais ocorria sem levar em consideração os parâmetros geotécnicos, indicadores ambientais e de forma muito lenta por falta de cobrança do Poder Público. Assim, somente após 2020, com as atualizações na Lei, a responsabilidade passou a fazer parte da cultura não só do Federativo, como também, dos estados, dos municípios e, principalmente, das mineradoras, ou seja, de todos os envolvidos.

Porém, como essa cultura está sendo empregada recentemente, faz-se necessário ampliar o prazo não só para entrega das obras de descomissionamento e regularização dos passivos ambientais, como também, dos reaproveitamentos dos rejeitos de maneira sustentável de forma a gerar benefícios econômicos para a sociedade. Vale ressaltar que não se pode deixar de adotar certo rigor acentuado em relação à vistoria nas estruturas das barragens em processo de operação e descomissionamento, para que o cumprimento da Lei, não vá parar no esquecimento.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho evidenciou que a atualização da Política Nacional de Segurança de Barragem - Lei 14.066/2020 - contribuiu diretamente não só no reforço do cenário de responsabilidade das mineradoras em relação à regularização dos passivos ambientais, como também na importância de estudos detalhados dos parâmetros geotécnicos e ambientais que visam a segurança dos sistemas de disposição de rejeitos.

Considerando os parâmetros geotécnicos, os resultados mostraram que a estrutura empilhada da Barragem XRS é subdividida em três subáreas: Talude B1; Talude B2; Talude B3 com três tipos de rejeitos, tais como: argiloso, silto-arenoso e arenoso, classificados como Zona I, Zona II e Zona III, respectivamente. Os materiais tanto da Zona I como da Zona II apresentam-se como materiais de baixa competência diante as tensões aplicadas, baixa permeabilidade e são susceptíveis ao processo de liquefação com CDs inferiores a 70%. Os materiais da Zona III, com CDs superiores a 70%, apresentam-se hidraulicamente eficiente permitindo a drenagem das águas pluviais e superficiais com maior resistência em relação à Zona I e II, ainda que exiba a presença de materiais susceptíveis a liquefação. Em geral, é perceptível que os rejeitos dispostos na barragem apresentam umidade natural baixa sinalizando um comportamento drenante o que confere a esta uma estabilidade em condições normais, sem excesso de poro-pressão. Entretanto, pela análise de estabilidade, avaliando o cenário com excesso de poro-pressão, observa-se o Fator de Segurança baixo para os taludes das regiões B1 e B2, sendo necessário um dimensionamento do projeto de reforço para a estrutura como um todo pela existência de material mole na fundação do Talude B1.

Os indicadores ambientais identificados na estrutura foram decisivos para classificar a estrutura de empilhamento drenado como sendo uma barragem de Classe B, pois além do método construtivo a montante, a Barragem XRS apresentou um Dano Potencial Associado (DPA) Alto que se apoiou em dois fatores determinísticos: o volume do reservatório e o tráfego das populações a jusante da estrutura. Em relação à Categoria de Risco, a Barragem XRS apresentou uma classificação de risco médio, pois, apesar da estrutura em questão apresentar algumas anomalias no estado de conservação, está estável e em processo de monitoramento e correções. Todavia, vale destacar que os fatores tais quais: tipos de vertedouros, investigações geológico-geotécnicas da fundação, materiais utilizados para edificação da barragem, orla do reservatório, sistema de drenagem interno e presença de canais ou condutos atravessando a barragem de aterro, deveriam ser considerados também para a classificação da Categoria de Risco, visto que eles se referem ao Estado de

Conservação (EC) e a Característica Técnica (CT) de uma barragem e são importantes para avaliar o risco de ruptura associado.

O sistema de disposição de rejeitos de um empilhamento drenado e uma barragem de rejeito diferem entre si por vários motivos, tais como: volume de água disponível no reservatório, drenagem interna, área total ocupada, tipos e armazenamento de rejeitos não saturado. A estrutura da Barragem XRS exhibe as características de uma barragem de contenção pela capacidade de armazenar mais de um tipo de rejeito, sendo que o recomendável para uma pilha drenada seria apenas a presença de rejeitos granulares o que significa ter exclusivamente os rejeitos da Zona III, volume de água e altura superiores ao recomendado, entre outros. Esses fatos associados ao método construtivo a montante corroboraram para tornar justificável o seu enquadramento em barragem de contenção pela Lei 14066/2020 e passar a atender às mesmas obrigações normativas das barragens alteadas pelo método a montante, principalmente, no que diz respeito ao processo de descaracterização e descomissionamento. Neste aspecto, a Lei priorizou mais a segurança das populações a jusante e os impactos socioambientais. Portanto, a estrutura XRS é uma barragem de rejeito e não uma pilha.

A Lei 12.334/2010 tinha fixado, conforme exigido pela entidade que regula e fiscaliza a atividade minerária e pela autoridade licenciadora do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), o prazo para que o empreendedor pudesse concluir as operações de descaracterização das barragens construídas a montante, até a data de 25 de fevereiro de 2022, o que foi alterado pela Lei 14.066/2020 em razão da inexecutabilidade técnica da descaracterização da barragem sem estudos detalhados na data em questão.

Atualmente, a Barragem XRS está na fase inicial do projeto de descaracterização. Os projetos necessários para o descomissionamento de forma segura e eficaz estão avançados, porém sem previsão de iniciar as escavações para remover os rejeitos. A estrutura segue monitorada por profissionais das mais diversas áreas de atuações e por órgãos fiscalizadores para mantê-la mais estável e aumentar a sua segurança durante e depois do processo do descomissionamento.

Os rejeitos dispostos na estrutura, neste caso, serão totalmente removidos para serem inseridos novamente no sistema de beneficiamento, pois eles contêm altos teores em ferro que podem variar entre 45 e 50%, o que pode ser visto como comercializáveis, dado que superam muitas lavras de minério de ferro. Atualmente, há pesquisas com rejeitos de minérios de ferro visando sua utilização como matéria prima em construção civil, na construção dos tijolos

ecológicos, na agricultura para blindagem calcário de solo, na infraestrutura ferroviária e rodoviária, entre outras aplicações.

No que diz respeito à área ocupada pela Barragem XRS, ela será recuperada conforme estabelecido no Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), elaborado pelo empreendedor. Todos os espécimes foram devidamente listados e catalogados para uma eventual reinserção das espécies nativas tanto do local como da região.

A atualização da Lei corroborou para intensificar o rigor à vistoria das estruturas da barragem em processo de operação e de descomissionamento, assim como na classificação de Categoria de Risco (CRI) e de Dano Potencial Associado (DPA). Porém, faz-se necessário a ampliação do prazo junto as mineradoras para entrega das obras de descomissionamento e regularização dos passivos ambientais, por demandarem de estudos detalhados das estruturas a fim de se evitar desastres catastróficos. Como também, por parte do governo, seria interessante a criação de políticas de financiamento junto às mineradoras para disponibilizar recursos financeiros necessários para o cumprimento das exigências da Lei, e por parte dos órgãos ambientais, a criação de diretrizes para orientar a elaboração dos planos de descomissionamento, visto que, na Lei 14066/2020 e nas Resoluções Estaduais de Minas Gerais não estão bem estabelecidas

Em geral, os resultados mostraram que no cenário precedente a Lei 14066/2020 foi perceptível que a regularização dos passivos ambientais ocorria sem levar em consideração os estudos geotécnicos e ambientais e de forma muito lenta por falta de cobrança do Poder Público. Entretanto, no cenário subsequente à Lei a responsabilidade passou a fazer parte da cultura não só dos órgãos públicos, como também, das mineradoras e da sociedade.

Portanto, vale ressaltar que será necessária uma política bem mais estruturada de fiscalização nas estruturas das barragens para que o cumprimento da Lei não seja apenas temporário e esteja exclusivamente no papel, para que assim, os rejeitos possam ser utilizados como matéria prima em benefício da sociedade tendo como foco possíveis ganhos econômicos e socioambientais, dentro de um cenário de preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

ABRÃO, P.C. **Sobre a deposição de rejeitos de mineração no Brasil. Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos Industriais e de Mineração, REGEO'87**, Rio de Janeiro, 1987. 1-9 p.

ANM. Agência Nacional de Mineração. **Resolução nº 13, de 8 de agosto de 2019**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-13-de-8-de-agosto-de-2019-210037027>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

ALBUQUERQUE FILHO, L.H. **Análise do comportamento geotécnico de barragens de rejeitos de minério de ferro através de ensaios de piezocone**. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004. 191 p.

ALVES, H.O. **Estudo comparativo de duas técnicas de lavra em barragem de rejeito sob o ponto de vista geotécnico**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015.

ALVES, P.I.A. **Empilhamento de rejeito filtrado: a expansão de uma alternativa para substituição de barragens**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2020.

ARAGÃO, G. P. S. **Classificação de pilhas de estéril na mineração de ferro**. Dissertação. (Mestrado). Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2008.

ARAÚJO, C.B. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

ARAÚJO, W. **Descaracterização e descomissionamento de barragens de rejeito**. Instituto Minere. 2020. Disponível em: <https://institutominere.com.br/blog/descaracterizacao-e-descomissionamento-de-barragens-de-rejeitos-uma-tendencia-ou-realidade>

BJERRUM, L. Problems of soil mechanics and construction on soft clays. **Proceedings of the 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, Moscow, v. 3, p.111-159, 1973.

BISHOP, A., W. **The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes**. Géotechnique, Vol. 5, N. 1, pp. 7-17, 1955.

BORGES, S. O desastre da barragem de rejeitos em Mariana, Minas Gerais: aspectos socioambientais e de gestão na exploração de recursos naturais. **Cadernos de Geografia: Revista Colombiana de Geografía**, v.27(2), p.301-312. 2018. doi: 10.15446/rcdg.v27n2.63008.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos. 248p. 2008

BRASIL. **Decreto nº 9.406, de 12 junho de 2018.** Dispõe sobre a regulamentação o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e a Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Acesso em: junho de 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Decreto/D9406.htm

BRASIL. **Decreto-Lei nº 227, de 8 fevereiro de 1967.** Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas). Acesso em: junho de 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227.htm

BRASIL. **Deliberação Normativa COPAM 127, de 27 de novembro de 2008.** Estabelece diretrizes e procedimentos para avaliação ambiental da fase de fechamento de mina. Diário Oficial de Minas Gerais, Belo Horizonte, 29 nov. 2008. Disponível em: Acesso em: novembro de 2021

BRASIL. Presidência da República. “**Lei 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 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei 9.984, de 17 de julho de 2000.” Acesso em maio de 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm.

BRASIL. Presidência da República. “**Lei 14.066 de 30 de setembro de 2020:** Altera a Lei 12.334/10 que rege 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 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)”. Acesso em maio de 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.066-de-30-de-setembro-de-2020-280529982>.

BOWLES, J.E. **Foundation Analysis and Design.** 4th Edition, McGraw Hill, 1988.

CAMPOS, R. V. A. **Análise de investigações geotécnicas de barragens utilizando o cptu em uma mina de ferro.** Monografia (Graduação). Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2021.

CARDOZO, F. A. C. **Barragens de rejeito de mineração: considerações gerais e aspectos geotécnicos.** Monografia (Graduação). Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

CARDOZO, F. A. C.; PIMENTA, M. M.; ZINGANO, A. C. Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração – uma revisão. **Holos**, n.32(8), p.77-85, 2016.

CARNEIRO, J. J. V. **Characterization and behaviour of iron ore tailings: the effect of compaction and stresses.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2021.

CERQUEIRA, H. **Critérios de projeto para instrumentação piezométrica de diversas estruturas geotécnicas em mineração**. Dissertação. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Ouro Preto, 2017.

CNRH. Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **“RESOLUÇÃO nº 143 DE 10 DE JULHO DE 2012**: Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010”. Acesso em maio 2021: <https://cnrh.mdr.gov.br/resolucoes/1922-resolucao-n-143-de-10-de-julho-de-2012/file>

CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. **Deliberação Normativa nº 62**. Dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais. Lex: Diário do Executivo - Minas Gerais, 17 de dezembro de 2002. 9 p.

CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. **Deliberação Normativa nº 87**. Altera e complementa a Deliberação Normativa COPAM nº 62, de 17/12/2002. Lex: Diário do Executivo - Minas Gerais, 18 de junho de 2005. 9 p.

CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. **Deliberação Normativa nº 113**. Altera e complementa a Deliberação Normativa COPAM no 62, de 17/12/2002. Estabelece prazo para apresentação de declaração sobre a situação das barragens. Lex: Diário do Executivo - Minas Gerais, 1 de dezembro de 2007. 1 p

COSTA, A.M. **Estudo de Tensão Deformação para o 3º Alteamento da Barragem do Itabiruçu**. Dissertação (Mestrado Profissional). Departamento de Engenharia Geotécnica. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2009.

COSTA, A.S.V.; BRAVIM, T.C. Revisão das alternativas técnicas às barragens de rejeitos de minério de ferro aprovadas no âmbito do licenciamento ambiental em Minas Gerais (2015-2019) após a tragédia de Mariana/MG. **Revista Fórum Ambiental**, v.16(4), p.30-46. 2020

D’AGOSTINHO, L.F. **Praias de Barragens de Rejeitos de Mineração: Característica e Análise da Sedimentação**. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

da FONSECA, A. V.; FONSECA, A.; OLIVEIRA, S. **Fatores de segurança determinísticos em avaliação de estabilidade de barragens de rejeitos: uma reflexão**. Geotecnia, n.151, p.53-76, 2021. ISSN 0379-9522; e-ISSN 2184-8394.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Atual ANM – Agência Nacional de Mineração. **Portaria 70.389, 17 de maio de 2017**: Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB”. Acesso em maio de 2021. Disponível em:

https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/20222904/do1-2017-05-19-portaria-n-70-389-de-17-de-maio-de-2017-20222835

DUARTE, A. P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2008.

ESPÓSITO, J. T. **Metodologia probabilística e observacional aplicada à barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Brasília. Brasília, 2000. 363p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p

FERRANTE, F; AGUIAR, M. F P; CARVALHO, E. P; COTA, F. L D. **Análise de Estabilidade de Pilha de Rejeito de Minério de Ferro**. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, COBRAMSEG — 19-22 outubro, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2016

FONSECA, A. R. **Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica – estudo de caso das barragens da UHE São Simão**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2003.

FONSECA, H.G.A.; ALEXANDRINO, J.S.; FERREIRA, T. E. D. Metodologias de disposição de rejeitos de minério de ferro para substituir as barragens de rejeito. **Revista Profiscientia**, n.12, p.54-72, 2019.

FONTES, W.C.; FONTES, G.G.; COSTA, E.C.P.; MENDES, J.C.; SILVA, G.J.B.; PEIXOTO, R.A.F. Iron ore tailings in the production of cement tiles: a value analysis on building sustainability. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v.18(4), p.395-412. Porto Alegre, 2018.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Evolução das ações de gestão de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatórios de água de em empreendimentos industriais e minerários no Estado de Minas Gerais**. Março 2007. 128 p. Disponível em: novembro de 2021.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **PORTARIA FEAM Nº 679, DE 06 DE MAIO DE 2021**. Direito Ambiental. Disponível em: <https://williamfreire.com.br/areas-do-direito/direito-ambiental/portaria-feam-no-679-2/>. Acesso em: novembro de 2021.

GUIMARÃES, N. C. **Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando sua disposição em pilhas**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2011.

HOLTZ, R.D. & KOVACS, W.D. (1981). **An Introduction to Geotechnical Engineering**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 733 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM), **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração; organizador**. Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2016. 128p.

INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING & METALS – ICMM. **Integrated Mine Closure Good Practice Guide**, 2nd Edition, s.l.: ICMM, 2019.

LACAZ, F.A.C.; PORTO, M.F.S.; PINHEIRO, T.M.M. Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v.42(9), p.1-12. 2016.

LACAZ, F.A.C.; PORTO, M.F.S.; PINHEIRO, T.M.M. Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v.42(9), p.1-12. 2016.

LASCHEFSKI, K.A. Rompimento de barragens em Mariana e Brumadinho (MG): Desastres como meio de acumulação por despossessão. **Revista de Geografia e ecologia política**, v.2(1), p.98-143. 2020.

LIMA JUNIOR, R. B.; de PAIVA, C. F. E. **Aspectos geotécnicos fundamentais na avaliação da estabilidade de barragens de rejeitos: estudo de caso da barragem de Fundão em Mariana, MG**. 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2018.

Disponível em: http://www.schenautomacao.com.br/cbge/envio/files/trabalho_62.pdf. Acesso em novembro de 2021.

LIMA, F.H.C. **Automação da instrumentação geotécnica de auscultação da barragem de Irapé-MG**. Bacharel em Engenharia Civil (Trabalho de conclusão de curso). Centro Universitário UNA, 2018.

MACHADO, N. C. **Retroanálise da propagação decorrente da ruptura da barragem do fundão com diferentes modelos numéricos e hipóteses de simulação**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2017. 159p.

MACHADO, W. G. F. **Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos de mineração**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. 155p.

MALFERRARI, C. A. **Barragens e Desenvolvimento: Um Novo Modelo para Tomada de Decisões**. O Relatório da Comissão Mundial de Barragens, 2000. Acesso: www.dams.org

MARANGON, M. **Compressibilidade e adensamento dos solos**. Faculdade de Engenharia – NuGeo/Núcleo de Geotecnia. Universidade Federal de Juiz de Fora. Mecânica dos Solos II – Edição 2018.

MELLIA, F.C. **Interpretação de ensaios de piezocone em solos intermediários**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologias e Geociência. Pernambuco, 2017.

MENESES, B. R. C. **Estabilização de pilhas de rejeito mineiros com bermas cimentadas**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 47.042, de 6 de setembro de 2016**.

Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa-nova-min.html?tipo=DEC&num=47042&ano=2016>. Acesso em: novembro de 2021.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 48.140, 25 de fevereiro de 2021**. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa-nova-min.html?tipo=DEC&num=48140&comp=&ano=2021&texto=original>. Acesso em novembro de 2021.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de Manejo**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/plano-de-manejo>. Acesso em 29 mar. 2017.

MOREIRA, L. Análise de deformação de uma barragem de terra instrumentada com o uso de dois modelos constitutivos. **Dissertação de mestrado**. Universidade Federal do Paraná, 2012.

MORGENSTERN, N. R. & PRICE, V. **The analysis of stability of general slip surface**. *Geotechnique* 15 79-93, 1965.

OLIVEIRA, A. H. C. **Análise tensão-deformação em uma pilha de rejeito filtrado de grandes dimensões**. Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2021.

OLIVEIRA-FILHO, W. L., ABRÃO, P. Disposição de rejeitos de mineração. In: ZUQUETTE, L. V. (Org.). **Geotecnia Ambiental**. Elsevier, Rio de Janeiro, 2015.

OLSON, S. M; STARK, t. D. Liquefied strength ratio from liquefaction case histories. **Canadian Geotechnical Journal**, v.39(3), p.629-647, 2002.

PEIXOTO, R.A.F. Iron ore tailings in the production of cement tiles: a value analysis on building sustainability. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v.18(4), p.395-412. Porto Alegre, 2018.

PEREIRA, A. de S. **Plano de Fechamento de Mina e Adequação Legal: O Caso da mina de Águas Claras, Nova Lima, Brasil**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Tecnologia e Inovações Ambientais. Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2020.

PINTO, A.C.C. **Contribuições para o estudo de descomissionamento de barragens**. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

PIMENTA, J. **The drained stacking of granular tailings: a disposal method for a low degree of saturation of the tailings mass**. Proceedins Tailings and Mine Waste, Vancouver, BC, 2011. 11p.

PNSB. **Política Nacional de Segurança de Barragem**. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020.

Acesso em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14066.htm

PNSB. **Política Nacional de Segurança de Barragem**. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Acesso em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm
Resolução Conjunta SEMAD/FEAM nº 2.784, de 21 de março 2019. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=48138>. Acesso em: novembro de 2021.

PORTES, A.M.C. **Avaliação da disposição de rejeitos de minério de ferro nas consistências Polpa e Torta**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

POULOS, S. J; CASTRO. G; FRANCE, J.W. Liquefaction evaluation procedure. **Journal of Geotechnical Engineering**, v.111(6), p.772–792, 1985.

PP06 – **Proposta de Enquadramento e Programa de Efetivação da Circunscrição Hidrográfica do Rio Piracicaba**. Engecorps Engenharia S.A. 2022.

RESOLUÇÃO CONJUNTA SEMAD/FEAM/IEF/ IGAM nº 2827, de 24 de julho de 2019. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49355>. Acesso em: novembro de 2021.

RESOLUÇÃO CONJUNTA SEMAD/ FEAM nº 2.784, de 21 de março 2019. Descaracterização e descadastramento de barragens alteadas pelo método de montante, provenientes de atividades minerárias, existentes em Minas Gerais e dá outras providências. Disponível em <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=48138>. Acesso em novembro de 2021.

REZENDE, V.A. **Estudo do comportamento de barragem de rejeito arenoso alteada por montante**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Geotécnica. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2013.

ROBERTSON, P. K. Evaluation of Flow Liquefaction and Liquefied Strength Using the Cone Penetration Test. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v.136(6), 2010.

ROBERTSON, P.K., CAMPANELLA, R.G., GILLESPIE, D.; GRIEG, J. **Use of piezometer Cone Data, proceedings of In Situ 86**. ASCE Specialty Conference, Blacksburg, Virgínia, 1986

ROCHA, L.; PERES, A.EC. Aproveitamento econômico das lamas de ferro. **Rem: Revista da Escola de Minas**, v.62(3), p.291-295. Ouro Preto, 2009

ROCSCIENCE INC (2018). **Slide2 Version 2018** – 2D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis. Toronto, Ontario: Canada. www.rocscience.com.

SANTANA, C. M. F. **Análises Numéricas Acopladas em Tensão-Deformação de Empilhamentos de Rejeitos Liquidificáveis, 2022**. Dissertação (Mestrado). Especialização em Estruturas e Geotecnia – Departamento de Engenharia Civil, FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO.

SANTOS, L. C. **Estudo sobre a instrumentação de barragens de terra e rejeitos**. Monografia (Graduação). Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2019. 60p.

SANTOS, M. M. **Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR)**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geociências-Área de Concentração em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2005.

SAWAI, A; SHYAMAL, D. S; KUMAR, S. Dam Break Analysis - Review of Literature. **International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM)**, v.4(12), p.538-542, 2019.

SCHNAID, F; ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. 2 a ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SILVA da, C.B.; de PAIVA, P.R.P. Artificial stone production using iron ore tailing (IOT). **Associação Brasileira de Cerâmica**, v.66, p.164-171. São Paulo, 2020.

SILVA, A.C.; SILVA, E.M.S.; SILVA JUNIOR, A. P.; ARRUDA, J.P.A.; ARAUJO VAZ, V.R. Mineral paste production from phosphate rock tailings. **REM: Revista da Escola de Minas**, v.68(1), p.103-108. Ouro Preto, 2015.

SILVA, M. C. **Estudo da implementação de um sistema de disposição de rejeito desaguado de mineração de bauxita laterítica**. Tese, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.

SISEMA. **Instrução de Serviço Sisema 02/2018**. Revisão 1. Disponível em: http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2018/PADRONIZA%C3%87%C3%83O_PROCEDIMENTOS/IS_02.2018_-_Atualiza%C3%A7%C3%A3o_-_Procedimentos_aplic%C3%A1veis_%C3%A0_gest%C3%A3o_do_banco_de_declara%C3%A7%C3%B5es_ambientais_-_061118.pdf. Acesso em: novembro de 2021.

SOARES, L. **Barragem de rejeito**. Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia. Tratamento de Minérios, 5ª Edição – Capítulo 19 – pág. 831–896. Editores: Adão B. da Luz, João Alves Sampaio e Silvia Cristina A. França. 2010.

SOSNOSKI, J. **Interpretação de ensaios de cptu e dmt em solos com permeabilidade intermediária**. Dissertação. Programa de pós-graduação em engenharia civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS). Porto Alegre, 2016.

SOUZA, W. A. R. **Análise numérica do comportamento de pilhas de rejeito filtrado e co-disposição durante a construção**. Dissertação, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2020.

SOUZA JUNIOR, T.F.; MOREIRA, E.B.; HEINECK, K.S. Barragens de contenção de rejeitos de mineração no Brasil. **HOLOS**, v.5(34), p.1-39. Rio Grande do Norte, 2018.

SOUZA, L.M.C.G.; SAMPAIO, J.A.L. Licenciamento Ambiental e Concessão Minerária: Perspectivas da Política Nacional de Segurança de Barragem. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito da UFC**, v.37(1), p.93-115. Ceará, 2017.

SOUZA, T.C.D. **Metodologia de avaliação de liquefação em barragens de rejeito [manuscrito]: uma abordagem probabilística**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2018.

STELA, L.H.P.; DUARTE, J. C.; PEREIRA, C.O. Métodos de disposição dos rejeitos de minérios de ferro alternativos ao **método de** barragens: uma revisão. **Revista Brasileira Processos Químicos**, v.1(1), p.1-58. São Paulo, 2020.

THÁ, P. C; GUIMARÃES, J. **Execução de Ensaios de Dissipação em Sondagens CPTu: critério de paralisação e definição da poropressão de equilíbrio**. 9º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, 3ª Feira da Indústria de Fundações e Geotecnia, SEFE 9. São Paulo, 2019.

TERZAGHI, K; PECK, R. B. **Soil mechanics in engineering practice**, 2nd Ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y, 1967.

THOMÉ, R.; RIBEIRO, L.G.G. A Descaracterização de Barragens de Rejeito e o Plano de Fechamento de Mina como Instrumentos de Mitigação de Riscos na Mineração. **Veredas do Direito**, v.16(35), p.63-85. Belo Horizonte, 2019.

TOMÉ, R.; PASSINI, M. L. 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**, UNIOESTE/MCR, v.18, n.34(1), p.49-65, 2018. ISSN 1982-3037

TONIDANDEL, R.P. **Aspectos Legais e Ambientais do Fechamento de Minas no Estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

VALE. Relatório Técnico – **Mina Congo Soco Descomissionamento Barragem Sul Superior, 2019**.

Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/Documents/projetos/documentos/Binder.pdf>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

VALE. **Plano de ação de emergência para barragens de mineração**. 2020. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/Paginas/Projetos.aspx>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

VALE / Coffey (2016): Estudos Comparativos e Avaliação de Piezômetros de Corda Vibrante e Casagrande, 234p.

VICK, S.G. **Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams**. BiTech, Vancouver, 1990.

VIEIRA, M. G. **Produção de um pellet feed a partir da concentração do rejeito da flotação mecânica da SAMARCO**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008. 90p.

VINAUD, L.U.P. **Barragem de Rejeito de Mineração em Minas Gerais: Lista de Verificação de Aspectos Técnicos, Legais e Ambientais**. Monografia. Departamento de Engenharia de Minas. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG. Araxá, 2019.

ANEXO A

1. Questionário semi-estruturado para uma análise descritiva de opinião

07/05/2023, 16:51

Pesquisa de Mestrado - Questionário

Pesquisa de Mestrado - Questionário

Análise Geotécnica e ambiental dos sistemas de disposição de rejeitos de mineração, considerando a LEI 14.066/2020

* Indica uma pergunta obrigatória

1. E-mail *

Prezados, às minhas saudações!

Meu nome é Archange Michael Ilambwetsi, aluno de mestrado do programa de pós-graduação em Geotecnia Ambiental da Universidade Federal de Lavras, MG. O presente formulário não-obrigatório, trata-se de uma pesquisa de pós-graduação, em que será resguardado o sigilo absoluto dos respondentes, tem por objetivo recolher opiniões de profissionais na área de geotecnia no que diz respeito a LEI 14.066/2020, que reconfigurou os sistemas de disposição de rejeitos de mineração. Esse questionário servirá para enriquecer a minha dissertação, que está sob as orientações dos professores: Luis Antônio Coimbra (UFPA) e Eduardo G. Marques (UFV).

2. 1) Qual é a sua área de atuação? *

Marque todas que se aplicam.

- Pesquisador(a)
- Professor(a)
- Mineradora
- Projetista
- Agência Fiscalizadora (órgão público)
- Consultor(a)
- Outros

07/06/2023, 16:31

Pesquisa de Mestrado - Questionário

3. 2) O que pode ser feito para melhorar a segurança e a vida útil de uma barragem de rejeito? *

Marque todas que se aplicam.

- Executar obras de reforços antes do início das operações, mesmo que o fator de segurança seja admissível;
- Manutenção e monitoramento da estrutura em operação

4. 3) Levando em consideração o grande volume de rejeitos gerados pela atividade minerária, quais seriam os destinos finais para estes materiais: *

Marque todas que se aplicam.

- Matéria prima para construção civil;
- Material de base para pavimentação de estrada;
- Material para siderurgias;
- Material de cobertura de Aterro sanitário.

5. 4) Entre as alternativas abaixo, qual é o sistema de disposição de rejeitos de mineração que caracteriza ou apresenta menos riscos tanto para sociedade quanto para o meio ambiente: *

Marque todas que se aplicam.

- Barragem alteada para jusante;
- Barragem alteada por linha de centro;
- Barragem alteada para montante;
- Empilhamento drenado;
- Empilhamento filtrado.

6. 5) A Política Nacional de Segurança de Barragem passou a regulamentar as medidas de segurança e controle ambiental exigidas em todo o processo de vida útil da barragem, tais como: criação de planos de segurança desde as etapas de construção, operação e descomissionamento. Com a nova regulamentação, o plano de descomissionamento das estruturas geotécnicas (barragem ou pilha) passa a fazer parte do processo de licenciamento ambiental e do plano de implementação da mineradora. Como você acha que as empresas de mineração estão lidando com essa nova regulamentação:

Marque todas que se aplicam.

- as mineradoras são responsáveis por todos os passivos ambientais resultantes dos impactados causadas pelas suas atividades;
- no presente momento, as mineradoras não estão prontas para lidar com essa nova política;
- essa nova política de descomissionamento deveria ser ainda mais discutida entre as partes envolvidas;
- independentemente da política de descomissionamento, os passivos ambientais devem ser regularizados, uma vez que as atividades minerárias foram cessadas.

7. 6) O Artigo II da **Lei 14.066/2020** define como barragem qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, talvegue, ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos. Em sua opinião, o que essa lei traz de melhoria para o entendimento de sistema de disposição de rejeitos:

Marque todas que se aplicam.

- esta nova classificação traz mais confusão na caracterização das estruturas e sistema de contenção de rejeitos;
- a lei não levou em consideração os aspectos técnicos, tanto do ponto de vista construtivo quanto operacional;
- essa nova classificação das estruturas geotécnicas garante mais segurança e impulsiona cada vez mais monitoramento para qualquer estrutura de contenção de rejeitos;
- esse artigo da lei dificulta alguns sistemas operacionais das mineradoras.

8. 7) Considerando o cenário precedente à Lei 14.066/2020, como ocorria a regularização dos passivos ambientais oriundos da atividade minerária? *

Marque todas que se aplicam.

- a regularização dos passivos ambientais eram responsabilidade do Estado e do município;
- as empresas concenrentes encaravam a regularização dos passivos ambientais como uma medida punitiva do poder público;
- a regularização dos passivos ambientais não ocorriam de forma factual;
- a regularização dos passivos ambientais não faziam parte da cultura das mineradoras por falta de cobrança do poder público;
- a regularização dos passivos ambientais ocorriam, porém, de forma lenta, sem levar em consideração os parâmetros ambientais (enquadramento de rios, presença e caracterização adequada de fauna e flora, qualidade do ar e das águas)

9. 8) Durante o processo de descomissionamento das barragens de rejeitos, faz-se necessário, comumente, a realização do projeto de reforço com intuito de aumentar o fator de segurança da estrutura. Assinale a opção que caracteriza melhor a existência, ou não, do projeto de reforço: *

Marque todas que se aplicam.

- o projeto de reforço é necessário para garantir a estabilidade da estrutura, mesmo que esta tenha um fator de segurança admissível pelas normas brasileiras;
- se as estruturas geotécnicas começam a ser projetadas com fator de segurança muito elevado, não seria necessário um projeto de reforço;
- o projeto de reforço é apenas uma exigência de boas práticas, que para certas estruturas, não apresenta relevância;
- mesmo sendo projetado com um fator de segurança elevado, o projeto de reforço se torna imprescindível para um empreendimento de longo prazo, uma vez que o fator de segurança tende a diminuir com o tempo;
- o projeto de reforço para uma estrutura que foi projetada com um fator de segurança muito elevado torna-se economicamente inexecuível.

10. 9A) Em sua opinião, a Política Nacional de Segurança de Barragens de rejeitos tem funcionado bem? *

Marque todas que se aplicam.

- NÃO
- SIM

11. 9B) Justifique a sua resposta. *

12. 10) Em quais aspectos a Política Nacional de Segurança de Barragens de rejeitos pode melhorar: *

Marque todas que se aplicam:

- maior prazo para entrega de documentos por parte da mineradora;
- maior prazo para descomissionamento e regularização dos passivos ambientais;
- mais rigor na classificação de categoria de risco de cada estrutura;
- mais rigor e vistorias nas estruturas em operação e em descomissionamento;

13. 11) Em sua opinião, SIM ou NÃO, os órgãos fiscalizadores têm acompanhando e orientando a implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens de rejeitos nas mineradoras? Justifique a sua resposta. *

14. 12) Em sua opinião, no que uma pilha difere de uma barragem de rejeito, justifique sua resposta. *

07/06/2023, 16:51

Pesquisa de Mestrado - Questionário

15. 13) Você considera que um empilhamento drenado e um empilhamento filtrado devem ser considerados de forma distinta? Justifique sua resposta. *

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários