

Avaliação da Instalação de Armazenamento de Rejeitados Filtrados da Proposta Atualizada de Mina de Lítio do Barroso da Savannah Lithium, Norte de Portugal

Steven H. Emerman, Ph.D., Malach Consulting, LLC, 785 N 200 W, Spanish Fork, Utah 84660, EUA, Tel: 1-801-921-1228, E-mail: SHEmerman@gmail.com

Relatório elaborado a pedido das Associações Unidos em Defesa de Covas do Barroso e Povo e Natureza do Barroso

Apresentado em 12 de abril de 2023, revisado em 13 de abril de 2023

RESUMO BREVE

A instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de lítio proposta no Barroso, no norte de Portugal, teria uma altura de 140 metros, que é 97 metros mais alta que o limite tecnológico atual para o nível de precipitação local. O pé da instalação estaria a 1.000 metros do rio Covas, embora que, por analogia com a falha da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pau Branco no Brasil em janeiro de 2022, um deslizamento dos rejeitados filtrados percorrerá 2.415 metros. A instalação de armazenamento de rejeitados filtrados seria excessivamente íngreme de acordo com os padrões da indústria e não há consideração os padrões de segurança de barragens não são tidos em consideração, incluindo métodos seguros de construção.

RESUMO EXECUTIVO

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) divulgou em 22/03/2023 um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) atualizado para a proposta mina de lítio do Barroso, no norte de Portugal, realizado pela empresa britânica Savannah Lithium. A principal diferença é que o EIA atualizado substitui a anterior instalação de armazenamento de resíduos de mina que teria armazenado uma mistura homogênea de rocha estéril e rejeitados por uma instalação que armazenaria apenas rejeitados filtrados com represamento por um aterro de rocha estéril. A instalação de armazenamento de rejeitados filtrados teria 140 metros de altura e o pé da instalação estaria a 1.000 metros do rio Covas. O objetivo deste relatório é avaliar se as preocupações listadas na avaliação do EIA anterior foram adequadamente abordadas.

Uma vez que os rejeitados filtrados podem ser re-saturados pela precipitação, a precipitação média anual é a principal restrição no limite tecnológico atual na altura de uma instalação de armazenamento de rejeitados filtrados. A instalação na mina do Barroso seria a segunda mais alta já construída e, com uma precipitação média anual de 1.649 mm, seria o terceiro local mais húmido para qualquer instalação de armazenamento de rejeitados filtrados já construída no planeta. O limite tecnológico atual é aproximadamente restringido por uma linha que conecta a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados de La Coipa no Chile com uma altura de 200 metros e precipitação média anual de 42,9 mm e a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados de COMILOG no Gabão com uma altura de 30 metros e média precipitação anual de 1.779,1 mm. Com base nisso, a altura da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina do Barroso ultrapassaria o limite tecnológico atual em 97 metros.

A colocação de uma instalação de armazenamento de rejeitados tão perto de um rio não é considerada uma boa prática e é ilegal em algumas jurisdições, como a China. O EIA atualizado afirma que um deslizamento dos rejeitados viajaria menos de 1.000 metros, mas essa afirmação não é suportada por nenhum modelo, cálculo ou dados empíricos. A falha da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pau Branco no Brasil em janeiro de 2022 foi considerada para comparação neste relatório. A referida instalação de armazenamento de rejeitados filtrados tinha 48 metros de altura e o deslizamento de materiais percorreu 828 metros além do pé da instalação, resultando no soterramento de uma importante rodovia. Com base numa distância de deslocação de 17,25 vezes a altura, um deslizamento de materiais desde a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina do Barroso se estenderá por 2.415 metros além do pé da instalação, ou no caudal do rio Covas, sendo depois transportados para o rio Douro e o Oceano Atlântico.

Os taludes da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina do Barroso seriam excepcionalmente íngremes com inclinações de 1V: 2,5H (1 metro vertical por 2,5 metros horizontal) em taludes confinados por rocha estéril e 1V: 3H em taludes não confinados, em oposição ao padrão da indústria de 1V: 3,5H. Como esperado, numa base global, o volume de armazenamento de rejeitados de uma instalação de armazenamento de rejeitados filtrados é um forte indicador da altura. Devido à topografia íngreme e à inclinação dos taludes da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na proposta mina do Barroso, com um volume de armazenamento de rejeitados de 7,1 milhões de metros cúbicos, a instalação seria 99 metros mais alta do que seria previsto para o volume de armazenamento de rejeitados, o que é notavelmente semelhante à superação do limite tecnológico atual com base na precipitação média anual.

Embora os rejeitados filtrados sejam confinados por um aterro de rocha estéril, que deve ser considerado uma barragem pelos padrões da indústria, o EIA atualizado nunca usa a palavra “barragem” para descrever o aterro de rocha estéril e não há consideração dos padrões de segurança de barragens. A barragem seria construída usando o método a montante, no qual o aterro de estéril seria colocado em cima dos rejeitados filtrados confinados, de modo que, se os rejeitados se liquefazem, o aterro deslizará ou cairá nos rejeitados liquefeitos. Por isso, o método de construção a montante é ilegal no Brasil, Chile, Equador e Peru, e foi recentemente denunciado no Manual de Mineração de Superfície da SME (Sociedade de Mineração, Metalurgia e Exploração). O perigo é particularmente agudo para a proposta Mina do Barroso, uma vez que o EIA atualizado reconhece que os rejeitados serão suscetíveis à liquefação. Além disso, não há um planeamento do que fazer com os rejeitados que ficarão muito húmidos para uma compactação adequada, seja porque saíram dos filtros-prensa com teor excessivo de água ou porque foram re-humedecidos pela precipitação antes da compactação.

O EIA anterior incluía algumas ideias interessantes e originais que não haviam sido adequadamente testadas, especialmente na escala para a qual foram propostas. Com base nisso, o autor identificou o EIA original como um exemplo de “Reckless Creativity” (Criatividade Temerária). No entanto, neste momento, não há nada de criativo na proposta de uma instalação excessivamente alta num clima húmido com taludes excessivamente íngremes que seria construída usando um método de construção inseguro próximo a um rio, com base na afirmação injustificada de que um deslizamento de rejeitados não chegará ao rio. Portanto, o EIA atualizado deve ser identificado simplesmente como “temerário”. A recomendação deste relatório é que o EIA atualizado para a proposta mina de lítio do Barroso seja rejeitado sem maiores considerações.

ÍNDICE

RESUMO BREVE	1
RESUMO	1
VISÃO GERAL	3
METODOLOGIA	7
RESULTADOS	8
<i>Limite Tecnológico Atual para Altura das Instalações de Armazenamento de Rejeitados Filtrados</i>	8
<i>Consequências da Falha da Instalação de Armazenamento de Rejeitados Filtrados</i>	11
<i>Inclinação Excessiva da Instalação de Armazenamento de Rejeitados Filtrados</i>	13
<i>Falta de Aderência aos Padrões de Segurança de Barragens</i>	15
REFLEXÃO	16
CONCLUSÕES	17
RECOMENDAÇÕES	18
SOBRE O AUTOR	19
REFERÊNCIAS	19

VISÃO GERAL

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) divulgou em 22/03/2023 um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) atualizado para a proposta mina de lítio do Barroso, no norte de Portugal, realizado pela empresa britânica Savannah Lithium (Savannah Lithium LDA, 2023a-b). O EIA atualizado foi disponibilizado para consulta pública em 22 de março de 2023, com prazo até 4 de abril para comentários públicos. Em 3 de abril o prazo foi prorrogado até 19 de abril, quando as Associações Unidos em Defesa de Covas do Barroso e Povo e Natureza do Barroso contratam o autor para avaliar o EIA atualizado. O objetivo deste relatório é avaliar se as preocupações listadas na avaliação do EIA anterior (Emerman, 2021) foram adequadamente abordadas. Devido ao curto prazo, apenas os aspectos mais importantes do EIA atualizado são abordados neste relatório. O relatório anterior (Emerman, 2021) inclui informações detalhadas sobre liquefação, tecnologia de rejeitados filtrados e cheias de projeto que não são repetidas neste relatório.

A principal diferença é que o EIA atualizado substitui a anterior instalação de armazenamento de resíduos de mina que teria armazenado uma mistura homogênea de rocha estéril e rejeitados por uma instalação que armazenaria apenas rejeitados filtrados com represamento por um aterro de rocha estéril. Embora a Savannah Lithium LDA (2023b) declare a altura da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados como 70, 85 ou 103 metros, uma tabela da Savannah Lithium (2023a) esclarece que a altura correta seria de 140 metros (ver Fig. 1). O pé da instalação estaria a cerca de 1000 metros do rio Covas, embora a distância exata nunca seja indicada. A taxa de produção de rejeitados seria de 1,5 milhão de toneladas por ano para um volume total de rejeitados de 7,1 milhões de metros cúbicos.

Quadro 3.1 - Comparação das características das instalações de resíduos (EIA e Projeto Reformulado)

Designação da Instalação	Capacidade de Armazenamento	Origem e quantidade de resíduos		Dimensão da infraestrutura				Afetação
				Área (ha)	Cota mínima (m)	Cota Máxima (m)	Diferença entre cotas (m)	Temporária ou Permanente
	Mt	Origem	Mt					
Projeto EIA								
Escombreira Sul	40,8	Pinheiro	11,2	44,6	499	648	148	Permanente
		Grandão	15,6					
		Lavaria (Rejeitados)	14,0					
Escombreira Oeste	25	Reservatório	22,2	54,4	650	735	60	Permanente
		Noa	2,8					
Escombreira Norte	6,3	Grandão	6,3	16,7	427	653	226	Permanente
Escombreira Lóbulo Este	25,7	Grandão	25,7	29,8	427	653	226	Permanente
Área total de escombreiras permanentes (ha)	Projeto EIA	145,5 ha						
Projeto reformulado								
Instalação de Resíduos (TSF)	20,1	Lavaria	13,8	28,5	560	700	140	Permanente
Escombreira 1	9,4	Pinheiro	7,6	19,1	570	700	130	Permanente
		Grandão	5,1					
Escombreira 2	4,9	Grandão	5,8	18,7	530	630	100	Permanente
Escombreira 3	28,6	Noa	19,3	15,7	665	710	45	Permanente
		Reservatório	2,7	19,0	665	745	80	Temporária
Escombreira T	21,0	Grandão	21,3	37,0	560	665	105	Temporária
Área total de escombreiras permanentes (ha)	Projeto reformulado	53,5 (Escombreiras) + 28,5 (TSF) = 82 ha						

Figura 1. A altura da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados (TSF) na proposta Mina do Barroso seria de 140 metros, o que seria a segunda instalação de armazenamento de rejeitados filtrados mais alta do mundo. Embora a Savannah Lithium LDA (2023b) indique a altura como 70, 85 ou 103 metros, a tabela acima da Savannah Lithium LDA (2023a) esclarece a altura correta. Tabela da Savannah Lithium LDA (2023

Embora o EIA se refira a “empilhamento a seco de rejeitados” (Savannah Lithium LDA, 2023a), os rejeitados não estão literalmente secos, mas têm um teor de água declarado inferior a 15% (Savannah Lithium LDA, 2023a-b) ou inferior a 20% (Savannah Lithium LDA, 2023b). A terminologia padrão é “rejeitados filtrados”. O Manual de Gerenciamento de Rejeitados da SME (Sociedade de Mineração, Metalurgia e Exploração] confirma que *“The term dry stacking ... is somewhat of a misnomer. Stacked tailings must be sufficiently dry to allow placement in stable and trafficable piles, but not so dry as to result in dust generation from prevailing wind”* [O termo empilhamento a seco... é um tanto impróprio. Os rejeitados empilhados devem estar secos o suficiente para permitir a colocação em pilhas estáveis e transitáveis, mas não tão secos que gerem poeira devido aos ventos predominantes] (Reemeyer, 2022). No seu site, a consultora Knight-Piésold, que prestou consultoria à Savannah Lithium para a Mina do Barroso, inclui uma publicação de funcionários da Knight-Piésold que afirma *“Regarding terminology, the rather misleading term dry stack is generally not a good engineering term since the target moisture content coming from the filter plant is typically desired to be somewhere around the optimum moisture content based on the Proctor compaction procedure ... Geotechnical engineers associate the optimum moisture content with moisture levels just below full saturation after compaction, thus terming such a facility as a dry stack is a misnomer. The present authors would encourage practitioners to abandon the use of the term dry stacking in favor of the more straightforward term, ‘filtered tailings.’ It is not desirable to unintentionally mislead the public at large with an industry term that is noticeably misused”* [Em relação à terminologia, o termo muito enganador pilha seca de forma geral não é um bom termo de engenharia, uma vez que o teor de humidade alvo proveniente da planta de filtro é normalmente desejado para estar próximo ao teor de humidade ideal com base no método de compactação Proctor ... Os engenheiros geotécnicos associam o teor de humidade ideal com os níveis de humidade ligeiramente inferior aos da saturação total após a compactação, portanto, denominar essa instalação como uma pilha seca é um equívoco. Os presentes autores encorajam os profissionais a abandonar o uso do termo empilhamento seco em favor do termo mais direto, ‘rejeitados filtrados’ ... Não é desejável enganar o público em geral sem querer com um termo do setor que é visivelmente mal utilizado] (Ulrich e Coffin, 2017).

O objetivo da tecnologia de rejeitados filtrados é dessaturar os rejeitados, para que possam ser compactados na instalação de armazenamento de rejeitados, reduzindo assim a probabilidade de liquefação e falha catastrófica da instalação. Neste ponto, a maioria das instalações de armazenamento de rejeitados filtrados estão em climas áridos. O desafio com a construção de instalações de armazenamento de rejeitados filtrados em climas húmidos é que os rejeitados podem ser re-humedecidos pela precipitação antes da compactação, o que pode tornar os rejeitados muito húmidos para uma compactação adequada. Além disso, a precipitação na instalação de armazenamento de rejeitados filtrados pode resultar na re-saturação dos rejeitados, aumentando assim a probabilidade de liquefação. Em qualquer clima, com base na tecnologia atual, uma parte significativa dos rejeitados deixará as prensas de filtro com muita água para uma compactação ideal e esses rejeitados húmidos não podem ser usados como suporte estrutural e devem ser manejados de alguma forma para não comprometer a estabilidade da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados.

Com 140 metros de altura, a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados da Mina do Barroso será a segunda mais alta já construída. A única instalação de armazenamento de rejeitados filtrados mais alta seria a instalação na mina La Coipa, no Chile, num local com precipitação média anual de 42,9 mm (Franks et al., 2021; GRID-Arendal, 2023). O problema é

que, com uma precipitação média anual de 1.649 mm (Savannah Lithium LDA, 2023b), o local da Mina do Barroso seria o terceiro lugar mais húmido para qualquer instalação de armazenamento de rejeitados filtrados já construída em todo o planeta. Os únicos locais mais húmidos com instalações de armazenamento de rejeitados filtrados seriam a mina de Greens Creek no Alasca (EUA) com precipitação média anual de 1.760,2 mm e a mina COMILOG no Gabão com precipitação média anual de 1.779,1 mm (Franks et al., 2021; GRID- Arendal, 2023).

A colocação de uma instalação de armazenamento de rejeitados perto de um rio geralmente não é considerada uma boa prática. De acordo com A Segurança em Primeiro Lugar: Diretrizes para Gestão Responsável de Rejeitos de Mineração, “Estruturas de rejeitos não devem ser construídas em locais onde uma falha possa ter um impacto significativo em reservatórios de águas, habitats críticos e na proximidade de recursos ecológicos” (Morrill et al., 2022). Algumas jurisdições, como a China, proíbem a construção de instalações de armazenamento de rejeitados perto de rios. De acordo com o Departamento de Noções Básicas de Segurança da Produção (China), “严禁在距离长江和黄河干流岸线3公里、重要支流岸线1公里范围内新(改、扩)建尾矿库” [É estritamente proibido construir novas (ou modificadas ou ampliadas) lagoas de rejeitados a menos de 3 quilômetros das margens dos principais córregos do rio Yangtze e do rio Amarelo e a 1 quilômetro das margens dos seus importantes afluentes].

De acordo com o EIA atualizado, “Considerando que a instalação de resíduos se localiza a mais de 1 km do rio Covas, considera-se que a eventual rotura desta infraestrutura, dificilmente atingirá o rio Covas, e consequentemente a sua qualidade” (Savannah Lithium LDA, 2023a-b). O EIA atualizado não indica uma distância exata da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados até o rio Covas. O EIA atualizado também não mostra o caminho que os rejeitados derramados seguirão para chegar ao rio Covas, nem indica a distância prevista que os rejeitados derramados percorrerão. A afirmação de que um deslizamento de rejeitados percorrerá menos de 1.000 metros não é suportada por nenhum modelo, cálculo ou banco de dados empíricos.

O plano do EIA atualizado é confinar os rejeitados filtrados usando um aterro de rocha estéril. Além disso, o plano permite inclinações mais acentuadas de 1V: 2,5H (1 metro vertical por 2,5 metros horizontal) nas porções da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados que são confinadas por rocha estéril e inclinações de 1V:3H nas porções não confinadas. De acordo com o EIA atualizado, “O talude da TSF [Instalação de Armazenamento de Rejeitados] será coberto por Estéril ... Os taludes de rejeitados suportados por estéril não excederão 1V: 2,5H, enquanto os taludes de rejeitados não suportados não excederão 1V: 3H” (Savannah Lithium LDA, 2023b).

O EIA atualizado nunca se refere ao aterro de rocha estéril como uma “barragem” e não há consideração de padrões de segurança de barragens, exceto para as barragens que confinariam as várias lagoas de mineração e sedimentação. No entanto, o aterro de rocha estéril é repetidamente descrito como tendo exatamente a mesma função de uma barragem. De acordo com Savannah Lithium LDA (2023a), “O suporte da TSF será efetuado por resíduos estéreis, provenientes das cortas, que integrarão a escombreira ESC1, com o objetivo de melhorar a sua estabilidade à medida que o volume da instalação de rejeitados for aumentando”. De forma semelhante, Savannah Lithium LDA (2023b) afirma, “Os rejeitados da lavaria serão depositados criando um declive de 3H:1V, estando circundado exteriormente por uma escombreira (Esc. 1) para estabilidade e controle de erosão ... A Figura III.20 mostra a Esc.1 colocada no talude da TSF para melhorar a estabilidade, atuando como um contraforte”.

METODOLOGIA

Com base na seção anterior, o objetivo deste relatório pode ser subdividido nas seguintes questões:

- 1) A altura proposta para a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados é consistente com o limite tecnológico atual para a precipitação de um local determinado?
- 2) Os rejeitados derramados atingirão o rio Covas em caso de falha da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados?
- 3) A inclinação dos taludes da instalação proposta de armazenamento de rejeitados filtrados é consistente com os padrões da indústria?
- 4) O método proposto de construção da barragem é consistente com os padrões de segurança de barragens, mesmo que o EIA não se refira ao aterro de rocha estéril como uma “barragem”?

A primeira questão foi abordada traçando as alturas das instalações existentes de armazenamento de rejeitados filtrados em função da precipitação média anual. O limite tecnológico atual foi restringido por uma linha reta conectando os parâmetros nas extremidades inferior e superior da precipitação média anual. Alturas e precipitação média anual foram obtidas para 74 instalações de armazenamento de rejeitados filtrados no Projeto Global do Portal das Barragens de Rejeitados (Franks et al., 2021; GRID-Arendal, 2023).

A segunda questão foi abordada comparando a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na proposta Mina do Barroso com a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pau Branco no Brasil, que falhou em 8 de janeiro de 2022 (Angelo, 2022; Morrill, 2022; Petley, 2022 ; ver Fig. 2). O deslizamento de materiais não provocou fatalidades, mas soterrou a rodovia BR-40. A extensão do deslizamento de materiais foi medida com base em vídeos de drones (Observatório da Mineração, 2022) e uma largura de rodovia de 27 metros medida pelo Google Earth. A altura da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados de 48 metros (ANM, 2022) foi então usada para prever a extensão correspondente de um deslizamento de materiais da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na proposta Mina do Barroso. A precipitação média anual de 1.597 mm no local da mina de Pau Branco foi determinada a partir de Fick e Hijmans (2017). A falha da instalação da mina de Pau Branco é particularmente relevante, uma vez que a falha foi causada por fortes chuvas (Petley, 2022). De acordo com Petley (2022), a falha da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pau Branco “*was probably a rotational landslide that fluidised into a flow*” [foi provavelmente um deslizamento de materiais rotacional que se fluidificou num fluxo].

A terceira questão foi abordada por comparação com os padrões da indústria para a inclinação dos taludes das instalações de armazenamento de rejeitados filtrados (Cacciuttolo Vargas e Pérez Campomanes, 2022). A questão foi ainda abordada ao traçar o volume de armazenamento de rejeitados em relação à altura para as 74 instalações de armazenamento de rejeitados filtrados no Projeto Global do Portal das Barragens de Rejeitados (Franks et al., 2021; GRID-Arendal, 2023). Assim, questionou-se se a altura projetada da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na Mina do Barroso seria típica para o volume projetado de armazenamento de rejeitados. A quarta questão foi abordada em comparação com os padrões da indústria e com a legislação de mineração dos países latino-americanos.



Figura 2. Uma instalação de armazenamento de rejeitados filtrados de 48 metros de altura colapsou na mina de minério de ferro de Pau Branco, no Brasil, em 8 de janeiro de 2022. Foto de Angelo (2022).

RESULTADOS

Limite Tecnológico Atual para Altura das Instalações de Armazenamento de Rejeitados Filtrados

O limite tecnológico atual foi restringido por uma linha que conecta a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados de La Coipa no Chile com uma altura de 200 metros e precipitação média anual de 42,9 mm e a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados de Greens Creek no Alasca (EUA) com uma altura de 109 metros e precipitação média anual de 1.760,2 mm (ver Fig. 3a). Com base nisso, com uma precipitação média anual de 1.649 mm e uma altura prevista de 140 metros (ver Fig. 1), a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na Mina do Barroso seria 25 metros mais alta do que o limite tecnológico atual. A construção dentro do limite tecnológico não é garantia de sucesso, uma vez que a falha na instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pau Branco, com altura de 48 metros e precipitação média anual de 1.597 mm, estava bem dentro do limite tecnológico atual (ver Fig. 3a).

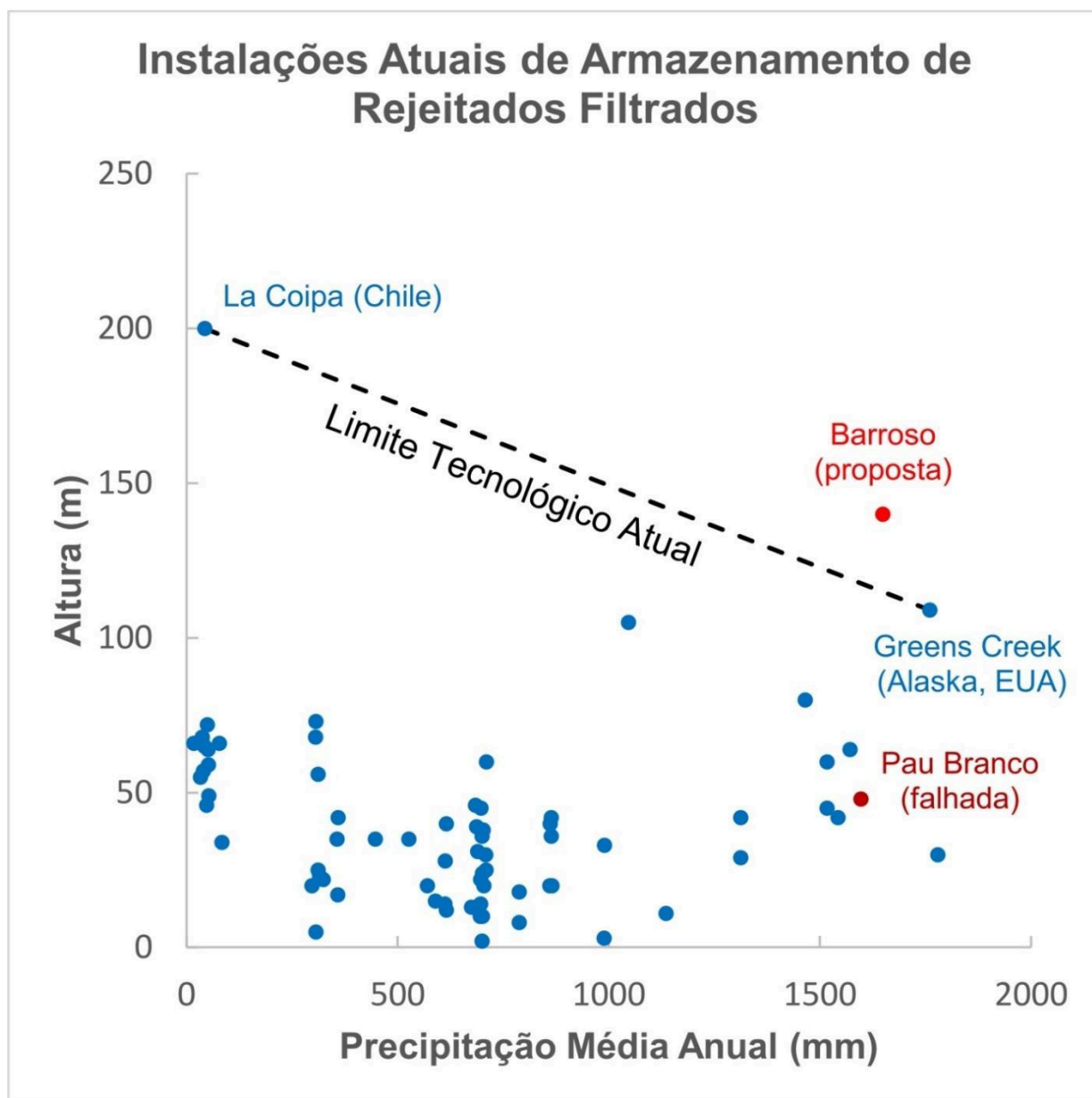


Figura 3a. Atualmente, a principal limitação no tamanho das instalações de armazenamento de rejeitados filtrados é o impacto da precipitação. Assim, o limite tecnológico atual é aproximadamente restringido por uma linha que conecta a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados de La Coipa no Chile com uma altura de 200 metros e precipitação média anual de 42,9 mm e a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados de Greens Creek no Alasca (EUA) com uma altura de 109 metros e precipitação média anual de 1.760,2 mm. Com base nisso, com uma precipitação média anual de 1.649 mm e uma altura prevista de 140 metros (ver Fig. 1), a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na Mina do Barroso seria 25 metros mais alta do que o limite tecnológico atual. A construção dentro do limite tecnológico não é garantia de sucesso, uma vez que a falha na instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pau Branco (ver Fig. 2), com altura de 48 metros e precipitação média anual de 1.597 mm, estava bem dentro do limite tecnológico atual. De outra perspectiva, a altura da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Greens Creek não é relevante, pois a sua taxa de produção de rejeitados era de apenas 750 toneladas por dia, que aumentou para 1.500 toneladas por dia até 2022, ao contrário da planejada taxa de produção de rejeitados de 4.110 toneladas por dia na Mina do Barroso (ver Fig. 3b). Dados sobre instalações existentes de armazenamento de rejeitados filtrados de Klohn Crippen Berger (2017), Franks et al.

(2021), ANM (2022) e Cacciuttolo Vargas e Pérez Campomanes (2022). Precipitação média anual de Fick e Hijmans (2017).

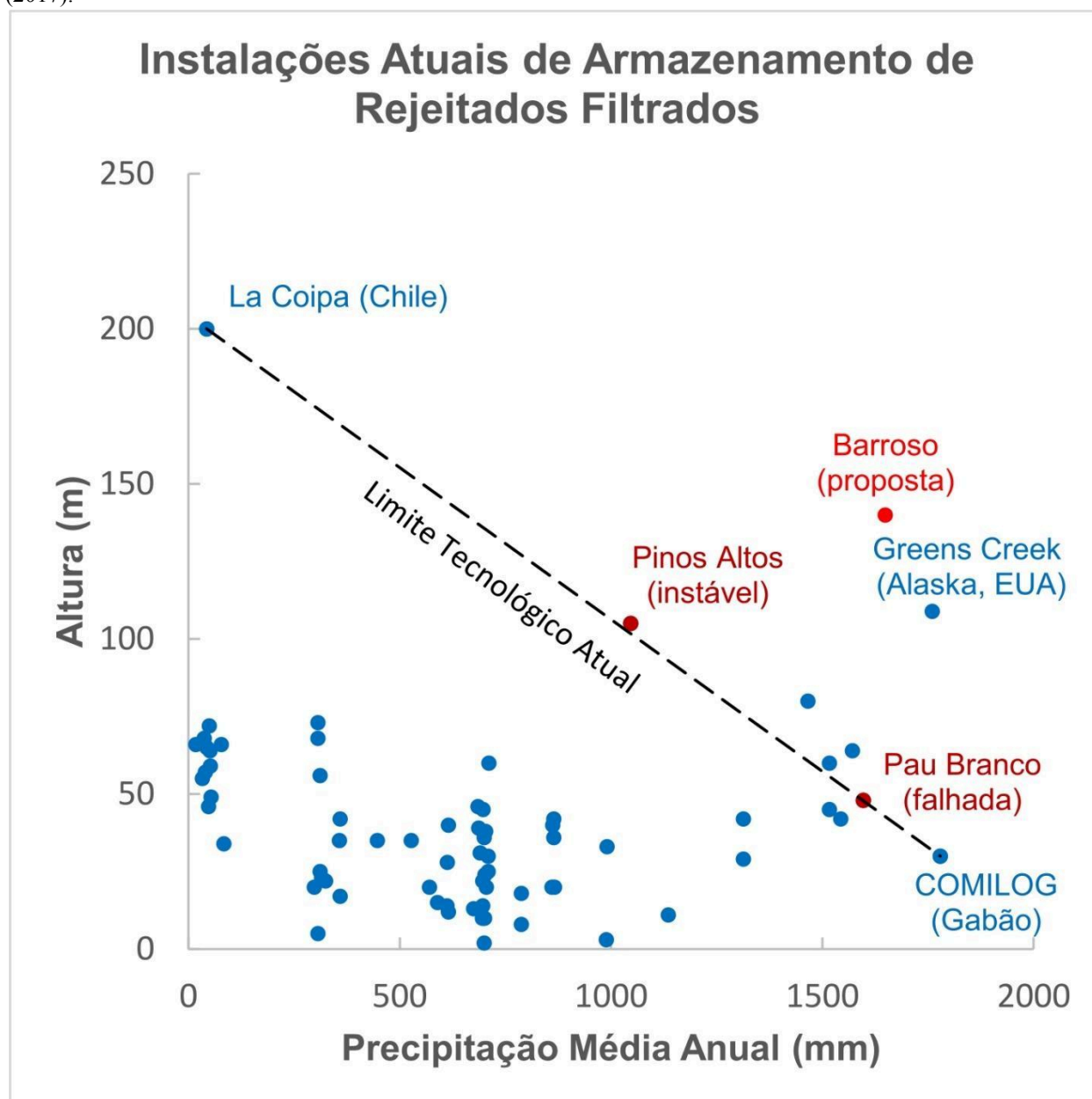


Figura 3b. Atualmente, a principal limitação no tamanho das instalações de armazenamento de rejeitados filtrados é o impacto da precipitação. Assim, o limite tecnológico atual é aproximadamente restringido por uma linha que conecta a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados de La Coipa no Chile com uma altura de 200 metros e precipitação média anual de 42,9 mm e a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados COMILOG no Gabão com uma altura de 30 metros e precipitação média anual de 1.779,1 mm. A altura da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Greens Creek não é relevante, pois a sua taxa de produção de rejeitados era de apenas 750 toneladas por dia, que aumentou para 1.500 toneladas por dia até 2022, ao contrário da planejada taxa de produção de rejeitados de 4.110 toneladas por dia na Mina do Barroso. Com base nisso, com uma precipitação média anual de 1.649 mm e uma altura prevista de 140 metros (ver Fig. 1), a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na Mina do Barroso seria 97 metros mais alta do que o limite tecnológico atual. Observar que a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados com falha na mina de Pau Branco (ver Fig. 2) e a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pinos Altos com histórico de problemas de estabilidade estão exatamente no limite tecnológico atual. Dados sobre instalações existentes de armazenamento de rejeitados filtrados

de Klohn Crippen Berger (2017), Franks et al. (2021), ANM (2023) e Cacciuttolo Vargas e Pérez Campomanes (2022). Precipitação média anual de Fick e Hijmans (2017).

De outra perspectiva, a altura da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Greens Creek não é relevante, pois a sua taxa de produção de rejeitados era de apenas 750 toneladas por dia (Klohn Crippen Berger, 2017), que aumentou para 1500 toneladas por dia até 2022 (Cacciuttolo Vargas e Pérez Campomanes, 2022), em oposição à taxa planejada de produção de rejeitados de 4.110 toneladas por dia na Mina do Barroso. Com base nisso, o limite tecnológico atual foi reconstruído como uma linha conectando a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados de La Coipa no Chile com uma altura de 200 metros e precipitação média anual de 42,9 mm com a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados COMILOG no Gabão com uma altura de 30 metros e precipitação média anual de 1.779,1 mm (ver Fig. 3b). Com base no limite tecnológico reconstruído, a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na Mina do Barroso seria 97 metros mais alta que o limite tecnológico atual (ver Fig. 3b). Vale ressaltar que, com a extinção da mina de Greens Creek com base na sua baixa taxa de produção de rejeitados, a falha na instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pau Branco e a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pinos Altos (México), com histórico das preocupações com a estabilidade (Franks et al., 2021; GRID-Arendal, 2023), estão exatamente no limite tecnológico atual (ver Fig. 3b).



Figura 4a. Com base na largura da rodovia de 27 metros, o deslizamento de materiais na instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pau Branco no Brasil em 8 de janeiro de 2022 (ver Fig. 3), estendeu-se por 104 metros após a rodovia BR-40. A largura da rodovia foi medida a partir da imagem do Google Earth de 29 de junho de 2022 (ver Fig. 4b). Imagem fixa em 0:38 do vídeo de drone (Observatório da Mineração, 2022).

Consequências da Falha da Instalação de Armazenamento de Rejeitados Filtrados

Com base na largura da rodovia de 27 metros, o deslizamento de materiais da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pau Branco estendeu-se por 104 metros além da rodovia BR-40 (ver Fig. 4a). Assim, usando a imagem do Google Earth de 29 de junho de 2022, o deslizamento de materiais se estendeu por 828 metros além do pé da instalação ou 17,25 vezes a altura da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados de 48 metros (ver Fig. 4b). Considerando a altura de 140 metros da instalação de armazenamento de rejeitados

filtrados na mina de Barroso proposta, a experiência na mina de Pau Branco prevê que o deslizamento de materiais da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Barroso se estenderá por 2.415 metros além do pé da instalação. Assim, não é necessário saber o caminho exato dos rejeitados derramados ou a distância exata até o rio Covas para chegar à conclusão de que o deslizamento de materiais da falha da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados se estenderá bem para além do rio Covas.

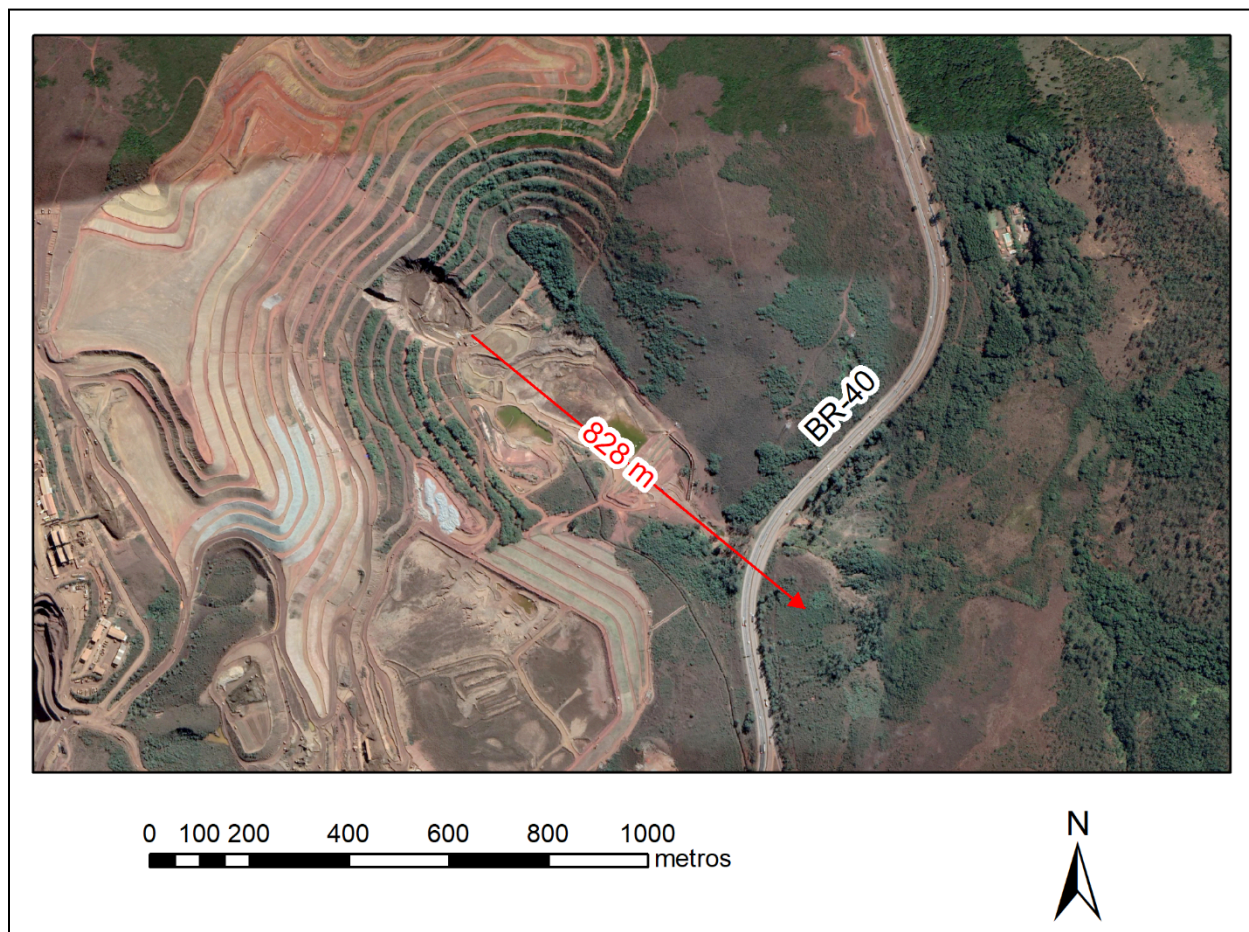


Figura 4b. O deslizamento de materiais da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pau Branco no Brasil em 8 de janeiro de 2022 (ver Fig. 3) estendeu-se por 828 metros além do pé da instalação ou 17,25 vezes a altura da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados de 48 metros (ANM, 2022). A observação anterior é consistente com a afirmação em Klohn Crippen Berger (2017) de que, para instalações de armazenamento de rejeitados filtrados, “a falha, se ocorrer, provavelmente seria um deslizamento local e as consequências seriam restritas à área local (ou a distância equivalente a cerca de 10 vezes a altura [da barragem de rejeitados]”. Com base na altura de 140 metros da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na proposta Mina do Barroso (ver Fig. 1), a experiência na mina de Pau Branco prevê que o deslizamento de materiais da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na Mina do Barroso se estenderá por 2415 metros além do pé da instalação, ou bem no rio Covas. O plano de fundo é uma imagem do Google Earth de 29 de junho de 2022.

Para comparação, de acordo com um documento de orientação da indústria, para instalações de armazenamento de rejeitados filtrados, “*Failure, if it occurs, would likely be local slumping and consequences would be restricted to the local area (or the distance equivalent to roughly 10 times the height) unless the material slumps into a water body* [A falha, se ocorrer, provavelmente seria um deslizamento local e as consequências seriam restritas à área local (ou a

distância equivalente a cerca de 10 vezes a altura) a menos que o material caia num corpo de água] (Klohn Crippen Berger, 2017). Assim, Klohn Crippen Berger (2017) prevê uma distância de deslizamento de materiais de 1.400 metros, que ainda deve carregar os rejeitados derramados para o rio Covas. A citação acima de Klohn Crippen Berger (2017) inclui uma nota de rodapé que afirma “*Estimate of runout distance included for comparison purposes only*” [Estimativa da distância de viagem incluída apenas para fins de comparação]. Assim, a estimativa da falha na mina de Pau Branco deve ser considerada como um preditor mais confiável das consequências da falha na Mina do Barroso proposta.

É importante considerar a última parte da citação de Klohn Crippen Berger (2017), que termina com “*unless the material slumps into a water body*” [a menos que o material caia num corpo de água]. Uma vez que os rejeitados se misturem com a água do rio Covas ou qualquer outro curso de água, eles irão constituir uma massa fluidizada que continuará fluindo a jusante, mesmo que a falha inicial da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados não envolvesse liquefação. A extensão do fluxo a jusante dependerá do volume de rejeitados derramados. Emerman (2021) mostra os caminhos a jusante para rejeitados derramados para um cenário mais provável com base num banco de dados de falhas anteriores de instalações de armazenamento de rejeitados e para um cenário de pior caso que envolveria a liberação de todos os rejeitados armazenados. No cenário de pior caso, que presumivelmente ocorreria em resposta a um evento extremo de precipitação, os rejeitados fluiriam até o rio Douro e o Oceano Atlântico (Emerman, 2021).

Inclinação Excessiva da Instalação de Armazenamento de Rejeitados Filtrados

Como esperado, com base no conjunto de dados global, o volume de armazenamento de rejeitados de uma instalação de armazenamento de rejeitados filtrada é um forte preditor da sua altura ($R^2 = 0,44$, $P = 5 \times 10^{-10}$; ver Fig. 5). Devido à topografia íngreme e à alta inclinação dos taludes da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na proposta Mina do Barroso, com uma altura de 140 metros e volume de armazenamento de 7,1 milhões de metros cúbicos, a instalação seria excepcionalmente alta para o volume de rejeitados que seria armazenado (ver Fig. 5). A razão entre a altura e o volume de armazenamento da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na Mina do Barroso seria de 19,7 metros por milhão de metros cúbicos, o que seria a segunda maior para qualquer instalação de armazenamento de rejeitados filtrados com um volume de rejeitados superior a 5,0 milhões de metros cúbicos (ver Fig. 5). A maior proporção de 20,4 corresponde à instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pinos Altos com altura de 105 metros e volume de armazenamento de 5,152 milhões de metros cúbicos (ver Fig. 5), que, como já mencionado, tem um histórico de problemas de estabilidade (Franks et al., 2021; GRID-Arendal, 2023). Com base na linha de melhor ajuste para as atuais instalações de armazenamento de rejeitados filtrados (ver Fig. 5), a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na Mina do Barroso seria 99 metros mais alta do que seria previsto para seu volume de armazenamento de rejeitados, que é notavelmente semelhante ao excedência do limite tecnológico atual em 97 metros com base na precipitação média anual (ver Fig. 3b).

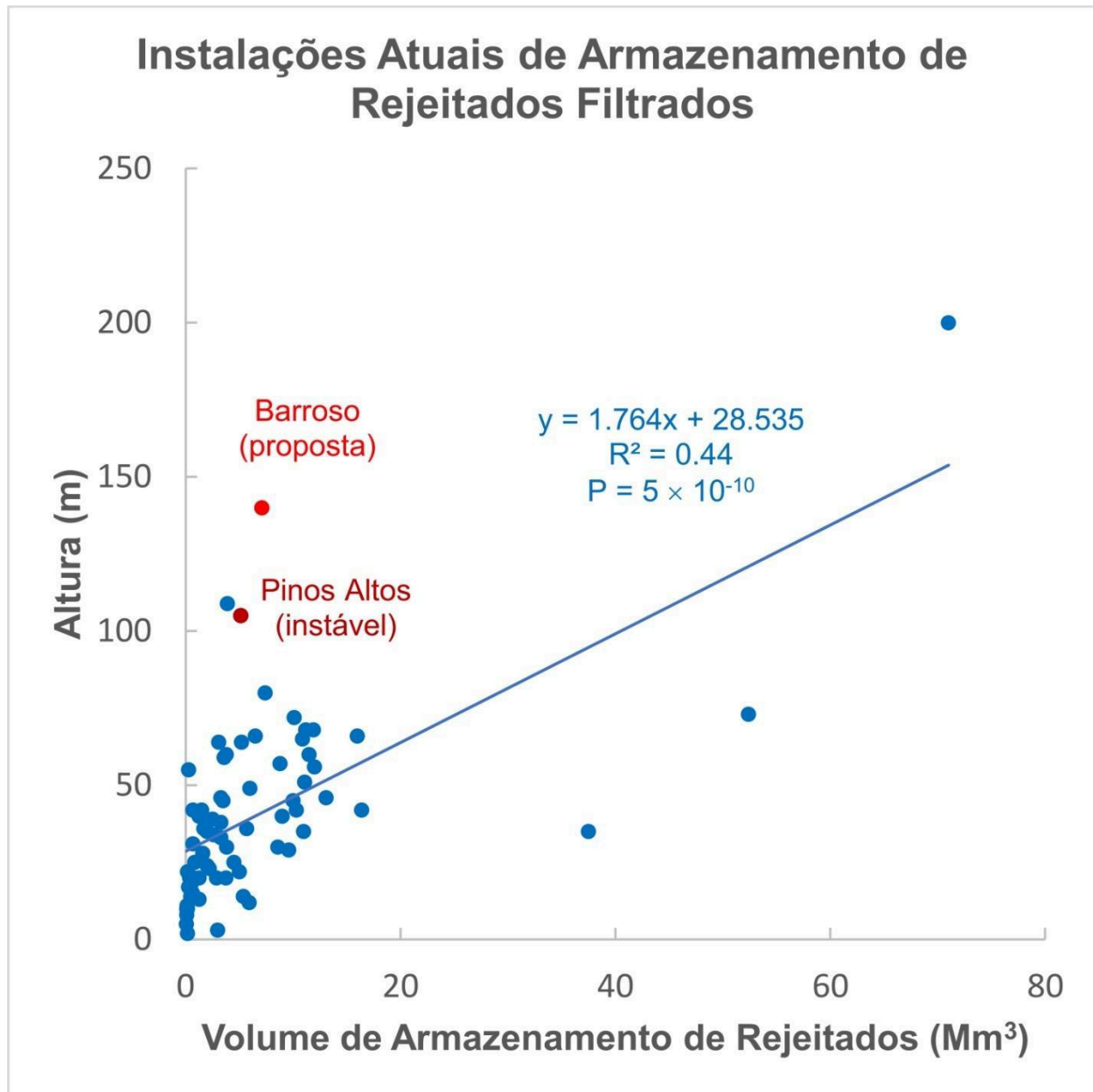


Figura 5. Como esperado, o volume de armazenamento de rejeitados de uma instalação de armazenamento de rejeitados filtrados é um forte preditor da altura ($R^2 = 0,44$, $P = 5 \times 10^{-10}$). Devido à topografia íngreme e à inclinação dos taludes da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na proposta Mina do Barroso, com uma altura de 140 metros e volume de armazenamento de 7,1 milhões de metros cúbicos, a instalação seria anormalmente alta para o volume de rejeitados que seriam armazenados. Com base na linha de melhor ajuste para as atuais instalações de armazenamento de rejeitados filtrados, a instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na Mina do Barroso seria 99 metros mais alta do que seria previsto para seu volume de armazenamento de rejeitados. A relação entre a altura e o volume de armazenamento da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na Mina do Barroso seria de 19,7 metros por milhão de metros cúbicos, o que seria a segunda maior relação para qualquer instalação de armazenamento de rejeitados filtrados com um volume de rejeitados superior a 5,0 milhões de metros cúbicos. A maior relação de 20,4 corresponde à instalação de armazenamento de rejeitados filtrados da mina de Pinos Altos com altura de 105 metros e volume de armazenamento de 5,152 milhões de metros cúbicos, que possui um histórico de problemas de estabilidade. Dados sobre instalações globais de armazenamento de rejeitados filtrados de Franks et al. (2021).

O alto coeficiente de altura para volume de armazenamento de rejeitados está relacionada tanto com a topografia íngreme quanto com a alta inclinação proposta dos taludes da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados. Embora a proposta para a Mina do Barroso exija taludes de 1V: 2,5H onde os rejeitados são confinados por rocha estéril e 1V: 3H em taludes não confinados, o padrão da indústria é para inclinações não superiores a 1V: 3,5H (Cacciuttolo Vargas e Pérez Campomanes, 2022). De acordo com Cacciuttolo Vargas and Pérez Campomanes (2022), “*Steeper side slopes need a review of the filtered tailings geotechnical parameters to assure the stack stability*” [Taludes laterais mais íngremes precisam de uma revisão dos parâmetros geotécnicos dos rejeitados filtrados para garantir a estabilidade da pilha].

Falta de Aderência aos Padrões de Segurança de Barragens

Embora o aterro de rocha estéril constitua uma barragem (ver Fig. 6), o EIA não inclui nenhuma consideração dos padrões de segurança de barragens, seja em termos de regulamentos portugueses de barragens ou documentos de orientação da indústria. Em particular, não há consideração do evento de precipitação que a barragem de rocha estéril deveria ser capaz de suportar. Embora a barragem de rocha estéril seja algumas vezes chamada “escombreira” (ver Fig. 6), essa terminologia não garante estabilidade. De fato, existem muitas falhas de escombreiras descritas em Hawley e Cuning (2017), um documento de orientação da indústria que está incluído no EIA.

Uma falta significativa de *aderência* aos padrões de segurança de barragens é o uso do método de construção a montante, o que significa que a rocha estéril seria colocado no topo dos rejeitados filtrados que estão sendo confinados (ver Fig. 6). A consequência é que, se os rejeitados se liquefazem, a barragem de rocha estéril pode falhar deslizando ou caindo nos rejeitados liquefeitos. Por esse motivo, e devido ao histórico de rompimentos de barragens de mineração construídas pelo método a montante, o método a montante é proibido no Brasil (ANM, 2019), Chile (Ministerio de Minería (Chile) [Ministério de Mineração (Chile)], 2007), Equador (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables [Ministério de Energia e Recursos Naturais Não Renováveis] (Equador), 2020) e Peru (Sistema Nacional de Información Ambiental (Perú) [Sistema Nacional de Informação Ambiental (Peru)], 2014). A denúncia mais forte da indústria sobre o método de construção a montante vem no Manual de Mineração de Superfície da SME. De acordo com Turek (2023), “*Not mentioned in Table 4 [Tailings storage facility failures by decade from 1950 to December 16, 2020] is the fact that the upstream method of raising the level of the dams has been utilized in many of the most serious failures. This is in spite of the fact that the dangers of failure inherent with the upstream method have been recognized for many decades - see for example, Klohn (1972), who states that the ‘history of this method of dam construction is plagued with failures, some of them catastrophic’*” [Não mencionado na Tabela 4 [Falhas nas instalações de armazenamento de rejeitados por década de 1950 a 16 de dezembro de 2020] é o fato de que o método a montante para elevar o nível das barragens tem sido utilizado em muitas das instalações que sofreram as falhas mais graves. Isso ocorre apesar do fato de que os perigos de falha inerentes ao método a montante foram reconhecidos por muitas décadas - ver, por exemplo, Klohn (1972), que afirma que a ‘história deste método de construção de barragens está assolado de falhas, algumas delas catastróficas’].

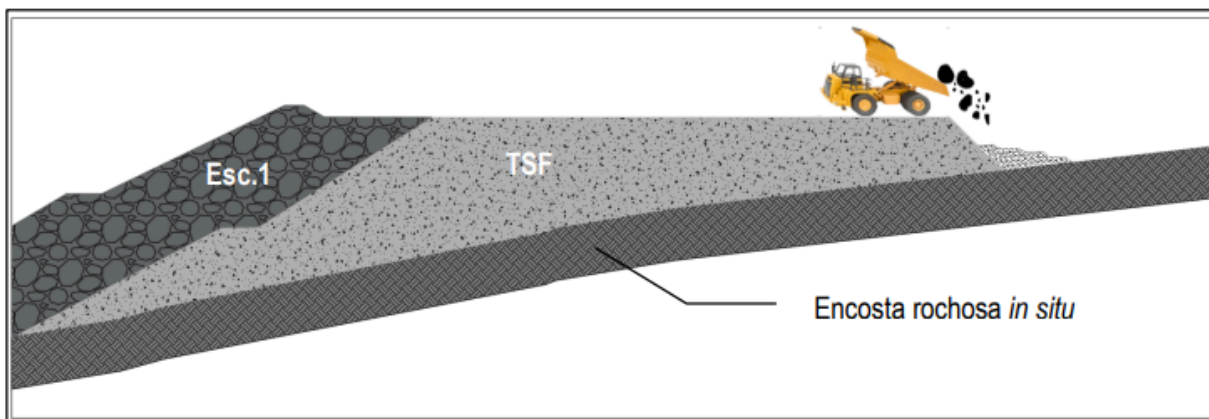


Figura III.21 – Método construtivo da Esc. 1 e TSF.

Figura 6. Os rejeitados filtrados (chamado TSF na figura) da Mina do Barroso seriam confinados por uma barragem de rocha estéril que ficaria sobre os rejeitados, o que é conhecido como método de construção a montante. Se os rejeitados se liquefazem, a barragem pode falhar deslizando ou caindo nos rejeitados liquefeitos. Como consequência, o método de construção a montante é proibido no Brasil, Chile, Equador e Peru, e é fortemente denunciado no Manual de Mineração de Superfície da SME (Sociedade de Mineração, Metalurgia e Exploração). O problema é particularmente grave para a Mina do Barroso, uma vez que o EIA identifica os rejeitados como suscetíveis à liquefação. O aterro de rocha estéril (chamado Esc. 1 na figura) nunca é referido como uma “barragem” e não há nenhuma consideração dos padrões de segurança de barragens. Figure da Savannah Lithium LDS (2023b).

O problema da falta de confinamento após a liquefação é particularmente agudo no caso da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Barroso porque o EIA identifica os rejeitados como suscetíveis à liquefação. De acordo com Savannah Lithium (2023b), “A curva de classificação indica que a amostra ensaiada cai dentro do limite de solos potencialmente liquefeitos e, portanto, a liquefação da massa de rejeitados precisa ser considerada no projeto”. No entanto, o projeto não oferece maior consideração ao potencial de liquefação. Em particular, não há um plano sobre o que fazer com os rejeitados que ficarão muito húmidos para uma compactação adequada, seja porque saíram das prensas de filtro com teor excessivo de água ou porque foram re-humedecidos pela precipitação antes da compactação.

Deve-se notar que apenas uma única amostra de rejeitados foi testada, que é a mesma única amostra que foi discutida no EIA anterior. Savannah Lithium LDA (2023c) confirma, por escrito, que as propriedades dos rejeitados foram medidas para apenas uma única amostra, “Uma amostra de rejeitados foi ... enviada ao laboratório da KP [Knight-Piésold] em Perth em novembro de 2019”. Savannah Lithium LDA (2023c) também confirma que os parâmetros de resistência ao cisalhamento não foram realmente medidos, mas apenas estimados a partir da distribuição do tamanho de partículas. De acordo com Savannah Lithium LDA (2023c), “O ângulo de atrito e coesão efetivos foram estimados com base nos testes limitados de classificação concluídos até o momento e nas relações empíricas”. Com base no exposto, deve-se presumir que as propriedades geotécnicas dos rejeitados são mal conhecidas. A esse respeito, cabe lembrar o alerta de Cacciuttolo Vargas e Pérez Campomanes (2022) de que taludes excessivamente íngremes requerem uma revisão cuidadosa das propriedades geotécnicas dos rejeitados filtrados.

REFLEXÃO

O EIA anterior incluía algumas ideias interessantes e originais que não haviam sido adequadamente testadas, especialmente na escala para a qual foram propostas. Com base nisso, o

autor identificou o EIA original como um exemplo de “*Reckless Creativity*”, ou “Criatividade Temerária” (Emerman, 2021). Um conceito relacionado a este é chamado “Euforia de Projeto”, que foi aplicado inclusive ao colapso da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pau Branco (Riskope, 2022). Com relação ao plano de armazenamento de resíduos de mina na mina de Pau Branco, Riskope (2022) escreveu, “*Technological innovation provoked generalized blindness. The mine even won the Brazilian Environmental Award in 2017. However, any slope, anywhere and in any material has potential stability and drainage issues that one should carefully consider*” [A inovação tecnológica provocou cegueira generalizada. A mina ganhou, inclusive, o Prêmio Brasileiro do Meio Ambiente em 2017. No entanto, qualquer talude, em qualquer lugar e em qualquer material, tem problemas potenciais de estabilidade e drenagem que devem ser considerados cuidadosamente].

O conceito de “*Reckless Creativity*”, ou Criatividade Temerária não será analisado mais aqui porque não há nada de criativo no EIA atualizado. O EIA atualizado é apenas “*reckless*” ou temerário. A seguir, exemplos de comportamento temerário que não envolvem criatividade:

- 1) construção da segunda instalação de armazenamento de rejeitos filtrados mais alta já construída no planeta no terceiro local mais húmido para qualquer instalação de armazenamento de rejeitados filtrados já construída no planeta
- 2) construção de uma instalação de armazenamento de rejeitados filtrados 97 metros acima do limite tecnológico atual para a precipitação do local
- 3) construção de qualquer instalação de armazenamento de rejeitados a 1000 metros de um rio
- 4) falta de qualquer cálculo ou modelo ou referência a dados empíricos para a afirmação de que os rejeitados derramados não poderiam atingir o rio adjacente
- 5) falta de qualquer consideração do possível caminho de fluxo para rejeitados derramados da instalação falhada de armazenamento de rejeitados para o rio adjacente
- 6) construção de uma instalação de armazenamento de rejeitados filtrados com inclinações mais acentuadas do que os padrões da indústria, especialmente com pouco conhecimento das propriedades geotécnicas dos rejeitados
- 7) construção de uma barragem sem nenhuma consideração pelos padrões de segurança de barragens
- 8) construção de uma barragem de rejeitados usando o método de construção a montante
- 9) reconhecimento de que os rejeitados são suscetíveis à liquefação, mas sem nenhum plano de gerenciamento de rejeitados que estarão muito húmidos para compactação
- 10) análises de estabilidade com base numa única amostra de rejeitados, mas sem medições reais dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dessa amostra

CONCLUSÕES

As principais conclusões deste relatório podem ser resumidas da seguinte forma:

- 1) Com base na precipitação média anual no local da mina de 1.649 mm, a altura da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na Mina do Barroso (140 metros) ultrapassaria o limite tecnológico atual em 97 metros.
- 2) Em comparação com a falha da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na mina de Pau Branco no Brasil em janeiro de 2022, um deslizamento de materiais da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na Mina do Barroso se estenderá por

2.415 metros além do pé da instalação, ou bem para além do rio Covas, seguido de transporte para o rio Douro e o Oceano Atlântico.

- 3) Os taludes da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na Mina do Barroso seriam excepcionalmente íngremes com inclinações de 1V: 2,5H (1 metro vertical por 2,5 metros horizontal) em taludes confinados por rocha estéril e 1V: 3H em taludes não confinados, ao contrário para o padrão da indústria de 1V: 3,5H.
- 4) Devido à topografia íngreme e à alta inclinação dos taludes da instalação de armazenamento de rejeitados filtrados na proposta Mina do Barroso, com um volume de armazenamento de rejeitados de 7,1 milhões de metros cúbicos, a instalação seria 99 metros mais alta do que seria previsto para seu volume de armazenamento de rejeitados, que é notavelmente semelhante à superação do limite tecnológico atual com base na precipitação média anual.
- 5) Embora os rejeitos filtrados sejam confinados por um aterro de rocha estéril, que deve ser considerado uma barragem pelos padrões da indústria, o EIA atualizado nunca usa a palavra “barragem” para descrever o aterro de rocha estéril e não há consideração de padrões de segurança de barragens.
- 6) A barragem seria construída usando o método a montante, no qual o aterro de rocha estéril seria colocado em cima dos rejeitados filtrados confinados, de modo que, se os rejeitados se liquefazem, o aterro deslizará ou cairá nos rejeitados liquefeitos. Por isso, o método de construção a montante é ilegal no Brasil, Chile, Equador e Peru, e foi recentemente denunciado no Manual de Mineração de Superfície da SME (Sociedade de Mineração, Metalurgia e Exploração).
- 7) O perigo é particularmente sério para a proposta Mina do Barroso, uma vez que o EIA atualizado reconhece que os rejeitados serão suscetíveis à liquefação. Além disso, não há um planejamento do que fazer com os rejeitados que ficarão muito húmidos para uma compactação adequada, seja porque saíram das prensas de filtro com teor excessivo de água ou porque foram re-humedecidos pela precipitação antes da compactação.

RECOMENDAÇÕES

A recomendação deste relatório é rejeitar a proposta de Savannah Lithium para a Mina do Barroso sem maiores considerações.

SOBRE O AUTOR

O Dr. Steven H. Emerman tem um B.S. em Matemática pela Universidade Ohio State, M.A. em Geofísica pela Universidade Princeton, e Ph.D. em Geofísica da Universidade Cornell. O Dr. Emerman tem 31 anos de experiência no ensino de hidrologia e geofísica, incluindo o ensino como professor Fulbright no Equador e no Nepal, e tem 70 publicações avaliadas por pares nessas áreas. O Dr. Emerman é o proprietário da Malach Consulting, especializada em avaliar os impactos ambientais da mineração para empresas de mineração, bem como organizações governamentais e não-governamentais. O Dr. Emerman avaliou instalações de armazenamento de rejeitados propostas e existentes na América do Norte, América do Sul, Europa, África, Ásia e Oceania, e testemunhou sobre instalações de armazenamento de rejeitados perante o Subcomitê de Povos Indígenas dos Estados Unidos da Câmara dos Representantes dos Estados Unidos, o Parlamento Europeu, o Fórum Permanente das Nações Unidas sobre Questões Indígenas, e a Assembléia das Nações Unidas para o Meio Ambiente. O Dr. Emerman é o Presidente do Subcomitê do Corpo de Conhecimento da Sociedade de Barragens dos EUA e um dos autores de A Segurança em Primeiro Lugar: Diretrizes para Gestão Responsável de Rejeitos de Mineração.



REFERÊNCIAS

- Angelo, M., 2022. Exclusivo: Estrutura da Vallourec que cedeu em MG teve reunião extraordinária, licenciamento expresso e alertas de ambientalistas em sua ampliação: Observatório da Mineração, 10 de janeiro de 2022. Disponível online em: <https://observatoriodamineracao.com.br/exclusivo-estrutura-da-vallourec-que-cede-u-mg-teve-reuniao-extraordinaria-licenciamento-expresso-e-alertas-de-ambientalistas-em-sua-ampliacao/>
- ANM (Agência Nacional de Mineração, 2019. Resolução nº 13, de 8 de agosto de 2019. Disponível online em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-13-de-8-de-agosto-de-2019-210037027>
- ANM (Agência Nacional de Mineração), 2022. SIGBM (Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração [Integrated Management System for Mining Dams]). Disponível online em: <https://app.anm.gov.br/sigbm/publico>
- Cacciuttolo Vargas, C. e G. Pérez Campomanes, 2022. Practical experience of filtered tailings technology in Chile and Peru—An environmentally friendly solution [Experiência prática da tecnologia de rejeitados filtrados no Chile e no Peru—Uma solução ambientalmente correta: Minerals [Minerais], vol. 12, 64 p. Disponível online em: <https://doi.org/10.3390/min12070889>
- Department of Basics for Production Safety (安全生产基础司) (China) [Departamento de Noções Básicas de Segurança da Produção (China)], 2020. 防范化解尾矿库安全风险工作方案[Plano de trabalho para prevenir e neutralizar os riscos de segurança da bacia de rejeitados]: 工作方案的通知应急[2020] 15 号 [Notificação do Programa de Trabalho Emergência (2020) Nº 15], 2 de março de 2020, 12 p. Disponível online em: http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-03/24/content_5494834.htm

- Emerman, S.H., 2021. Avaliação da instalação de armazenamento de rejeitados da proposta de mina de lítio do Barroso da Savannah Lithium, norte de Portugal: Report prepared for Povo e Natureza do Barroso, 46 p. Disponível online em: https://unece.org/sites/default/files/2021-10/frCommC186_15.10.2021_annex2.pdf
- Fick, S.E. e R.J. Hijmans, 2017. WorldClim 2—New 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas [WorldClim 2—Novas superfícies climáticas com resolução espacial de 1 km para áreas terrestres globais]: International Journal of Climatology [Revista Internacional de Climatologia], vol. 37, pp. 4302-4315. Disponível online em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.5086>
- Franks, D.M., M. Stringer, L.A. Torres-Cruz, E. Baker, R. Valenta, K. Thygesen, A. Matthews, J. Howchin e S. Barrie, 2021. Tailings facility disclosures reveal stability risks [Divulgações de instalações de rejeitados revelam riscos de estabilidade]: Nature Scientific Reports [Relatórios Científicos da Natureza], vol. 11, 7 p. Disponível online em: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-91384-z>
- GRID-Arendal, 2020. Global Tailings Dam Portal Project [Projeto Global do Portal das Barragens de Rejeitados]. Disponível online em: <https://www.grida.no/activities/461>
- Hawley, M. e Cunning, J., 2017. Guidelines for mine waste dump and stockpile design [Diretrizes para projeto de escombrelas e estoques de mina]: CSIRO Publishing, 385 p. Disponível online em: : <https://participa.pt/pt/consulta/alteracao-ao-projeto-de-ampliacao-da-mina-do-barroso>
- Klohn, E.J., 1972. Design and construction of tailings dams [Projeto e construção de barragens de rejeitados]: CIM (Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum) Transactions [Transações do CIM (Instituto Canadense de Mineração, Metalurgia e Petróleo)], vol. 75, pp. 50-66.
- Klohn Crippen Berger, 2017. Study of tailings management technologies [Estudo das tecnologias de gerenciamento de rejeitados]: Relatório à Mining Association of Canada e Mine 43 Environment Neutral Drainage (MEND) Program [Associação Canadense de Mineração e Programa de Drenagem Neutra para o Ambiente de Mineração, Relatório MEND 2.50.1, 164 p. Disponível online em: http://mend-nedem.org/wpcontent/uploads/2.50.1Tailings_Management_TechnologiesL.pdf
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (Ecuador) [Ministério de Energia e Recursos Naturais Não Renováveis (Equador)], 2020b. Instructivo para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y mantenimiento de depósitos de relaves para la mediana y gran minería [Instruções para aprovação de projetos de desenho, construção, operação e manutenção de depósitos de rejeitados para mineração de médio e grande porte], 27 p. Disponível online em: <https://www.mingaservice.com/web/index.php/documento/categoria/legislacion-minera>

- Ministerio de Minería (Chile) [Ministério de Mineração (Chile)], 2007. Decreto Supremo nº 248— Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves—publicado en el Diario Oficial el 11 de abril de 2007 [Decreto Supremo nº 248 - Regulamento para aprovação de projetos de desenho, construção, operação e fechamento de depósitos de rejeitados—publicado no Diário Oficial em 11 de abril de 2007], 24 p. Disponível online em: https://www.sernageomin.cl/wpcontent/uploads/2018/01/DS248_Reglamento_Depositos_Relave.pdf
- Morrill, J., 2022. The unfolding disaster in Brazil—A warning of what’s to come [O desastre que se desenrola no Brasil - um aviso do que está por vir]: EARTHBlog, 25 de janeiro de 2022. Disponível online em: <https://earthworks.org/blog/the-unfolding-disaster-in-brazil-a-warning-of-whats-to-come/>
- Morrill, J., D. Chambers, S. Emerman, R. Harkinson, J. Kneen. U. Lapointe, A. Maest, B. Milanez, P. Personius, P. Sampat, e R. Turgeon, 2022. Safety first—Guidelines for responsible mine tailings management [A segurança em primeiro lugar—Diretrizes para gestão responsável de rejeitos de mineração]: Earthworks, MiningWatch Canada, e London Mining Network: Versão 2.0, maio de 2022, 55 p. Disponível online em: <https://41p14t2a856b1gs8ii2wv4k4-wpengine.netdna-ssl.com/assets/uploads/2020/06/Safety-First-Safe-Tailings-Management-V2.0-final.pdf>
- Observatório da Mineração, 2022. Exclusivo: Imagens aéreas do deslizamento na Mina Pau Branco da Vallourec em MG. Disponível online em: <https://www.youtube.com/watch?v=BT6FqaT18vo>
- Petley, D., 2022. Pau Branco—Another significant mining-related landslide in Brazil [Pau Branco—Outro deslizamento de materiais significativo relacionado à mineração no Brasil]: The Landslide Blog [O Blog do Deslizamento de Materiais], 11 de janeiro de 2022. Disponível online em: <https://blogs.agu.org/landslideblog/2022/01/11/pau-branco-1/>
- Reemeyer, H.C.L., 2022. Chapter 3—Mineral and tailings processing [Capítulo 3 - Processamento de minerais e rejeitados]: Em K.F. Morrison (Ed.), SME Tailings management handbook—A life-cycle approach [Manual de gerenciamento de rejeitados da SME - Uma abordagem de ciclo de vida] (pp. 21-39), Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedade de Mineração, Metalurgia e Exploração], Englewood, Colorado, 1004 p.
- Riskope, 2022. Recent Failure at Pau Branco Mine, MG, Brazil [Falha Recente na mina de Pau Branco, MG, Brasil]. Disponível online em: <https://www.riskope.com/2022/01/13/recent-failure-at-pau-branco-mine-mg-brazil/>
- Savannah Lithium LDA, 2023a. Projeto de expansão da Mina do Barroso—Estudo de Impacte Ambiental— Avaliação do projeto reformulado no âmbito do Artigo 16º do RJAIA —Volume I—Relatório síntese: Revision 0, Lisbon, March 15, 2023, 716 p. Disponível online em: <https://participa.pt/pt/consulta/alteracao-ao-projeto-de-ampliacao-da-mina-do-barroso>
- Savannah Lithium LDA, 2023b. Plano de Lavra da Mina do Barroso: March 2023, 553 p. Disponível online em: <https://participa.pt/pt/consulta/alteracao-ao-projeto-de-ampliacao-da-mina-do-barroso>
- Savannah Lithium LDA, 2023c. Plano de Lavra da Mina do Barroso—Anexo III-3—Projeto de Lítio Mina do Barroso – Testes Físicos dos Rejeitados: março de 2023, 11 p. Disponível

online em:

<https://participa.pt/pt/consulta/alteracao-ao-projeto-de-ampliacao-da-mina-do-barroso>

Sistema Nacional de Información Ambiental (Perú) [Sistema Nacional de Informação Ambiental (Peru)], 2014. Decreto Supremo N° 040-2014-EM .- Reglamento de protección y gestión ambiental para las actividades de explotación, beneficio, labor general, transporte y almacenamiento minero [Decreto Supremo No. 040-2014-EM .- Regulamento de proteção e gerenciamento ambiental para atividades de exploração, beneficio, trabalho geral, transporte e armazenamento de minas], 30 p. Disponível online em: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-proteccion-gestion-ambiental-lasactividades-explotacion>

Turek, C., 2023. Chapter 2—Open pit mining in a changing world [Capítulo 2—Mineração a céu aberto num mundo em mudança]: Em P. Darling (Ed.), SME Surface Mining Handbook [Manual de Mineração de Superfície da SME] (pp. 13-28), Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedade de Mineração, Metalurgia e Exploração], Englewood, Colorado, 652 p.

Ulrich, B.F. e J.G. Coffin, 2017. Characterization of unsaturated tailings & its effects on liquefaction [Caracterização de rejeitados não saturados e seus efeitos na liquefação]: Tailings and Mine Waste 2017 [Rejeitados e Estériles de Minas de 2017], 10 p. Disponível online em:

<https://www.knightpiesold.com/sites/en/assets/File/TMW%202017%20-%20Characterization%20of%20Unsaturated%20Tailings%20%26%20its%20Effects%20on%20Liquefaction.pdf>