Versos
Textos para Discussão
PoEMAS

PoEMAS

Estranha ordem geométrica: fragilidades e limitações do monitoramento da pilha de estéril/ rejeito da Vallourec, em Nova Lima (MG)

Bruno Milanez

2022
v. 6
n. 2

Versos

Textos para Discussão PoEMAS

Equipe

Bruno Milanez (Universidade Federal de Juiz de Fora)

Lucas Magno (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais)

Luiz Jardim de Moraes Wanderley (Universidade do Estado do Rio de Janeiro)

Maíra Sertã Mansur (Universidade Federal do Rio de Janeiro)

Raquel Giffoni Pinto (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro)

Ricardo Junior de Assis Fernandes Gonçalves (Universidade Estadual de Goiás)

Rodrigo Salles Pereira dos Santos (Universidade Federal do Rio de Janeiro)

Tádzio Peters Coelho (Centro Ignácio Rangel de Estudos do Desenvolvimento)

Como citar:

Milanez, B. (2022) Estranha ordem geométrica: fragilidades e limitações do monitoramento da pilha de estéril/rejeito da Vallourec, em Nova Lima (MG). Versos - Textos para Discussão PoEMAS, 6(2), 1-34.

ISSN: 2526-9658

Versos

Versos se propõe a trazer textos analíticos que debatam, a partir da perspectiva das ciências humanas, diferentes aspectos do setor extrativo mineral. Esta iniciativa busca estimular a discussão crítica sobre o papel deste setor no desenvolvimento local, regional e nacional no contexto brasileiro.

PoEMAS

O grupo de pesquisa e extensão Política, Economia, Mineração, Ambiente e Sociedade (PoEMAS) é um grupo multidisciplinar e interinstitucional formado por acadêmicos que se propõem a refletir sobre as múltiplas interfaces entre o setor extrativo mineral e a sociedade.

Maiores informações:
http://www.ufjf.br/poemas/
https://www.facebook.com/grupoPoEMAS/

Estranha ordem geométrica: fragilidades e limitações do monitoramento da pilha de estéril/rejeito da Vallourec, em Nova Lima (MG)

Bruno Milanez [1] [2]

[...]

As mais soberbas pontes e edifícios,
o que nas oficinas se elabora,
o que pensado foi e logo atinge

distância superior ao pensamento,
os recursos da terra dominados
e as paixões e os impulsos e os tormentos

e tudo o que define o ser terrestre
ou se prolonga até nos animais
e chega às plantas para se embeber

no sono rancoroso dos minérios,
dá volta ao mundo e torna a se engolfar
na estranha ordem geométrica de tudo,

e o absurdo original e seus enigmas,
suas verdades altas mais que tantos
monumentos erguidos à verdade;

é a memória dos deuses, e o solene
sentimento da morte, que floresce
no caule da existência mais gloriosa,

tudo se apresentou nesse relance
e me chamou para seu reino augusto,
afinal submetido à vista humana.

Mas, como eu relutasse em responder
a tal apelo assim maravilhoso,
pois a fé se abrandara, e mesmo o anseio,

a esperança mais mínima — esse anelo
de ver desvanecida a treva espessa
que entre os raios do sol inda se filtra;

como defuntas crenças convocadas
presto e fremente não se produzissem
a de novo tingir a neutra face

que vou pelos caminhos demonstrando,
e como se outro ser, não mais aquele
habitante de mim há tantos anos,

passasse a comandar minha vontade
que, já de si volúvel, se cerrava
semelhante a essas flores reticentes

em si mesmas abertas e fechadas;
como se um dom tardio já não fora
apetecível, antes despiciendo,

baixei os olhos, incurioso, lasso,
desdenhando colher a coisa oferta
que se abria gratuita a meu engenho.

[...]

(A Máquina do Mundo,

Carlos Drumond de Andrade, 1951)

---

[1] Doutor em Política Ambiental pela Lincoln University. Professor do Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica e do Mestrado em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Coordenador do Grupo de Pesquisa e Extensão Política, Economia, Mineração, Ambiente e Sociedade (PoEMAS). E-mail: bruno.milanez@ufjf.edu.br.

[2] Eu gostaria de agradecer aos integrantes do Gabinete de Crise da Sociedade Civil de Minas Gerais, com os quais houve intensa troca de informações e diálogo durante a elaboração desse relatório. Ainda gostaria de manifestar minha gratidão a Lucas Magno, Raquel Giffoni Pinto e Miguel Fernandes Felippe pelos comentários e sugestões a versões preliminares do texto.

Destaques

- A Vallourec foi informada, em 2018, que existiam problemas em seu sistema de drenagem superficial que poderiam comprometer a estabilidade da Pilha Cachoeirinha.
- A prática da Vallourec, e de outras mineradoras, de construir estruturas de mineração muito próximas umas das outras aumenta a chance de danos sinérgicos, ampliando os riscos associados aos complexos minerários.
- Os laudos de segurança apresentados pela Vallourec possuem diferentes fragilidades e inconsistências:
    - As vistorias presenciais para avaliação das condições da Pilha Cachoeirinha e de seu sistema de drenagem foram feitas quase que exclusivamente durante períodos de estiagem;
    - Recomendações feitas pelos laudos de segurança não eram tomadas como condicionantes para o atestado de estabilidade, sendo ignoradas em diferentes ocasiões;
    - Apesar da mudança das características do material disposto na pilha, não houve atualização nos parâmetros geotécnicos usados no cálculo do fator de segurança;
    - Ao longo do tempo a Vallourec foi reduzindo, sem apresentar justificativa, o número de seções transversais da Pilha Cachoeirinha para as quais era calculado o fator de segurança;
    - Estudos apresentados até 2016 indicavam que, apesar de a Pilha Cachoeirinha ter um fator de segurança global acima do limite mínimo, existiam taludes individuais que não atendiam aos requerimentos da norma.
- O estudo indica a necessidade de que laudos de segurança de pilhas de estéril e rejeito filtrado, assim como barragens de rejeito, sejam elaborados por empresas de auditoria, independentes, de fato, das empresas mineradoras.

Resumo

Em 8 de janeiro de 2022 houve o escorregamento de parte da Pilha Cachoeirinha, na Mina Pau Branco, de propriedade da Vallourec Mineração. O material foi carreado para dentro da barragem de sedimentos localizada imediatamente a jusante, causando seu galgamento. O objetivo do relatório é avaliar fragilidades e inconsistências dos laudos técnicos de segurança contratados pela Vallourec. O estudo foi elaborado principalmente a partir de análise documental, tendo sido consultados diversos projetos e relatórios disponibilizados pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais e pela Agência Nacional de Mineração. A partir da avaliação destes documentos, o argumento principal do estudo é que estruturas de mineração, como pilhas de estéril, barragens de rejeito, pilhas de rejeito filtrado entre outras, são obras de elevado dano potencial e, portanto, devem ser alvo de auditorias de estabilidade verdadeiramente independentes das empresas.

Palavras-chave

Pilhas de estéril, rejeito filtrado, risco, laudos de estabilidade

1 Introdução

Em 8 de janeiro de 2022 houve o escorregamento de parte da Pilha Cachoeirinha, na Mina Pau Branco, de propriedade da Vallourec Mineração. O material foi carreado para dentro da barragem de sedimentos (Dique Lisa) localizada imediatamente a jusante, causando seu galgamento. Em um primeiro momento, houve grande apreensão de que esse poderia se tornar mais um grande desastre envolvendo barragens de mineração em Minas Gerais. Por sorte, a estrutura resistiu a um impacto superior àquele para o qual havia sido projetada e não se rompeu. Mesmo assim, além do grande dano ambiental no entorno da mina, cinco pessoas morreram ao tentar usar uma estrada alternativa e evitar o trecho da rodovia BR-040 que havia sido interrompido pelo material da Vallourec (Lelles, 2022). A Figura 1 retrata a situação da Pilha Cachoeirinha dias após o escorregamento.

Para um estado marcado por dois dos maiores desastres da história da mineração no mundo, o escorregamento da Pilha Cachoeirinha acabou parecendo algo menor. Como consequência, nos primeiros meses após o ocorrido não foram identificadas pesquisas sobre o escorregamento. Como uma proposta de contribuição para o tema, o objetivo deste relatório é avaliar os laudos técnicos de segurança contratados pela Vallourec[3]. O estudo foi elaborado principalmente a partir de análise documental, tendo sido consultados diversos projetos e relatórios disponibilizados pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD, 2022), bem como analisadas informações complementares diretamente solicitadas à SEMAD e à Agência Nacional de Mineração (ANM).

O debate apresentado ao longo do texto parte do pressuposto de que falhas em estruturas de mineração, incluindo pilhas de estéril e de rejeito, não são eventos excepcionais, mas sim inerentes à operação de complexos minerários. Durante décadas, a sociedade brasileira considerou as falhas de barragens de rejeito como ocorrências fortuitas, até que os desastres no rio Doce e no rio Paraopeba a fizeram encarar o risco de falhas de barragens como parte integrante da atividade de extração mineral. Do mesmo modo, depois do deslizamento da pilha de estéril da mineradora Aurizona em Godofredo Viana, no Maranhão (G1 MA, 2018), do escorregamento da Pilha Cachoeirinha, em Nova Lima, e do processo erosivo da Pilha do Sapê, que levou à evacuação das instalações da Anglogold Ashanti em Santa Bárbara, Minas Gerais (Parreiras, 2022), falhas estruturais de pilhas de estéril não deveriam mais ser consideradas como episódios isolados.

[3] A título de esclarecimento, não é objetivo deste estudo explicar as causas imediatas do escorregamento da Pilha Cachoeirinha. Espera-se que as respostas para essa questão sejam apresentadas pelas perícias iniciadas pela Polícia Civil de Minas Gerais e pela Polícia Federal em 2022 (ALMG, 2022) ou, eventualmente, pelo estudo que a Agência Nacional de Mineração (ANM) requereu à Vallourec (ANM, 2022b).

Figura 1: Visão geral da Pilha Cachoeirinha e do Dique Lisa após escorregamento
Fonte: Barbatti (2022)

Nesse sentido, o debate sobre o monitoramento de pilhas de resíduos[4] se torna urgente pelo fato de o empilhamento de rejeitos filtrados estar sendo proposto pelo setor como o principal substituto tecnológico às barragens de rejeito (Caetano, 2019). Apesar de as pilhas de rejeito filtrado terem um dano potencial menor do que as barragens, como será discutido ao longo do relatório, isso não significa que o monitoramento sobre elas possa ser mais leniente. Para além do dano causado pelas pilhas em si, a proximidade entre as diferentes estruturas em um complexo minerário aumenta o risco de rompimentos em cascata e pode gerar desastres com impactos significativos sobre trabalhadores e comunidades.

[4] A expressão "resíduo" será usada ao longo do texto em um sentido mais amplo, para incluir tanto rejeito quanto estéril de mineração. Mais adiante será apresentada a diferença entre esses dois tipos de material.

Dentro desse contexto, o argumento principal do estudo é que estruturas de mineração, como pilhas de estéril, barragens de rejeito, pilhas de rejeito filtrado entre outras, são obras de elevado dano potencial e, portanto, devem ser alvo de auditorias de estabilidade verdadeiramente independentes das empresas.

Para defender esse argumento, o relatório foi organizado em quatro seções, além dessa apresentação. A Seção 2 traz uma discussão conceitual de forma a explicar as diferentes tecnologias de disposição de rejeito e estéril, além de destacar características do processo de empilhamento de rejeito filtrado. A Seção 3 tem seu foco na história da Pilha Cachoeirinha, descrevendo as estruturas que compõem a Mina Pau Branco, bem como as mudanças que ocorreram na pilha e no seu funcionamento. Então, na Seção 4 é feita uma avaliação sistemática dos laudos técnicos de segurança da Pilha Cachoeirinha e são apresentadas diferentes fragilidades e inconsistências destes estudos. Por fim, na seção de considerações finais são feitas recomendações para uma eventual regulação da construção e do monitoramento de pilhas de estéril e de rejeito filtrado.

2 Algumas considerações sobre a disposição de rejeito em pilhas

Os resíduos de mineração, de acordo com suas propriedades e origem, podem ser separados em dois grupos principais. De um lado, existe o estéril de mina, material, com granulometria variada, formado principalmente por rochas e solo que são removidos da frente de lavra. O estéril é comumente transportado em caminhões e disposto nas chamadas pilhas de estéril (PDEs) (VOGBR, 2018b, p. 25). As normas técnicas exigem que a disposição em pilha ocorra de forma planejada e controlada; sendo necessários a definição e o monitoramento de distintos parâmetros como, por exemplo, o tamanho máximo dos taludes, sua inclinação, o grau de compactação, o dimensionamento dos sistemas de drenagem interna e superficial, entre outros (ABNT, 2017).

O segundo grupo é constituído pelos rejeitos, e se refere ao material descartado durante o processo de beneficiamento dos minérios (ABNT, 2017). Os rejeitos seriam os resíduos com origem nas unidades de tratamento de minérios e consistiriam no “que sobra” depois que os minerais de interesse são retirados.

No caso do minério de ferro, o beneficiamento ocorre comumente por meio da diferença de densidade das substâncias. Para tanto, o material retirado das cavas é moído, até que as partículas alcancem diâmetros bastante pequenos, e misturado à água e outras substâncias químicas (Luz, Sampaio, e França, 2010). Como consequência, depois que o ferro é separado, o rejeito adquire uma consistência próxima a de uma lama.

No Brasil, as barragens são a forma mais comum para a disposição do rejeito de mineração de ferro. Essa preferência decorre do baixo custo de operação (quando comparadas às outras tecnologias) e das condições topográficas favoráveis, especialmente no estado de Minas Gerais (Gomes, De Tomi, e Assis, 2016).

Por outro lado, os impactos sociais e ambientais das barragens, associados às grandes áreas ocupadas e ao risco de falhas estruturais, também são bastante consideráveis.

Já em 2012, Guimarães, Valadão, e Peres (2012) identificavam que esse tipo de estrutura vinha passando por um aumento das exigências no processo de licenciamento e por uma crescente contestação por parte da opinião pública. Os desastres envolvendo a barragem de Fundão, em Mariana (Zonta e Trocate, 2016), e a B1, em Brumadinho (Milanez e Felippe, 2021) aumentaram ainda mais os questionamentos sobre a segurança das barragens de rejeito (Alves, Carneiro, Souza, Trocate, e Zonta, 2020). Gomes et al. (2016) mencionam que as barragens apresentariam elevado risco de colapso, principalmente resultante de erros de projeto, operação, monitoramento e manutenção. Como consequência, algumas empresas de mineração passaram a investir em outras tecnologias para disposição dos rejeitos de mineração (Bento, 2017).

Um dos possíveis sistemas adotados seria o empilhamento drenado. Bento (2017) descreve que, neste caso, ao invés de uma barragem impermeável, seria construída uma estrutura drenante para conter o rejeito, o que permitiria que a água saísse do rejeito, escoasse pelo sistema interno de drenagem e assim, em teoria, reduzisse o dano potencial em caso de falhas estruturais. A autora alerta, porém, que tal sistema não poderia ser usado para rejeitos finos, pois nesse caso, a retenção da água no rejeito seria muito grande, o que reduziria a eficiência do sistema. No Brasil, empilhamentos drenados onde seja constatada susceptibilidade à liquefação são tratados como barragens e cadastrados no Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (ANM, 2022a).

Um segundo grupo de tecnologias utilizadas seria a disposição dos rejeitos e do estéril no mesmo local. Silva (2014) explica que nesse caso pode haver a co-disposição, quando ocorre a mistura prévia dos dois resíduos, ou a disposição compartilhada, que caracteriza situações onde os dois materiais são colocados no mesmo espaço físico sem que haja um processo controlado de mistura. Ainda de acordo com a autora, a disposição compartilhada é associada a algumas técnicas específicas, tais como, a construção de diques de estéril, que acabam por formar células para disposição do rejeito distribuídas no depósito de estéril; a disposição de camadas alternadas de estéril e rejeito; e a injeção dos rejeitos por meio de perfurações na pilha de estéril. De acordo com Leduc e Smith (2003), devido à diferença na granulometria do rejeito e do estéril, essas técnicas permitiriam que o rejeito se infiltrasse e preenchesse os espaços vazios que existem entre as partículas de estéril.

Total Meio Ambiente (2019) alerta para o fato de que rejeito e estéril possuem características distintas e comportamentos diferentes quando empilhados. Devido ao processo de moagem, os rejeitos tendem a ser mais finos e, como consequência, a reter maior umidade. Por esse motivo, Bento (2017) menciona que quando se constroem estruturas onde estéril e rejeito são combinados, uma série de testes, incluindo granulometria, teor de umidade, permeabilidade, entre outros, são necessários para identificar as novas características geotécnicas e verificar a sua estabilidade e segurança.

Uma outra possibilidade para reduzir os danos potenciais associados à disposição final de rejeitos é o seu deságue. Por meio de diferentes processos, as mineradoras podem diminuir a quantidade de água presente no rejeito, reduzindo sua capacidade

de escoamento e, consequentemente, sua velocidade e a área impactada, em caso de falhas estruturais. Watson (2010) classifica o rejeito convencional como aquele que teria uma concentração de sólidos entre 30% e 55%. A partir daí, à medida que essa concentração aumentasse, a classificação variaria entre espessado (65-72%), em pasta (70-85%) e filtrado (acima de 85%). Dentre esses sistemas, tanto o rejeito espessado quanto o rejeito em pasta ainda necessitariam de algum tipo de contenção, como um dique ou barragem, especialmente em locais com elevada pluviosidade.

Por outro lado, o rejeito filtrado apresentaria importantes diferenças. Ele seria obtido por meio de processos onde o rejeito seria forçado a passar por um meio filtrante, que retiraria grande quantidade da água e reteria as partículas sólidas (Gomes, 2016). O rejeito filtrado teria um teor de água tão baixo que, por exemplo, não seria mais passível de bombeamento e precisaria ser transportado por caminhões ou correias transportadoras. Assim, somente nesse caso ele seria indicado para ser dispostos no formato de pilhas (Davies et al., 2010).

Como estratégia para reduzir o risco associado às barragens de rejeito, o empilhamento de rejeito filtrado tem recebido atenção de algumas empresas do setor e, até certo ponto, sido defendido como "a solução" para os problemas associados às barragens (cf. Caetano, 2019).

As pilhas de rejeito filtrado, no caso específico do minério de ferro, também têm recebido estímulo por parte do governo de Minas Gerais. De acordo com a legislação em vigor, enquanto barragens de rejeito são classificadas como de grande potencial poluidor/degradador, o potencial das pilhas de rejeito filtrado é considerado de médio potencial. Essa exceção permite que pilhas de rejeito de grande porte resultantes da extração de minério de ferro sejam classificadas como Classe 4, abrindo a possibilidade de serem licenciadas pela modalidade Licenciamento Ambiental Concomitante em uma única fase (LAC 1), isto é, seguindo um formato de licenciamento acelerado. Por outro lado, as barragens de rejeito de grande porte são obrigadas a serem licenciadas por Licenciamento Ambiental Concomitante em duas fases (LAC 2) ou Licenciamento Ambiental Trifásico (LAT) (COPAM, 2017), que levam mais tempo e, especialmente no caso do LAT, permitem aos técnicos avaliar de forma mais criteriosa os dados e informações apresentados pelas mineradoras[5]. A exceção criada para a mineração de ferro pelos órgãos ambientais de Minas Gerais é apresentada de forma esquemática na Tabela 1.

A legislação, ainda, faz uma diferenciação entre as pilhas de rejeitos em geral e as pilhas de rejeito de minério de ferro. Todavia não é claro o argumento técnico que justificou porque estas últimas seriam consideradas como possuindo potencial poluidor / degradador menor.

[5] Para uma análise mais detalhada sobre as diferentes modalidades de licenciamento ambiental em Minas Gerais, e sobre como mudanças recentes nos procedimentos de licenciamento no estado têm reduzido o rigor nestes processos, ver Milanez e Felippe (2021).

Tabela 1: Classificação de potencial poluidor / degradador de atividades específicas em Minas Gerais

Código	Atividade	Potencial poluidor / degradador			
		Ar	Água	Solo	**Geral**
A-05-03-7	Barragem de contenção de resíduos ou rejeitos da mineração	Pequeno	Grande	Grande	**Grande**
A-05-04-5	Pilhas de rejeito/estéril	Pequeno	Grande	Grande	**Grande**
A-05-04-7	Pilhas de rejeito/estéril - Minério de ferro	Pequeno	Médio	Grande	**Médio**

Fonte: Adaptado de COPAM (2017).

A avaliação dessa exceção legal sugere que a categorização diferenciada poderia desestimular o uso das barragens de rejeito pelas mineradoras. Por outro lado, esse tratamento excepcional e o licenciamento mais acelerado destas estruturas pode limitar o rigor das análises e impedir que eventuais problemas nos projetos ou manutenção sejam identificados, como pode ter ocorrido no caso da ampliação da Pilha Cachoerinha, conforme discutido na Seção 3.

3 A Pilha Cachoeirinha: evolução e modificações

3.1 Uma breve caracterização da mina Pau Branco

A Vallourec é uma empresa especializada na fabricação de tubos para diferentes atividades industriais. As unidades de Minas Gerais, localizadas em Barreiro e Jeceaba, se dedicam à produção de tubos sem costura para o setor de petróleo. Elas são abastecidas pela Vallourec Mineração, cujas operações se concentram na mina Pau Branco (Vallourec Mineração Ltda, 2022).

Pau Branco é uma mina a céu aberto, localizada a cerca de 30 km de Belo Horizonte, entre os municípios de Nova Lima e Brumadinho (SUPRAM, 2020a). Em 2019, a mina despachava diariamente entre 700 e 800 caminhões (SUPRI, 2019), o que equivaleria à saída de um caminhão a cada 2 minutos. Parte do minério extraído é encaminhado para as usinas da Vallourec (35%), sendo o restante vendido para outros clientes nacionais (65%) (SUPRAM, 2020b).

A exploração na Mina Pau Branco foi iniciada nos anos 1960. Na década seguinte, a Mannesmann Mineração adquiriu os direitos minerários e iniciou uma série de pesquisas para detalhar o mapeamento dos recursos disponíveis. As operações da mineradora foram iniciadas nos anos 1980. Em 2000, a empresa passou a integrar a *joint venture* Vallourec & Mannesmann Tubes, quando foi criada a V&M Mineração. Cinco anos mais tarde, a Vallourec assumiu totalmente o controle da Mannesman, e o segmento extrativo foi rebatizado de Vallourec Mineração (Gomes, 2016; Sete Soluções e Tecnologia Ambiental, 2018; Vallourec Mineração Ltda, 2022).

O complexo da Mina Pau Branco é composto por duas unidades de beneficiamento de minério. Ele ainda conta com as Pilhas de Estéril Cachoeirinha, Sul, Nordeste e Norte (SUPRAM, 2020b), sendo que as duas últimas já se encontravam finalizadas em 2016 (Total Meio Ambiente, 2016). Além dessas estruturas, ainda há a Barragem de Rejeito Cachoeirinha, e as Barragens de Sedimentos Santa Bárbara e Dique Lisa. A Barragem Santa Bárbara se encontra na porção oeste da mina, sobre o córrego Pau Branco, e o Dique Lisa na porção leste, no córrego Cachoeirinha. A função das barragens de sedimentos é receber a água de drenagem das pilhas de estéril e das estradas internas ao complexo, possibilitando a decantação dos sedimentos carreados e diminuindo a turbidez desse efluente antes do seu lançamento nos corpos d'água (Total Meio Ambiente, 2016). A localização dessas estruturas é apresentada na Figura 3, em anexo.

A mina possui três tipos de minério distintos; o hematítico (teor de ferro maior que 65%), o goethítico (de 62% a 65%) e o itabirítico (teores inferiores a 62%) (Total Meio Ambiente, 2008). Devido a exigências de pureza e às tecnologias disponíveis, até 2005, o teor de corte era 64% de ferro, o que significava que todo material com concentração de ferro inferior era depositado nas pilhas de estéril. Isso fez com que a Vallourec tivesse uma geração de estéril muito alta; para os minérios itabiríticos a relação entre estéril e minério era 3:1, mas ela chegava a 7:1 para os minérios hematíticos (Gomes, 2016).

A grande geração de estéril criou a necessidade de amplas áreas para sua disposição. Esse problema se tornou ainda mais crítico para a Vallourec, quando, em 2008, a empresa identificou 41 cavidades naturais passíveis de proteção em áreas onde ela planejava depositar rejeito e estéril (Gomes, 2016). Dessa forma, houve uma redução na área disponível para a disposição de resíduos e essa questão se tornou ainda mais crítica para a empresa.

Como consequência, a Vallourec precisou desenvolver estratégias especificas para lidar com seus resíduos. Por um lado, a mineradora enfrentou a escassez de espaço construindo estruturas muito próximas umas das outras, chegando a sobrepô-las em alguns casos. Por outro lado, ela também buscou aprimorar o processo de beneficiamento dos resíduos presentes em suas barragens e pilhas, de forma a reduzir os seus volumes.

3.2 Pilha Cachoeirinha: uma obra sem fim?

Duas estruturas chave para a disposição de resíduos da Vallourec são a Pilha Cachoeirinha e a Barragem de Rejeito Cachoeirinha, e suas histórias são bastante interligadas. A Pilha Cachoeirinha (localizada em uma encosta com vertente virada para a BR-040 que, originalmente, era propriedade da MBR) teve sua licença de instalação concedida em 2001. A barragem foi licenciada dois anos depois (FEAM, 2001).

A disposição do estéril na Pilha Cachoeirinha ocorre em bancadas de 10 m de altura, com uma inclinação de 1(V):2(H), gerando uma inclinação geral da pilha de aproximadamente 1(V):3(H) (Statum Geotecnia, 2020). A drenagem interna foi instalada apenas em 2007 e incorporou o vale de três vertentes. A drenagem superficial consiste em canaletas e descidas de água que, por meio de canais

periféricos, conduzem a água de chuva até o Dique Lisa (BVP Engenharia, 2018; Statum Geotecnia, 2020; SUPRAM, 2020b).

A pilha foi, inicialmente, concebida para ser implantada entre as cotas 1.330 m e 1.410 m (FEAM, 2001). Porém, como é comum em obras de mineração, a estrutura foi, posteriormente, ampliada para além do projeto inicial. Em 2021, seu topo já alcançava a cota 1.490 m (DAM Projetos de Engenharia, 2021), 80 m acima da cota inicialmente planejada.

Em seu projeto original, a Pilha Cachoerinha seria uma estrutura para disposição de estéril. Apesar disso, ao longo de sua história, ela também serviu como depósito temporário de minério (Poente Engenharia & Consultoria, 2013b). Em 2005, a Vallourec identificou 55 milhões de toneladas de itabirito em suas reservas e decidiu que o itabirito de melhor qualidade seria disposto na Pilha Cachoerinha para ser, posteriormente, beneficiado (Total Meio Ambiente, 2007).

A composição principal da Pilha Cachoeirinha, até a cota 1.400 m, é estéril. Acima dessa altitude, ela passou a receber outros materiais como, por exemplo, rejeito filtrado, que foi disposto "envelopado" em camadas de estéril (SUPRAM, 2020b).

A primeira grande mudança da Pilha Cachoeirinha foi proposta já em 2005, quando a Vallourec apresentou um projeto de ampliação da mina Pau Branco. Naquele ano, a empresa tornou economicamente viável o processamento de itabiritos de menor teor de ferro por meio de sua combinação com a goethita (Total Meio Ambiente, 2008).

Esse projeto de ampliação consistia na expansão da cava, na ampliação da Pilha Sul, na realocação das instalações de beneficiamento e na transformação da Pilha Cachoerinha, em uma pilha de co-disposição de rejeito e estéril (Ecolab Meio Ambiente, 2005). Essa alteração no material a ser disposto na pilha seria uma mudança significativa do conceito original da pilha e permitiria o aumento de sua capacidade de 15 milhões m^3 para 22 milhões m^3 (Ecolab Meio Ambiente, 2005).

O Plano de Controle Ambiental (PCA) associado ao projeto de co-disposição não é claro sobre o tratamento ao qual seria submetido o rejeito antes de ser disposto na Pilha Cachoeirinha. Se por um lado ele afirma que a co-disposição eliminaria o uso de barragem de rejeito (p. 4), por outro, reconhece que ainda haveria a formação de um lago (p. 34). Além disso, ele indica que, naquele momento, o rejeito era adensado até uma concentração de 30% de sólidos (p. 18) (Ecolab Meio Ambiente, 2005), um teor muito baixo para garantir a formação de pilhas estáveis.

Apesar de a Vallourec utilizar no PCA o termo co-disposição, ela não menciona especificamente nenhuma das tecnologias descritas na Seção 2. Ainda, a descrição resumida no documento parece se referir a um empilhamento drenado, embora esse não seja o nome adotado pela mineradora. Para o licenciamento ambiental, a empresa apresentou um projeto bastante vago, que se limitava a fazer recorrentes referências ao projeto executivo da pilha, sem apresentar sua descrição detalhada.

> A transição do modelo atual de disposição de rejeitos para o processo de co-disposição será através do empilhamento de estéreis a jusante da Barragem Cachoeirinha após a conclusão da 1ª fase, até a cota da crista. Posteriormente, deverá ser delimitada a área onde deverão ser dispostos os rejeitos no interior da

> área de disposição de estéreis. Na área definida, deverá ser executado tapete drenante, entre outros dispositivos de drenagem, formas de adução e extravasamento de água, **conforme especificação do projeto executivo**.
>
> Os rejeitos deverão ser lançados a partir da crista do aterro que separa a pilha de rejeitos da pilha de estéril, **de acordo com especificação do projeto**, de tal modo que a área de formação do lago esteja do lado oposto ao da crista (Ecolab Meio Ambiente, 2005, pp. 33-34).

Além da falta de clareza sobre o processo de co-disposição, outro aspecto importante do PCA é a explicitação da falta de espaço para a construção das estruturas. Como solução, o plano descreve como a nova pilha seria construída sobre a antiga barragem de rejeito.

> A pilha tem parte de sua fundação situada a jusante do maciço da Barragem Cachoeirinha (1ª fase), **parte sobre o rejeito depositado no reservatório**, e parte sobre o terreno natural da encosta da serra da Moeda (Ecolab Meio Ambiente, 2005, p. 33).

Confirmando esse problema, em outro documento foi mencionado que a Vallourec pretendia que o maciço da Barragem Cachoerinha fosse incorporado pela Pilha Cachoerinha; assim, "[estas] estruturas, ao serem conectadas, [constituiriam] uma única estrutura chamada de Pilha de Co-disposição de Rejeitos e Estéreis do Cachoeirinha" (Poente Engenharia & Consultoria, 2011b, p. 5).

Também relacionadas a essa crônica limitação de espaço, estiveram diferentes iniciativas da Vallourec voltadas para o reprocessamento de seus resíduos. Nesse sentido, em 2008, a empresa instalou uma planta de concentração magnética que lhe permitiria recuperar parte do rejeito de suas unidades de beneficiamento e da Barragem Cachoeirinha, bem como do estéril presente na Pilha Cachoerinha (Gomes, 2016; Total Meio Ambiente, 2008, 2014, 2019; YKS, 2015).

Dois anos mais tarde, em 2010, em um novo investimento, foi instalada outra planta de beneficiamento. Com a nova estrutura, a Vallourec pôde ampliar sua capacidade de beneficiamento de minérios com concentração de 60% de ferro para aqueles com teor de 45%. Dessa forma, antigas pilhas de estéril, passaram a ser recuperadas e parte do material beneficiado (Gomes, 2016).

Ainda motivada pela otimização de sua disposição de resíduos, em 2015, a Vallourec instalou um sistema de filtragem de rejeito. Assim, o rejeito passou a ser encaminhado para o desaguamento, seguido de espessamento e, posteriormente, filtragem por prensas. O material final, que tinha uma teor de umidade entre 15% e 20%, deixou de ser disposto na Barragem Cachoeirinha e passou a ser transportado por caminhões e pás carregadeiras até a Pilha Cachoeirinha (Bento, 2017; Statum Geotecnia, 2020; SUPRAM, 2020a).

Em 2016, a empresa ampliou os esforços de recuperação de seus resíduos e apresentou ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) uma proposta para recuperação do minério presente na Pilha Nordeste (DNPM, 2016), obtendo a licença ambiental no ano seguinte (SUPRAM, 2017). Em parte, essa iniciativa era uma resposta ao aumento dos preços no mercado internacional e o projeto pressupunha que o resíduo gerado no reprocessamento seria colocado novamente na

Pilha Nordeste (Total Meio Ambiente, 2016). Segundo estimativas da empresa, a partir desse novo processo seria possível beneficiar materiais cujo teor de ferro variasse entre 30% e 45% (Sete Soluções e Tecnologia Ambiental, 2018).

No ano seguinte, foi solicitado o licenciamento de uma nova ampliação da Pilha Cachoeirinha. Essa proposta era baseada em distintos cenários possíveis, não sendo clara a configuração final que a Vallourec esperava alcançar. Diferentes documentos apresentam situações diversas, mas indicavam que a ampliação poderia aumentar a vida útil da pilha até 2027 (Total Meio Ambiente, 2017), 2048 (Total Meio Ambiente, 2019), ou mesmo 2066 (Total Meio Ambiente, 2018).

No estudo, além da proposta de ampliação da Pilha Cachoeirinha, foram apresentadas como alternativas a instalação de outras pilhas em locais distintos. O projeto indicou a ampliação da pilha existente como proposta mais viável devido à menor distância de transporte, ao menor custo de implantação, ao aproveitamento de infraestruturas existentes, entre outros fatores (Total Meio Ambiente, 2017). Porém para que ela fosse viável, seria necessária a completa remoção do material existente dentro da Barragem Cachoeirinha e sua descaracterização de forma a aumentar o espaço para disposição do estéril e do rejeito filtrado (SUPRAM, 2020a). Esse arranjo construtivo mostrava-se fortemente relacionado à estratégia de sobreposição das estruturas utilizada pela Vallourec. Se, por um lado, ele possibilitava economia de espaço, por outro, poderia gerar novos desafios do ponto de vista operacional e de estabilidade geotécnica.

Além disso, apesar de a instalação da Pilha Cachoeirinha ter ocorrido no início dos anos 2000, quando o projeto da ampliação foi elaborado, identificou-se uma carência de informações referentes à fundação da pilha e da Barragem Cachoeirinha. Essa falta de dados obrigou a empresa de consultoria a propor uma nova campanha de sondagens para verificar a condição geotécnica da fundação de ambas as estruturas (VOGBR, 2018b, pp. 18-19).

Todas essas características apontavam para uma elevada complexidade, do ponto de vista de construção e estabilidade da Pilha Cachoerinha. Todavia, durante o processo de licenciamento ambiental de sua ampliação, a Superintendência Regional de Meio Ambiente (SUPRAM), com base em um parecer de estabilidade emitido quatro anos antes, assumiu que a pilha seria estável. Ao mesmo tempo, ela explicitou que "não foram objeto da avaliação deste parecer questões associadas à estabilidade das estruturas minerárias" (SUPRAM, 2020b, pp. 19-20). Ainda, a SUPRAM acatou o pedido da Vallourec para que a ampliação da pilha fosse licenciada pelo processo simplificado. A empresa se baseou na Deliberação Normativa COPAM nº 217/2017 e conseguiu que essa obra, apesar de seu potencial poluidor/degradador fosse licenciada pela modalidade concomitante em fase única (LAC 1) (SUPRAM, 2020b). Portanto, parece ter havido uma decisão do próprio órgão regulador de reduzir o tempo disponível para analisar o projeto. Logo, a agência deliberadamente restringiu a possibilidade de seus técnicos avaliarem com mais rigor os estudos de estabilidade existentes e, possivelmente, identificarem as várias fragilidades existentes, conforme descrito na Seção 4.

Portanto, o histórico da Mina Pau Branco é um exemplo pedagógico dos desafios crônicos associados aos complexos minerários. Primeiramente, ele demonstra, como

proposto por Kuyek (2019, p. 10), que a mineração nada mais é do que "uma atividade de gestão de resíduos". No fundo, uma grande parte dos investimentos da Vallourec ao longo dos anos foi dedicada exclusivamente à disposição da enorme quantidade de estéril e de rejeito produzida por ela.

Em segundo lugar, a evolução estrutural da Pilha Cachoeirinha ilustra as constantes alterações de estruturas que caracteriza a gestão dos complexos minerários. Ao invés de conceber a mina Pau Branco já em seu formato definitivo, a Vallourec permanentemente alterou projetos, redimensionou estruturas e redefiniu o uso de suas áreas. Assim, como no caso das barragens de Fundão e de Córrego de Feijão, que passaram por alteamentos periódicos não previstos nos projetos originais, a Pilha Cachoeirinha foi recorrentemente alterada durante sua vida útil.

Por fim, o caso ainda explicita de forma emblemática como as estruturas de mineração acabam sendo construídas muito próximas, ou ainda se apoiando umas nas outras. Esta característica já havia sido identificada no caso da Samarco, onde o rompimento de Fundão quase levou ao colapso das barragens de Germano e Santarém. Igualmente, quando houve o desastre em Córrego do Feijão, a falha da B1 quase desestruturou a barragem de sedimentos B6. No caso da Vallourec, como descrito anteriormente, o escorregamento da Pilha Cachoeirinha elevou consideravelmente o risco do rompimento do Dique Lisa. Portanto, estes exemplos indicam que as atuais práticas de gestão dos complexos minerários não apenas tornam mais complexa a avaliação de estabilidade geotécnica, como podem ampliar consideravelmente os danos potenciais devido ao risco de um rompimento em cascata de múltiplas estruturas.

4 As fragilidades e inconsistências dos laudos técnicos de segurança

4.1 Impressões gerais

Os laudos técnicos de segurança consistem na avaliação por empresas de consultoria das condições de estabilidade e manutenção de grandes obras de infraestrutura, tais como as barragens de rejeito ou as pilhas de estéril.

No caso das barragens de rejeito ou de sedimento, esses estudos acabam sendo necessários para que as mineradoras recebam as Declarações de Condição de Estabilidade (DCEs), que precisam ser entregues periodicamente à ANM. Porém a agência não faz nenhum controle ou monitoramento sistemático das pilhas de estéril ou rejeito filtrado. Da mesma forma, a legislação de segurança de barragens de Minas Gerais não menciona, em nenhum momento a necessidade do monitoramento da situação dessas pilhas.

No caso da Pilha Cachoerinha, a apresentação de relatórios de monitoramento geotécnico tornou-se obrigatória por meio de condicionante à concessão da Licença de Operação da pilha em 2009 (V & M Mineração - MC/MA, 2009). Porém, não há garantias legais que a mesma exigência seja feita a outras pilhas existentes no estado.

Os documentos consultados para a elaboração desta seção estavam vinculados aos Processos Administrativos 0012/1988/023/2008 e 0012/1988/032/2017, disponíveis

no SIAM (SEMAD, 2022). A consulta realizada junto à SEMAD permitiu analisar relatórios anuais entre 2009 e 2021, com exceção dos anos 2014 e 2017.

Como uma avaliação geral, pontos que merecem destaque são a variabilidade do detalhamento das informações dos laudos, a dependência das empresas de consultoria das informações fornecidas pela mineradora, e o caráter sugestivo (sem função fiscalizadora) destes laudos.

Do ponto de vista da variabilidade do detalhamento, foi possível analisar os laudos de cinco empresas distintas. A leitura destes relatórios mostrou a discricionariedade dos consultores ao decidirem, por exemplo, quantas seções transversais da pilha seriam estudadas ou a quantidade de fatores de segurança apresentados para cada seção. Na inspeção visual, também foi identificada uma falta de consistência nos elementos constitutivos da pilha a serem avaliados.

A dependência das empresas de consultoria em relação às informações da mineradora é tão profunda que chega a ser questionável a condição de "independência" desses laudos. Em alguns casos, os laudos parecem mais legitimar as decisões da Vallourec do que, de fato, avaliar as ações da empresa. Por exemplo, houve situações em que os documentos requisitados não foram apresentados, sem que isso fosse questionado pela empresa de consultoria. Em outros casos, a condição operacional de elementos da pilha foi assumida como adequada, sem a devida vistoria, exclusivamente com base na palavra dos funcionários da Vallourec.

> A construção da pilha até alcançar a cota de elevação 1435 m seguiu as diretrizes do projeto apresentado no relatório MN-10-RL-8145 desenvolvido pela empresa Pimenta de Ávila. Porém, por motivos internos, **este documento não foi disponibilizado pela mineradora para esta auditoria**" (Geoestável Consultoria e Projetos, 2009, p. 3; 2010, p. 4).

> A surgência observada provavelmente está relacionada à saída das águas no dreno de fundo. Neste ponto **não foi possível visualizar o final do dreno de fundo nem as águas percolando por ele. Segundo a V&M estas, possivelmente, infiltram-se** na fundação de canga e saem a jusante desse ponto, **límpidas** (Geoestável Consultoria e Projetos, 2009, p. 6.)

Considerando o caráter sugestivo dos laudos, o que se percebe é a desconexão entre uma avaliação e outra. Ao longo da leitura dos documentos, raras foram as situações onde um determinado relatório verificava o cumprimento das recomendações previamente feitas. Alguma conexão pôde ser verificada quando eram relatórios da mesma empresa, mas a coerência entre relatórios sucessivos se mostrou mais uma exceção do que a regra.

Essa falta de verificação do cumprimento das recomendações é ainda mais preocupante porque para considerar a pilha estável, os consultores pareciam partir da premissa de que suas recomendações seriam seguidas pela mineradora.

> A partir das considerações apresentadas nos itens anteriores, **conclui-se que a pilha encontra-se estável** com relação aos aspectos hidrológicos/hidráulicos.
>
> [...]

> **As recomendações apresentadas são necessárias para confirmar as premissas assumidas** e podem ser implantadas de forma programada (Geoestável Consultoria e Projetos, 2009, p. 9).

Entretanto, como será visto ao longo da Seção 4.3, em diferentes situações, a mesma recomendação foi repetida por anos seguidos, o que indica o seu não cumprimento pela Vallourec.

Os laudos de segurança, via de regra, eram compostos por duas partes. Um laudo de estabilidade geotécnica, no qual eram estimados os fatores de segurança da pilha e um relatório de visita técnica onde eram descritas as condições da pilha, particularmente da perspectiva da engenharia civil (limpeza de sistema de drenagem, aparência dos taludes, existência de pontos de erosão etc.). Cada uma dessas partes é analisada separadamente nas próximas seções.

4.2 Laudos de estabilidade geotécnica

Os laudos de estabilidade geotécnica são estudos que buscam avaliar as condições estruturais de obras de engenharia que utilizem taludes, como barragens e pilhas. Seu objetivo é estimar o risco de falhas em tais obras, tais como escorregamentos, rupturas, liquefação entre outros. Um componente central desses laudos é o Fator de Segurança (FS), que seria uma medida do nível de estabilidade das estruturas.

Para a estimativa do FS são considerados parâmetros físicos dos diferentes materiais usados na construção da pilha. Estes parâmetros são relativos às características das partículas que compõem os materiais. Silva (2014) explica que, para obtenção desses parâmetros, amostras em quantidade representativa dos diferentes materiais deveriam ser coletadas e submetidas a uma série de análises e ensaios como granulometria, sedimentação, resistência ao cisalhamento, compressão, permeabilidade, entre outros. Além desses parâmetros, são consideradas a presença de água[6] e a geometria da estrutura (altura, inclinação dos taludes etc.).

Por meio de equações matemáticas, estas informações são utilizadas para se estimar o FS das estruturas. Dentre os principais parâmetros físicos utilizados na modelagem matemática, estão a coesão, o peso específico e o ângulo de atrito. Esses parâmetros tendem a variar dentre os diferentes materiais que compõem as pilhas, tais como estéril, rejeito, minério, solo etc.

De acordo com a teoria, uma obra com FS igual a 1 se encontraria em equilíbrio instável, e seria passível de sofrer uma falha a qualquer momento. Matematicamente, quando um FS fosse maior que 1, a obra estaria estável. Todavia, como os parâmetros utilizados são obtidos a partir de amostras e extrapolação estatística, as organizações normatizadoras e reguladoras adotam padrões de segurança, pré-definidos, para estabelecer se uma obra seria segura ou não. Assim, quanto maior o fator de segurança, menor seria o risco de uma pilha, barragem ou talude apresentar uma falha.

De acordo com a Norma NBR 13.029 (ABNT, 2017), que define os parâmetros técnicos de pilhas de estéril no Brasil, o fator de segurança mínimo aceitável em

[6] A medição do nível da água nas estruturas é feita pelas empresas mineradoras. Essa medição ocorre ao longo do ano por meio de instrumentos instalados em diferentes pontos da barragem.

condições normais seria 1,50. Isso quer dizer que somente valores de FS superiores a 1,50 indicariam que a pilha estaria "segura". Apesar da NBR ser considerada uma norma "técnica", deve-se levar em conta que existe uma subjetividade por parte das pessoas que elaboram tais normas no julgamento do que significaria "seguro" (Vick, 2002).

Operacionalmente, seria muito complexo calcular o FS para uma estrutura como um todo. Por esse motivo, os laudos estimam o FS para seções transversais específicas. Em outras palavras, o técnico responsável escolhe "fatias" da pilha, e modela matematicamente a segurança dessas "fatias". A título de ilustração, a Figura 2 apresenta uma dessas seções. Assim, na prática se verificaria o FS de segurança para diferentes seções transversais e, se todos se mostrassem acima do limite mínimo estabelecido pela norma, a pilha seria considerada estável.

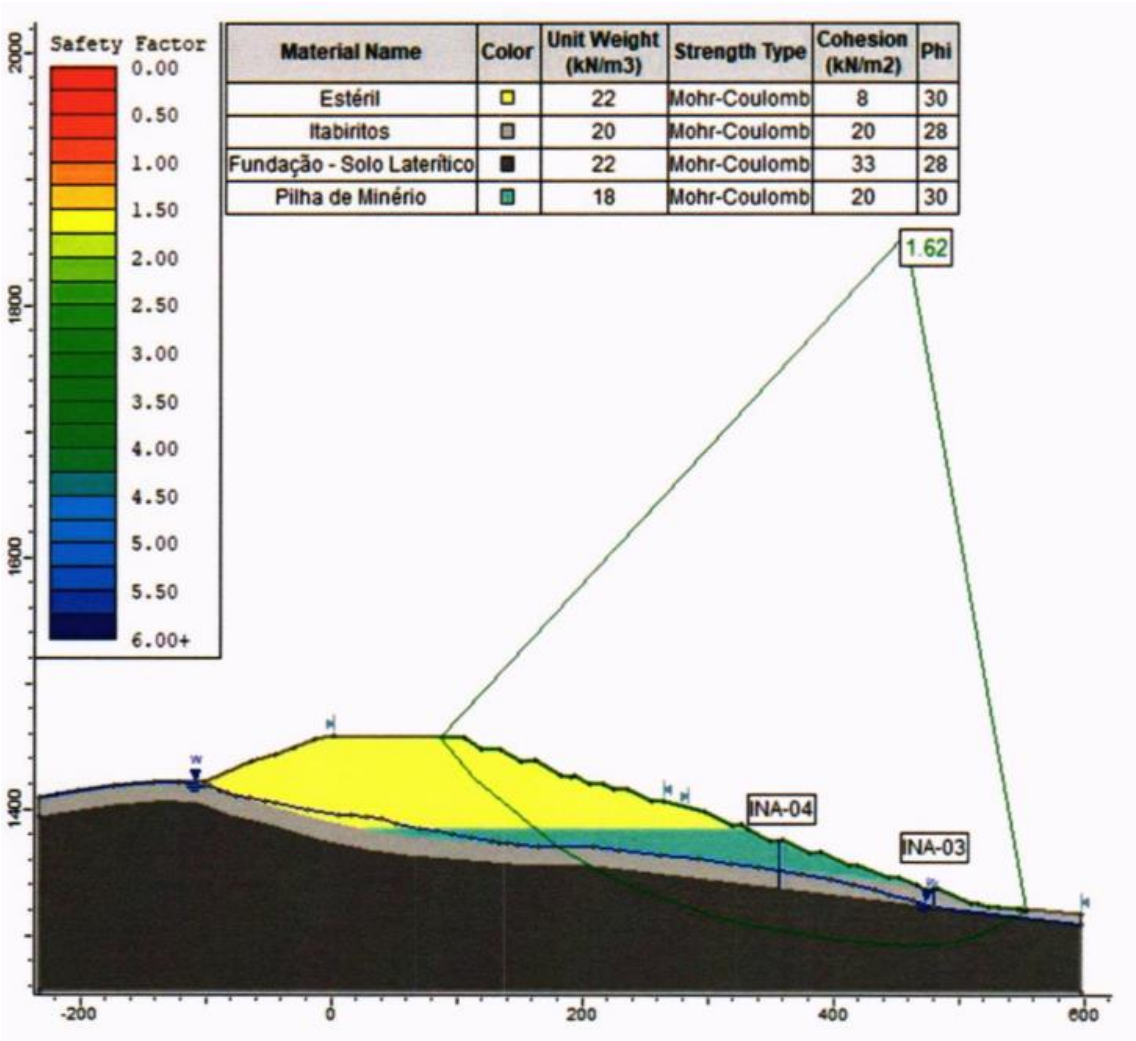

Figura 2: Exemplo de representação da análise de estabilidade de uma seção da Pilha Cachoeirinha
Fonte: Statum Geotecnia (2020).

Conforme apresentado na Tabela 2, em todos os laudos consultados, o FS de segurança estimado para o trecho onde houve o escorregamento apresentou um valor global acima de 1,5, o que significaria que, em teoria, esta parte da pilha estaria

estável. Todavia, deve-se considerar que, desde 2019, não houve novas avaliações deste trecho, portanto, é possível que, em anos recentes, tenha ocorrido alguma alteração que não foi identificada pelas empresas de consultoria (DAM Projetos de Engenharia, 2021; Statum Geotecnia, 2019, 2020).

Não é incomum que a avaliação dos laudos se resuma à leitura do FS de segurança global. Porém estes documentos são bastante complexos e é preciso considerar outros fatores. Existem diferentes aspectos que podem influenciar no cálculo do valor final do FS e que precisam também ser analisados. No caso da Vallourec, o conjunto dos laudos parece apresentar algumas fragilidades e inconsistências. Entre elas, podem ser listadas o procedimento de escolha dos parâmetros geotécnicos, o número de seções transversais analisadas por laudo, e a descontinuidade da divulgação da estabilidade de taludes individuais.

Tabela 2: Sistematização de dados dos laudos de estabilidade da Pilha Cachoerinha

Ano	Fator de segurança global estimado *	Número de seções transversais avaliadas	Data da inspeção visual
2009 **	1,95	5	29/06/2009
2010 **	1,78	5	16/09/2010
2011	1,7	5	09/09/2011
2012	1,6	5	04/10/2012
2013	1,62	5	03/09/2013
2015	1,6	4	01/09/2015
2016	1,66	3	20/09/2016
2018	1,54	4	16/08/2018
2019	N/D	1	20/09/2019
2020	N/D	2	17/09/2020
2021	N/D	1	14/09/2021

Fonte: (BVP Engenharia, 2015, 2016, 2018; DAM Projetos de Engenharia, 2021; Geoestável Consultoria e Projetos, 2009, 2010; Poente Engenharia & Consultoria, 2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b; Statum Geotecnia, 2019, 2020).

*** Os FS apresentados na tabela se referem às seções que se encontravam no trecho onde ocorreu o escorregamento de janeiro de 2022. Em alguns anos foi estimado o FS para diferentes partes da seção transversal, sendo aqui apresentado o valor global, que representa o trecho como um todo. Para os anos de 2019, 2020 e 2021, não foram feitos estudos de estabilidade neste trecho específico.**

**** Nos anos 2009 e 2010, a Vallourec ainda não tinha instalado todos os instrumentos de mensuração de nível de água, por esse motivo, a empresa de consultoria utilizou os dados que constavam no projeto.**

O primeiro ponto que deve ser debatido sobre os laudos de estabilidade diz respeito aos parâmetros geotécnicos utilizados. A Tabela 3, em anexo, apresenta os valores adotados pelas distintas empresas de consultoria ao longo do tempo. A inclusão ou

não de determinado material (estéril, rejeito, minério, solo etc.) em um estudo de estabilidade depende da presença daquele material na seção transversal examinada.

Conforme mencionado na Seção 3, em 2015, a Vallourec passou a dispor rejeito filtrado na pilha de estéril. Essa alteração de procedimento, em teoria, deveria alterar as propriedades geotécnicas da pilha uma vez que o rejeito "envelopado" dentro das camadas de estéril possui propriedades geotécnicas específicas e diferentes das propriedades do estéril. A adoção de uma nova tecnologia deveria, em princípio, ter chamado a atenção dos consultores e seria do interesse da Vallourec verificar, em campo, a estabilidade das seções onde houvesse a disposição de rejeito filtrado. Entretanto, esse não parece ter sido o procedimento das empresas, uma vez que, como indicado na Tabela 3, não há alteração dos materiais analisados e de seus parâmetros após 2015. A incorporação de um novo "material" classificado como rejeito/estéril somente ocorreu em 2021, porém essa combinação manteve os parâmetros geotécnicos relativos ao estéril de laudos anteriores. Os laudos não explicam o motivo da não atualização dessas informações ao longo do tempo, nem mencionam se novos ensaios foram realizados para aferir as propriedades geotécnicas dos componentes da Pilha Cachoeirinha.

No caso específico do laudo de 2021, é explicitado que "No dia da visita estavam sendo executados furos de sondagem no maciço da pilha. Segundo informações da Vallourec, os furos executados visam investigar a resistência do maciço e fundação, além de contemplar a instalação de instrumentos de auscultação no maciço" (DAM Projetos de Engenharia, 2021, p. 15). Todavia, o laudo não deixa claro onde esses furos estavam sendo realizados, nem se os novos dados seriam usados para atualizar os parâmetros geotécnicos de laudos de estabilidade futuros.

Uma segunda inconsistência identificada na avaliação dos diferentes laudos foi a diferença no número de seções transversais analisadas em cada ano, conforme apresentado na Tabela 2. Os autores dos laudos afirmam ter escolhido as seções que possuíam maior altura, por considerarem estas as regiões que teriam maior risco de falha. Contudo, eles não explicitaram qual critério utilizaram para reduzir o número de seções transversais avaliadas.

Um terceiro ponto que merece destaque na avaliação dos laudos de segurança diz respeito à ausência, em muitos deles, do registro da estabilidade dos taludes individuais. Além do fator de segurança global, descrito anteriormente, a NBR 13.029 (ABNT, 2017) estabelece um fator mínimo de segurança para ruptura de taludes entre bermas[7]. Essa análise foi explicitada apenas em alguns anos, mas sua anotação não se deu de forma consistente ao longo do tempo, não sendo apresentada nenhuma justificativa por parte dos consultores para a descontinuidade da apresentação de tais dados. Essa avaliação se mostraria necessária uma vez que houve laudos onde foram encontrados fatores de segurança de bancada inferiores ao valor mínimo exigido.

[7] "Face superior de um degrau (banco) de uma mina a céu aberto para ser usado como rota de acesso, como uma barreira para reter pedras ou material solto, ou para melhorar a estabilidade do talude" (Ministerio de Minas y Energía, 2003, p. 29).

> Nas seções A-A, B-B e D-D obteve-se fatores de segurança de bancadas superiores a 1,30 e inferiores a 1,50, indicando uma condição também estável, mas que não atende as diretrizes na norma vigente (Geoestável Consultoria e Projetos, 2010, p. 11)
>
> Entretanto, na porção norte da PDE Cachoerinha, representada pelas seções A e B foram constatados fatores de segurança de bancada inferiores a 1.5. [...] Na porção Sul da PDE Cachoeirinha, representada pela seção D, também foi verificada superfície de ruptura de bancada com fator de segurança abaixo do mínimo recomendado por norma, devido ao elevado ângulo de face implantado (ângulo ~ 50º). (BVP Engenharia, 2015, pp. 35-36).
>
> As análises feitas com os níveis máximos de água indicados pelos instrumentos, resultaram em superfície de ruptura com fator de segurança igual ou superior ao valor mínimo exigido para a condição normal (F.S. = 1,50), não indicando a necessidade de refazer as análises com nível de água normal (média). Na região da pilha que apresentou fator de segurança abaixo do mínimo exigido, a superfície de ruptura não é condicionada pela presença do nível da água (BVP Engenharia, 2016, p. 38). [...] Na seção BB´, localizada na porção norte da pilha, recomenda-se a suavização do ângulo de face do talude do banco superior, mantendo-os menores ou iguais a 29º. Essa configuração eliminará as possibilidades de ruptura de bancada, visto que as análises indicaram um fator de segurança local baixo no referido banco (BVP Engenharia, 2016, p. 42).

Essa avaliação individual se mostrou particularmente relevante nos laudos de 2015 e 2016, uma vez que as seções transversais B (2015) e BB´ (2016), onde foram identificadas bancadas com FS insatisfatório, se sobrepunham ao trecho onde houve escorregamento em 2022[8]. Os laudos posteriores não apresentaram avaliação individual da estabilidade dos taludes entre bermas desse trecho, nem mencionaram qualquer iniciativa de correção por parte da Vallourec, o que impediu a verificação de uma eventual retificação dessa falha (BVP Engenharia, 2018; DAM Projetos de Engenharia, 2021; Statum Geotecnia, 2019, 2020).

Em resumo, uma avaliação comparativa dos laudos de estabilidade mostrou diferentes fragilidades e inconsistências. Entre esses fatores foram identificadas: (1) a não atualização dos parâmetros geotécnicos, (2) a discricionariedade no número e na seleção das seções transversais, e (3) a não apresentação da avaliação da estabilidade dos taludes individuais. Os laudos não especificam as motivações dessas variações. Assim, mesmo em situações onde o FS global se mostrou acima do limite estabelecido, tais fragilidades poderiam comprometer a capacidade de os estudos identificarem problemas estruturais e, assim, alertar sobre riscos de escorregamento.

4.3 Relatórios de inspeção visual

Além dos laudos de estabilidade geotécnicas, os formulários de segurança também são compostos por relatórios de inspeção visual. Durante essas inspeções, funcionários das empresas de consultoria realizaram visitas à mina, acompanhados de pessoal da Vallourec e, conjuntamente, fizeram a avaliação visual e registro fotográfico de diferentes elementos da pilha. Entre os aspectos observados estavam

[8] A partir dos dados disponíveis não foi possível verificar se as bancadas que apresentaram FS insatisfatórios nos laudos foram as que escorregaram, uma vez que não foi localizada informação oficial da Vallourec sobre a cota específica onde ocorreu o deslizamento.

as condições dos instrumentos de medição, a aparência dos taludes, o estado do sistema de drenagem superficial e a situação da saída dos drenos internos.

Antes de avaliar cada um desses elementos, um dos aspectos que chama a atenção é a data da realização das inspeções. Conforme apresentado na Tabela 2, com exceção da visita de 2009, que ocorreu em junho, todas as outras se deram entre agosto e outubro, com maior frequência em setembro. Esse período caracteriza o final da estação seca em Minas Gerais. Considerando que um dos objetivos de tais vistorias seria avaliar o funcionamento dos sistemas de drenagem, esse seria o período do ano menos indicado para tal monitoramento. Da mesma forma, essa opção dificultaria a identificação de surgências e outros indícios de falha no sistema de drenagem interna. Todavia, com exceção dos relatórios de 2009 e 2013, essa escolha de data não foi problematizada por nenhum dos relatórios.

> Inspecionar **após épocas de chuvas** o local de **surgência de água** em uma das bermas apresentado no relatório nº 640.BH-EXRTE-CV001 R0, embora **na presente visita a região apresentava-se seca**, em épocas de chuvas **o afloramento de água pode voltar**, caso seja necessário, criar um sistema de drenagem que conduza a água para o local adequado (Poente Engenharia & Consultoria, 2013b, p. 9).

Do ponto de vista dos componentes da pilha que eram vistoriados, os laudos foram praticamente unânimes na avaliação da instrumentação (piezômetros e medidores de nível de água). Todos mencionaram que estes instrumentos se mostravam em boas condições de operação, visualização e manutenção. No ano de 2018, porém, foi destacada a existência de dois piezômetros obstruídos, problema este que teria sido, posteriormente, solucionado (BVP Engenharia, 2018).

A avalição dos taludes, em geral, também se mostrou positiva e os consultores normalmente destacavam a ausência de anomalias relevantes como trincas, escorregamentos, cicatrizes erosivas e deslocamentos. Com relação aos taludes encerrados, muitas vezes foi mencionado que se encontravam com vegetação contínua e densa. Em relatórios recentes, os consultores mencionaram que havia trechos da pilha com ausência de vegetação (Statum Geotecnia, 2019) ou com proteção vegetal deficitária (Statum Geotecnia, 2020). Contudo, o laudo de 2021 não fez referência a esse problema (DAM Projetos de Engenharia, 2021).

Entre as não conformidades identificadas nas vistorias, o relatório de 2009 mencionou que um talude na proximidade do dreno de fundo secundário havia passado por uma ruptura em anos anteriores, mas não especifica a data do evento, o local, nem a causa da ruptura (Geoestável Consultoria e Projetos, 2009). Ainda, no laudo de 2010, foi relatado que a Vallourec empilhava, além de estéril, rejeito de minério, apesar da inexistência de projetos específicos para essa prática.

> Acima da cota 1400 m na porção sul, **a V&M está empilhando minério de ferro de canga e rejeito de minério de ferro** contra-pilhados com o estéril. Este minério e rejeito será [sic] posteriormente removido e levado para beneficiamento (Figura AI.03). Ressalta-se que **não foi constatada a existência de estudos/projetos específicos para o empilhamento do minério na pilha**. De forma semelhante à porção inferior da pilha, não foram evidenciadas anomalias relevantes.

> De acordo com o responsável, Eng. [...], **a V&M pretende estudar os parâmetros dos rejeitos** através da realização de ensaios geotécnicos **para avaliar a real condição de estabilidade desta porção provisória da pilha** (Geoestável Consultoria e Projetos, 2010, p. 7).

Quanto aos relatórios mais recentes, no ano de 2020, foi feita referência a taludes na região norte da pilha com "erosões de profundidade média a profunda" (Statum Geotecnia, 2020, p. 7). O relatório mencionou que restrições ambientais dificultariam a recuperação dessa área sem, porém, especificar que restrições seriam essas.

Outro elemento comumente comentado nos relatórios foi a situação da drenagem superficial. Em sua grande maioria, os relatórios indicavam que o sistema de drenagem se encontrava em bom estado de manutenção, havendo, em alguns anos específicos, problemas pontuais que mereceriam atenção da Vallourec. Todavia, tais questões pareceram não ter sido consideradas suficientemente sérias pelos consultores a ponto de comprometerem a condição de estabilidade da pilha.

> Verificou-se que em uma das descidas de água já implantada apresenta-se com **parte da parede do canal rompida** (Figura A1.03) (Geoestável Consultoria e Projetos, 2009, p. 6).

> Algumas canaletas escavadas em solo estão conectadas com as descidas de água e outras não. Quando da inspeção, observou-se que é possível ter problemas localizados de empoçamento de águas pluviais nas bermas em consequência da **inexistência de ligação das canaletas com as descidas de água**. Alguns destes pontos já estavam sendo resolvidos pela V&M, sendo que os mesmos foram levantados nas planilhas de inspeção realizadas pela técnica [...] (Geoestável Consultoria e Projetos, 2010, p. 8).

> O sistema de drenagem superficial da pilha encontra-se, no geral, em bom estado de conservação, porém, carece de manutenção em alguns pontos. Alguns trechos apresentam **ferragens expostas** devido ao desgaste do tempo e erosões laterais podendo comprometer a estrutura a longo prazo (Statum Geotecnia, 2020, p. 8).

Por fim, a situação da drenagem interna se mostrou como aquela mais difícil de ser analisada a partir dos laudos de visita. Dentre os documentos identificados, não foi possível localizar o projeto do sistema de drenagem interna. A partir da leitura dos laudos de visita, haveria três drenos: o principal, o secundário e o auxiliar, mas os relatórios não registram suas posições. Quatro aspectos chamam a atenção em relação à drenagem interna: (1) a instalação de um dreno sem dimensionamento; (2) o constante surgimento de surgências no pé da pilha; (3) a dificuldade de localizar e fiscalizar a saída de um dos drenos; e (4) a ausência de medidores de vazão.

Com relação à instalação de um dreno sem dimensionamento, a referência a ele foi feita apenas uma vez, ainda em 2010. Porém, o relato não deixa claro o seu posicionamento, nem especifica se é um dos sistemas principais ou apenas um dreno complementar. Ainda não faz menção como esse dreno sem dimensionamento teria sido considerado no planejamento da capacidade de drenagem global da pilha.

> Na porção oeste onde há uma cavidade na canga, a V&M implantou um dreno interno no contato do terreno natural com o estéril (Figura AI.07) para drenar água que será represada durante o período chuvoso. **Este dreno foi construído**

> baseando-se na experiência da mina na implantação dos drenos internos da pilha, ou seja**, sem um prévio dimensionamento** (Geoestável Consultoria e Projetos, 2010, p. 8).

Um segundo ponto recorrente em alguns relatórios foi a existência de surgência na base da pilha. Os relatórios não deram sua localização precisa, o que impediu a verificação se eram surgências diferentes, ou sempre a mesma. Como mencionado anteriormente, as visitas foram feitas principalmente no período de seca, o que também dificultaria a identificação de eventuais sinais de áreas úmidas.

> Em uma região da pilha, nas proximidades do dreno de fundo secundário, **notou-se [sic] surgências de água** de forma dispersa no pé do talude [...] (Geoestável Consultoria e Projetos, 2009, p. 6).
>
> **A Pilha apresentava** no momento da visita, **uma pequena surgência de água** em uma de suas bermas próximas ao pé (Poente Engenharia & Consultoria, 2012b, p. 7).
>
> **A pequena surgência de água** em uma berma próxima ao pé do talude, mencionada na inspeção passada, **apresentava-se seca** (Poente Engenharia & Consultoria, 2013b, p. 7)
>
> No canal na região leste da pilha **verificou-se uma surgência de água** (Figura 5-8). Recomenda-se o monitoramento e a investigação da origem desta surgência (Statum Geotecnia, 2020, p. 10).

Finalmente, outro elemento mencionado recorrentemente nos relatórios de inspeção foi a saída do dreno de fundo. Durante as visitas, houve vezes em que os consultores e os técnicos da Vallourec nem conseguiram localizar a saída de um dos drenos para verificar, de fato, a condição da água que percolava por dentro da pilha. Os consultores, todavia, não documentaram nenhum questionamento com relação à impossibilidade de realizar essa etapa da inspeção.

> Neste ponto **não foi possível visualizar o final do dreno de fundo nem as águas percolando por ele** (Geoestável Consultoria e Projetos, 2009, p. 7).
>
> Em relação à saída dos drenos, **foi identificado em campo um ponto de saída da drenagem interna da pilha** com água limpa e sem indícios de carregamento. [...] **Foi informado** pela equipe técnica da Vallourec mineração, **que existe outro ponto de saída da drenagem interna** (BVP Engenharia, 2015, p. 18; 2016, p. 31).
>
> Durante a visita de campo, **não foi possível identificar a saída de fundo da pilha Cachoerinha**. No entanto, foram observados dois canais que conduzem o fluxo de água proveniente da drenagem interna da pilha (Foto 5.22), sendo que em **um dos canais não foi observado fluxo de água** e no outro o fluxo apresentava-se límpido e sem indícios de carreamento de material (BVP Engenharia, 2018, p. 39)

Ainda sobre o dreno de saída, os consultores repetidamente indicaram a necessidade da instalação de medidores de vazão na saída dos drenos. Apesar da insistência da recomendação, não foi identificada nenhuma ação mais enfática (por exemplo,

estabelecimento de condicionante para emissão do laudo de estabilidade) com relação a esse aspecto pelas empresas de consultoria.

> **Recomenda-se implantar medidores de vazão** nas saídas dos drenos de fundo da pilha (BVP Engenharia, 2015, p. 36).
>
> **Instalação de medidores de vazão** nas saídas dos drenos de fundo da pilha após a ampliação da PDE (BVP Engenharia, 2016, p. 42)
>
> Sugere-se **que sejam implantados medidores de vazão** para melhorar as condições de leituras da vazão dos drenos de fundo (Statum Geotecnia, 2020, p. 23).

Dessa forma, a avaliação detalhada dos relatórios de inspeção visual indica com clareza a fragilidade desse procedimento, o que o aproxima mais de uma formalidade burocrática do que uma auditoria de segurança. Primeiramente, parece inadequada a opção das empresas por realizar as visitas de monitoramento sempre no período de estiagem, o que impediria os consultores de verificarem as estruturas de drenagem em real funcionamento, e ainda dificultaria a avaliação da real seriedade das surgências identificadas. Em segundo lugar, nenhuma medida corretiva pareceu ser tomada diante da identificação de estruturas construídas sem o devido rigor técnico, tais como pilhas de minério sem estudo de estabilidade, ou um dreno interno sem dimensionamento. Como terceiro problema existe a desconexão entre os distintos relatórios, uma vez que, aparentemente, algumas não conformidades foram identificadas repetidamente. Em resumo, apesar de os pareceres apontarem distintos aspectos que poderiam servir de indicativo de problemas mais sérios, essas vistorias sempre atestaram a estabilidade sem verificar se recomendações anteriores teriam sido implementas ou condicionar o laudo de estabilidade a correções dos problemas identificados.

4.4 Outros alertas da possibilidade de falhas

Conforme descrito nas seções anteriores, os relatórios técnicos de segurança regulares apresentaram uma série de inconsistências. Os problemas desses laudos parecem não ter sido localizados pelos órgãos ambientais de Minas Gerais, uma vez que, dentre os documentos consultados, nenhum questionamento ou pedido de explicação foi localizado. Apesar desse contexto de controle e monitoramento ineficazes houve, pelo menos, uma vez em que a Vallourec e os órgãos ambientais foram alertados de potenciais riscos de segurança na Pilha Cachoerinha.

Em janeiro de 2018, a empresa VOGBR (2018a) apresentou à Vallourec um projeto conceitual voltado para a "adequação de drenagem superficial" da Pilha Cachoeirinha. Este projeto alertava para o fato de que haveria uma "área propícia à acumulação de águas de chuva a montante da pilha" (p. 3) e indicava a necessidade da "reconformação da região por meio de um aterro de forma a não permitir o acúmulo de águas pluviais [e] a execução de um canal periférico para drenagem superficial" (p. 6). Ainda de acordo com o relatório,

> A adequação da região **é primordial para garantir a segurança e a estabilidade** da PDE Cachoerinha (VOGBR, 2018a, p. 10).

Apesar da relevância do problema, essa falha não foi identificada por nenhum dos laudos técnicos de segurança regulares, que sempre atestaram a eficiência do sistema de drenagem superficial existente. Mesmo os relatórios realizados posteriormente (2018, 2019, 2020, 2021) não fizeram nenhuma referência ao tema ou ao estudo da VOGBR. Tal fato reforça a avaliação das limitações desses laudos de segurança.

Devido à ausência de informações, não foi possível saber se as medidas corretivas propostas pela VOGBR foram adotadas. Mesmo que não tenham sido, sem uma perícia de fato independente não há como relacionar esse problema de drenagem com o escorregamento que ocorreu em janeiro de 2022. Mesmo assim, a ausência de referências ao problema ou ao relatório nos laudos de segurança reforça a fragilidade do sistema regular de monitoramento de segurança da Pilha Cachoeirinha criado pela Vallourec.

5 Considerações finais

A partir dos desastres recorrentes envolvendo barragens de rejeitos no Brasil, o debate sobre a disposição dos resíduos de mineração ganhou importância tanto na esfera social, quando política. Uma das principais "soluções" apresentadas pelo setor para reduzir a contestação às suas atividades foi a substituição de barragens por pilhas de rejeito filtrado, sob o argumento de que essas seriam mais seguras. Em Minas Gerais, a Vallourec se mostrou como uma das líderes nessa rota tecnológica, com a transformação da Pilha de Estéril Cachoeirinha em uma pilha de co-disposição de estéril e rejeito filtrado.

Por um lado, o argumento de que os danos potenciais de uma pilha de rejeito filtrado tendem a ser inferiores àqueles causados por uma barragem de rejeito dificilmente pode ser questionado. Por outro lado, como o exemplo da Pilha Cachoeirinha (e dos outros casos mencionados neste relatório) demonstrou, a promessa de uma mineração "sem riscos" não parece ser realizável. Neste contexto, devido à existência de danos potenciais elevados, defende-se que essas pilhas deveriam ser objeto de uma regulação e monitoramento tão rígidos quanto as barragens de rejeito.

Assim, como contribuição para a elaboração de uma eventual legislação sobre a construção, o monitoramento e a fiscalização de pilhas de estéril e de rejeito filtrado, algumas considerações são apresentadas a seguir.

Em primeiro lugar**, as mudanças climáticas e o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos devem orientar qualquer política de segurança de estruturas de mineração**. Os modelos climáticos existentes indicam que a chance de chuvas intensas ocorrerem no futuro é crescente. Por esse motivo, normas técnicas e regras estabelecidas por agências estatais deveriam definir padrões que levassem esse processo em consideração. Infelizmente, esse não parece ser o caso do Brasil. A ANM, em sua Resolução mais recente sobre segurança de barragens de rejeitos, estabeleceu que o Relatório de Inspeção de Segurança Regular de barragens "deve levar em consideração séries históricas de precipitação e vazão, estudos hidrológicos e hidráulicos, visando atestar a segurança da estrutura" (ANM, 2022a, p. art. 24). Assim, a agência decidiu por não exigir que as mineradoras incorporassem em seus estudos novos modelos de precipitação que incluíssem variações vinculadas às mudanças climáticas.

Um segundo ponto que se mostrou emblemático no caso da Mina Pau Branco está relacionado ao planejamento do complexo a à organização das estruturas de mineração. Os dados analisados sugerem que Vallourec naturalizou a prática de construir estruturas muito próximas umas das outras, ou mesmo sobrepostas. Essa prática tenderia a aumentar o risco de falhas em cascata. As situações vivenciadas no Complexo de Germano da Samarco e na mina Córrego do Feijão da Vale indicam que essa é uma prática comumente adotada pelo setor, e não uma exclusividade da Vallourec. Dessa maneira, **distanciamentos mínimos deveriam ser estabelecidos entre estruturas de mineração para criar zonas de amortecimento de impacto, reduzir os danos associados a falhas estruturais e evitar o chamado "efeito dominó", onde a falha de uma estrutura específica causaria falhas em outras.**

Ainda na questão do planejamento dos complexos minerários, a questão da Pilha Cachoeirinha indica uma constante modificação não apenas de sua altura, mas também de suas características estruturais e operacionais. Essa permanente alteração de projeto parece aumentar a possibilidade de falhas e reduzir a capacidade de fiscalização dessas obras. Portanto, assim como a Política Estadual de Segurança de Barragens de Minas Gerais (Minas Gerais, 2019) exige que as barragens de rejeito sejam licenciadas já em sua cota final, proibindo alteamentos posteriores[9], **o licenciamento de pilhas de estéril e de rejeito filtrado deveria estabelecer que uma vez licenciadas, estas estruturas não poderiam ser alteadas ou modificadas**.

O terceiro elemento que necessita de maior discussão é o papel da ANM na fiscalização de pilhas de estéril e de rejeito filtrado. Assim como no caso das barragens, as falhas de pilhas não devem ser vistas como eventos fortuitos, mas sim como aspectos estruturais da atividade de extração mineral. Apesar da criação da força tarefa elaborada pela ANM para monitorar 17 pilhas "críticas" após a falha da Pilha Cachoeirinha[10], tal iniciativa dificilmente se mostrará suficiente para impedir novas falhas, se considerarmos a quantidade de pilhas existentes no país. Portanto, seria fundamental que **ANM criasse um sistema inspirado no Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM) para monitoramento e fiscalização permanentes das pilhas de estéril e de rejeito filtrado**.

Uma quarta questão que deveria ser debatida em maior profundidade diz respeito ao licenciamento ambiental das pilhas de resíduo da mineração. Assim, como no caso de Córrego do Feijão, o licenciamento da ampliação da Pilha Cachoeirinha ocorreu na modalidade concomitante, em apenas uma fase (LAC1). Conforme debatido em outros estudos (Milanez et al., 2019), processos acelerados de licenciamento ambiental têm se mostrado inadequados para avaliação de obras com considerável

[9] Art. 7 [...]
I- para a obtenção da LP, o empreendedor deverá apresentar, no mínimo:
a) projeto conceitual na cota final prevista para a barragem, com respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica – ART (Minas Gerais, 2019).

[10] Com base nos critérios de tipo de material, volume da pilha, altura da pilha, existência de barragem a jusante, existência de estruturas a jusante e operacionalidade da pilha, a ANM selecionou 17 pilhas de estéril como prioritárias para fiscalização. Dentre essas, 13 pertenciam à Vale e estavam localizadas nos complexos Alegria (2), Conceição (2), Córrego do Feijão (2), Fábrica (1), Fábrica Nova (3), Meio (2) e Sapecado (1), uma à Anglogold Ashanti (Complexo Sítio Mineração), uma à Mineração Morro do Ipê S.A., uma à Mineração Usiminas S.A, além da própria Pilha Cachoeirinha (ANM, 2022c).

dano potencial, uma vez que não concedem um tempo suficiente para uma avalição mais aprofundada, reduzindo as chances de os técnicos identificarem potenciais falhas, e da sociedade participar do processo. Logo, seria mais adequado que **estruturas de mineração sempre fossem licenciadas pela modalidade trifásica (LP+Li+LO)**. Além disso, é urgente que tais **licenciamentos incluam, em seus procedimentos, uma consulta à ANM para que ela se manifeste sobre a adequação do projeto**, uma vez que caberá a ela, posteriormente, monitorar e fiscalizar a estabilidade das obras. Ainda, tais **licenciamentos deveriam incluir, compulsoriamente, avalições de risco, estudos de impactos sinérgicos e cumulativos**, de forma a garantir o dimensionamento adequado dos potenciais danos causados no caso de falhas.

O quinto item a ser destacado faz referência às inconsistências identificadas nos estudos de estabilidade, incluindo o componente geotécnico e as vistoriais presenciais. No caso dos **laudos geotécnicos** parece ser necessário **reduzir a discricionariedade dos consultores quanto ao número de seções a serem analisadas.** O monitoramento da "seção mais crítica" parece ser prática comum no setor. No caso específico da Mina do Pau Branco, se não tivesse sido reduzida a quantidade de trechos avaliados, talvez a Vallourec tivesse identificado falhas no trecho da Pilha Cachoeirinha onde houve o escorregamento. Portanto, **a prática de monitorar apenas a "seção mais crítica" deveria ser revista pelos órgãos reguladores e pelos Conselhos de Engenharia**. Da mesma forma, seria desejável que os **consultores sempre publicizassem os resultados da avaliação dos taludes entre bermas,** para garantir a conformidade com as normas técnicas existentes. Além disso, instrumentos precisam ser elaborados para que os **laudos sejam realizados utilizando parâmetros baseados em ensaios atualizados das estruturas**.

Com relação às **vistorias presenciais**, a **exigência de visitas no período de chuva e a criação de uma lista mínima obrigatória de componentes a serem vistoriados** seriam o primeiro passo para melhorar a qualidade das inspeções. Sobre esse ponto, seria importante que **qualquer não conformidade** (ex. surgência, estrutura danificada, processos erosivos) **tivesse suas coordenadas explicitadas nos laudos** de forma que as respectivas correções pudessem ser verificadas posteriormente. Nesse sentido, parece ser imperativo também que o **cumprimento das recomendações dos auditores se torne condição para a emissão do laudo de estabilidade**.

Por fim, mais importante do que todas essas mudanças operacionais, é essencial uma mudança de fato da relação existente entre mineradoras e empresas de auditoria. Assim, possivelmente **a modificação mais necessária em todo o processo de monitoramento, tanto de barragens quanto de pilhas, é a redução do poder das mineradoras sobre seus auditores impedindo que elas possam escolher tais empresas**. O histórico de repetidos desastres no Brasil indica que **somente um sistema de seleção de empresas auditoras sem a interferência das auditadas poderia aumentar a confiança da sociedade nos processos de monitoramento e diminuir realmente os riscos associados às barragens e pilhas de resíduos da mineração**.

Referências

ABNT. (2017). *Norma Brasileira ABNT NBR 13.029 Mineração: elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ALMG. (2022, 31 Mar 2022). Reunião da Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. *Assembleia Legislativa de Minas Gerais.* Acessado em: 06 Mai 2022, Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=CeDG4x_uyTc&t=7211s

Alves, M. d. S., Carneiro, K. G., Souza, T. R., Trocate, C., e Zonta, M. (Eds.). (2020). *Mineração: realidades e resistências*. Expressão Popular.

ANM. (2022a). *Resolução nº 95/2022*. Brasília: Agência Nacional de Mineração.

ANM. (2022b). *Resposta solicitaçao Lei de Acesso à Informação, Processo número 48003.001595/2022-31*. Brasília: Agência Nacional de Mineração.

ANM. (2022c). *Resposta solicitaçao Lei de Acesso à Informação, Processo número 48003.003210/2022-70*. Brasília: Agência Nacional de Mineração.

Barbatti, D. (2022, 11 Jan). Imagens mostram momento em que o dique de mineradora transborda em Nova Lima, na Grande BH. *G1*. Acessado em: 23 Mai 2022, Disponível em: https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2022/01/11/imagens-flagram-momento-em-que-o-dique-de-mineradora-transborda-em-nova-lima-na-grande-bh.ghtml

Bento, G. R. (2017). *Fechamento de barragens de contenção de rejeitos da mineração.* (Mestrado Profissional), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

BVP Engenharia. (2015). *Laudo Geotécnico da Pilha do Cachoerinha, Laudo Geotécnico, VM 086-15-A-PI-LA-07-004*. Belo Horizonte: BVP Engenharia.

BVP Engenharia. (2016). *Pilhas de Estéril Vallourec Mineração, Monitoramento Geotécnico e Auditoria Periódica de Segurança - Pilha de Estéril Cachoerinha 2016, Projeto de Laudo Técnico, VM 084-16-A-PI-RT-03-002*. Belo Horizonte: BVP Engenharia.

BVP Engenharia. (2018). *Pilhas Vallourec, Laudo Geotécnico - Pilha Cachoerinha 2018, Projeto de Laudo Técnico, 16084-000A-1-GE-RT0002*. Belo Horizonte: BVP Engenharia.

Caetano, R. (2019, 14 Fev). Não falta tecnologia para evitar tragédias como as de Mariana e Brumadinho. *Revista Exame.* Acessado em: 19 Abr 2022, Disponível em: https://exame.com/revista-exame/uma-producao-mais-segura/

COPAM. (2017). *Deliberação normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017*. Belo Horizonte: Conselho Estadual de Política Ambiental.

DAM Projetos de Engenharia. (2021). *Pilha de co-disposição Cachoeirinha, Laudo de estabilidade, Relatório Técnico, CFE-C-PC-RE-001*. Brumadinho: DAM Projetos de Engenharia.

Davies, M., Lupo, J., Martin, T., McRoberts, E., Musse, M., e Ritchie, D. (2010). *Dewatered tailings practice-trends and observations. In*: Proceedings of the 14th International Conference on Tailings and Mine Waste, Vail, Colorado.

DNPM. (2016). *Ofício No 1058/2016/ANAPROD/DGTM/SUPRI/DNPM/MG*. Belo Horizonte: Departamento Nacional de Produção Mineral.

Ecolab Meio Ambiente. (2005). *Relatório e plano de controle ambiental. Projeto de ampliação da Mina Pau Branco. RT ECOLAB V&M-005-353-2005*. Belo Horizonte: Ecolab Meio Ambiente.

FEAM. (2001). *Parecer técnico DIMM 046/2001 - Licença de instalação - Pilha de material estéril*. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente.

G1 MA. (2018, 04 Nov 2018). Deslizamento de rejeitos em mineradora isola comunidade no Maranhão. *G1 Rede Mirante*. Acessado em: 06 Mai 2022, Disponível em: https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2018/11/04/deslizamento-de-dejetos-em-mineradora-isolam-comunidade-no-maranhao.ghtml

Geoestável Consultoria e Projetos. (2009). *Mina Pau Branco, Pilha de Estéril do Cachoeirinha, Co-Disposição de Rejeits e Estéreis do Cachoeirinha, Laudo Técnico de Segurança de Pilha / 2009 LT-09-1-011-01*. s.l.: Geoestável Consultoria e Projetos,.

Geoestável Consultoria e Projetos. (2010). *Laudo Técnico de Segurança PDE do Cachoeirinha - ano 2010 LT-10-1-017-01-01*. s.l.: Geoestável Consultoria e Projetos,.

Gomes, R. B. (2016). *Influência da recuperação da reserva e disposição dos rejeitos no desenvolvimento sustentável de operações de minas no Quadrilátero Ferrífero*. (Doutorado), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

Gomes, R. B., De Tomi, G., e Assis, P. S. (2016). Iron ore tailings dry stacking in Pau Branco mine, Brazil. *Journal of Materials Research and Technology*, *5*(4), 339-344.

Guimarães, N. C., Valadão, G. E., e Peres, A. E. (2012). Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando à sua disposição em pilhas. *Rem: Revista Escola de Minas*, *65*(4), 543-548.

Kuyek, J. (2019). *Unearthing justice: how to protect your community from the mining industry*. Toronto: Between the Lines.

Leduc, M., e Smith, M. E. (2003). Tailings co-disposal - innovation for cost savings and liability reduction. *The Latin American Mining Record*(Jul/Ago).

Lelles, A. R. (2022, 11 Jan). 'Foram três famílias dilaceradas', diz irmã de vítima de carro soterrado. *Estado de Minas*. Acessado em: 06 Jun 2022, Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2022/01/11/interna_gerais,1336919/foram-tres-familias-dilaceradas-diz-irma-de-vitima-de-carro-soterrado.shtml

Luz, A. B., Sampaio, J. A., e França, S. C. A. (2010). *Tratamento de Minérios* (5a. ed.). Rio de Janeiro: CETEM/MCT.

Milanez, B., e Felippe, M. F. (Eds.). (2021). *Minas esgotada: antecedentes e impactos do desastre da Vale na Bacia do Paraopeba*. Juiz de Fora: Editora UFJF.

Milanez, B., Magno, L., Santos, R. S. P., Coelho, T. P., Giffoni Pinto, R., Wanderley, L. J. M., . . . Gonçalves, R. J. A. F. (2019). Minas não há mais: Avaliação dos aspectos econômicos e institucionais do desastre da Vale na bacia do rio Paraopeba. *Versos - Textos para Discussão PoEMAS*, *3*(1), 1-114.

Minas Gerais. (2019). *Lei 23.291/2019*. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa de Minas Gerais.

Ministerio de Minas y Energía. (2003). *Glosario Técnico Minero*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia.

Parreiras, M. (2022, 04 Fev). Risco de rompimento em mina da AngloGold leva medo a Santa Bárbara. *Estado de Minas.* Acessado em: 06 Mai 2022, Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2022/02/04/interna_gerais,1342535/risco-de-rompimento-em-mina-da-anglogold-leva-medo-a-santa-barbara.shtml

Poente Engenharia & Consultoria. (2011a). *Mina Pau Branco, PDE Cachoeirinha, Relatório Técnico, Auditoria de Segurança da PDE Cachoeirinha, Geologia/Geotecnia, 601.BH-ET-RTE-GG001-R0A*. Belo Horizonte: Poente Engenharia & Consultoria.

Poente Engenharia & Consultoria. (2011b). *Mina Pau Branco, Relatório Técnico, Auditoria de Segurança da Pilha de Estéril Cachoeirinha, Civil, 601.BH-ET-RTE-CV001-R0*. Belo Horizonte: Poente Engenharia & Consultoria.

Poente Engenharia & Consultoria. (2012a). *Mina Pau Branco, PDE Cachoeirinha, Relatório Técnico, Auditoria de Segurança da PDE Cachoeirinha, Geologia/Geotecnia, 640.BH-ET-RTE-GG001-R0A*. Belo Horizonte: Poente Engenharia & Consultoria.

Poente Engenharia & Consultoria. (2012b). *Mina Pau Branco, Relatório Técnico, Auditoria de Segurança da Pilha de Estéril Cachoeirinha, Civil, 640.BH-ET-RTE-CV001-R0*. Belo Horizonte: Poente Engenharia & Consultoria.

Poente Engenharia & Consultoria. (2013a). *Mina Pau Branco, PDE Cachoeirinha, Relatório Técnico, Auditoria de Segurança da PDE Cachoeirinha, Geologia/Geotecnia, 660.BH-ET-RTE-GG001-R1*. Belo Horizonte: Poente Engenharia & Consultoria.

Poente Engenharia & Consultoria. (2013b). *Mina Pau Branco, Relatório Técnico, Auditoria de Segurança da Pilha de Estéril Cachoeirinha, Civil, 660.BH-ET-RTE-CV001-R1*. Belo Horizonte: Poente Engenharia & Consultoria.

SEMAD. (2022). Sistema Integrado de Informação Ambiental (Siam). *Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável.* Acessado em: Mar 2022, Disponível em: http://www.siam.mg.gov.br/siam/processo/index.jsp

Sete Soluções e Tecnologia Ambiental. (2018). *Plano de Controle Ambiental - PCA. Ampliação da Instalação de Tratamento de Minério da Mina Pau Branco - ITM 1 e ITM 2 - Brumadinho e Nova Lima- MG*. Belo Horizonte: Sete Soluções e Tecnologia Ambiental.

Silva, R. K. A. (2014). *Co-disposição e disposição compartilhada de rejeitos e estéreis em cava exaurida.* (Mestrado Profissional), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

Statum Geotecnia. (2019). *Mina do Pau Branco, Pilha Cachoerinha, Laudo Geotécnico, Relatório Técnico, ST2017-023-RT-003*. Belo Horizonte: Statum Geotecnia.

Statum Geotecnia. (2020). *Pilha de Estéril de Cachoerinha, Vallourec Tubos do Brasil - Mina do Pau Branco, Relatório de Laudo Geotécnico, Relatório Técnico, ST2017-023-RT-012*. Belo Horizonte: Statum Geotecnia.

SUPRAM. (2017). *Certificado LP+LI+LO nº 005/2017*. Belo Horizonte: Superintendência Regional de Meio Ambiente - Central Metopolitana.

SUPRAM. (2020a). *Parecer único nº36/2020*. Belo Horizonte: Superintendência Regional de Meio Ambiente Central Metropolitana.

SUPRAM. (2020b). *Parecer único nº 153/2020*. Belo Horizonte: Superintendência Regional de Meio Ambiente Central Metropolitana.

SUPRI. (2019). *Parecer Único - Protocolo SIAM 0299125/2019*. Belo Horizonte: Superintendência de Projetos Prioritários.

Total Meio Ambiente. (2007). *Plano conceitual de fechamento da mina Pau Branco*. Belo Horizonte: Total Planejamento e Meio Ambiente Ltda.

Total Meio Ambiente. (2008). *Relatório de Controle Ambiental (RCA) e Plano de Controle Ambiental (PCA) - Concentração Magnética Cachoeirinha*. Belo Horizonte: Total Planejamento e Meio Ambiente Ltda.

Total Meio Ambiente. (2014). *Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental (RADA) – unidade de tratamento de minerais – concentração magnética. Vallourec Mineração Ltda. Mina Pau Branco. Brumadinho – MG*. Belo Horizonte: Total Planejamento e Meio Ambiente Ltda.

Total Meio Ambiente. (2016). *Relatório de Controle Ambiental (RCA) e Plano de Controle Ambiental (PCA) do projeto de retomada e disposição de estéreis na área da Pilha Nordeste – Mina Pau Branco*. Belo Horizonte: Total Planejamento e Meio Ambiente Ltda.

Total Meio Ambiente. (2017). *Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do projeto de ampliação da pilha de co-disposição de estéreis e rejeitos Cachoeirinha - Mina Pau Branco Volume I*. Belo Horizonte: Total Planejamento e Meio Ambiente Ltda.

Total Meio Ambiente. (2018). *Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do projeto de ampliação da pilha de co-disposição de estéreis e rejeitos Cachoeirinha - Mina Pau Branco Volume I*. Belo Horizonte: Total Planejamento e Meio Ambiente Ltda.

Total Meio Ambiente. (2019). *Informações complementares referentes ao Of. 592/2019 - DREG/Supram Central / Semad / Sisema Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do Projeto de ampliação da Pilha co-disposição de estéreis e rejeitos Cachoeirinha - Mina Pau Branco*. Belo Horizonte: Total Planejamento e Meio Ambiente Ltda.

V & M Mineração - MC/MA. (2009). *COPAM / PA nº 012/1988/023/2008 Atendimento à condicionante Ref. mc/ma/48/09*. Brumadinho: V & M Mineração.

Vallourec Mineração Ltda. (2022). Nossa história. *Vallourec Mineração Ltda*. Acessado em: 26 Abr 2022, Disponível em: https://www.vallourec.com/pt-BR/br

Vick, S. G. (2002). *Degrees of belief: subjective probability and engineering judgment*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

VOGBR. (2018a). *Projeto Conceitual, Disposição de Estéril e Rejeitos, Pilha Cachoeirinha, Adequação de Drenagem Superficial, Memorial Descritivo*. Belo Horizonte: VOGBR Recursos Hídricos & Geotecnia Ltda.

VOGBR. (2018b). *Projeto conceitual, Pilha Disposição de rejeito e estétil, Pilha Cachoeirinha, Relatório Técnico, VG16-222-1-EG-RTE-0003*. Belo Horizonte: VOGBR Recursos Hídricos & Geotecnia Ltda.

Watson, A. (2010). Alternative tailing disposal - fact and fiction. *International Mining*(April), 3-6.

YKS. (2015). *Relatório de avaliação do desempenho ambiental*. Belo Horizonte: YKS Consultoria Ambiental.

Zonta, M., e Trocate, C. (Eds.). (2016). *Antes fosse mais leve a carga: reflexões sobre o desastre da Samarco / Vale / BHP Billiton*. Marabá: Editorial Iguana.

Anexos

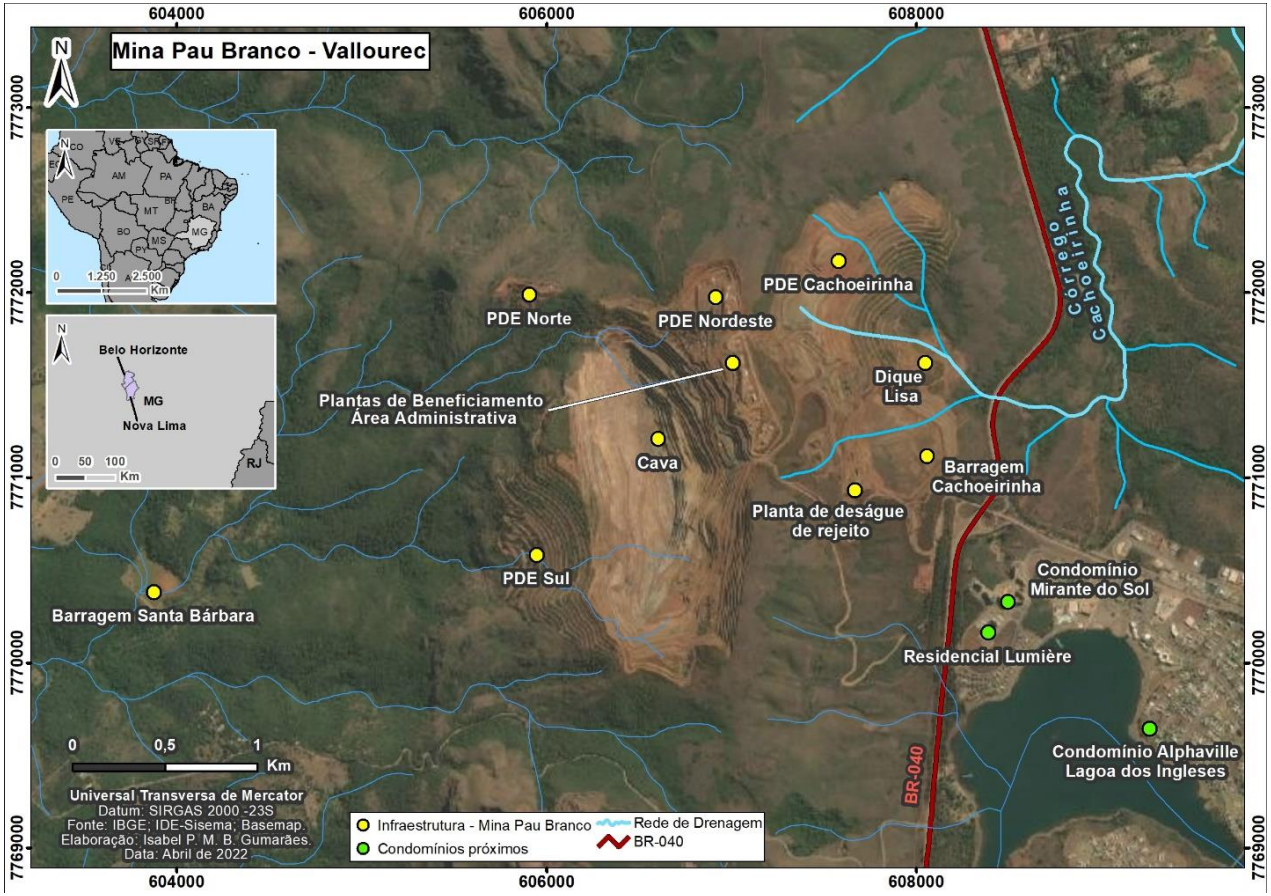

Figura 3: Mapa de localização das infraestruturas da Mina Pau Branco
Fonte: Elaborado por Isabel P. M. B. Guimarães

Tabela 3: Parâmetros geotécnicos utilizados nos laudos de estabilidade

Coesão (Kpa)									
Material	2011	2012	2013	2015	2016	2018	2019	2020	2021
Estéril	8	8	8	8	8	8	8	8	
Estéril / rejeito									8
Fundação (itabiritos dolomíticos)	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Fundação (solo laterítico)						33	33	33	
Fundação profunda	20	20	20						
Maciço barragem	8	8	8						
Minério				20	20	20		20	
Rejeito	0	0	0	0					
Ângulo de atrito (º)									
Material	2011	2012	2013	2015	2016	2018	2019	2020	2021
Estéril	30	30	30	30	30	30	30	30	
Estéril / rejeito									30
Fundação (itabiritos dolomíticos)	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Fundação (solo laterítico)						28	28	28	
Fundação profunda	30	30	30						
Maciço barragem	30	30	30			30			
Minério				30	30			30	
Rejeito	29	29	29	29					

Peso específico natural (kN/m3)									
Material	2011	2012	2013	2015	2016	2018	2019	2020	2021
Estéril	22	22	22	22	22	22	22	22	
Estéril / rejeito									22
Fundação (itabiritos dolomíticos)	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Fundação (solo laterítico)						22	22	22	
Fundação profunda	25	25	25						
Maciço barragem	22	22	22						
Minério				18	18	18		18	
Rejeito	26	26	26	26					

Fonte: (BVP Engenharia, 2015, 2016, 2018; DAM Projetos de Engenharia, 2021; Geoestável Consultoria e Projetos, 2009, 2010; Poente Engenharia & Consultoria, 2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b; Statum Geotecnia, 2019, 2020).