



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia de Minas



TIAGO DOS SANTOS SACRAMENTO

**CODISPOSIÇÃO E DISPOSIÇÃO COMPARTILHADA DE ESTÉREIS E REJEITOS
DA MINERAÇÃO: UMA ANÁLISE CRÍTICA SOBRE A METODOLOGIA**

OURO PRETO-MG
2024

TIAGO DOS SANTOS SACRAMENTO

**CODISPOSIÇÃO E DISPOSIÇÃO COMPARTILHADA DE ESTÉREIS E REJEITOS DA
MINERAÇÃO: UMA ANÁLISE CRÍTICA SOBRE A METODOLOGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Silva Jaques

OURO PRETO – MG
2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S123c Sacramento, Tiago dos Santos.
Codisposição e disposição compartilhada de estéreis e rejeitos da mineração [manuscrito]: uma análise crítica sobre a metodologia. / Tiago dos Santos Sacramento. - 2024.
72 f.: il.: color., tab.. + Quadro.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Silva Jaques.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Minas e recursos minerais - Minas e mineração. 2. Disposição de rejeitos. 3. Barragens de rejeitos. I. Jaques, Daniel Silva. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624.136

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Tiago dos Santos Sacramento

Codisposição e Disposição Compartilhada de Estéreis e Rejeitos da Mineração: Uma Análise Crítica Sobre a Metodologia

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas

Aprovada em 21 de novembro de 2024

Membros da banca

Doutor - Daniel Silva Jaques - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutor - José Fernando Miranda - Universidade Federal de Ouro Preto
Engenheiro - Danilo José da Silva - Universidade Federal de Ouro Preto

Daniel Silva Jaques, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 29/11/2024



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Silva Jaques, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/11/2024, às 11:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0819060** e o código CRC **6B6B7430**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por amparar a mim e minha família durante todo esse tempo de formação.

A minha família, que nunca descreditou de mim e me acolheu nos momentos mais tensos dessa jornada, em especial aos meus pais Maria de Fátima e Octávio (*In memoriam*) que, por vezes, nem sabiam o que de fato eu estava estudando, mas sonharam esse sonho comigo.

Aos meus irmãos, Geisla e Rodrigo por todo o apoio, cuidado e forças que sempre colocaram à minha disposição, durante essa jornada.

A minha irmã Cristina por todo apoio, carinho, incentivo aos estudos e acolhida ao longo de todo esse percurso.

A minha sobrinha e afilhada Manuella, que chegou para tornar a minha trajetória mais leve.

A minha namorada Marina, pelo companheirismo e afeto durante grande parte de minha graduação em Ouro Preto.

Ao meu cunhado Ricardo pela amizade e por sempre se encontrar disposto a colaborar, com o que fosse possível, durante todo esse período.

Ao meu amigo Pedro, "Teló", pela irmandade, desde Guarulhos.

A Universidade Federal de Ouro Preto, à Escola de Minas e, principalmente, ao corpo docente e técnico do Departamento de Engenharia de Minas, que me proporcionaram uma formação de qualidade e à Fundação Gorceix.

Ao Professor Daniel Silva Jaques, pelo empenho na orientação deste trabalho de conclusão de curso.

Aos amigos que fiz em Ouro Preto, principalmente aqueles da República Nós é Nós, a qual escolhi como minha casa.

E a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que essa trajetória fosse possível.

“O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa,
sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem”

João Guimarães Rosa

RESUMO

A forte demanda mundial por minérios, muitas vezes impulsionada pelo desenvolvimento industrial e tecnológico, acarreta, como consequência, um aumento significativo na produção de rejeitos de mineração. Em países tropicais, como o Brasil, a utilização de barragens para a disposição desses rejeitos, tem sido a prática mais comum. No entanto, os recorrentes rompimentos de barragens, mundialmente conhecidos, como os desastres de Mariana e Brumadinho, evidenciaram os riscos ambientais e sociais associados a essa técnica. Diante desses episódios, uma resposta assertiva por parte do poder público brasileiro, foi a de que houvesse a necessidade de um endurecimento das leis e regulamentações ambientais, exigindo a busca por alternativas mais seguras e sustentáveis. Entre as alternativas, destacam-se; o empilhamento a seco, que reduz significativamente o risco de rompimento e minimiza o impacto ambiental, a disposição em cavas exauridas, que aproveita áreas já degradadas pela mineração, a codisposição e disposição compartilhada de rejeitos e estéréis, técnicas que incluem o uso de rejeitos e estéréis para a recuperação de áreas mineradas e a reinjeção de rejeitos em minas subterrâneas. Essas alternativas não apenas atendem às novas exigências legais, mas também promovem uma gestão mais responsável e sustentável dos rejeitos. O objetivo deste trabalho foi analisar de maneira conceitual e metodológica as técnicas de codisposição e disposição compartilhada dos rejeitos, com base em estudos de casos realizados em quatro minas, com características e métodos de disposição diferentes, a fim de avaliar os arranjos geométricos e técnicas utilizados em cada projeto. Por fim, foi realizada uma análise *SWOT* considerando as operações utilizadas em cada uma das minas e expondo de maneira matricial, forças, fraquezas, oportunidades e ameaças que as metodologias podem apresentar a cada empreendimento. A revisão dos estudos de caso permitiram assegurar a viabilidade técnica das metodologias de codisposição e disposição compartilhada de rejeitos e estéréis, baseados em resultados de análises de fatores de segurança e ensaios de compactação, com dados acima dos preconizados por normas e estudos que avaliaram a mitigação de riscos de liquefação das estruturas projetadas.

Palavras-chave: Mineração; Disposição de rejeitos; Codisposição e Disposição compartilhada.

ABSTRACT

The strong global demand for minerals, often driven by industrial and technological development, has resulted in a significant increase in the production of mining tailings. In tropical countries, like Brazil, the use of dams to dispose of this tailing has been the most common practice. However, the recurring dam failures, known worldwide, such as the Mariana and Brumadinho disasters, have highlighted the environmental and social risks associated with this technique. In front of these incidents, an assertive response by the Brazilian government was that there was a need to tighten environmental laws and regulations, requiring the search for safer and more sustainable alternatives. The alternatives include dry stacking, which significantly reduces the risk of rupture and minimizes environmental impact; disposal in exhausted pits, which takes advantage of areas already degraded by mining; codisposition and shared disposal of tailings and waste rock, techniques that include the use of tailings and waste rock to recover mined areas; and reinjection of tailings into underground mines. These alternatives not only meet the new legal requirements, but also promote more responsible and sustainable management of waste. The objective of this study was to analyze, in a conceptual and methodological manner, the codisposition and shared disposal techniques of tailings and waste rock, based on case studies carried out in four mines with different characteristics and disposal methods, to evaluate the geometric arrangements and techniques used in each project. Finally, a SWOT analysis was carried out, considering the operations used in each of the mines and exposing, in a matrix manner, the strengths, weaknesses, opportunities, and threats that the methodologies may present to each project. The review of case studies allowed us to ensure the technical feasibility of the codisposition and shared disposal methodologies for tailings and wasted rock, based on the results of safety factor analyses and compaction tests with data above those recommended by standards and studies that evaluated the mitigation of liquefaction risks of the designed structures.

Keywords: Mining; Tailings disposal; Codisposal and Shared disposal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sequência de alteamento de barragens pelo método de montante modificado	20
Figura 2 - Sequência de alteamento de barragens pelo método de jusante	21
Figura 3 - Sequência de alteamento de barragens pelo método de montante	22
Figura 4 - Esquema da Disposição compartilhada de estéreis e rejeitos: visão parcial da cava final da Mina de Cauê em Itabira Minas Gerais	24
Figura 5 - Células de rejeitos em depósitos de estéril	27
Figura 6 - Mistura de rejeito com estéril no topo do depósito.....	28
Figura 7 - Disposição de rejeito em camadas finas no depósito	29
Figura 8 - Injeção de rejeito em furos verticais no topo do depósito de estéril.....	30
Figura 9 - Injeção de rejeito em furos inclinados no topo do depósito de estéril	30
Figura 10 - Matriz <i>SWOT</i>	32
Figura 11 - Localização do Complexo da Mina de Capim I – Ipixuna - PA.....	40
Figura 12 - Vista aérea da usina de beneficiamento de PPSA.	41
Figura 13 - Gráfico da geração de resíduos da mina de Capim I	42
Figura 14 - Vista aérea da disposição das barragens da Mina de Capim I	42
Figura 15 - Vista aérea com destaque para bacia R4	43
Figura 16 - Sistema de codisposição de estéreis e rejeitos em cava exaurida.....	43
Figura 17 - Sequência alteamentos da barragem R4.....	44
Figura 18 - Configuração das células de lavra.....	45
Figura 19 - Sistema I - Seção crítica prevista para o ano de 2019.....	46
Figura 20 - Sistema II – Seção típica prevista para o ano de 2025.....	47
Figura 21 - Fluxograma atual do processo de beneficiamento da mina de Fernandinho.	48
Figura 22 - Arranjo geral e localização da pilha de disposição compartilhada.....	50
Figura 23 - Alternativa 1 – Seção típica e detalhamento	51
Figura 24 - Alternativa 2 – Seção típica e detalhamento	52
Figura 25 - Fluxograma de beneficiamento da planta de concentração da mina de Serra Azul	53
Figura 26 - Arranjo geral da metodologia construtiva do empilhamento drenado	55
Figura 27 - Esquema de execução do primeiro berço do empilhamento drenado	56
Figura 28 - Esquema do arranjo geral do empilhamento drenado na elevação 1.030,0 m	56

Figura 29 - Fluxograma do processo produtivo da Mina Pau Branco.....	57
Figura 30 - Vista em planta das principais estruturas da Mina Pau Branco com destaque para localização da pilha de codisposição	58
Figura 31 - Matriz SWOT da pilha de codisposição - Mina de Capim I	61
Figura 32 - Matriz SWOT da pilha de codisposição - Mina de Fernadinho.....	62
Figura 33 - Matriz SWOT da pilha de codisposição - Mina Serra Azul.....	63
Figura 34 - Matriz SWOT da pilha de codisposição - Mina Pau Branco.....	64
Figura 35 - Matriz SWOT geral da viabilidade técnica da pilha de codisposição e disposição compartilhada	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação estéril rejeito – viabilidade técnica de codisposição.....	23
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens dos métodos de codisposição e disposição compartilhada	25
Quadro 2 -Tabela de Desvantagens dos sistemas de codisposição e disposição compartilhada	26
Quadro 3 - Mudanças de legislação na esfera federal	34
Quadro 4 - Mudanças de legislação na esfera estadual (Minas Gerais).....	36
Quadro 5 - Atualizações nas normas regulamentadoras	38

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

ABNT: Associação brasileira de normas técnicas

AMMSA: ArcelorMittal Mina Serra Azul

ANM: Agência nacional de Mineração

BR: Brasil

COPAM: Conselho Estadual de Política Ambiental

CSN: Companhia Siderúrgica Nacional

DMT: Distância média de transporte

DNPM: Departamento nacional de Produção Mineral

DPA: Dano Potencial Associado

EIA: Estudos de Impactos Ambientais

Fe: Ferro

FEAM: Fundação Estadual do Meio Ambiente

FIG.: Figura

FNMA: o Fundo Nacional do Meio Ambiente

FOFA: Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças

IBRAM: Instituto Brasileiro de Mineração

ITM: Instalação de Tratamento de Minérios

Km: Quilmetro

kPa: KiloPascal

LL: Limites de liquidez

LO: Licença de Operação

LP: Licença Prévia

LP: Limite de plasticidade

LTDA: Limitada

M: Milhão

m³: Metros cúbicos

MG: Minas Gerais

Mm³: Milhões de metros cúbicos

Mt: Milhões de toneladas

N: Número

NBR: Norma brasileira

NPO: Natural Pelet Ore

PA: Pará

PAE: Plano de Aproveitamento Econômico

PAEBM: Plano de Ação e Emergência de Barragens de Mineração

PDE: Pilha de estéril

PNSB: Plano Nacional de Segurança de Barragens

PPSA: Pará Pigmentos S.A

PSB: Plano de Segurança de Barragens

RIMA: Relatório de Impactos Ambientais

RISE: Relatórios de Inspeções de Segurança Especial

RISR: Relatórios de Inspeções de Segurança Regular

ROM: Rom Of Mine

SEMAD: Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SIGBM: Sistema Integrado de Gestão em Barragens de Mineração

SISEMA: Sistema Estadual de Meio Ambiente

SWOT: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats

TAB.: Tabela

t/h: Tonelada hora

ZAS: Zona de Altossalvamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL	15
2.1.1 Objetivos específicos	15
3 METODOLOGIA.....	16
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1 ESTÉRIL	17
4.2 REJEITOS DE MINERAÇÃO	18
4.3 MÉTODOS DE DISPOSIÇÃO DE REJEITOS	18
4.4 DOS PRINCIPAIS TIPOS DE BARRAGENS E SEUS ALTEAMENTOS	19
4.4.1 Método a montante.....	20
4.4.2 Método a jusante.....	20
4.4.3 Método de linha de centro	21
4.5 CODISPOSIÇÃO E DISPOSIÇÃO COMPARTILHADA DE ESTÉREIS E REJEITOS COMO MÉTODO ALTERNATIVO ÀS BARRAGENS CONVENCIONAIS.....	22
4.5.1 Disposição do rejeito em células no depósito de estéril.....	26
4.5.2 Mistura do estéril e rejeito	27
4.5.3 Disposição do rejeito em camadas finas diretamente no depósito de estéril	28
4.5.4 Injeção de rejeitos em furos verticais ou inclinados no topo da pilha.....	29
5 ANÁLISE SWOT	31
6 DOCUMENTOS LEGAIS E NORMATIVOS QUE ORIENTAM A CODISPOSIÇÃO DE ESTÉREIS E REJEITOS.....	33
6.1 MUDANÇAS PONTUAIS EM NORMAS BRASILEIRAS JÁ EXISTENTES	37
7 ESTUDOS DE CASO	39
7.1 MINA DE CAPIM I – PROPRIEDADE DA PARÁ PIGMENTOS S.A.	39
7.2 MINA DE FERNANDINHO - PROPRIEDADE DA CSN	47
7.2.1 Alternativa 1 de disposição compartilhada de rejeitos e estéreis.....	51
7.2.2 Alternativa 2 de disposição compartilhada de rejeitos e estéreis	52
7.3 MINA SERRA AZUL – PROPRIEDADE DE ARCELORMITTAL.....	52
7.4 MINA PAU BRANCO – PROPRIEDADE VALLOUREC.....	56
8 ANÁLISE DOS MÉTODOS REVISADOS	60
8.1 ANÁLISE SWOT DA PILHA DE CODISPOSIÇÃO E DISPOSIÇÃO COMPARTILHADA DA MINA DE CAPIM I – PPSA.....	60
8.2 ANÁLISE SWOT DA PILHA DE CODISPOSIÇÃO MINA DE FERNANDINHO - CSN	61

8.3 ANÁLISE SWOT DA PILHA DE CODISPOSIÇÃO MINA SERRA AZUL – ARCELORMITTAL.....	62
8.4 ANÁLISE SWOT DA PILHA DE CODISPOSIÇÃO MINA PAU BRANCO - VALLOUREC	63
8.5 ANÁLISE SWOT GERAL DA VIABILIDADE DE CODISPOSIÇÃO E DISPOSIÇÃO COMPARTILHADA DE REJEITOS E ESTÉREIS.....	64
9 CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1 INTRODUÇÃO

Os graves acidentes envolvendo barragens de mineração, no estado de Minas Gerais, registrados nos anos de 2015, em Fundão, e 2019, em Brumadinho, ligou um sinal de alerta nacional aos empreendimentos minerários, uma vez que evidenciaram as condições de estabilidade das estruturas de barragens, principalmente àquelas alteadas pelo método a montante. Esses eventos catastróficos fizeram com que tanto o poder público quanto o setor privado tomassem iniciativas que buscassem mitigar os riscos associados a esses ativos e as comunidades adjacentes.

Dentre as ações, destacam-se, por parte do poder público, a realização de atualizações nas legislações já existentes, bem como a criação de legislações específicas, como é o caso da Lei Estadual de Minas Gerais N°23291 que proíbe a construção de barragens a montante e impõe ao empreendedor que apresente aos órgãos fiscalizadores um plano de descaracterização daquelas em atividade (MINAS GERAIS/2019). Para além dessas ações, a Portaria N° 70.389/2017, do antigo Departamento Nacional de Mineração (DNPM), também exige que independentemente do método de construção e alteamento do maciço, o mesmo deve ser monitorado 24 horas por dia e inspecionado, quinzenalmente (DNPM,2017).

No que diz respeito ao setor privado, foram observadas ações mitigadoras no sentido de se ampliar os números de pesquisas que visam, pensar alternativas para disposições desses rejeitos com a menor umidade possível, o seu empilhamento pelo método drenado e projetos de descaracterização dos ativos alteados a montante, tanto os que estão em operação, quanto os que já estão desativados.

A produção e gestão dos rejeitos em relação a implementação de novas alternativas de disposição ainda é um desafio, pois elementos como o minério de ferro, que, no passado, eram facilmente lavrados e beneficiados a partir da Hematita friável, com teores de até 60% de Fe e demandavam menos operações unitárias como por exemplo, britagem, peneiramento, moagem e classificação, dispensava, em parte, o beneficiamento a úmido. Ocorre que, atualmente, o minério de ferro tem sido lavado, principalmente no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, em minerais itabiríticos de baixo teor (a partir de 30% de Fe), o que demanda uma concentração com diversas alternativas para que seja alcançado o teor especificado pelo mercado, comumente 66% de Fe.

Para tanto, são utilizadas operações unitárias que, em sua maioria, utilizam água no processo, a fim de realizar a separação e concentração dos mesmos, a partir das diferenças de propriedades dos minerais de minérios e das gangas. Operações como separação magnética, flotação, condutividade elétrica, radioatividade e de densidade, são, comumente, empregadas nessas etapas e praticamente todas elas ainda dependem da utilização da água no processo (LUZ; LINS, 2010).

Diante desse cenário, estudos que englobam a caracterização geotécnica dos rejeitos, metodologias alternativas para a disposição de rejeitos e a garantia da estabilidade desses depósitos, se tornaram muito importantes, principalmente nos últimos anos. Eles consideram a necessidade de análise, mesmo por meio de simulações, das condições de estabilidade desses maciços e resíduos quando, dispostos em pilhas ou outros tipos de contenção que possam vir a surgir.

As pesquisas voltadas para a investigação do comportamento desses rejeitos, a partir de sua granulometria, compactação, viscosidade, entre outras características, surgem, portanto, como ações indispensáveis que contribuem não só para os estudos geotécnicos, como também para um monitoramento da qualidade do material a ser descartado. Esses estudos compreendem investigações que asseguram aos mecanicistas de solo, uma análise o mais fiel possível do material que se pretende empilhar ou depositar em barragens a jusante.

Com vistas a contribuir para o debate no campo da mineração, este trabalho busca ampliar as análises sobre as metodologias de codisposição e disposição compartilhada de estéreis e rejeitos, a partir de uma revisão bibliográfica e análise crítica das principais legislações metodologias e aspectos socioambientais com os quais as operações estarão relacionadas durante sua implementação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

- Realizar uma análise crítica sobre a metodologia de codisposição de estéreis e rejeitos, considerando aspectos legais, técnicos e socioambientais.

2.1.1 Objetivos específicos

- Avaliar o impacto dos aspectos legais e técnico-normativos acerca da codisposição de estéreis e rejeitos;
- Investigar e discutir os critérios técnicos para projetos de codisposição;
- Analisar crítica e comparativamente os resultados das experiências teóricas e práticas acumuladas sobre a codisposição;
- Elencar vantagens, desvantagens, evolução e lacunas do conhecimento acerca do método de codisposição de estéreis e rejeitos.

3 METODOLOGIA

Para a confecção deste trabalho, foram realizadas análises documentais dos estudos sobre a metodologia de codisposição de estéreis e rejeitos, produzidos até aqui, visando elencar vantagens, desvantagens, evolução e lacunas do conhecimento acerca de tal método.

Com base na literatura revisada, o trabalho aqui apresentado foi estruturado na seguinte sequência:

Inicialmente, foram abordados os conceitos de estéril e rejeito de mineração bem como as metodologias de disposição de rejeitos, nas chamadas barragens convencionais e os métodos de alteamento mais utilizados.

Em um segundo momento, foi apresentada a metodologia de codisposição e disposição compartilhada de modo a destacar suas vantagens e desvantagens quando forem levantadas hipóteses de sua aplicação.

Em um terceiro momento, foram apontadas críticas pontuais a respeito da metodologia, quando associada à legislação vigente e os principais impactos ambientais que possam vir a surgir quando as técnicas são aplicadas.

Por fim foi realizada uma análise *SWOT*, a partir de experiências teóricas e práticas já vivenciadas por empresas e pesquisadores sobre a metodologia da codisposição e disposição compartilhada.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordados os principais conceitos relacionados com o que é o estéril de mineração, a origem dos rejeitos, tipologias de rejeitos, métodos de disposição, codisposição e disposição compartilhada de estéreis e rejeitos como método alternativo para disposição de rejeitos, análise crítica do método de codisposição e análise SWOT de estudos de casos, práticos e teóricos a respeito da técnica de codisposição.

4.1 ESTÉRIL

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 13029 (2017), o Estéril de Mina é “todo e qualquer material não aproveitável economicamente, cuja remoção se torna necessária para a lavra do minério”. Pode ser considerado também, segundo Robertson *et al.* (1985, *apud* ARAGÃO, 2008) um agregado mineral desprovido de valor econômico, que é minerado, mas não processado e, comumente, descartado em forma de pilha na sua condição natural.

O estéril, de acordo com essas breves e objetivas concepções. É, notoriamente, um elemento balanceador de uma mina, pois tanto a sua produção quanto a remoção de pilhas de estéril implicam em tomadas de decisões cada vez mais dinâmicas. A construção de uma pilha influencia diretamente no planejamento de lavra e operação de qualquer empresa, sendo necessários estudos cada vez mais detalhados de critérios que viabilizem desde a otimização da distância média de transporte – DMT ao fechamento de mina, a fim de garantir a sua estabilidade tanto estrutural quanto financeira.

Neste sentido, segundo McCarter (1990, *apud*, ARAGÃO, 2008), estudos voltados para os projetos de construção de pilhas são, em sua maioria, recentes e podem receber o nome de disposição controlada. Trata-se de estruturas que, substituem os antigos Bota-fora da mineração, termo que era empregado a setores da mina conhecidos como ponta de aterro, onde ocorriam basculamentos de material estéril removidos das frentes de lavra e eram formadas desordenadamente pilhas sem qualquer condição de estabilidade assegurada.

Atualmente, esses estudos contemplam além das exigências ambientais, investigações de aspecto social, que busquem minimizar acidentes e cumprir normas

como a ABNT NBR 13029 (2017), que especifica as condições mínimas para submissão de um projeto de pilhas de disposição de estéril.

4.2 REJEITOS DE MINERAÇÃO

De acordo com a ABNT (2017), através da NBR 13028, os rejeitos de mineração são, por definição técnica, todo e qualquer material descartado durante o processo de beneficiamento de minérios. Ele resulta das etapas de tratamento de minérios, uma vez que, os minerais de minérios são submetidos a diversos tipos de operações unitárias dentro da planta de beneficiamento, com o objetivo de se realizar, em cada uma dessas etapas, a máxima recuperação do minério que contenha valor econômico agregado. Nestas plantas, comumente, estão compreendidas operações, que executam processos físicos, químicos e físico-químicos dentre outros recursos tecnológicos disponíveis para o tratamento e adequação do minério ao teor e granulometria desejados (ESPÓSITO, 2000).

Normalmente, a característica do minério e da planta de beneficiamento projetada, são fatores cruciais para a definição da tipologia do rejeito, bem como de suas propriedades geotécnicas, físicas e mineralógicas, podendo os rejeitos serem classificados quanto à sua granulometria, nas formas de lama, cuja granulometria é fina (abaixo de 0,074 mm), ou de polpa (acima de 0,074 mm) (ESPÓSITO, 2000). Esse conjunto de características também são elementos importantes para o momento em que são pensadas alternativas para a deposição do resíduo a ser descartado.

4.3 MÉTODOS DE DISPOSIÇÃO DE REJEITOS

A disposição dos rejeitos pode ser realizada de três modos: a céu aberto, subterrânea e de forma subaquática, sendo o método a céu aberto o mais frequentemente empregado, no Brasil e no mundo, tendo em vista a facilidade de sua aplicação e monitoramento.

No método a céu aberto, o rejeito que muitas vezes se encontra em forma de lama ou pasta é depositado em barragens de contenção, sendo essas contenções construídas a partir de diques de partidas, com a utilização de materiais de empréstimo, que podem ser únicos ou receber alteamentos sucessivos. Outra alternativa para o

método a céu aberto são as cavas de minas exauridas, onde o rejeito pode ser depositado (VICK, 1983, *apud* ESPÓSITO, 2000).

O método de disposição subterrânea, caracteriza-se pelo preenchimento de minas desativadas no subsolo, por meio de bombeamento de rejeitos. Nele, o rejeito é misturado a outro material, como areia ou cimento, de forma que não ocorra somente o preenchimento das galerias, mas também seja garantida a sustentação dos tetos das minas (ENGELS, 2006, *apud* SOUZA, 2018).

Por fim, o método de disposição subaquática, requer que o rejeito seja depositado em grandes profundidades no mar. Essa técnica é pouco empregada em países como o Brasil, uma vez que possui um alto custo de manutenção, remediação, recuperação e tratativas com órgão ambientais (ENGELS, 2006, *apud* SOUZA, 2018).

De toda forma, o método de disposição mais adequado para cada empreendimento é definido a partir de investigações de campo, tais como as geomorfológicas, topográficas, geotécnicas do material a ser descartado e também dos impactos que esses resíduos e estruturas podem causar no meio ambiente (DUARTE, 2008).

4.4 DOS PRINCIPAIS TIPOS DE BARRAGENS E SEUS ALTEAMENTOS

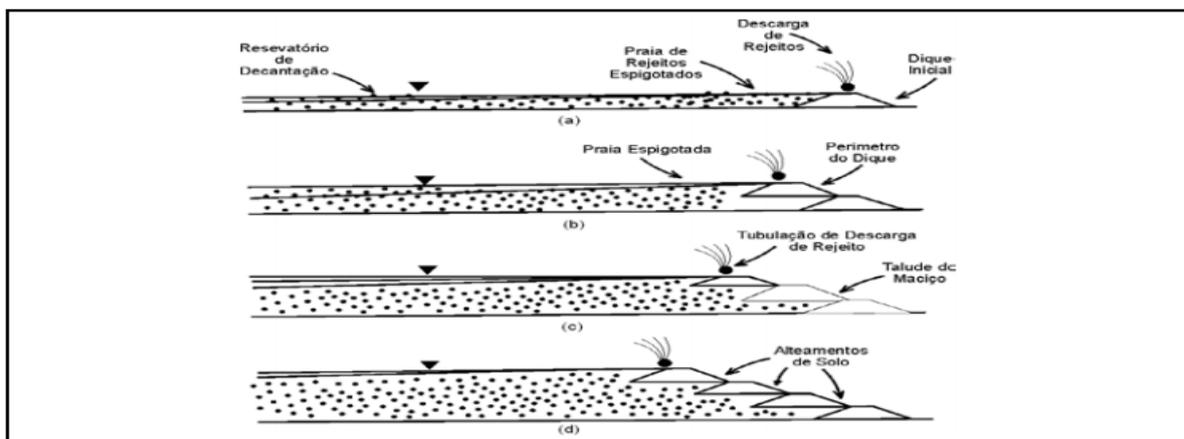
As barragens de contenção de rejeitos, de modo geral, são construídas por métodos sucessivos de alteamentos, a partir da estrutura de um dique de pequena altura, normalmente de até 5 m e utiliza a terra compactada como seu material principal. Nas atividades de mineração, esses alteamentos tornam-se economicamente viáveis, em função da quantidade de material disponível, seja ele o próprio rejeito ou material oriundo de decapeamento. Os alteamentos sucessivos, ocorrem em função da quantidade de rejeitos depositados no reservatório, ao longo da vida útil da mina (DUARTE, 2008).

São três os métodos de alteamentos mais comuns aplicados a mineração: o a montante, a jusante e o de linha de centro, que serão detalhados a seguir. Cabe ressaltar, ainda, que cada empreendimento deve analisar o método mais assertivo demandado para a ocasião, uma vez que a escolha do tipo de alteamento deve levar em conta as variáveis geotécnicas, reológicas, hidrológicas, topográficas, granulométricas dentre outras investigações.

4.4.1 Método a montante¹

Neste método, o alteamento da barragem é construído com o próprio material, o rejeito, que é lançado da crista da barragem em direção ao eixo montante do reservatório. Esse movimento faz com que se origine, internamente, a praia da barragem a partir do dique inicial e, essa praia, uma vez consolidada, servirá de base para um novo alteamento. De acordo com Soares (2010), a segregação e sedimentação granulométrica, ocorrem de modo que a fração mais arenosa do rejeito se deposite mais próxima do ponto de lançamento, enquanto a fração que possui granulometria mais fina se deposita mais distante do maciço, em função de sua densidade, formando assim o lago de decantação. Este processo pode ser observado na FIG.1 esquemática abaixo, elaborada por Vick (1983, *apud* SOARES, 2010).

Figura 1 - Sequência de alteamento de barragens pelo método de montante modificado



Fonte: Vick (1983, *apud* SOARES, 2010).

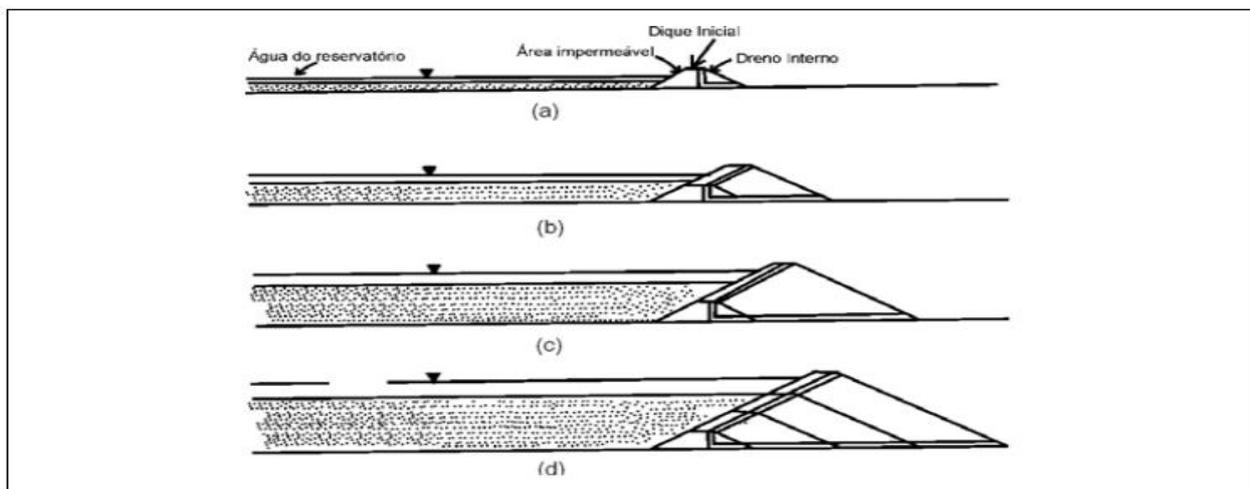
4.4.2 Método a jusante

O método a jusante utiliza apenas rejeitos grossos na sua construção, sendo toda a obra de alteamento realizada a partir de um novo dique de contenção à jusante, para que assim ocorram novos alteamentos. Neste tipo de obra, são fundamentais a instalação e expansão de drenagens internas, tais como: filtros verticais e tapetes

¹ O método de alteamento a montante, embora tratado no texto, é hoje uma técnica expressamente proibida, desde o ano de 2019, quando foram estabelecidas a portaria ANM 13/2019, a Lei federal:14066/2020 e a Lei estadual de Minas Gerais 23291, todas destacando a descontinuidade de aplicação do método de alteamento e sua proibição em definitivo.

drenantes, uma vez que o projeto avança na direção externa do barramento, conforme ilustra a FIG. 2. Outro elemento importante neste método de alteamento é a presença de hidrociclones, pois todo o material utilizado na construção deve ser hidrociclonado, de modo que o rejeito de fração granulométrica mais grossa seja depositado a jusante do barramento, para uma posterior compactação, enquanto a fração mais fina é depositada no interior do barramento. Este método permite que sejam realizados alteamentos maiores que o método a montante (SOARES, 2010).

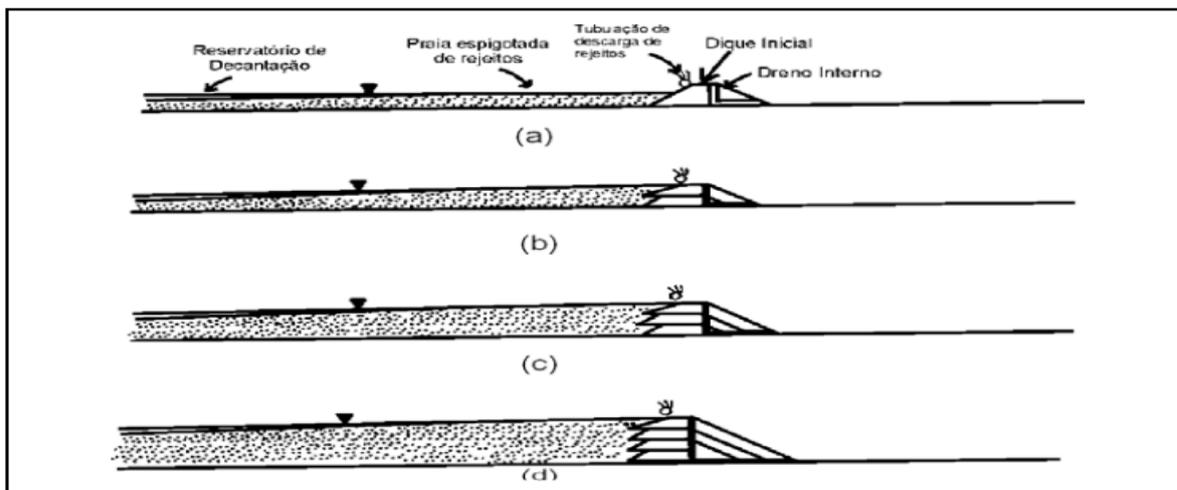
Figura 2 - Sequência de alteamento de barragens pelo método de jusante



Fonte: Vick (1983, *apud* SOARES, 2010).

4.4.3 Método de linha de centro

O método de linha de centro compreende metodologias de construção que abrangem características tanto do método a montante quanto o de jusante, visando vantagens e desvantagens dos dois métodos. Sua estrutura de alteamento, tem início no lançamento do rejeito para a parte interna do barramento, montante do dique de partida, formando a praia (SOARES, 2010). Após a formação da praia, o rejeito é depositado em ambos os lados do maciço, sucessivamente. Nesse tipo de alteamento, a crista do barramento serve de referência de eixo para a obra, tendo em vista que está alinhada com o dique inicial e os alteamentos realizados, conforme representa a FIG. 3.



Fonte: Vick (1983, *apud* SOARES, 2010).

4.5 CODISPOSIÇÃO E DISPOSIÇÃO COMPARTILHADA DE ESTÉREIS E REJEITOS COMO MÉTODO ALTERNATIVO ÀS BARRAGENS CONVENCIONAIS²

A dificuldade para a aquisição de novas áreas de disposição de rejeitos perante os órgãos ambientais, é um dos principais motivos pelos quais, a codisposição e disposição compartilhada de estéreis e rejeitos surgiu como uma metodologia de disposição bastante atrativa por parte das mineradoras, uma vez que tanto a primeira quanto a segunda técnica, são realizadas de maneira integrada em um mesmo espaço físico (PEIXOTO, 2012).

Apesar de utilizarem o mesmo espaço físico, as metodologias possuem diferentes tipos de projetos. Pelo fato de ainda não haver definições ajustadas academicamente, os termos codisposição e disposição compartilhada podem ser entendidos respectivamente como: o primeiro, a situação em que estéril e rejeitos são misturados num processo que precede a disposição e o segundo, situação onde o estéril e o rejeito são depositados no mesmo local, porém sem serem misturados (ALVES, 2009, *apud* CARVALHO, 2017).

Silva (2014), enfatiza que os métodos de codisposição e disposição compartilhada de rejeitos e estéreis se apresentam como técnicas interessantes quando o empreendimento dispõe apenas de uma área para a disposição, como exemplo de cavas exauridas. Uma vez que exista a disponibilidade de mais áreas para disposição

² Atualmente, são várias as metodologias alternativas para disposição de rejeitos que podem substituir as barragens de mineração convencionais, porém, considerando os limites deste trabalho, será abordada apenas a metodologia da codisposição e disposição compartilhada de estéreis de rejeito.

em separado, a atividade se torna mais econômica e menos complexa do ponto de vista operacional e técnico.

A codisposição, segundo Leduc e Smith (2003, *apud* SILVA, 2014), é o método que associa a disposição um rejeito fino em meio a um estéril granular, por considerar que os estéreis encontrados em pilhas possuem granulometria variada e em sua maioria grande, em função da operação de desmonte que precede a criação da pilha, o que proporciona um grande volume de vazios, fazendo das pilhas o espaço físico ideal para a deposição simultânea destes resíduos combinados com o rejeito fino.

Desde a elaboração do projeto até a etapa de manutenção destas estruturas, são exigidos, previamente, conhecimentos abrangentes dos materiais a serem misturados e suas propriedades químicas e geotécnicas, principalmente no que diz respeito a sua resistência e drenabilidade. Outros aspectos como trabalhabilidade da mistura, operacionalidade alinhada à praticidade de campo e análises de percolação, estão entre os estudos investigativos indispensáveis para a execução deste tipo de estrutura. (LEDUC; SMITH, 2003, *apud* SILVA, 2014).

Proposta por Leduc e Smith (2003, *apud* SILVA, 2014), a relação peso de mistura entre o estéril e rejeito se tornou um fator crucial na tomada de decisão em relação a codisposição de rejeitos e estéreis, por considerar que o comportamento e as propriedades geotécnicas dos materiais tendem a ser diferentes. No mesmo estudo, os autores asseguram também, que o sucesso da codisposição em misturas homogêneas (aumento da estabilidade física e química) é dependente do projeto prévio da mistura. A TAB.1 abaixo, apresenta a relação estabelecida pelos autores.

Tabela 1 - Relação estéril rejeito – viabilidade técnica de codisposição

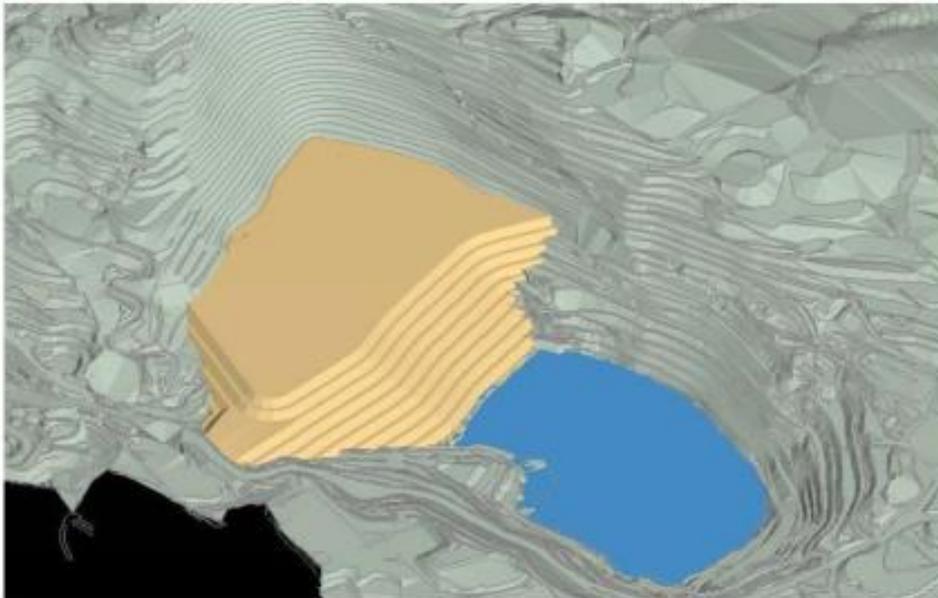
Relação estéril-rejeito	Potencial de aplicação
> 8:1	Provavelmente adequado para codisposição
4:1 a 8:1	Requer estudos mais detalhados para a definição
< 4:1	Provavelmente não adequado para codisposição

Fonte: Leduc; Smith (2003, *apud* SILVA, 2014)

As diferenças características e geométricas das metodologias serão abordadas a título de demonstração gráfica das técnicas. A disposição compartilhada segundo

Peixoto (2012, *apud* BORGES, 2018) é metodologia mais prática de disposição, por se tratar de uma investida que depende apenas da disposição sem que haja a preocupação com a misturas dos materiais de diferentes características físicas, ficando apenas reservada a garantia da estabilidade da estrutura a ser utilizada, que na maioria dos casos são a de cavas exauridas, a FIG. 4 apresenta um desenho esquemático da disposição compartilhada da mina do Cauê, onde essa técnica foi estudada como viabilidade de disposição final de resíduos. Na imagem está representada a disposição compartilhada em cava exaurida, onde a cor bege representa o estéril da mina enquanto o azul representa a lâmina d'água do rejeito, depositado na camada inferior da cava.

Figura 4 - Esquema da Disposição compartilhada de estéreis e rejeitos: visão parcial da cava final da Mina de Cauê em Itabira Minas Gerais



Fonte: Galbiatti (2006, *apud* SILVA, 2010).

A alternativa de codisposição de rejeitos e estéreis apresenta diferentes métodos e técnicas de disposição dos materiais, podendo ser elas: deposição em pequenas lagoas/células e diques de contenção; a disposição em pontos específicos do depósito de estéril; mistura dos resíduos ainda na etapa de processamento, no transporte ou no próprio depósito; deposição de rejeitos por meio de injeção dos resíduos em pontos específicos do depósito de estéril e deposição de finas camadas de rejeito ao longo do depósito de estéril (FIGUEIREDO, 2007, *apud* BORGES, 2018). Todas essas alternativas, apesar de diferentes, apresentam, vantagens e desvantagens muitas vezes

comuns durante sua implantação, a relação desses elementos pode ser observada nos quadros 1 e 2 a seguir.

Quadro 1 - Vantagens dos métodos de codisposição e disposição compartilhada

Método	Vantagens
Codisposição	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do potencial de liquefação; • Elimina barragens de rejeitos; • Redução de volume - melhoria das características geotécnicas e de densidade da mistura de rejeitos estéreis; • Melhoria das características de resistência e de deformabilidade quando os resíduos misturados possuem granulometrias muito diferentes; • Redução de comprometimento ambiental de áreas para disposição de resíduos; • Retarda a lixiviação e a quebra de partículas de rochas; • Recuperação de área minerada; • Redução da área de disposição; • Melhoria nas condições de drenabilidade; • Apresenta bons parâmetros que garantam a estabilidade dos taludes.
Disposição compartilhada	<ul style="list-style-type: none"> • Aproveitamento de áreas já utilizadas anteriormente para disposição de rejeitos ou de estéreis (estéreis lançados sobre bacias exauridas de rejeito ou rejeitos lançados sobre platôs de pilhas de estéreis); • Redução de comprometimento ambiental de áreas para disposição de resíduos; • Recuperação de área minerada.

Fonte: Silva (2014).

Quadro 2 -Tabela de Desvantagens dos sistemas de codisposição e disposição compartilhada

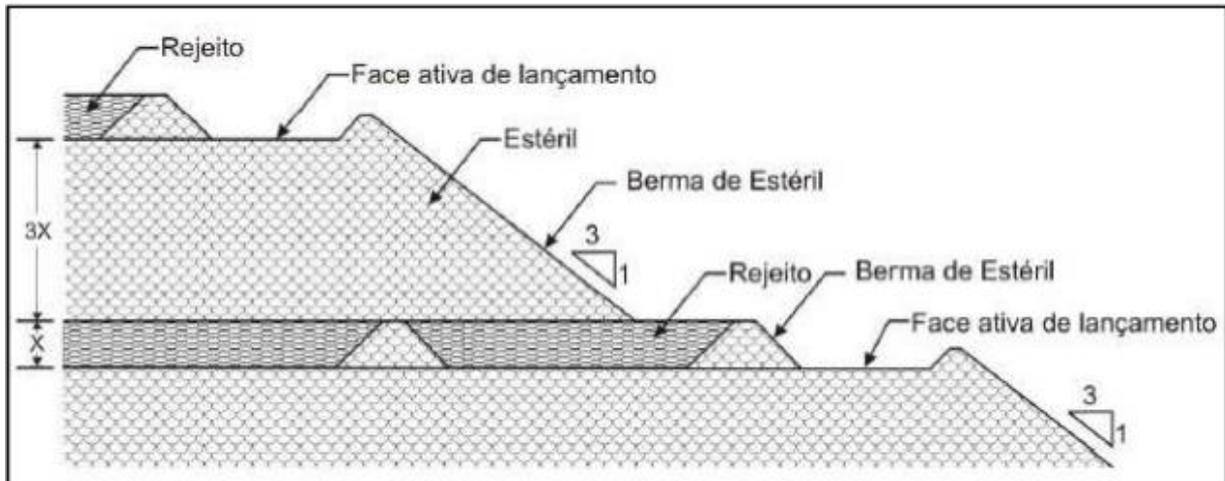
Método	Desvantagens
Codisposição	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de maiores cuidados no projeto e de controle durante a operação do sistema; • Possibilidade de comprometimento das características de resistência e de deformabilidade quando resíduos muito finos são misturados a resíduos grossos em grandes proporções; • Comprometimento ambiental quando um dos rejeitos for quimicamente ativo ou tóxico; • Períodos chuvosos comprometem a compactação dos materiais; • Dificuldade inicial para se encontrar método de construção.
Disposição compartilhada	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de maiores cuidados no projeto e de controle durante a operação do sistema; • Comprometimento ambiental quando um dos resíduos for quimicamente ativo ou tóxico.

Fonte: Silva (2014)

4.5.1 Disposição do rejeito em células no depósito de estéril

O primeiro dos métodos de codisposição, bem como a sua geometria consiste na construção de diques de estéril que servem de células receptoras de rejeitos, sendo o preenchimento dessas células realizados em diferentes etapas, de modo que ao se construir uma célula posterior à de partida, a anterior já se encontra em fase de secagem de rejeito ao passo que uma terceira célula já estaria em vias de construção. Estabelecendo assim um ciclo de lançamento contínuo de materiais sobre a etapa já consolidada (SILVA, 2014), conforme representa a FIG.5 abaixo:

Figura 5 - Células de rejeitos em depósitos de estéril



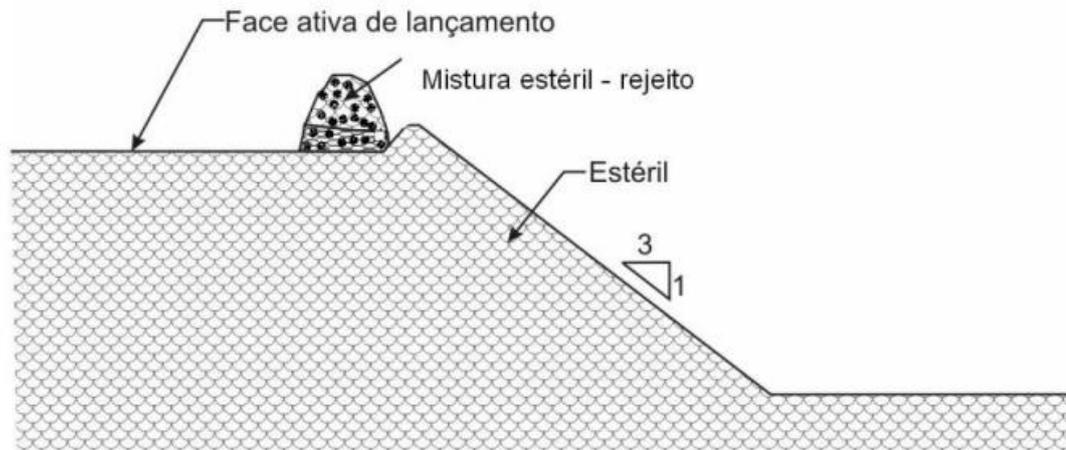
Fonte: Leduc *et al.* (2003, *apud*, SILVA, 2014, modificado)

Neste método, são observadas vantagens de aplicação por não ser necessária a aquisição de equipamentos ou máquinas, uma vez que as atividades podem ser realizadas com as máquinas da própria operação de mina. Em contrapartida a construção do depósito se dá de maneira mais lenta, pois exige um maior controle e planejamento das etapas para que as poropressões geradas na construção da pilha não exceda os limites preestabelecidos e mitigue assim riscos associados a estabilidade e potencial ruptura da estrutura (SILVA, 2014).

4.5.2 Mistura do estéril e rejeito

De acordo com Silva (2014), a técnica de disposição que envolve a mistura dos resíduos, seja ela, durante o processamento ou até no próprio depósito, embora aparente ser favorável e flexível do ponto de vista do controle e homogeneização do material, apresenta como desvantagens a necessidade de aquisição de equipamentos de mistura, terraplanagem e de transporte de materiais. Essas aquisições fazem com que o custo de implementação do método se eleve significativamente. A FIG. 6 abaixo ilustra a geometria da estrutura criada a partir da técnica de mistura de rejeito e estéreis.

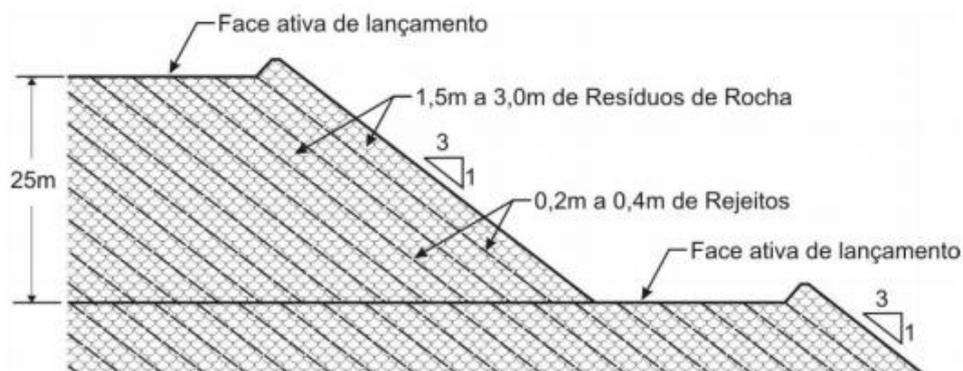
Figura 6 - Mistura de rejeito com estéril no topo do depósito



Fonte: Leduc *et al.* (2003, *apud*, CARVALHO, 2017, modificado)

4.5.3 Disposição do rejeito em camadas finas diretamente no depósito de estéril

Uma terceira metodologia, que pode ser aplicada por meio da codisposição é a que consiste na disposição de rejeitos e estéreis em camadas alternadas para a criação da pilha. Neste método o rejeito é depositado em camadas finas, por meio de uma tubulação de descarga que, posicionada na direção do topo do talude deposita o rejeito entre as camadas de estéril, a espessura da camada de rejeito pode variar de 0,2 a 0,4 m, enquanto as de estéril, recomenda-se que se deposite em espessuras que variem entre 1 e 5 m. Nesta técnica, observa-se que com a infiltração do rejeito no estéril são registradas dissipações das poropressões surgentes na pilha em questão. Outro elemento importante e vantajoso é o fato de esse método dispensar o uso de bombas ou qualquer outro tipo de equipamento, uma vez que podem ser utilizados equipamentos da própria mineração. (SILVA, 2014). A FIG. 7 ilustra o modelo geométrico do deste método.

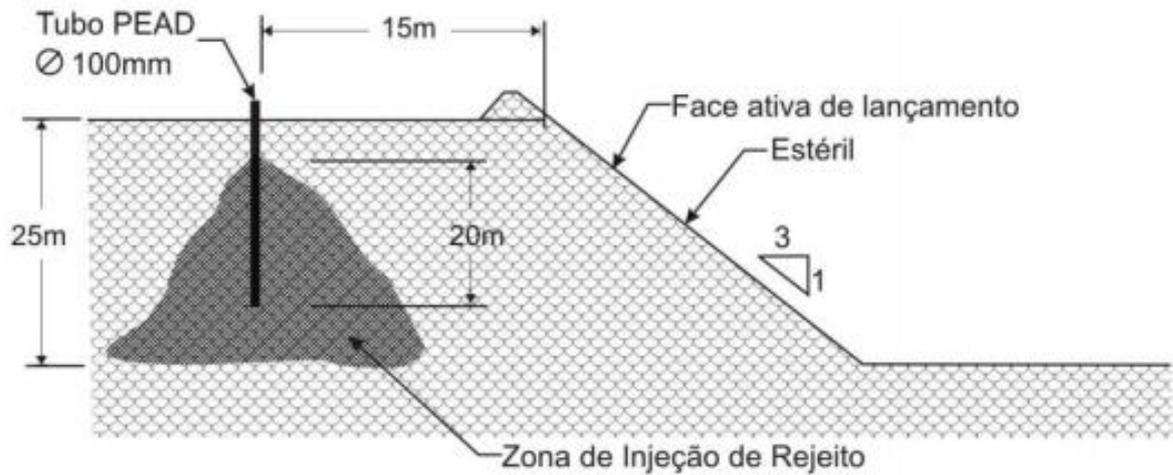


Fonte: Leduc *et al.* (2003, *apud*, CARVALHO, 2017, modificado)

4.5.4 Injeção de rejeitos em furos verticais ou inclinados no topo da pilha

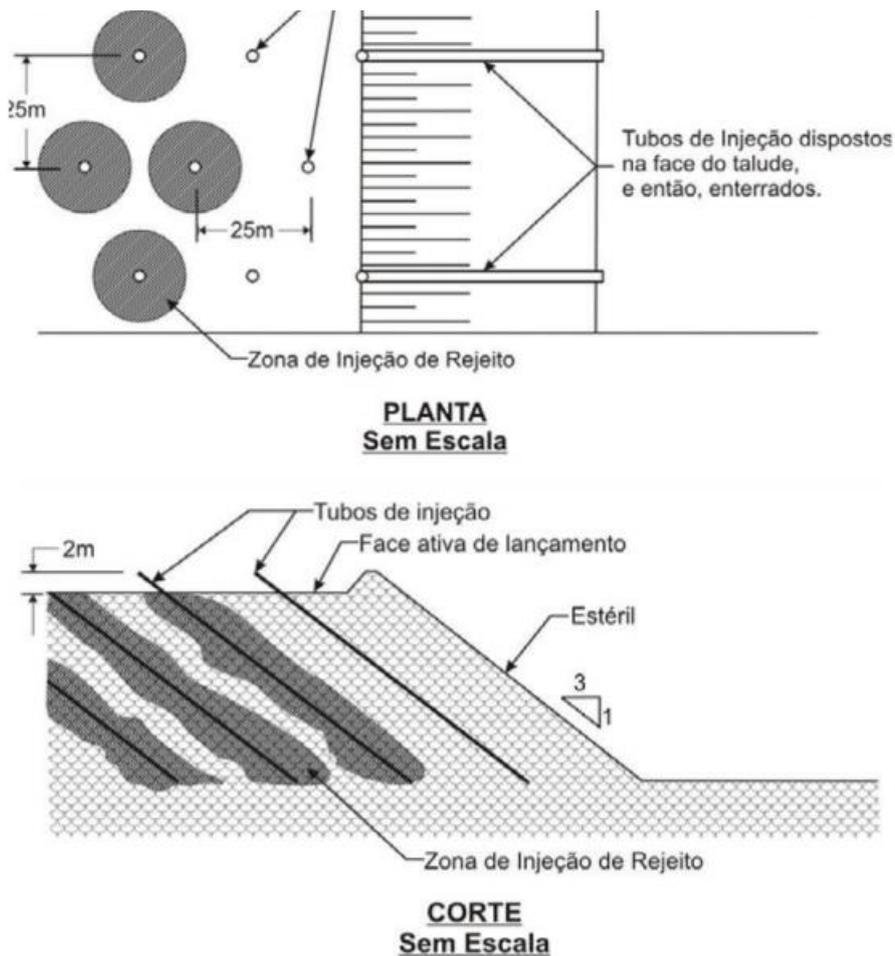
Uma quarta alternativa que pode ser aplicada à codisposição, pode ser realizada por meio da técnica de disposição de rejeitos por meio de furos verticais ou inclinados, localizados nas pilhas e estéril, neste método o rejeito é depositado a partir do topo do depósito. Um pré-requisito para viabilização dessa operação é de que o rejeito seja disposto em pasta ou espessado e que também estejam disponíveis equipamentos de perfuração e injeção. Nesta situação, apesar de aparentar ser uma metodologia simples, ela se torna bastante onerosa quando são avaliados os custos de transporte de rejeitos e equipamentos de alta pressão, por outro lado destacam-se as vantagens em se poder aplicar essa técnica de injeção de rejeitos em pilhas já existentes (SILVA, 2014). As FIG's 8 e 9 a seguir ilustram em seções a geometria final de cada uma dessas técnicas de acordo com o tipo de perfuração.

Figura 8 - Injeção de rejeito em furos verticais no topo do depósito de estéril



Fonte: Leduc *et al.* (2003, *apud*, CARVALHO, 2017, modificado)

Figura 9 - Injeção de rejeito em furos inclinados no topo do depósito de estéril



Fonte: Leduc *et al.* (2003, *apud*, CARVALHO, 2017, modificado)

5 ANÁLISE SWOT

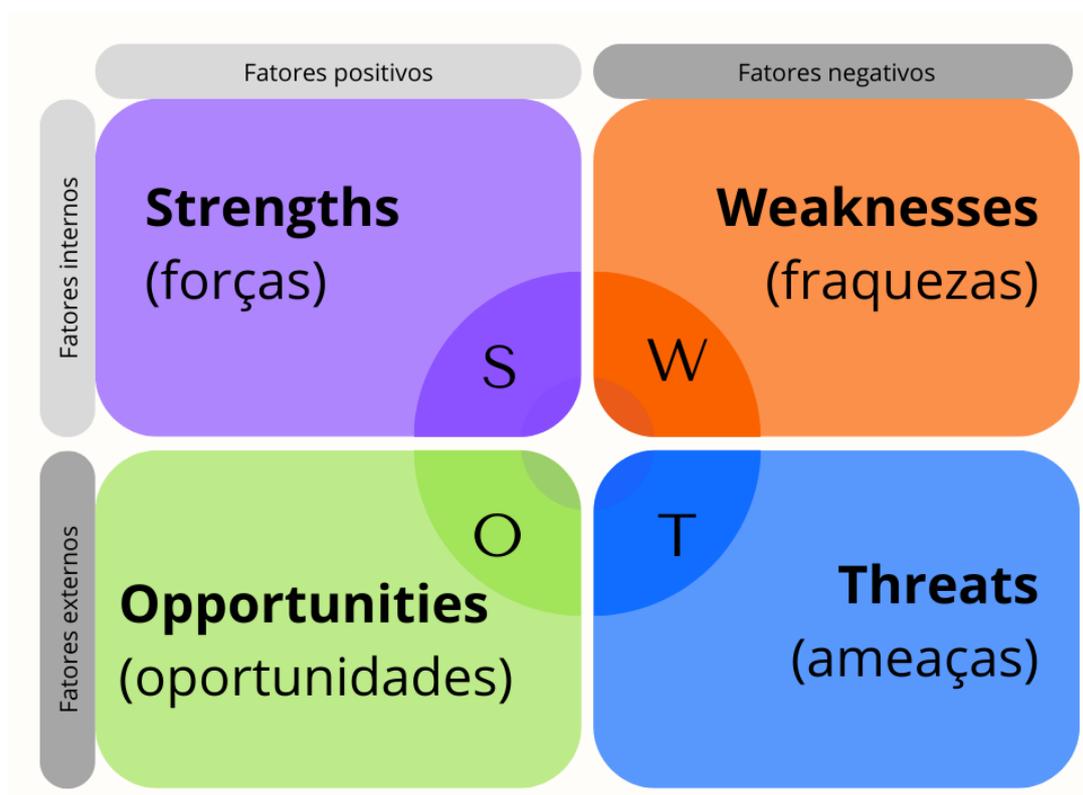
A Análise *SWOT*, ou matriz *SWOT*, é uma metodologia multidisciplinar e de simples aplicação, que foi idealizada entre os anos 1960 e 1970, a partir de um trabalho de pesquisa de Albert Humphrey, consultor em gestão na Universidade de Stanford. A sigla, *SWOT*, ou também FOFA, quando traduzida para o português, é a reunião dos termos, *Strengths* (Forças), *Weaknesses* (Fraquezas), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (Ameaças), que organizados em forma de matriz 2 x 2 estruturaram de maneira mais eficiente as estratégias que podem ser adotadas por micro e grandes empresas (LOPO, 2021).

Embora já tenham se passado quase sete décadas desde a sua implementação, a análise *SWOT* ainda é uma das metodologias mais aplicadas, atualmente, no meio empresarial, por se tratar de uma metodologia que contribui de maneira clara e funcional na diagnose de cenários complexos, independente da instituição em que seja inserida (GHEMAWAT, 2002 *apud* GRAÇA, 2021).

Sua aplicação é realizada, diretamente, por meio do mapeamento de pontos fortes e fracos das organizações, sendo comumente avaliados os seus fatores internos e externos, com a finalidade, principal de auxiliar no desenvolvimento de estratégias, fluxos de informações, tarefas e sistemas de integração. A eficiência da análise é percebida quando são destacados os seus benefícios, uma vez que o método é baseado numa metodologia simples, de baixo custo, flexível, com poder de compactação de ideias e colaboração entre funcionários de diversas áreas (KOTLER; KELLER, 2006 *apud* SCHERER *et al.*, 2020).

Essa metodologia possibilita a visualização dos elementos que contribuem (forças e oportunidades) e dos que comprometem (ameaças e fraquezas) o desempenho das empresas. De modo geral, ela é aplicada para promover uma análise de cenários e contextos diversos, com o objetivo de compilar todos os dados em uma única matriz e assim facilitar a visualização das características que fazem parte da sigla, de acordo o contexto analisado segundo (ANDRADE; AMBONI, 2010, SILVEIRA, 2001 *apud* SCHERER *et al.*, 2020).

A FIG. 10 traz a representação esquemática de como deve ser elaborada a matriz *SWOT* 2 x 2 aplicada às organizações:



Fonte: Imagem disponível no site Share³

Segundo Castro (2019), a partir dos estudos de Híjar (2014), Ferrell e Hartlines (2012), Jhonson; Scholes e Whittington (2006) e Hitt; Ireland; Hoskisson, (2015), no que tange à aplicação da metodologia *SWOT*, há que se ter muito cuidado na diferenciação de fatores, internos e externos. Isso porque os internos estão diretamente relacionados a indústria ou empresa em questão, referindo-se, de imediato, à disponibilidade de recursos e organização política e às características únicas da empresa, enquanto os externos envolvem conceitos, demográficos, econômicos e, principalmente, sociais. De acordo com a autora

Certamente, uma das limitações desta análise é a subjetividade e ambiguidade na percepção de quem a realiza. Deve-se evitar os pré-conceitos e brechas que lhe imprimem certos pareceres de caráter subjetivo na determinação de fatores, posto que podem induzir a um mal diagnóstico e interpretação (HÍJAR, 2014, *apud* CASTRO, 2019).

Recomenda-se, ainda que, para além da análise da matriz SWOT, sejam também realizadas avaliações cruzadas em sua matriz, pois essas avaliações servirão de análises complementares dos contextos internos e externos e seus diversos significados

³ Imagem disponível em: <https://portal.tudodeshare.com.br/social-media/e-se-voce-aplicasse-a-matriz-swot-para-compor-a-estrategia-da-sua-atuacao-digital/>. Acesso em: 05 fev. 2024.

no ambiente organizacional (FERNANDES, 2012; RODRIGUES *et al.*, 2016, *apud* CASTRO, 2019).

Fernandes (2012, *apud* CASTRO, 2019) exemplifica de maneira bem objetiva a aplicação da matriz *SWOT*, a partir dos seguintes conceitos:

- Quadrante I (*Strengths*) - Indica a existência de uma ação ofensiva, ou seja, forças que podem ajudar;
- Quadrante II (*Weakenesses*) - São forças com capacidade defensiva, mas que em longo prazo podem inviabilizar o processo;
- Quadrante III (*Opportunities*) - Indica debilidade ofensiva e vulnerabilidade, o quanto as fraquezas podem inviabilizar as oportunidades;
- Quadrante IV (*Threats*) – Vulnerabilidade tecnológica, o quanto isso pode amplificar o efeito das ameaças, tornando o processo insustentável.

6 DOCUMENTOS LEGAIS E NORMATIVOS QUE ORIENTAM A CODISPOSIÇÃO DE ESTÉREIS E REJEITOS

O rompimento das barragens de Fundão em 2015 e Córrego do Feijão em 2019, ambas em Minas Gerais e envolvendo a liquefação de barragens alteadas a montante, fizeram com que houvesse uma mobilização significativa nas legislações nacionais, fossem elas da esfera federal ou estadual. Essas mudanças sugerem desde a criação de projetos de disposição alternativos, até adequação dos critérios de segurança e ou descaracterização de barragens que oferecem alto risco de dano potencial às comunidades adjacentes e ao meio ambiente. A relação das principais atualizações das legislações nacionais e estaduais (Minas Gerais), podem ser observadas nos quadros 3 e 4 a seguir.

Quadro 3 - Mudanças de legislação na esfera federal

<p>Portaria ANM Nº 70.389/2017</p>	<p>Em maio de 2017, foi fixada pela Agência Nacional de Mineração (ANM) a portaria 70.389, que estabelece a Criação do Cadastro Nacional das barragens de Mineração e estabelece as diretrizes para a segurança de barragens de mineração e também inclui um sistema de cadastro de barragens. Diante dessa iniciativa, o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), estabeleceu entre outros pontos importantes, os destacados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Criação do Sistema Integrado de Gestão em Barragens de Mineração (SIGBM) • Delimitação dos parâmetros e características de maciços que devem se adequar as exigências da portaria Nº 70.389. • Obrigatoriedade de criação dos Planos de Ação e Emergência para Barragens de Mineração de acordo com a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). • Sistematização de periodicidades, sejam elas: de apresentação de Planos de Segurança de Barragem, Relatórios de Inspeções de Segurança Regular - RISR ou Especiais, capacitação do corpo técnico da empresa detentora da barragem e também a entrega de Planos de Ação e Emergência de Barragens de Mineração.
<p>Resolução ANM 13/2019</p>	<p>Em 08 agosto de 2019, a ANM estabeleceu a resolução 13/2019, documento este que destacou medidas regulatórias e específicas a fim de assegurar a estabilidade das barragens de mineração, alteadas a montante ou por método declarado como desconhecido. Dentre as principais medidas destacam-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proibição da construção ou alteamento de barragens pelo método a montante; • Proibição, por parte dos empreendedores, responsáveis por quaisquer tipos de barragens, de instalar ou manter qualquer obra dentro da poligonal outorgada para fins de instalação de barramento ou Zona de Autossalvamento (ZAS), • A desativação de todo e qualquer tipo de estrutura já construída dentro da poligonal ou nas ZAS, de acordo com item anterior, até o mês de outubro de 2019. • Descaracterização de todas as barragens alteadas pelo método a montante até agosto de 2022, ficando o empreendedor responsável por apresentar o projeto de descaracterização até o ano de 2019. • Implementação de um plano de monitoramento automatizado, para todas as barragens inseridas no PNSB que estejam classificadas com Dano Potencial Alto – DPA.

<p>Lei Federal Nº14.066/2020</p>	<p>No dia 30 de setembro de 2020, foi oficializada a Lei Nº14.066/2020, que alterou significativamente a Lei de Nº 12.334 de 2010 que estabelece o Plano Nacional de Segurança de Barragens – PNSB, tornando mais rigorosos os critérios de segurança de barragens e aumentando o valor das penalidades mediante a descumprimento das normas atualizadas. Como conseguinte adicionou importantes determinações para empreendimentos que possuem barragens alteadas a montante, tais como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proibição da construção ou alteamento de barragem pelo método a montante; • Exigência dos Planos de Ação e Emergência de Barragens de Mineração – PAEBM e Planos de Segurança de Barragens – PSB, regularmente atualizado e aprovado por responsáveis técnicos. • Atualização na classificação de riscos e Dano Potencial Associado, considerando os impactos ambientais e perdas de vidas; • Modificação da Lei 7.797 de 1989, criando o Fundo Nacional do Meio Ambiente - FNMA, onde eu ser Art.5º, traz como premissa a exigência de que haja a recuperação de áreas degradadas por acidentes de ou desastres ambientais.
<p>Resolução ANM 85/2021</p>	<p>Em 02 de dezembro de 2021, a Agência Nacional da Mineração – ANM, estabeleceu a portaria de Nº85/2021 que estabelece os procedimentos para o aproveitamento de rejeitos e estéreis, já depositado em pilhas e barragens. Essa norma se tornou uma ferramenta importante, pois destaca os resíduos como subprodutos da mineração e aponta a possibilidade do reaproveitamento como uma atividade sustentável dos recursos. São destaques da nova portaria os seguintes pontos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Benefícios ambientais, uma vez que o reaproveitamento demandará uma atividade cíclica a partir de produtos já lavrados. • Sustentabilidade de processos • Isenção de nova outorga para licenciamento, quando não são caracterizadas novas substâncias a serem recuperadas; • Exigência de um Plano de Aproveitamento Econômico – PAE, da recuperação, uma vez que se pode aumentar o volume da recuperação em relação ao PAE inicial.

Quadro 4 - Mudanças de legislação na esfera estadual (Minas Gerais)

<p>Deliberação normativa COPAM Nº 210 DE 21/09/2016</p>	<p>No dia 27 de setembro de 2016, o Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais - COPAM, emitiu a normativa de Nº 210, que, define critérios de licenciamento para as atividades de disposição de rejeito e estéril da mineração em cava de mina e de reaproveitamento desses materiais quando dispostos em pilha, em barragem ou em cava e altera dispositivos da Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de setembro de 2004, que estabelece critérios para a classificação de empreendimentos e atividades que modificam o meio ambiente, de acordo com porte e potencial poluidor.</p> <p>Essa iniciativa, que precedeu a resolução ANM 85/2021, publicada 5 anos mais tarde, fez com que o estado de Minas Gerais desse um grande salto em direção a atividades sustentáveis na mineração, pois elencou entre outros pontos orientações que visam:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Especificidades para licenciamento ambiental para a disposição dos resíduos de mineração, com vistas a diminuir os impactos ambientais; • Reaproveitamento de materiais, promovendo uma gestão mais equilibrada e sustentável de recursos; • Categorização e classificação das atividades, tendo em vista códigos específicos para a disposição de rejeitos e estéreis e seus respectivos reaproveitamentos, com base no potencial poluidor e porte de cada uma das operações.
<p>Lei estadual Nº23291 de 2019</p>	<p>Exatamente um mês após o rompimento da barragem Córrego do Feijão, de propriedade da Vale S.A, o governo de Minas Gerais criou a Lei Nº 23.291, que instituiu a Política Estadual de Segurança de Barragens, em complemento a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB. Nesta nova lei destacam-se pontos relevantes como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proibição do alteamento e construção de barragens pelo método a montante; • Exige, diante de não esgotadas as circunstâncias, que o Estudo de Impacto Ambiental priorize sempre pela utilização de alternativas que foquem nas técnicas voltadas para operações com rejeito desaguado, vetando assim a acumulação de rejeitos temporária ou final em barragens; • Destaca as responsabilidades da mineradora, que vão desde o planejamento até a desativação da barragem; • Criação da modalidade trifásica para a instalação, operação ou manutenção de barragens, sendo assim, obrigatoriamente, exigidas as apresentações de: Estudos de Impactos Ambientais – EIA, Relatório de Impactos Ambientais – RIMA, e etapas de Licença Prévia – LP, Licença de Instalação LI e Licença de Operação – LO;

	<ul style="list-style-type: none"> • Fiscalizações e licenciamento dos ativos, que passam a ser de competência dos órgãos do Sistema Estadual de Meio Ambiente – SISEMA; • Classificação de barragens já existentes, quando ao seu dano potencial, ambiental, capacidade do reservatório e tipo de resíduo ali depositado; • Cadastro de inventário de auditorias de barragens, realizados dentro de cada ano.
<p>Resolução conjunta SEMAD/ FEAM Nº 2.784/2019</p>	<p>Em 21 de março de 2019, foi promulgada a resolução conjunta entre a Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD e a Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM de Nº 2.784, em ato de resposta aos rompimentos de barragens ocorridos no estado de Minas Gerais. Essa medida, determina a descaracterização de todas as barragens de contenção de rejeitos alteadas a montante no estado de Minas Gerais, a fim de garantir e aumentar a segurança desses ativos e reduzir os impactos ambientais e de perdas de vidas que acidentes deste porte promovem. Os principais pontos descritos na resolução são:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obrigatoriedade da desativação e descaracterização de barragens alteadas a montante; • Atribuição de prazos para a apresentação à FEAM, de planos de descaracterização por parte dos empreendedores; • Atribui ao empreendedor a responsabilidade de fiscalizar as barragens periodicamente. • Atribui ao empreendedor a responsabilidade de notificar a FEAM e a ANM, o término da descaracterização e a apresentação de documentos técnicos que comprovem o cumprimento das diretrizes da normativa.

Fonte: Organização do autor.

6.1 MUDANÇAS PONTUAIS EM NORMAS BRASILEIRAS JÁ EXISTENTES

Concomitante as mudanças nas legislações, houveram também alterações significativas nas normativas que orientam a disposição de rejeitos e estéreis. Trata-se, respectivamente da ABNT - NBR 13028 (2017) e ABNT- NBR 13029 (2017), ambas foram alteradas de modo a adotar critérios do ponto de vista mais conservadores em relação a projetos de disposição alternativos.

Atualmente, os projetos de codisposição e disposição compartilhada de estéreis e rejeitos, material de estudo deste trabalho, não possuem uma normativa que orienta a realização desta técnica em específico, por se tratar de uma metodologia, até alguns

anos, pouco empregada e que ganhou notoriedade após o rompimento das barragens em Minas Gerais. O fato de ainda não existirem normas próprias não elimina a possibilidade de elaboração de projetos deste porte, considerando que o método tem como pré-requisito os parâmetros de elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água - descritos na ABNT NBR 13028 (2017) - e também os parâmetros de elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha, conforme orienta a ABNT NBR 13029 (2017).

Diante disso, as normas de projetos de disposição de rejeitos e estéreis, ainda que isoladas, uma vez que sejam bem observadas, garantem as condições de operação e construção das obras de codisposição, dentro do que expressam as principais legislações atualizadas nas esferas estadual e federal, conforme supracitado no tópico anterior. O quadro 5 destaca as principais alterações realizadas nas normas.

Quadro 5 - Atualizações nas normas regulamentadoras

Norma	Alterações feitas em 2017
<p>NBR 13028/2006 - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água — Requisitos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nova critérios relacionados a fatores de segurança para operação de barragens • Alteração no tempo mínimo a ser considerado quando dimensionado o sistema extravasor • Atualização nas definições de termos relacionados a elementos e ações as quais estão sujeitas as barragens e empresas, como por exemplo: nomenclatura técnica e ações eventos de praxe. • Inclusão de investigações e estudos como: Impermeabilização de barragens de acordo com o tipo de material a ser depositado, Estudos sísmicos na área de implantação da barragem, Avaliação geotécnica dos materiais a serem utilizados na construção da barragem e Critérios a serem utilizados para análises de estabilidade de acordo com as condições de drenagem da barragem.
<p>NBR 13029/2006 - Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mudança nos fatores de segurança: quando considerado o risco de ruptura do talude entre bermas, principalmente o da face predominante da rocha; • Dimensionamento das drenagens internas: utilizando-se como base a vazões medidas e calculadas.

Fonte: Organização do autor.

Conforme apresentado, tanto no âmbito legislativo quanto normativo, foram realizadas modificações que buscaram sanar as fragilidades existentes, por parte das mineradoras e empresas de consultorias, no que diz respeito aos projetos de disposição de resíduos, sejam eles de estéreis ou rejeitos de mineração. Essas ações fizeram com que uma série de pré-requisitos e normativas fossem enrijecidos, com base em demandas de órgão do meio ambiente, ministério público e coletivos sociais, ao ponto de impulsionar o setor minerário, a passos largos, a adotar métodos alternativos de disposição de rejeitos, principalmente no estado de Minas Gerais.

7 ESTUDOS DE CASO

Neste capítulo serão apresentados trabalhos disponíveis na literatura nacional, dos últimos anos, que tiveram como objetivo avaliar a metodologia de codisposição e disposição compartilhada de estéreis e rejeitos como uma viabilidade técnica de disposição de rejeitos por parte de unidades mineradoras. Os trabalhos a seguir, em sua maioria foram realizados a nível de dissertação de mestrado e cada pesquisa considerou a singularidade de cada mina ou mesmo do projeto de simulação no qual rejeito e estéreis foram submetidos.

Dessa forma, o objetivo deste capítulo foi reunir de maneira compilada as principais justificativas para a escolha do método, diretrizes e técnicas adotadas ou sugeridas, a fim de reafirmar as iniciativas que se tornam indispensáveis para a viabilização da técnica da codisposição e disposição compartilhada quando cogitadas, considerando os aspectos normativos, atualizados, em cada projeto.

Ao final da revisão dos estudos de caso, tendo em vista uma análise crítica das experiências já vivenciadas pelos pesquisadores, no que diz respeito a cenários de cada mina e, de posse de um conteúdo revisado, serão apresentadas, na seção seguinte, resultados de análises *SWOT* de cada caso, considerando pontos a serem aprimorados e avanços significativos de acordo com a metodologia, ao todo foram revisados quatro trabalhos.

7.1 MINA DE CAPIM I – PROPRIEDADE DA PARÁ PIGMENTOS S.A.

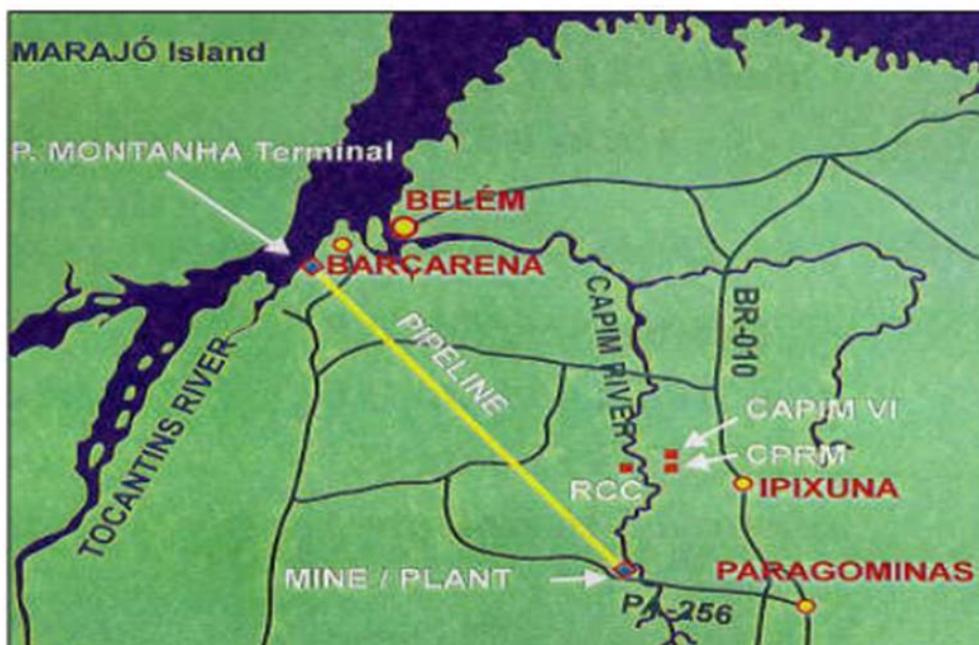
Nesta seção será apresentada a metodologia de codisposição e disposição compartilhada adotada pela mina de Capim I, com base nas considerações e dados

coletados no estudo de caso realizado por Silva (2014), em seu trabalho de dissertação de mestrado.

No trabalho a autora desenvolveu um estudo sobre a viabilidade de implementação do método de codisposição e disposição compartilhada da mina de Capim I, localizada em Ipixuna do Pará, no estado do Pará. Neste contexto, as investigações foram voltadas para realização das técnicas em partes exauridas de uma cava ainda em uso pela mineradora. Todo o projeto foi pensado para que até o ano de 2019 fossem depositados 11,07 milhões de metros cúbicos de rejeito e 22,5 milhões de metros cúbicos de estéreis gerados pela mina no interior da cava, sem a necessidade de licenciamento de novas áreas.

A mina de Capim I é de propriedade da Pará Pigmentos S.A – PPSA e fica localizada no estado do Pará, onde opera desde 1995 com a exploração de Caulim, numa operação de lavra a céu aberto. As etapas iniciais do beneficiamento, como classificação e retirada de contaminantes acontecem no próprio complexo minerário de Ipixuna do Pará, enquanto o sequenciamento do tratamento ocorre no município de Barcarena também do estado do Pará, uma vez que o minério pré-beneficiado é transportado via mineroduto para o local (SILVA, 2014). a FIG. 11 traz uma representação geográfica da rota do minério do complexo.

Figura 11 - Localização do Complexo da Mina de Capim I – Ipixuna - PA



Fonte: Carneiro *et al.* (2003, *apud*, SILVA, 2014)

Basicamente, o beneficiamento de Caulim realizado pela Pará Pigmentos S.A, contempla operações unitárias que realizam as etapas de dispersão, desarenamento (ambos por flotação), centrifugação (hidrociclones), separação magnética, branqueamento, filtragem rotativa e evaporação, a FIG.12 ilustra a vista aérea da planta de beneficiamento da mina de Capim I (SILVA, 2014).

Figura 12 - Vista aérea da usina de beneficiamento de PPSA.

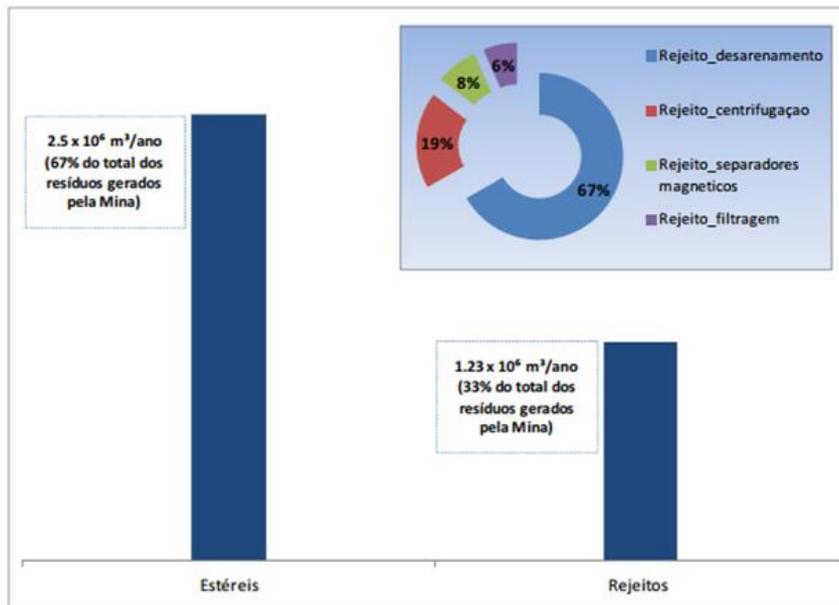


Fonte: PPSA (2012, *apud* SILVA, 2014)

A Mina de Capim I conta com uma reserva medida e indicada de 75 milhões de toneladas de minério o que corresponde a 9,5% das reservas de Caulim do país e representa também 21,83% de toda a produção nacional, segundo o (DNPM, 2012). O Caulim produzido na mina de Capim I, destina-se exclusivamente a indústria de papel, por atender as especificações químicas deste setor industrial (SILVA, 2014).

Em função da litologia local, os agregados minerais, como silicatos hidratados de alumínio e, tendo em vista a proporção de resíduos gerados por ano da mina de Capim I, pode-se afirmar que, a partir de uma produção anual de 600.000 toneladas de Caulim, são registradas respectivamente as gerações de estéreis e rejeitos como 67% e 33% dos resíduos, conforme ilustra a FIG. 13 abaixo.

Figura 13 - Gráfico da geração de resíduos da mina de Capim I



Fonte: Silva (2014)

No projeto de abertura da mina, em 1995, o sistema de disposição de resíduos foi equipado com duas barragens de rejeitos, denominadas B1 e R3 conforme mostra a FIG. 14, responsáveis por receber todo o tipo de rejeito beneficiado na unidade de Capim I.

Figura 14 - Vista aérea da disposição das barragens da Mina de Capim I



Fonte: Silva (2014, modificado)

Os estudos de viabilidade técnica para a codisposição e disposição compartilhada de rejeitos e estéreis, foram realizados a partir da experiência vivenciada pela

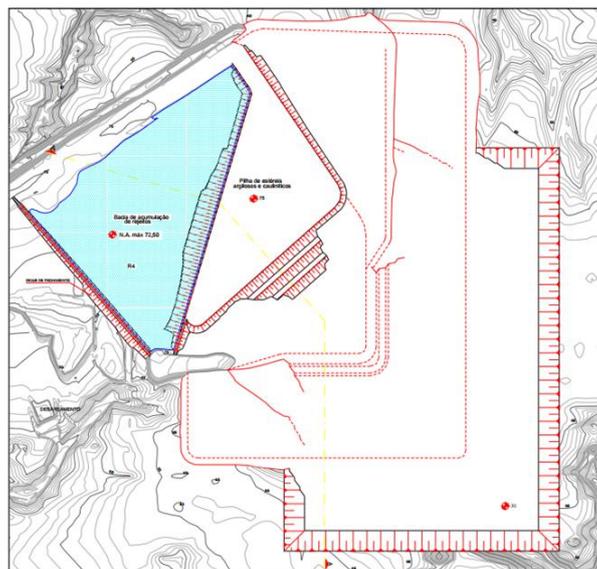
mineradora, no início dos anos 2000, na ocasião foram depositados de forma compartilhada rejeitos e estéreis no interior de uma cava exaurida, em função do exaurimento das barragens B1 e R3, para tanto foram criados diques, para contenção de rejeitos arenosos no interior da cava, criando assim a chamada bacia R4, conforme mostra a FIG. 15 a seguir. O projeto fez com que à época a empresa conseguisse destinar 3,6 milhões de metros cúbicos de rejeitos e 30 milhões de metros cúbicos de estéreis para a estrutura de contenção. As FIG. 16 e 17 representam as seções da estrutura construída na época (SILVA, 2014).

Figura 15 - Vista aérea com destaque para bacia R4

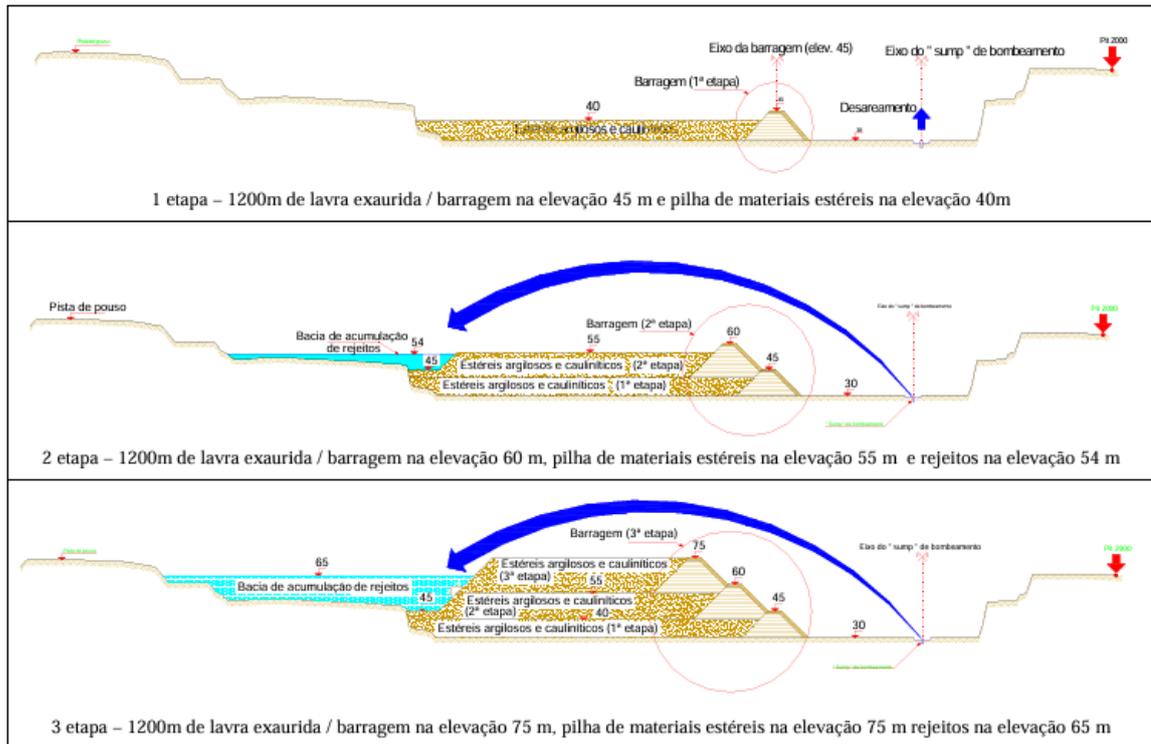


Fonte: Silva (2014, modificado)

Figura 16 - Sistema de codisposição de estéreis e rejeitos em cava exaurida



Fonte: Silva (2014)



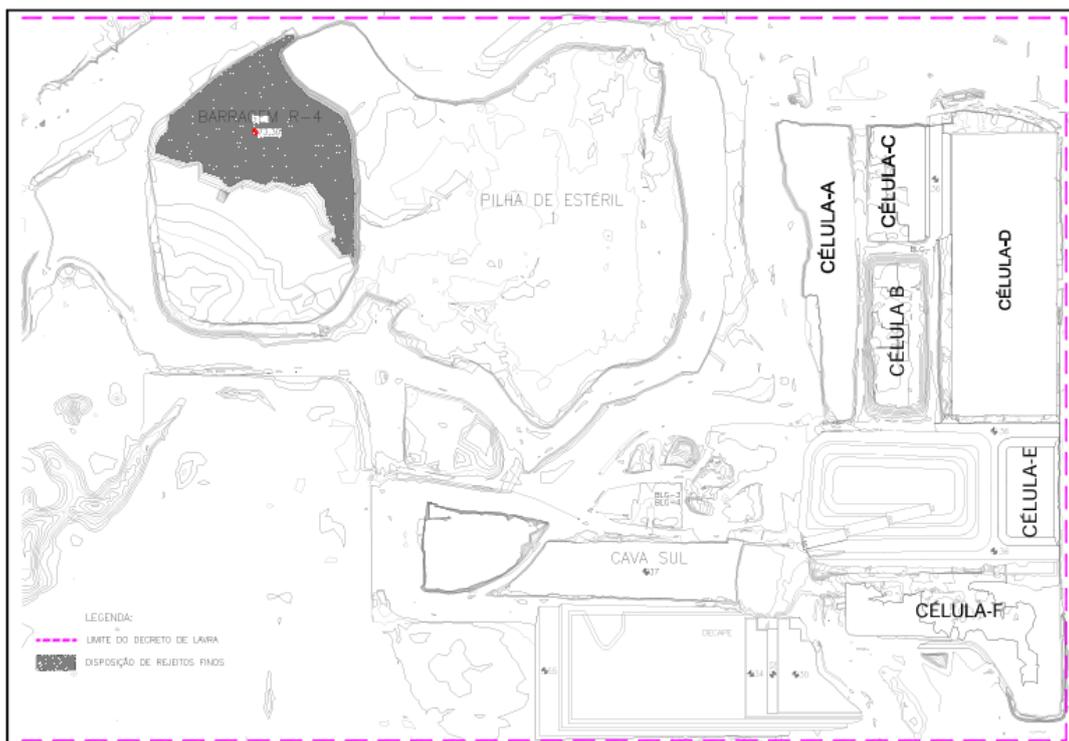
Fonte: Silva (2014)

Tendo em vista o exaurimento da bacia R4 e o sucesso da sistema de disposição no interior da cava nos anos 2000, a mineradora Pará Pigmentos, avaliou no ano de 2010 a possibilidade de codisposição como uma alternativa para a disposição de seus rejeitos e estéreis, concomitantemente às atividades de lavra, por observar uma oportunidade de reaproveitamento de áreas já exauridas, razões financeiras e também já dar encaminhamento à fase de fechamento de mina, no que diz respeito a recomposição topográfica e recuperação de áreas.

O método de codisposição projetado foi o de camadas confinadas, este que mobiliza a criação de células de rejeito que são depositadas em diques, atividade projetada para ser realizada a medida em que novas áreas iam sendo liberadas de acordo com plano de lavra, o rejeito da gerado na mina de Capim I, na ocasião foi depositado em forma de polpa e numa altura média de células de até 3 metros, sendo elas confinadas por uma barragem de material estéril, que teve seu alteamento final limitado aos 29 m, a denominada B2. Todo o projeto foi pensado para que até o ano de 2019 fossem depositados 11,07 milhões de metros cúbicos de rejeito e 22,5 milhões de metros cúbicos de estéreis gerados pela mina no interior da cava, sem que houvesse a necessidade de licenciamento de novas áreas (SILVA, 2014).

O método foi planejado em momentos, de modo que a disposição em camadas nas regiões disponíveis da cava foi distribuída em seções e setores que variavam de A a F, conforme desenho esquemático da FIG. 18, essas foram justificadas pelo fato de os levantamentos técnicos mostrarem que nem todo rejeito foi considerado material para ser utilizado no projeto e também por haver a necessidade da criação de bacias de clarificação na unidade de PPSA.

Figura 18 - Configuração das células de lavra



Fonte: Silva (2014)

As principais etapas do projeto tiveram como premissas básicas:

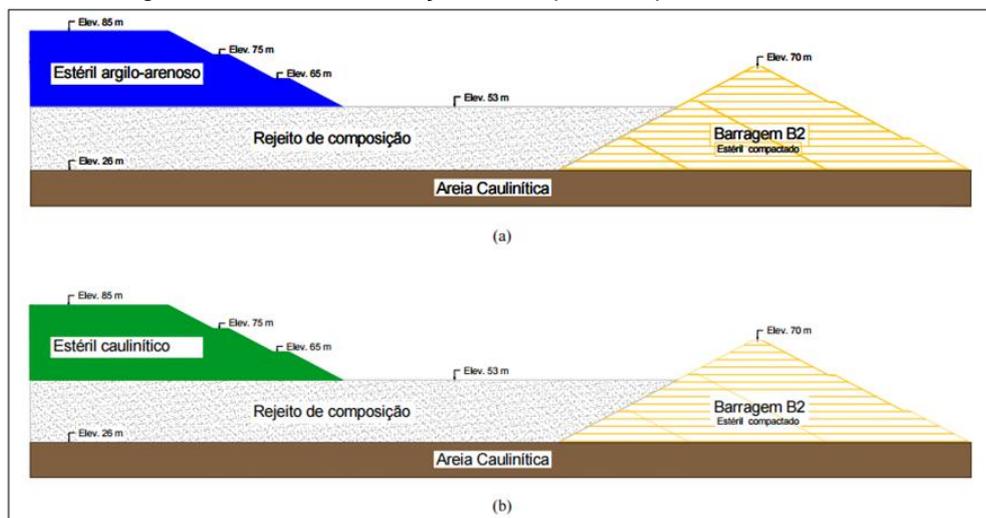
- A deposição dos rejeitos de desarenamento e centrifugação nas células temporárias, criadas nas cavas, à medida que iam sendo exauridas durante a atividade da mina;
- Rejeitos finos, oriundos das etapas posteriores do beneficiamento, continuariam sendo depositados na bacia R4;
- A barragem B2 passaria por uma sucessão de alteamentos a partir da cota 29 m;

- Materiais estéreis, serão dispostos a partir da elevação 53 m do reservatório de rejeitos sedimentados no interior da barragem B2;
- Sobre os rejeitos sedimentados será criada a pilha de estéreis com a elevação máxima de 85 m.

As FIG. 19 e 20, demonstram esquematicamente as etapas de alteamento previstas para ocorrer até 2025 de acordo com a projeto de codisposição e áreas que segundo o planejamento de lavra da PPSA estarão disponíveis.

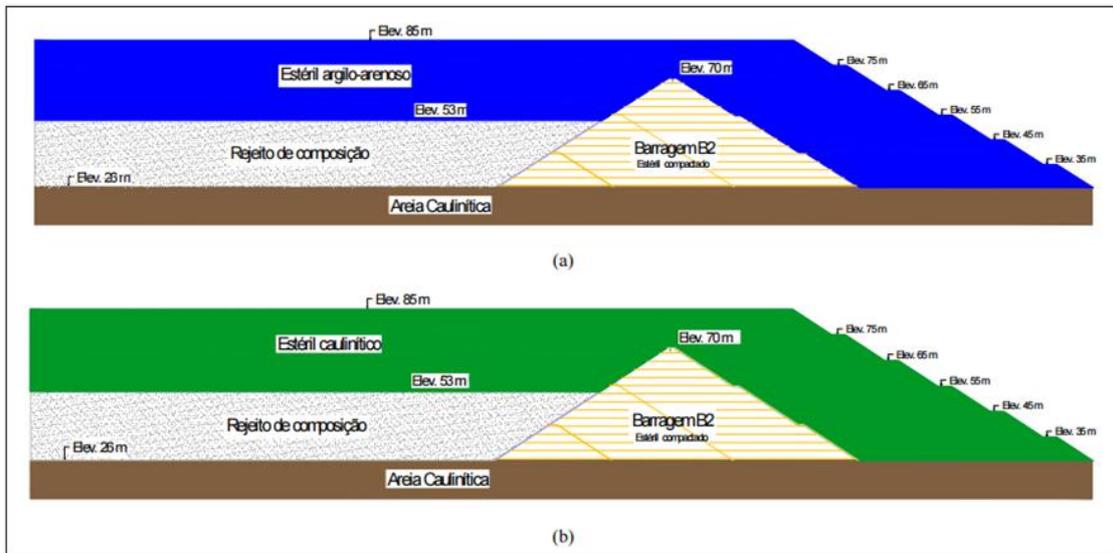
As seções típicas dos momentos críticos previstos pelo projeto da consultoria, podem ser observadas nas FIG. 19 e 20 a seguir, elas projetam a relação de altura final prevista para depósito de rejeitos, nessa etapa serão realizadas as deposições de estéreis, podendo ele ser do tipo caulinitico ou argilo-arenoso, a partir do nível 53 m do reservatório e posteriormente o projeto de término de lavra, exaustão de células e geometria final da pilha, etapa está prevista pra ocorrer no ano de 2025 (SILVA, 2014).

Figura 19 - Sistema I - Seção crítica prevista para o ano de 2019



Fonte: Silva (2014)

Figura 20 - Sistema II – Seção típica prevista para o ano de 2025



Fonte: Silva (2014)

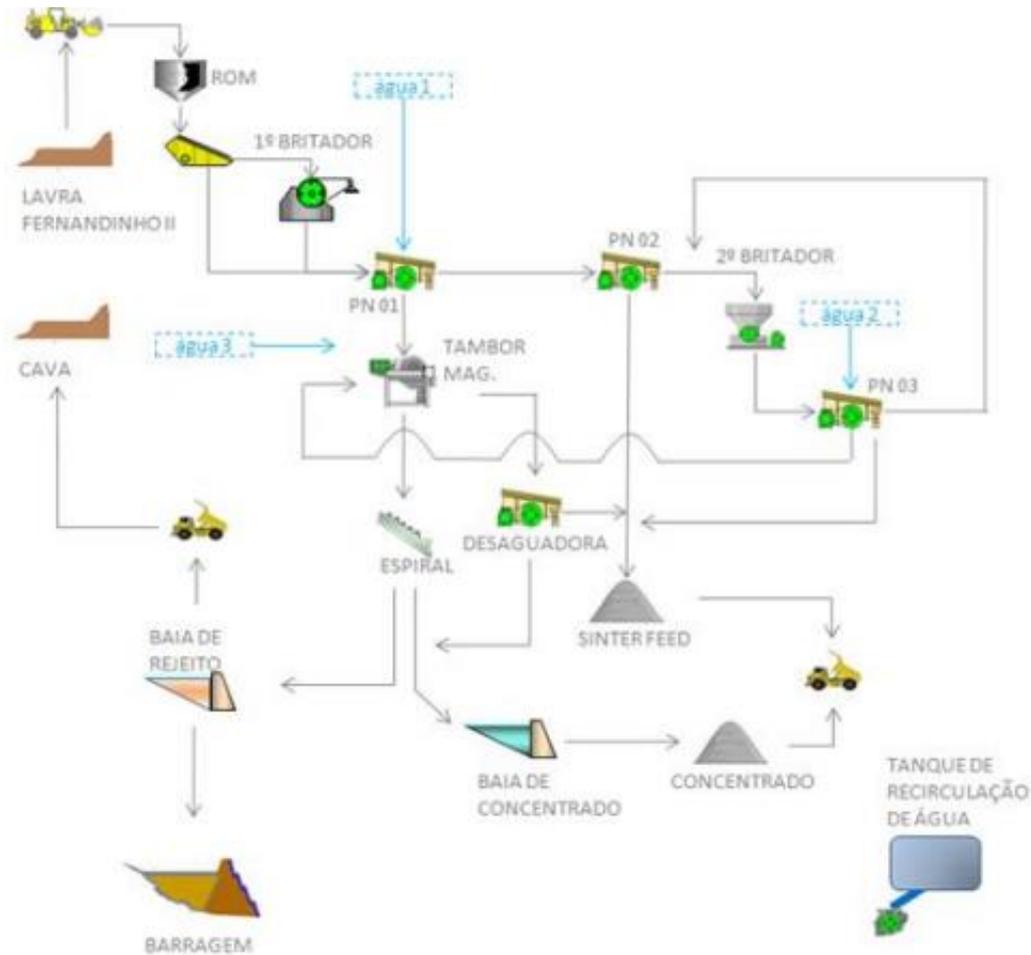
Todo o projeto de codisposição da mina de Capim I, foi orientado pelos princípios geotécnicos da mecânica dos solos clássica, com algumas ressalvas para as análises de rejeitos, por ser um material que não conserva características naturais como os estéreis. No entanto, para o projeto de codisposição na cava exaurida de Capim I foram considerados rejeitos aplicáveis ao projeto, somente os oriundos do desarenamento e da centrifugação, por serem considerados grossos (SILVA, 2014).

7.2 MINA DE FERNANDINHO - PROPRIEDADE DA CSN

Nesta seção será apresentada a metodologia de codisposição adotada pela mina de Fernandinho, com base nas considerações e dados coletados no estudo de caso realizado por Carvalho (2017).

A Mina de Fernandinho é um empreendimento de propriedade da Minérios Nacional S.A e, fica localizada a aproximadamente 25 km de Belo Horizonte, nas proximidades do município de Rio Acima. Sua principal atividade é lavra e beneficiamento de minério de ferro, sendo a lavra realizada pelo método a céu aberto (CARVALHO, 2017). O processo de beneficiamento do minério da mina de Fernandinho é composto basicamente pelas operações unitárias de: britagem primária, secundária, concentração magnética e classificador espiral conforme mostra o fluxograma representado na FIG. 21.

Figura 21 - Fluxograma atual do processo de beneficiamento da mina de Fernandinho



Fonte: Carvalho (2017)

Os rejeitos, gerados no processo de beneficiamento atual, são depositados em baias de secagem em forma de polpa, contendo em média 30% de sólidos, essas baias possuem dimensões que chegam a ser de 130 m de comprimento por 4 m de largura, e tem por finalidade a realizar a decantação e segregação física desses resíduos, rejeitos e efluentes. Uma vez decantados, os resíduos podem ter até três destinos, sendo eles: a remoção por escavadeiras e deposição ao lado da baia para a realização do processo de desaguamento, o segundo é o carregamento, por caminhões, até a área da pilha de rejeitos para ser empilhado e por fim, a terceira operação é voltada para a rota natural do efluente em direção as barragens da mina de Fernandinho (CARVALHO, 2017)..

A pilha de rejeito a seco, supracitada, denominada SD-02, é a estrutura responsável por receber os rejeitos atuais, gerados na planta de beneficiamento da mina

de Fernandinho, ela foi gerada com o próprio rejeito. A geometria da pilha é delimitada da seguinte maneira: altura máxima de 47m, inclinação global dos taludes de 21°. A pilha possui bancadas e bermas que têm em média 10,0 m de altura e 7,0 m de largura, respectivamente, o ângulo de face das bancadas é de 34°. A pilha ocupa uma área de 112.443,00 m² e possui uma capacidade volumétrica de 942.220,00 m³ de rejeitos.

A viabilidade técnica da codisposição na mina de Fernandinho, surgiu a partir da exaustão da capacidade de acumulação das barragens existentes no empreendimento e mediante a apresentação do projeto de implantação de melhorias da usina de beneficiamento de minério, que visava a expansão da usina com duas novas plantas, sendo elas. De acordo com o projeto de ampliação futuro da mina de Fernandinho, estão previstas para serem realizadas as seguintes mudanças (CARVALHO, 2017)..

- Criação da planta de concentração de finos – serão beneficiados novamente os rejeitos do processo e da pilha de rejeitos secos, já existente. Para tanto, serão adicionadas as etapas de concentração magnética de alto campo e desaguamento do rejeito, por meio do uso de peneiras e ciclones. As principais informações relacionadas a geração de rejeitos futuros dessa planta são as seguintes:

- % Sólidos (em peso): 85% (água:15%)
- Umidade (base seca): 17,6%
- Produção de rejeito (volume): 0,64 Mm³/ano

- Planta de concentração para os itabiritos - Nesta planta estarão concentradas as operações unitárias responsáveis pela moagem, classificação, deslamagem, concentração, espessamento, filtragem e desaguamento do rejeito de flotação por meio de ciclonagem e filtros. Os rejeitos obtidos nesta planta são de dois tipos: os finos que irão para a barragem e os grossos que serão depositados em pilhas de codisposição. As principais informações relacionadas a geração de rejeitos futuros dessa planta são as seguintes:

- % sólidos (em peso): 85% (% água: 15%)

- Umidade (base seca): 17,6%
- Produção de rejeito (volume): 3,28 Mm³/ano

De posse dessas informações, ficaram registradas que as capacidades de geração de rejeitos das duas novas plantas, que somadas serão de 3,92Mm³/ano. Todo esse resíduo está previsto para ser depositado de acordo com o novo método, o da codisposição.

A partir dos levantamentos prévios realizados com as amostras de rejeitos, ainda nas plantas piloto das novas usinas, foram apresentadas duas alternativas de codisposição e disposição compartilhada de rejeitos. Ambos os projetos apresentados delimitaram a região central da mina de Fernadinho como a região mais apropriada para a instalação da pilha, por considerar a região um setor ausente de elementos naturais relevantes e já conter instalações como pilha de estéril, bacias de contenções de sedimentos, barragens desativadas e *Sumps* (CARVALHO, 2017). A vista aérea da área onde será localizada a pilha está representada na FIG. 22.

Figura 22 - Arranjo geral e localização da pilha de disposição compartilhada



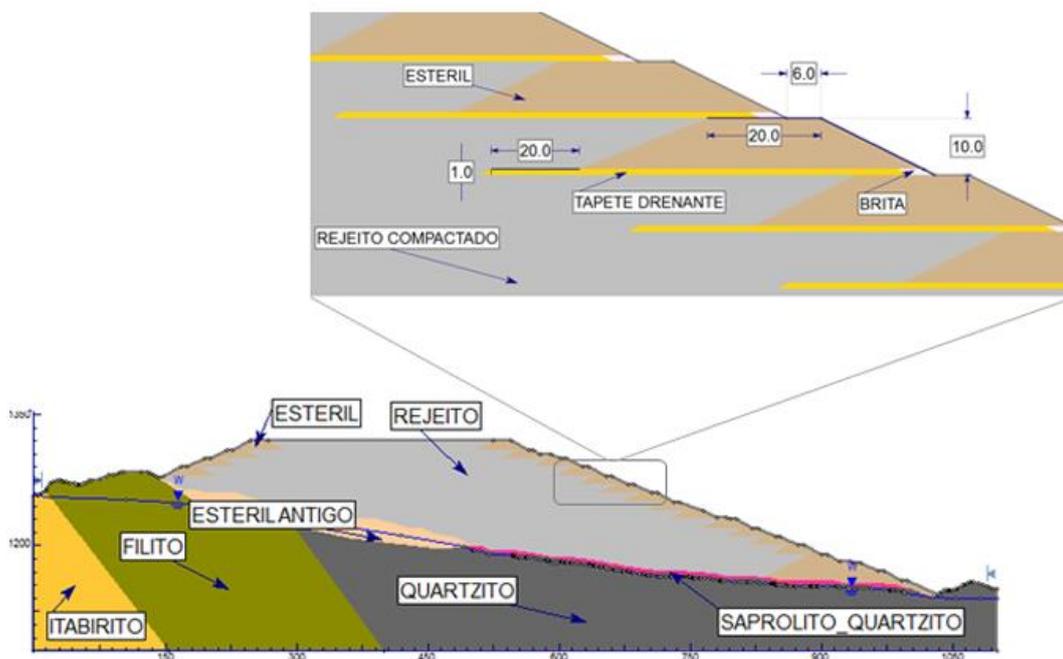
Fonte: Carvalho (2017)

Os materiais que serão utilizados na formação de ambas as pilhas serão, estéreis com características granulométricas finas e rejeitos que apresentam de acordo com as análises realizadas, uma granulometria de areia siltosa. A geometria final do projeto, abrangerá uma altura máxima de 175,5 m de elevação, área total de 574,456 m² e uma capacidade de acumulação de rejeitos e estéreis de 24Mm³, sendo 16,4Mm³ de rejeitos e 7,6Mm³ de estéreis (CARVALHO, 2017).

7.2.1 Alternativa 1 de disposição compartilhada de rejeitos e estéreis.

A primeira alternativa de disposição compartilhada apresentada, é do tipo de disposição onde os rejeitos serão confinados por diques de estéril de 10 m de altura e 20m de comprimento, sendo os rejeitos previamente desaguados e depositados a montante dos diques sob forte controle de compactação. A estrutura da pilha contará também com tapetes drenantes instalados na base de casa dique, que atuarão como elementos de facilitação da drenagem da pilha (CARVALHO, 2017). A representação gráfica do arranjo final da alternativa 1 de disposição compartilhada, pode ser observado na FIG. 23 abaixo:

Figura 23 - Alternativa 1 – Seção típica e detalhamento

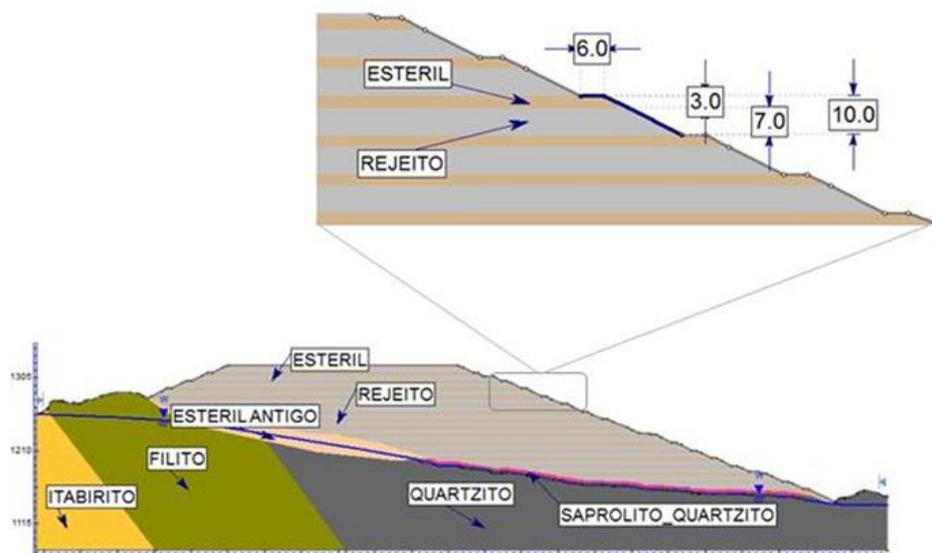


Fonte: Carvalho (2017)

7.2.2 Alternativa 2 de disposição compartilhada de rejeitos e estéréis

Na segunda alternativa apresentada, o arranjo da pilha projetada foi o de disposição em camadas, tendo os bancos do talude 10 m de altura, onde desses 10 m, 7 serão constituídos de rejeitos enquanto os outros 3 m serão de estéril. Nesse arranjo, a medida em que forem sendo constituídos os bancos, serão reservados 6 m de largura para cada berma e dispensados os drenos internos por considerar o contato direto entre rejeitos e estéréis (CARVALHO, 2017). A representação gráfica do arranjo da pilha alternativa 2, está representado na FIG. 24.

Figura 24 - Alternativa 2 – Seção típica e detalhamento



Fonte: Carvalho (2017)

7.3 MINA SERRA AZUL – PROPRIEDADE DE ARCELORMITTAL

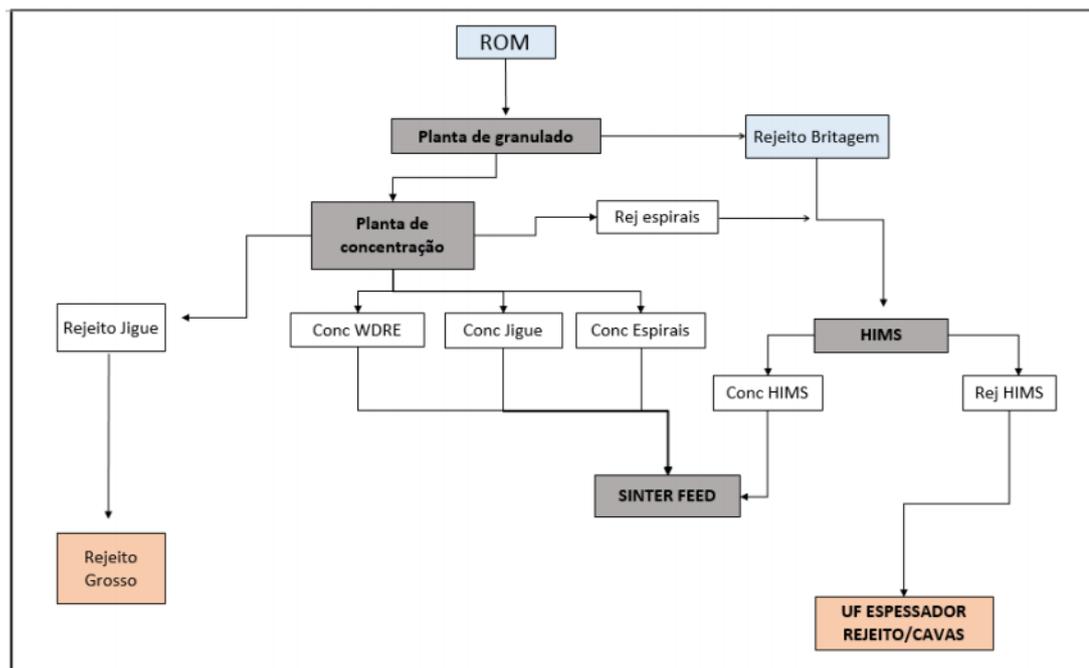
Nesta seção será apresentada a metodologia de codisposição adotada pela mina Serra Azul, com base nas considerações e dados coletados no estudo de caso realizado por Mohallen (2018).

A mina de Serra Azul é um empreendimento da ArcelorMittal - AMMSA, que opera desde os anos de 1930 na região nordeste do município de Itatiaiuçu, Minas Gerais. A localização da mina, fica a aproximadamente 63Km de Belo Horizonte, através da

Rodovia BR - 381, Fernão Dias. As atividades de exploração da mina são do tipo, lavra a céu aberto do minério de ferro, que ocorre em bancadas descendentes e os desmontes são alternados entre mecânicos e com explosivos.

Por se tratar de uma empresa de médio porte, os dados de produção e recuperação da mina, mostram uma capacidade de movimentação atual de 1000 t/h, sendo de aproximadamente 45,5% e 54,5% de estéril e minério, respectivamente. As principais operações unitárias da planta de beneficiamento da mina de Serra Azul são as de: britagem, peneiramento e concentradores espirais para a classificação granulométrica e concentradores do tipo jigge e hidrociclones, para a recuperação de finos e superfinos (MOHALLEN, 2018). A FIG. 25, representa de maneira simplificada o fluxograma da usina de beneficiamento da AMMSA.

Figura 25 - Fluxograma de beneficiamento da planta de concentração da mina de Serra Azul



Fonte: Mohallem (2018)

O sistema de disposição de rejeitos da Mina de serra Azul passou por mudanças significativas desde o seu projeto em 1935, essas mudanças ocorreram a partir de modificações na planta de beneficiamento e principalmente pelo mercado do minério. Durante décadas o minério comercializado pela ArcelorMital era o do tipo granulado (*lump ore*), o que demandava apenas as operações de britagem e peneiramento, posteriormente a mina passou a operar com britagem e peneiramento a úmido,

momento em que surge a primeira barragem de contenção de rejeitos da empresa. Neste novo cenário somente os finos eram depositados na barragem enquanto os rejeitos grossos, chamados *pseudo-sínter* eram depositados em pilhas (MOHALLEN, 2018).

A partir de 2008, foi inaugurada a planta de concentração de finos e iniciada a lavra da pilha de *pseudo-sínter*. Esses acontecimentos fizeram com que aumentassem exponencialmente a geração de lama da usina, sendo empilhados apenas os rejeitos oriundos do processo de jigagem da empresa. O que correspondia a 10% do rejeito total na época.

No ano de 2009, diante das consequências das modificações da planta, uma projeção de exaustão da barragem existente e o aquecimento de mercado, a AMSSA, buscou por novos métodos de disposição de rejeitos, naquele momento, a alternativa mais alinhada com as expectativas da empresa, foi a de adotar o empilhamento drenado. Durante o período de estudos para a implantação do método a empresa se mobilizou também, para construção de baias para a disposição de finos para secagem e a também a utilização de cavas exauridas para a disposição temporária, quando começaram a ser percebidas demoras para a secagem das baias (MOHALLEN, 2018).

A metodologia de codisposição e disposição compartilhada de rejeitos e estéreis, foi proposta pela AMMSA somente a partir de 2012, com o objetivo de reduzir custos de transportes, eliminação de barragens, construção de uma pilha que ofereça menos riscos geotécnicos, utilização de áreas já exauridas, maior flexibilidade na aquisição de licenças ambientais, utilização de áreas sob domínio da ArcelorMital e aplicação do projeto em curto prazo. No contexto da mina de Serra Azul a técnica apresentada foi o da disposição compartilhada, sendo o rejeito da disposição depositado de maneira drenada e confinado em diques (MOHALLEN, 2018). Para a concepção do projeto, foram realizados levantamento dos balanços de massas futuros e para serem avaliados os limites do novo depósito. Sendo eles.

- ROM: 3,53 Mt/ano
- Granulado: 0,4 Mt/ano
- Sínter feed: 1,42 Mt/ano
- Rejeito: 1,71 Mt/ano

O Arranjo final da pilha projetada, foi planejado a partir da execução de “berços”, a serem construídos com o próprio rejeito da mina, porém contendo granulometrias diferentes, sendo estas alternadas entre grossa e fina. Todo o material utilizado na pilha são produtos de uma etapa de hidrociclonagem instalada na própria barragem e rejeitos da etapa de jigagem da planta (MOHALLEN, 2018).

Com uma projeção da capacidade de armazenamento de 931.535m³ de rejeitos de *underflow*, 563.140m³ de rejeitos de *overflow* e 516.869 m³ de rejeitos de jigues. O sequenciamento geométrico da pilha foi elaborado para ocorrer da maneira que os chamados “berços”, serão compostos por camadas de *overflow* e *underflow* depositadas alternadamente a cada 0,5 m, até a formação de bancos limitados a 10 camadas, totalizando uma altura de 5 m, conforme ilustra a FIG. 26 abaixo.

Figura 26 - Arranjo geral da metodologia construtiva do empilhamento drenado

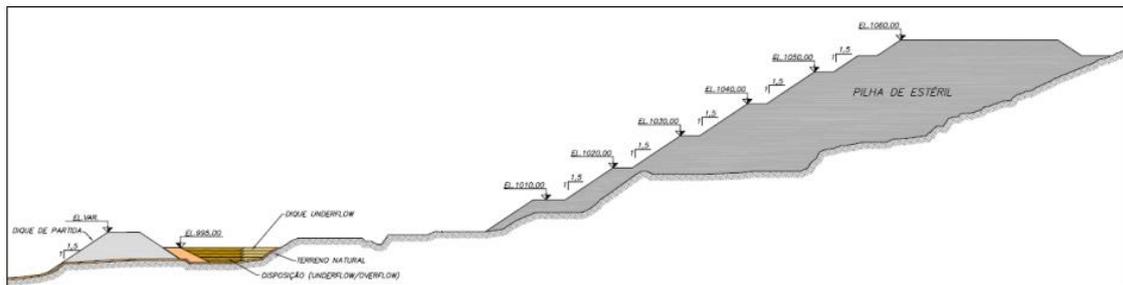


Fonte: Mohallem (2018)

Nas extremidades dos berços, serão construídas camadas de contenção lateral com 1,0 m de altura cada, de puro material *overflow*. Os dois estágios iniciais de elevação dos berços da pilha serão confinados por um dique de partida executado com material itabirítico compacto e isolado, proporcionando um contato direto com os berços por uma camada de 5m, de rejeito de jigsawes (MOHALLEN, 2018).

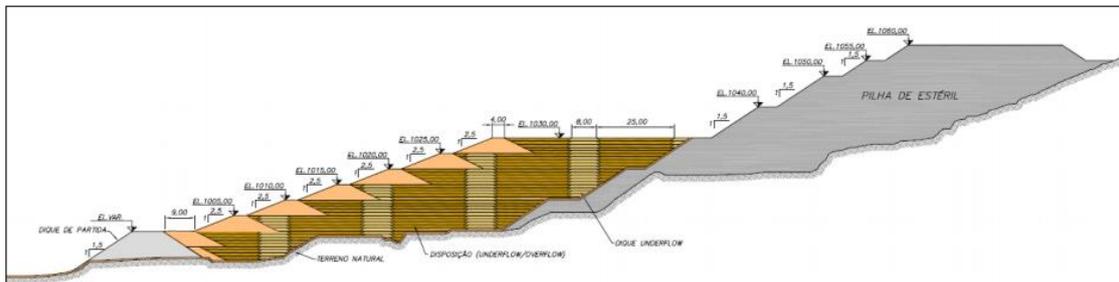
O procedimento de construção de berços será realizado de maneira sucessiva e ascendente até que a pilha atinja os 70 m de altura, totalizando 8 berços e recobrindo parcialmente a pilha de estéreis da mina de Serra Azul. Um esquema geométrico do arranjo da pilha pode ser analisado nas FIG. 27 e 28, nas suas fases inicial e final.

Figura 27 - Esquema de execução do primeiro berço do empilhamento drenado



Fonte: Mohallem (2018)

Figura 28 - Esquema do arranjo geral do empilhamento drenado na elevação 1.030,0 m



Fonte: Mohallem (2018)

7.4 MINA PAU BRANCO – PROPRIEDADE VALLOUREC

Nesta seção será apresentada a metodologia de codisposição adotada pela mina Pau Branco, com base nas considerações e dados coletados no estudo de caso realizado por Silva (2020), em seu trabalho de dissertação de mestrado.

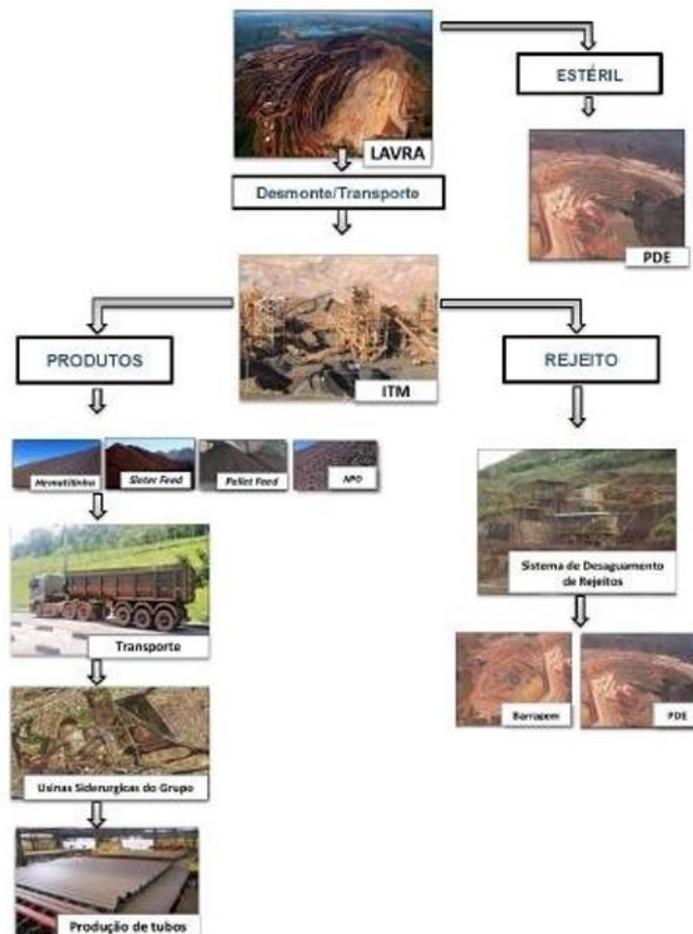
A Mina Pau branco é um empreendimento de propriedade da Vallourec Mineração LTDA, localizada no estado de Minas Gerais entre os municípios de Nova Lima e Brumadinho-MG e aproximadamente 30 km da capital Belo Horizonte. Suas atividades minerárias foram iniciadas nos anos de 1981, pela Mannesman Mineração e LTDA e modernizadas com o passar dos anos. As atividades desenvolvidas, atualmente, na mina Pau Branco são: a lavra pelo método a céu aberto, o beneficiamento a úmido e transporte ferroviário de produtos do tipo hematitinha, *Natural Pelet Ore - NPO*, *sinter-feed* e *pellet-feed* (SILVA, 2020).

O minério ROM, é submetido diversos processos na Instalação de Tratamento de Minério – ITM, da mina de Pau Branco, dentre as principais são realizadas operações de cominuição, britagem e moagem, classificação por peneiramento, ciclonagem, separadores espirais, jigagem, concentração magnética, espessamento de lamas e filtragem. O produto de todo o processo é utilizado para alimentar as usinas siderúrgicas

da própria empresa – Usina do Barreiro em Jeceaba/MG – com 35% da produção e outros clientes finais, o que corresponde a 65% da produção. Toda água utilizada no processo é clarificada e reutilizada na própria usina (SILVA, 2020).

O sistema de disposição de rejeitos da Mina de Pau Branco, pode ser considerado, atualmente, pioneiro em disposição a seco do minério de ferro no estado de Minas Gerais, uma vez que até o ano de 2015 a empresa utilizava barragem para armazenamento dos resíduos, a de Cachoeirinha e, desde esse mesmo ano, adotou um forte sistema de desaguamento de rejeitos, realizado por meio de filtros prensa, onde o material resultante dessa operação, era transportado seco por caminhões e depositado na pilha de codisposição de estéril e rejeito, que também recebe o nome de Cachoeirinha (SILVA, 2020). Um fluxograma esquemático dos processos produtivos da Mina Pau Branco, pode ser analisado na FIG. 29.

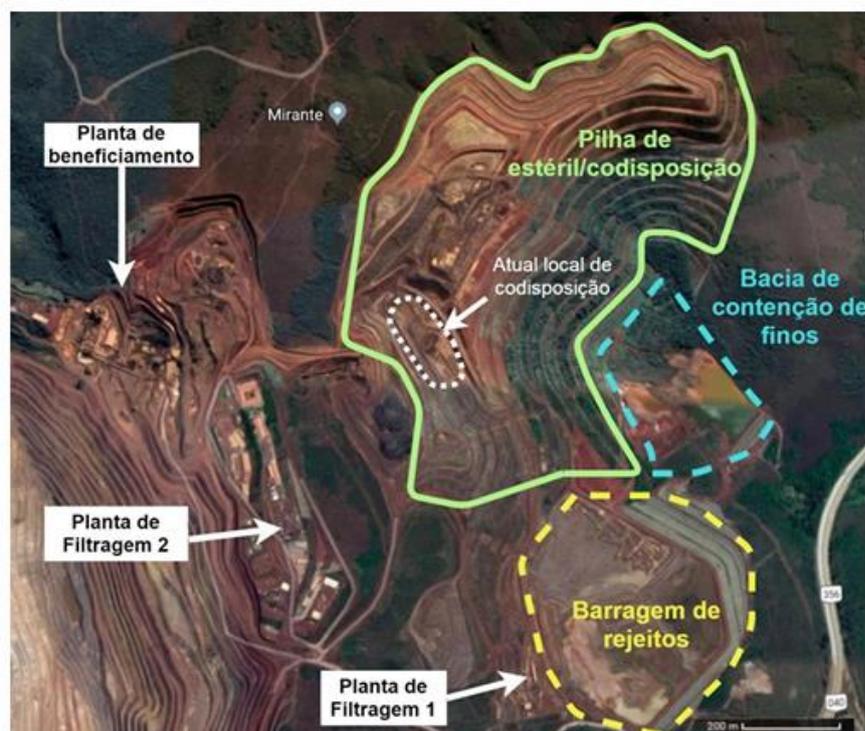
Figura 29 - Fluxograma do processo produtivo da Mina Pau Branco



Fonte: Minas Gerais (2020)

A viabilidade técnica da metodologia de codisposição da pilha de estéreis e rejeitos de Cachoeirinha, surgiu mediante a implantação do sistema de desaguamento por filtros prensa, no ano de 2015, o que alterou significativamente o processo produtivo da unidade, outro fator que acelerou o processo foi o do encerramento da disposição de rejeitos em barragem e aumento da produção de minério de ferro da mina (SILVA, 2020). A área ocupada atualmente pela pilha pode ser observada na FIG. 30.

Figura 30 - Vista em planta das principais estruturas da Mina Pau Branco com destaque para localização da pilha de codisposição



Fonte: Google Maps (2019, *apud* ALVES, 2020)

O método adotado para codisposição dos rejeitos e estéreis foi o de camadas alternadas, construídas de maneira ascendente sobre a pilha de estéreis já existente na Mina Pau Branco. A estrutura da nova pilha recebe além de estéreis provenientes do processo de lavra da Mina Pau Branco, rejeitos do sistema de desaguamento, no estado de torta provenientes da planta de filtragem, projetada para desaguar até de 2 milhões de tonelada de rejeito/ano e, futuramente receberá também os rejeitos lavrados da barragem de Cachoeirinha, este segundo tipo rejeitos faz parte de um segundo projeto de ampliação da pilha de codisposição, pleiteado pela Vallourec, no ano de 2019, no

qual a descaracterização da barragem de Cachoeirinha foi adicionada dentre as ações a serem tomadas pela Vallourec (SILVA, 2020).

Diferente das outras literaturas revisadas, não foram encontradas ilustrações que representam o arranjo geométrico da pilha de codisposição Cachoeirinha. Portanto, de acordo com descrição dos trabalhos e relatórios já realizados na empresa, a geometria da pilha de codisposição atual da Mina Pau Branco, consiste na seguinte configuração, a proporção de disposição de material é da ordem de que, a cada duas camadas de torta de rejeitos é depositada uma de estéril (2R:1E), sendo, ambos os materiais, compactados após a disposição. Constituídas as bancadas e bermas que possuem 10 metros de altura e largura respectivamente, são executados taludes de até 30° de inclinação, drenagens internas e externas para a coleta de água que são direcionadas para a bacia de contenção de finos, localizada ao pé da pilha. (ALVES, 2020).

No ano de 2019 empresa Vallourec oficializou o pedido de expansão da pilha de codisposição de Cachoeirinha já existente, sob forte demanda, uma vez que foi aumentada a capacidade instalada de filtros prensa de rejeitos e como consequência aumentou-se a geração de resíduos. A ampliação solicitada, foi justificada visando aumentar a capacidade de armazenamento de rejeitos e estéreis, sem que houvesse a necessidade de construção de novas barragens. (ÚNICO, 2020)

8 ANÁLISE DOS MÉTODOS REVISADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados das análises SWOT realizadas, a partir da leitura dos estudos de caso de codisposição e disposição compartilhada de estéreis e rejeitos, apresentados em cada dissertação revisada, considerando a particularidade de cada mina levanto em conta as técnicas aplicadas, a finalidade de cada projeto, lacunas percebidas em cada caso e as oportunidades a serem avaliadas em estudos futuros como oportunidades de melhorias no método.

8.1 ANÁLISE SWOT DA PILHA DE CODISPOSIÇÃO E DISPOSIÇÃO COMPARTILHADA DA MINA DE CAPIM I – PPSA

A mina de Capim I, cuja atividade principal é a lavra e beneficiamento de Caulim na região de Ipixuna do Pará-PA, desenvolveu um projeto de codisposição e disposição compartilhada com a finalidade de realizar a disposição de rejeitos oriundos do processo de desarenamento e centrifugação da planta, junto com estéreis em áreas já lavradas do complexo de Ipixuna do Pará. O método de codisposição escolhido foi o da mistura de rejeitos para o preenchimento das cavas exauridas, seguido da compactação dos mesmos e posterior empilhamento de estéreis até a altura máxima de 85 m, concebendo assim uma geometria de disposição compartilhada ao término das atividades (SILVA, 2014). Os principais pontos analisados no projeto estão relacionados na FIG. 31 a seguir.

Figura 31 - Matriz SWOT da pilha de codisposição - Mina de Capim I

	S (Forças)	Fatores positivos	W (Fraquezas)	Fatores Negativos
Fatores internos	Expertise, baseada numa experiência anterior de disposição utilizando cavas exauridas; Utilização de maquinários e pessoal próprios, em grande parte dos projetos. Otimização de custos, quando comparados aos de metodologias como a de filtragem de rejeitos; Adaptabilidade da PPSA na metodologia que exigiu operações simultâneas de lavra, beneficiamento e disposição de resíduos; Ampliação da interface planejamento de mina e geotecnia; Histórico de dados geotécnicos atualizados, tanto da pilha quanto dos realizados na fundação; Redução do impacto ambiental; Alinhamento, em parte, com as legislações e normativas vigentes. Maior capacidade de armazenamento no interior da cava Maiores fatores de segurança		Alteração recorrente da distância média de transporte Mobilização constante da bacia de clarificação de água Ausência da apresentação de um plano de gestão durante a obra Ausência de projeto de instrumentação para monitoramentos geotécnicos, Não foram realizados estudos sísmicos regionais	
Fatores externos	Possibilidade de realização de investigações reológicas para maior detalhamento de dados A mina de Capim I se torna referência de pesquisas para empresas que pretendem adotar a medida de codisposição em cavas exauridas. Aquisição de filtros prensa para ampliação da capacidade de disposição de rejeitos, uma vez que nem todos serão aproveitados. Compartilhamento de experiências com outras empresas que adotaram ou pretendem adotar o método de codisposição de estéreis e rejeitos Apresentação de um projeto de monitoramento e gestão da pilha Realizar análises de estabilidade utilizando Softwares mais novos Aceleração no processo de recuperação de áreas degradadas Avaliar possibilidades de adaptações do projeto durante a execução do projeto Projetos de eliminação total de barragens Estudos de gatilhos de liquefação		Tempo chuvoso e aumento no risco de instabilidade das pilhas, Dificuldade para a aquisição de novas áreas, mesmo que para realização da codisposição.	
	O (Oportunidades)	Fatores positivos	T (Ameaças)	Fatores Negativos

Fonte: Organização do autor.

8.2 ANÁLISE SWOT DA PILHA DE CODISPOSIÇÃO MINA DE FERNANDINHO - CSN

A mina de Fernandinho é um empreendimento da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN., responsável pelas atividades de lavra e beneficiamento de minério de ferro na região de Rio Acima – MG. O seu projeto de codisposição de rejeitos e estéreis considerou o empilhamento de rejeitos oriundos do atual processo de beneficiamento da usina e de rejeitos de uma futura ampliação da usina que produzirá dois tipos de resíduos, o da concentração de finos e o da concentração de itabiritos, já o estéril a ser utilizado será oriundo da lavra da mina de Fernandinho II. Foram apresentadas duas alternativas de codisposição, ambas realizadas por disposição em camadas e com uma altura de pilha prevista para alcançar os 175 m (CARVALHO, 2017). Os principais pontos analisados no projeto estão relacionados na FIG. 32 a seguir.

Figura 32 - Matriz SWOT da pilha de codisposição - Mina de Fernadinho

	S (Forças)	Fatores positivos	W (Fraquezas)	Fatores Negativos	
Fatores internos	Utilização de áreas dentro do perímetro da própria mina de Fernadinho Utilização de baias temporárias para a realização da secagem dos rejeitos. Apresentação de duas possibilidades de construção de pilha de codisposição Utilização de tapetes drenantes entre etapas de alteamentos, servindo como elementos de drenagem interna da estrutura, diminuindo assim as possibilidades de aumento de poropressões internas Realização de sondagens mistas na pilha já existente e braragem desativada, o que permite a construção de um banco de dados a respeito dos ativos já existentes no local Utilização de maquinário próprio para a construção da pilha Baixa umidade dos rejeitos a serem empilhados (máximo 17,6%) Distância média de transporte - DMT Conhecimento da característica química dos materiais depositados Projeto de gestão operacional da pilha de codisposição Implantação do Plano de monitoramento de instrumentação da pilha			Não caracterização dos estéreis gerado na lavra de mina de Fernadinho Não realização de estudos sísmicos Não realização de estudos reológicos	
Fatores externos	Aquisição de filtros prensa para ampliação da capacidade de disposição de rejeitos, uma vez que nem todos serão aproveitados. Compartilhamento de experiências com outras empresas que adotaram ou pretendem adotar o método de codisposição de estéreis e rejeitos Projetos de eliminação total de barragens Estudos voltados para a mistura de rejeitos antes da disposição Realizar análises de estabilidade utilizando Softwares mais novos Possibilidade de realização de investigações reológicas para maior detalhamento de dados			Tempo chuvoso e aumento no risco de instabilidade das pilhas, Compactação comprometida tendo em vista a granulometria dos rejeitos Dificuldade para a aquisição de novas áreas, mesmo que para realização da codisposição.	
	O (Oportunidades)	Fatores positivos	T (Ameaças)	Fatores Negativos	

Fonte: Organização do autor.

8.3 ANÁLISE SWOT DA PILHA DE CODISPOSIÇÃO MINA SERRA AZUL – ARCELORMITTAL

A mina Serra Azul, é de propriedade da Arcelor Mittal, fica localizada no município de Itatiaiuçu-MG e é responsável pelas atividades de lavra e beneficiamento do minério de ferro. O projeto de codisposição e disposição compartilhada, considerou a criação de um empilhamento drenado, composto por camadas alternadas e sobrepondo a pilha de estéreis já existentes na mina Serra Azul hoje. O método de codisposição escolhido no projeto foi o de camadas, confinadas por diques, com destaque para utilização apenas de rejeitos, variando apenas a granulometria dos mesmos entre *underflow* e *overflow*, tanto para a criação de berços quanto para as camadas alternadas (MOHALLEN, 2018). A Altura final da pilha, prevista em projeto, é de 70 m. Os principais pontos analisados no projeto estão relacionados na FIG. 33 a seguir.

Figura 33 - Matriz SWOT da pilha de codisposição - Mina Serra Azul

	S (Forças)	Fatores positivos	W (Fraquezas)	Fatores Negativos
Fatores internos	Inovação no sistema de codisposição utilizando-se a metodologia dos berços Ciclones instalados na própria barragem Utilização de áreas dentro do perímetro da própria mina Aplicação do projeto em curto prazo Amortização de passivos ambientais devido a instalação ter sido feita dentro de área previamente impactada Estudos de gatilhos de liquefação		Dificuldade na secagem do material Overflor em períodos chuvosos Não caracterização dos estéreis gerado na lavra de mina de Fernandinho Identificação de pontos suscetíveis de liquefação Não utilização de estéreis na pilha de codisposição	
Fatores externos	Compartilhamento de experiências com outras empresas que adotaram ou pretendem adotar o método de codisposição de estéreis e rejeitos Recuperação de água do processo Adiantamento do processo de recuperação de áreas degradadas Novas geometrias para os berços Apresentação de um projeto de monitoramento e gestão da pilha Estudos de sismicidade Realizar análises de estabilidades utilizando Softwares mais novos Utilização de estéreis numa potencial ampliação de pilha Estudos voltados para a mistura de rejeitos antes da disposição Projetos de eliminação total de barragens Estudos de gatilhos de liquefação		Tempo chuvoso e aumento no risco de instabilidade das pilhas, Dificuldade para a aquisição de novas áreas Dificuldade para a aquisição de novas áreas, mesmo que para realização da codisposição.	
	O (Oportunidades)	Fatores positivos	T (Ameaças)	Fatores Negativos

Fonte: Organização do autor.

8.4 ANÁLISE SWOT DA PILHA DE CODISPOSIÇÃO MINA PAU BRANCO - VALLOUREC

A Mina Pau Branco, é de propriedade da Vallourec Mineração, responsável pela lavra e beneficiamento de minério de ferro e está localizada entre os municípios de Nova Lima e Brumadinho, ambos em Minas Gerais. A Vallourec é considerada pioneira no assunto de codisposição de rejeitos e estéreis e o seu projeto de codisposição foi pensado alinhado com a instalação da planta de filtragem da mineradora. Neste contexto todo o rejeito empilhado é oriundo da planta de beneficiamento da unidade, combinado com estéreis oriundos da lavra da mina. O método de codisposição escolhido pela mineradora foi o de disposição em camadas alternadas, onde rejeitos e estéreis compõem bancadas de 10 m cada (SILVA, 2020). Os principais pontos analisados no projeto estão relacionados na FIG. 34 a seguir.

Figura 34 - Matriz SWOT da pilha de codisposição - Mina Pau Branco

	S (Forças)	Fatores positivos	W (Fraquezas)	Fatores Negativos
Fatores internos	<p>Pioneirismo na codisposição de estéreis e rejeitos do minério de ferro.</p> <p>Maquinário próprio utilizado na construção da pilha de codisposição</p> <p>Área utilizada para a codisposição está inserida no perímetro da mina, o que não demanda licenças cuja burocracia seja elevada</p> <p>Instalação de novos filtros prensa visando a ampliação da pilha, o que promove a diminuição na geração de rejeitos com altas taxas de umidade.</p> <p>Distância média de transporte (DMT)</p> <p>Utilização de baias e secagem e cavas provisórias</p> <p>Redução do potencial de dano em caso de instabilidade</p> <p>Maior segurança para colaboradores e comunidade</p> <p>Redução da área de disposição de resíduos</p>		<p>Período chuvoso, reduz a capacidade de produção e armazenamento da pilha.</p> <p>A empresa não possui espaço destinado a estocagem dos rejeitos já filtrados.</p>	
Fatores externos	<p>Projeto de recuperação do rejeito já empilhado</p> <p>Projetos de eliminação total de barragens</p> <p>Compartilhamento de experiências com outras empresas que adotaram ou pretendem adotar o método de codisposição de estéreis e rejeitos</p> <p>Recuperação de água do processo</p> <p>Adiantamento no processo de recuperação de áreas degradadas</p> <p>Estudos voltados para a mistura de rejeitos antes da disposição</p> <p>Estudos de gatilhos de liquefação</p> <p>Realizar análises de estabilidade utilizando Softwares mais novos</p>		<p>Consequências negativas de da ampliação realizada em janeiro de 2021</p> <p>Projeto de ampliação comprometido, devido ao incidente ocorrido em janeiro de 2022</p> <p>Paralisação das operações mediante inatividade da filtragem ou pilhas</p> <p>Imagem da empresa em relação a comunidade adjacente e midiática</p> <p>Tempo chuvoso e aumento no risco de instabilidade das pilhas,</p> <p>Dificuldade para a aquisição de novas áreas, mesmo que para realização da codisposição.</p>	
	O (Oportunidades)	Fatores positivos	T (Ameaças)	Fatores Negativos

Fonte: Organização do autor.

8.5 ANÁLISE SWOT GERAL DA VIABILIDADE DE CODISPOSIÇÃO E DISPOSIÇÃO COMPARTILHADA DE REJEITOS E ESTÉREIS

Nesta seção serão apresentadas, de maneira agrupada, as características ainda em matriz SWOT, de métodos e aplicações utilizados em cada estudo de caso. Embora todas os estudos tenham apresentado bons resultados de ensaios de estabilidade e compactação, essas considerações têm como base as etapas que cada estudo de caso considerou prudente em seu projeto e lacunas que podem ser resolvidas e implementadas, a fim de aumentar o nível de segurança dos projetos futuros. Dentre as características principais da implementação da codisposição e disposição compartilhada de rejeitos e estéreis destacam-se as da FIG. 35 abaixo.

Figura 35 - Matriz SWOT geral da viabilidade técnica da pilha de codisposição e disposição compartilhada

	S (Forças)	Fatores positivos	W (Fraquezas)	Fatores Negativos
Fatores internos	<p>Metodologia de baixo custo quando não são aplicados equipamentos de mistura de rejeitos e estéreis</p> <p>A implantação pode ser feita a curto e médio prazo independente do tamanho da empresa</p> <p>Utilização de mão de obra e maquinário próprio</p> <p>Em empresas de pequeno e médio porte, os rejeitos podem ser depositados em baias de decantação temporárias</p> <p>Utilização de áreas dentro do perímetro da própria mina</p> <p>Redução dos impactos ambientais associados</p> <p>Aceleração do processo de recuperação de áreas degradadas, quando da utilização de cavas exauridas</p> <p>Aprimoramento da interface planejamento e disposição de resíduos, tendo em vista o resultado de estudos de caracterização</p> <p>Otimização de custos, quando comparados aos de metodologias como a de filtragem de</p>		<p>Os Rejeitos de granulometria mais fina ainda não são compatíveis com as metodologias</p> <p>Dificuldade para tráfego de caminhões e máquinas de compactação durante período chuvoso</p> <p>No caso da disposição em lavra exaurida, a mobilização de áreas e DMT são constantes.</p>	
Fatores externos	<p>Utilização de tapetes drenantes entre etapas de alteamentos, servindo como elementos de drenagem interna da estrutura, diminuindo assim as possibilidades de aumento de poropressões internas</p> <p>Investimento em estudos voltados para característica química dos materiais depositados</p> <p>Projetos de eliminação total de barragens</p> <p>Compartilhamento de experiências com outras empresas que adotaram ou pretendem adotar o método de codisposição de estéreis e rejeitos</p> <p>Realizar análises de estabilidade utilizando Softwares mais novos, como Slide II e III</p> <p>Estudos de gatilhos de liquefação</p> <p>Aquisição de filtros prensa para ampliação da capacidade de disposição de rejeitos, uma vez que nem todos serão aproveitados.</p> <p>Reutilização de até 90% de água no processo de beneficiamento</p> <p>Avaliação da possibilidade de novas geometrias para codisposição</p> <p>Projetos de lavra e recuperação do rejeito já empilhado</p>		<p>Tempo chuvoso e aumento no risco de instabilidade das pilhas,</p> <p>Compactação comprometida tendo em vista a granulometria dos rejeitos</p> <p>Dificuldade para a aquisição de novas áreas, mesmo que para realização da codisposição.</p> <p>Imagem da empresa em relação a comunidade adjacente e midiática</p> <p>Consequências negativas, tendo como exemplo a ampliação da Mina Pau Branco realizada em janeiro de 2021</p>	
	O (Oportunidades)	Fatores positivos	T (Ameaças)	Fatores Negativos

Fonte: Organização do autor.

9 CONCLUSÃO

Dentre os principais desafios enfrentados pelas empresas de mineração atualmente, independente do minério lavrado, pode ser considerado como um dos maiores deles o da disposição de resíduos, sejam eles estéreis ou rejeitos, tendo em vista os impactos ambientais e os danos as comunidades adjacentes ao empreendimento. Pensar alternativas para uma disposição de resíduos que implique em menos riscos associados e maior segurança, tem sido um consenso para o setor, principalmente diante de recorrentes registros de acidentes ou eventos que elevam os indicadores de riscos ambientais, paralização da operação e tragédias envolvendo as comunidades.

Estudos voltados uma disposição alternativa de rejeitos e estéreis, visando uma substituição ao método de disposição convencional em barragens, por meio hidráulico, tem sido, cada vez mais pesquisados e implantados pelas unidades mineradoras. Dentre esses métodos alternativos, a codisposição e disposição compartilhada de estéreis e rejeitos, que foi objeto de revisão e análise neste trabalho, tem sido apresentada como uma alternativa cada vez mais palpável e sustentável aos olhos das empresas de mineração, pois não só traz vantagens em relação a segurança das barragens como também asseguram uma maior capacidade de armazenamento e estabilidade no empilhamento.

Os estudos de caso revisados acerca da codisposição e disposição compartilhada de estéreis e rejeitos, em diferentes empreendimentos e condições de setores a serem implantados, mostram que a alternativa tem condições favoráveis para ser não só adotada, como também reproduzida por empresas de pequeno, médio e grande porte, uma vez que na maioria dos casos, são realizadas operações simples que dispensam a secagem do rejeito, aproveitam áreas já utilizadas para (dispensando assim o licenciamento de novas áreas) a disposição de resíduos e as obras e operações são realizadas utilizando materiais e maquinário da própria mineradora.

A garantia de viabilidade da codisposição e disposição compartilhada de estéreis e rejeitos, embora vista como simples de se implantar, demandam estudos e equipe técnica experiente, como elementos indispensáveis, para que associação dos depósitos seja realizada de maneira segura do ponto de visto geotécnico.

Estudos como contexto geológico, hidrológico, caracterização dos materiais a serem dispostos de maneira combinada, em diferentes faixas granulométricas,

permeabilidade, sondagens SPT e CPTU, ensaios de compactação e triaxiais, drenabilidade, adensamento, índices de vazios e análises de estabilidade, são vistos como premissas básicas a serem executadas para concepção de qualquer que seja o método de codisposição considerado. Para além dos levantamentos e ensaios básicos, são recomendados também estudos complementares a depender do contexto hidrológico e localização da mina em questão, como é o caso da caracterização química do rejeito e do estéril, estudos sísmicos regionais, caracterização climática e hidrogeológica, também são fatores que passam a ser tão importantes quanto os principais parâmetros geotécnicos recomendados por normas.

Portanto, fica constatada a segurança da implementação da técnica de codisposição e disposição compartilhada de rejeitos e estéreis, principalmente no curto prazo, mas desde que sejam estritamente observadas orientações presentes nas normas, já atualizadas, ABNT NBR 13028 e ABNT NBR 13029, que abordam respectivamente os principais aspectos que devem compor os projetos de disposição de rejeitos e estéreis e também uso indispensável de estudos tecnológicos e históricos que complementem a garantia de estabilidade, monitoramento e seguranças das pilhas a serem projetadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 13029. Mineração - **Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha**, 24 jul. 2017a. 11 p.

ABNT. NBR 13028. Mineração - **Elaboração e Apresentação de projetos de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água - Requisitos**, 14 nov. 2017b. 22 p.

ALVES, P. I. A. **Empilhamento de rejeito filtrado**: a expansão de uma alternativa para substituição de barragens. 2020. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/11939>. Acesso em: 15 jan. 2024.

ARAGÃO, G. A. S. **Classificação de pilhas de estéril na mineração**. 2008. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/items/93cc0cf2-6106-4451-a1df-d1f4b624c37b>. Acesso em: 20 jul. 2024.

BORGES, V. H. A. **Metodologias de disposição de rejeitos na mineração**. 2018. 62 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Goiás, Catalão. 2012. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/710/o/VICTOR_HUGO_ATA%C3%8DDE_BORGES.pdf. Acesso em: 18 mar. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14066. Altera a Lei nº 12.334, de 2010, que estabelece a PNSB, a Lei nº 7.797, de 1989, que cria o FNMA, a Lei nº 9.433, de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 1967 (Código de Mineração)**., Brasília, 30 setembro 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2020/lei/l14066.htm . Acesso em: 26 mar. 2024.

_____. Agência Nacional de Mineração. **Resolução nº 13, de 8 de agosto de 2019. Estabelece medidas regulatórias para assegurar a estabilidade de barragens de mineração**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 ago. 2019. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=381453>. Acesso em: 25 mar. 2024.

_____. Agência Nacional de Mineração. **Resolução nº 85, de 2 de dezembro de 2021. Dispõe sobre procedimentos para o aproveitamento de rejeitos e estéreis**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 dez. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/resolucao-da-anm-ganha-selo-de-qualidade-regulatoria-do-ministerio-da-economia/resolucao-anm-no-85-02-12-2021.pdf/view>. Acesso em: 29 mar. 2024.

CARVALHO, W. D. S. de. **Sistema de disposição compartilhada de estéreis e rejeitos desaguados da mina de Fernandinho**. 2017. 163 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/9803> . Acesso em: 25 mar. 2024.

CASTRO, T. M.S. de. **Avaliação do tratamento e destinação de lodo secundário em refinarias de petróleo.** 2019. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica & Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/rep-download.php?farquivo=dissertpoli2752.pdf&fcodigo=5049>. Acesso em: 20 jan. 2024.

CRUZ, R. C. A. **Análise da disposição de rejeito a seco relacionada ao projeto, estruturas de empilhamento e métodos de desaguamento do rejeito.** 2023. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/17526>. Acesso em: 30 mai. 2024.

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.** 2008. 128 f. Dissertação (Mestrado em saneamento, meio-ambiente e recursos hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUDB-8AUPNJ> Acesso em: 22 abr.2024.

DNPM. Portaria nº 70.389. **Cria o CNBM, o SIGBM e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do PSB, das ISR e ISE, RPSB e PAEBM,** 17 maio 2017. 43 p.

ESPÓSITO, T.J. **Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construída por aterro hidráulico.** 2000. 363 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2000. Disponível em: http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/1619/1/2007_FelipeDeMoraesRusso.pdf. Acesso em: 30 jul. 2024.

GRAÇA, J. B. **Análise da matriz SWOT como ferramenta de planejamento estratégico:** um estudo de caso para empresa de transporte. 2021. 39 f. Monografia (Especialização em Administração) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/44099/4/Monografia%20James%20UFMG.pdf> . Acesso em: 20 jan. /2024.

LOPO, T. B. **Análise SWOT.** [S./l.], 2021. Disponível em: <https://www.cmfrp.com.br/post/an%C3%A1lise-swot>. Acesso em: 25 jan. 2024.

LUZ, A. B da; LINS, F. A. F. Introdução ao tratamento de minérios. *In:* LUZ. A. B. da; SAMPAIO. J. A; FRANÇA. S. C. A. (edit.). **Tratamento de minérios.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p.3 -18.

MINAS GERAIS. Lei nº 23291. **Institui a Política Estadual de Segurança de Barragens,** Belo Horizonte, 25 fev. 2019. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/23291/2019/>. Acesso em: 15 jun. 2024.

https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/legislacao-aplicada/mg-resolucao-n-o-2-784_2019.pdf. Acesso em: 20 set. 2024.

_____. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa COPAM nº 210, de 21 de setembro de 2016. **Define critérios para licenciamento para as atividades de disposição de rejeito e estéril da mineração em cava de mina e de reaproveitamento desses materiais.** Diário Oficial do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 27 set. 2016. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=329072>. Acesso em: 04 abr. 2024.

_____. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Superintendência Regional de Meio Ambiente Central Metropolitana – SUPRAM CM. **Parecer único nº 153/20202.784**, 9/12/2020, 126 p. Disponível em: https://meioambiente.mg.gov.br/documents/38374/7237028/Item_11/d3bc2f84-5861-f53b-2f13-7fbd8e1963aa?version=1.0&t=1723582873239. Acesso em: 20 jun. 2024.

_____. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Resolução Conjunta SEMAD/FEAM nº 2.784, de 21 de março de 2019. **Determina a descaracterização de todas as barragens de contenção de rejeitos e resíduos, alteadas pelo método a montante, provenientes de atividades minerárias, existentes em Minas Gerais.** Diário Oficial do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 22 mar. 2019. Disponível em: https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/legislacao-aplicada/mg-resolucao-n-o-2-784_2019.pdf. Acesso em 04 abr. 2024.

MOHALLEM, S. D. S. **Análise de sistema de co-disposição dos rejeitos de minério de ferro gerados na mina serra azul – Itatiaiuçu/MG.** 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/items/b564a05d-1746-4b95-9384-556d07a53c92>. Acesso em: 30 mar. 2024

PEIXOTO, C. L. **Nova Metodologia de Desaguamento de Rejeitos em Polpa.** 2012. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – NUGEO, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/items/f95c4e8a-08e2-40ce-9a82-e39903967ab9>. Acesso em: 15 fev. 2024.

SILVA, R. K. **Co-Disposição e Disposição Compartilhada de Rejeitos e Estéreis em Cava exaurida.** 2014. 158 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/items/17cf8d2a-8af9-42d3-b201-3020072ac546>. Acesso em: 10 jan. 2024

SOARES, L. Barragens de Mineração. *In*: LUZ. A. B. da; SAMPAIO. J. A; FRANÇA. S. C. A. (edit.). **Tratamento de minérios.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p. 828 – 896.

SOUZA, C.V. de. **Estudo das técnicas de disposição de rejeitos de mineração.** 2018. 77 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em:

https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1740/1/MONOGRAFIA_EstudoT%C3%A9cnicasDisposi%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 20 mai. 2024.

SCHERER, F. V., *et al.* O uso da Análise SWOT na seleção de técnicas para inserção do usuário no processo de projeto. **Revista Design & Tecnologia**, v.10, p.11-21, 2020. Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/216686/001119484.pdf?sequence=1>.

Acesso em: 05 fev. 2024.