

REPROCESSAMENTO DE REJEITOS DE BARRAGENS NA MINERAÇÃO: CONTRIBUIÇÕES DA CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA PARA ECONOMIA CIRCULAR E REDUÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS

Juliano Rechini da Costa, Recimac – juliano@recimac.com.br

Gilson João da Silveira, Recimac – gilson@recimac.com.br

Wallacy Araújo da Silva, Recimac – wallacy.non@gmail.com

André Carlos Silva, UFCAT – ancarsil@ufcat.edu.br

Resumo: A crescente geração de rejeitos decorrente das atividades minerárias tem ampliado os desafios relacionados à gestão ambiental e à segurança das estruturas de disposição. No Brasil, parte significativa das barragens de mineração apresenta elevados níveis de risco e dano potencial associado, evidenciando a necessidade de estratégias que reduzam a dependência dessas estruturas e minimizem passivos ambientais. Os rompimentos das barragens de Fundão (2015) e Córrego do Feijão (2019) reforçaram a urgência de soluções voltadas à redução dos volumes armazenados e à recuperação de áreas impactadas. Paralelamente, avanços no processamento mineral têm demonstrado o potencial de reaproveitamento de rejeitos por meio da recuperação de minerais remanescentes e da utilização desses materiais em diferentes cadeias produtivas, alinhando-se aos princípios da economia circular. Neste contexto, o presente trabalho realiza uma revisão bibliográfica sobre o reprocessamento de rejeitos de barragens, com ênfase no papel da classificação granulométrica como etapa estratégica em fluxogramas de valorização desses materiais. A análise evidencia que a segregação eficiente das diferentes faixas granulométricas pode favorecer processos subsequentes de concentração mineral, aumentar a recuperação de recursos e ampliar as possibilidades de aproveitamento dos rejeitos. Também são discutidas tecnologias aplicáveis ao processamento de materiais úmidos e coesivos, destacando-se as peneiras de estrelas elastoméricas como alternativa para a classificação granulométrica de materiais heterogêneos. Conclui-se que a integração entre reprocessamento de rejeitos e tecnologias eficientes de classificação pode contribuir para a redução de passivos ambientais, a recuperação de recursos minerais e a descaracterização de barragens, fortalecendo estratégias de sustentabilidade e economia circular na mineração.

Palavras-chave: rejeitos de mineração; barragens; economia circular; classificação granulométrica; passivos ambientais.

TAILINGS DAM REPROCESSING IN MINING: CONTRIBUTIONS OF PARTICLE SIZE CLASSIFICATION TO THE CIRCULAR ECONOMY AND THE REDUCTION OF ENVIRONMENTAL LIABILITIES

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Abstract: *The increasing generation of mining tailings has intensified challenges related to environmental management and the safety of tailings storage facilities. In Brazil, a significant portion of mining dams presents high risk levels and substantial potential associated damage, highlighting the need for strategies that reduce dependence on these structures and mitigate environmental liabilities. The failures of the Fundão dam (2015) and the Córrego do Feijão dam (2019) reinforced the urgency of solutions aimed at reducing stored tailings volumes and recovering impacted areas. At the same time, advances in mineral processing have demonstrated the potential for tailings reuse through the recovery of remaining valuable minerals and the application of these materials in other productive sectors, in line with circular economy principles. In this context, this study presents a literature review on tailings reprocessing, emphasizing the role of particle size classification as a strategic step in material recovery flowsheets. The analysis indicates that efficient separation of different particle size fractions can enhance subsequent mineral concentration processes, increase resource recovery, and expand opportunities for tailings valorization. Technologies suitable for processing wet and cohesive materials are also discussed, with particular attention to elastomer star screens as an alternative for the particle size classification of heterogeneous materials. It is concluded that integrating tailings reprocessing with efficient classification technologies can contribute to reducing environmental liabilities, recovering mineral resources, and supporting the decommissioning of tailings dams, thereby strengthening sustainability and circular economy strategies in the mining sector.*

Keywords: mining tailings; tailings dams; circular economy; particle size classification; tailing; environmental liabilities.

1. INTRODUÇÃO

A mineração desempenha papel fundamental no desenvolvimento econômico global, fornecendo matérias-primas indispensáveis para infraestrutura, energia, mobilidade e diversas cadeias industriais. Entretanto, a crescente demanda por minerais tem sido acompanhada pelo aumento da geração de rejeitos, impulsionado pela exploração de depósitos com teores cada vez menores e pela necessidade de processar maiores volumes de minério. Historicamente, a disposição desses rejeitos ocorreu predominantemente por meio de barragens, estruturas que passaram a integrar a paisagem das regiões mineradoras em diversos países. Embora amplamente utilizadas, as barragens representam passivos ambientais permanentes, exigindo monitoramento contínuo, elevados investimentos em segurança e gestão de longo prazo (ICMM; UNEP; PRI, 2020; IBRAM, 2016).

Os rompimentos da barragem de Fundão, em Mariana (2015), e da barragem da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho (2019), evidenciaram a magnitude dos riscos associados à disposição de rejeitos. Os impactos ambientais, sociais e econômicos decorrentes desses eventos impulsionaram mudanças regulatórias e ampliaram a discussão sobre alternativas para redução da dependência de estruturas de contenção (ANM, 2022; MASSIGNAN; SÁNCHEZ, 2022). Paralelamente, cresce o entendimento de que os rejeitos armazenados em barragens podem representar depósitos minerais secundários (TAVARES; BRANDÃO, 2022).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Muitas dessas estruturas foram formadas em períodos nos quais os processos de concentração apresentavam níveis de recuperação inferiores aos atualmente disponíveis. Consequentemente, parcelas economicamente relevantes de minerais úteis permaneceram incorporadas aos rejeitos depositados.

Avanços recentes em caracterização mineralógica, classificação granulométrica e tecnologias de concentração têm impulsionado uma mudança de paradigma na gestão desses materiais. Rejeitos anteriormente considerados exclusivamente passivos ambientais passam a ser avaliados como potenciais fontes secundárias de recursos minerais (TAYEBI-KHORAMI et al., 2019; KINNUNEN et al., 2021) e matérias-primas para outras cadeias produtivas.

Parte dos desafios associados ao reaproveitamento de rejeitos de barragens não está relacionada exclusivamente à recuperação mineral, mas também à necessidade de tecnologias capazes de promover a adequada preparação granulométrica de materiais heterogêneos, úmidos e coesivos. Dessa forma, a classificação granulométrica pode atuar como etapa habilitadora de rotas de reaproveitamento voltadas à recuperação de recursos minerais, redução de passivos ambientais e promoção da economia circular na mineração.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre o reaproveitamento de rejeitos armazenados em barragens de mineração, discutindo o papel da classificação granulométrica como etapa estratégica em fluxogramas de reprocessamento. São avaliadas tecnologias aplicáveis ao processamento de materiais úmidos e coesivos, com ênfase nas peneiras de estrelas elastoméricas, e discutidas suas contribuições potenciais para estratégias de economia circular, recuperação de recursos minerais e descaracterização de barragens de rejeitos.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido por meio de revisão bibliográfica narrativa, com foco em publicações científicas, normas técnicas e documentos institucionais relacionados à gestão e ao reaproveitamento de rejeitos de mineração, à classificação granulométrica e à economia circular no setor mineral. A pesquisa foi conduzida nas bases de dados Scopus, Web of Science, SciELO e no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), com buscas complementares em publicações técnicas do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), do International Council on Mining and Metals (ICMM) e dos Anais do Congresso Técnico Científico da Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM Week).

Os termos de busca foram empregados em língua portuguesa e inglesa, de forma

Realização



Apoio Institucional



REBOB
RECURSOS E BARRAGENS
REAPROVEITAMENTO

Correalizadores



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

combinada, incluindo: *"rejeitos de mineração"*, *"barragem de rejeitos"*, *"reprocessamento de rejeitos"*, *"classificação granulométrica"*, *"peneira de estrelas"*, *"economia circular na mineração"*, *"mining tailings"*, *"tailings dam"*, *"tailings reprocessing"*, *"particle size classification"*, *"star screen"* e *"circular economy in mining"*.

Foram adotados os seguintes critérios de inclusão: (i) artigos publicados em periódicos com revisão por pares; (ii) trabalhos apresentados em congressos científicos e técnicos de relevância para o setor mineral; (iii) documentos normativos e regulatórios de órgãos competentes; e (iv) publicações institucionais de organismos reconhecidos internacionalmente. Priorizaram-se publicações a partir de 2010, sem exclusão de obras fundamentais anteriores necessárias à contextualização teórica. Foram excluídos trabalhos sem acesso ao texto integral e publicações em idiomas diferentes do português e do inglês. A análise dos materiais selecionados foi conduzida de forma qualitativa, com o objetivo de identificar tendências, convergências e lacunas na literatura sobre os temas investigados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Barragens de rejeitos e passivos ambientais

As barragens de rejeitos constituem uma das principais formas de disposição dos resíduos gerados durante o beneficiamento mineral. Embora desempenhem papel operacional importante, representam passivos ambientais permanentes devido aos riscos geotécnicos associados à sua estabilidade, à ocupação de extensas áreas e à necessidade de monitoramento contínuo (ICMM; UNEP; PRI, 2020). Além dos aspectos de segurança, essas estruturas demandam investimentos significativos durante todo o seu ciclo de vida, incluindo inspeções, instrumentação geotécnica, manutenção e planos de emergência. Após os eventos de Mariana e Brumadinho, intensificaram-se as discussões sobre descaracterização de barragens e adoção de estratégias que reduzam os volumes de rejeitos armazenados (ANM, 2022; MASSIGNAN; SÁNCHEZ, 2022).

3.2. Economia circular na mineração

A economia circular propõe a manutenção de materiais e recursos em ciclos produtivos pelo maior tempo possível, reduzindo a geração de resíduos e a necessidade de extração de matérias-primas primárias (TAYEBI-KHORAMI et al., 2019). No setor mineral, esse conceito tem sido aplicado por meio da recuperação de minerais remanescentes, reaproveitamento de rejeitos, reutilização de água e desenvolvimento de aplicações alternativas para materiais anteriormente descartados (KINNUNEN et al., 2021).

Além da recuperação de recursos minerais, a economia circular na mineração também está associada à otimização do uso de insumos críticos, especialmente água e energia. Considerando que o beneficiamento mineral tradicional frequentemente depende de etapas úmidas de classificação e concentração, tecnologias capazes de reduzir ou eliminar a necessidade de adição de água em

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

determinadas etapas do processo podem contribuir simultaneamente para a diminuição da pressão sobre recursos hídricos e para a redução dos custos operacionais. Dessa forma, estratégias de reaproveitamento de rejeitos associadas a rotas de processamento com menor demanda hídrica apresentam potencial para ampliar os benefícios ambientais e econômicos da mineração sustentável. A valorização dos rejeitos contribui simultaneamente para a recuperação de recursos, redução da disposição final e mitigação dos passivos ambientais associados às barragens (KESKIN et al., 2026).

3.3. Rejeitos de barragens como depósitos minerais

A literatura recente demonstra que rejeitos de mineração podem apresentar teores residuais economicamente relevantes de minerais úteis. TAVARES e BRANDÃO (2022), ao estudarem rejeitos de minério de ferro depositados em barragens, identificaram a presença de hematita remanescente e destacaram o potencial de reciclagem econômica desses materiais. Sob essa perspectiva, barragens podem ser interpretadas como depósitos minerais secundários, cuja exploração pode ocorrer mediante a aplicação de tecnologias adequadas de caracterização, classificação e concentração. A valorização desses depósitos apresenta vantagens potenciais, incluindo aproveitamento de recursos previamente extraídos, redução da movimentação de estér e menor necessidade de novas áreas para disposição.

3.4. Características dos rejeitos de barragens

Os rejeitos armazenados em barragens frequentemente apresentam elevada heterogeneidade granulométrica, presença significativa de partículas ultrafinas (TAVARES; BRANDÃO, 2022), elevada umidade, argilominerais e comportamento coesivo. Essas características dificultam operações de classificação granulométrica e podem comprometer a eficiência de processos subsequentes de concentração mineral. A caracterização física e mineralógica adequada constitui etapa fundamental para definição das rotas de reaproveitamento.

3.5. Classificação granulométrica como etapa estratégica

A classificação granulométrica exerce influência direta sobre a eficiência das etapas subsequentes de processamento mineral (WILLS; FINCH, 2016; NAPIER-MUNN, 2015). A segregação adequada das diferentes faixas granulométricas permite reduzir cargas circulantes, melhorar a seletividade dos processos de concentração e aumentar a recuperação global dos recursos minerais presentes nos rejeitos. Entretanto, em materiais com elevada umidade e comportamento coesivo, a eficiência da classificação não depende exclusivamente da separação por tamanho. Nessas condições, a formação de aglomerados pode mascarar a distribuição granulométrica real do material, dificultando a exposição das partículas individuais aos processos subsequentes de recuperação mineral.

Rejeitos de barragens frequentemente apresentam elevada umidade, presença significativa

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

de partículas ultrafinas e comportamento coesivo, características que favorecem a formação de aglomerados e comprometem a eficiência da classificação granulométrica. Nesses casos, torna-se desejável a utilização de tecnologias capazes de promover simultaneamente desaglomeração e classificação, aumentando a individualização das partículas e melhorando as condições de alimentação das etapas subsequentes de concentração.

Dessa forma, a classificação granulométrica não deve ser interpretada apenas como uma operação de separação física, mas como uma etapa estruturante dos fluxogramas de reaproveitamento, capaz de influenciar diretamente o desempenho técnico e econômico das rotas de valorização dos rejeitos.

3.6. Tecnologias de classificação para materiais coesivos

As peneiras vibratórias constituem a tecnologia mais difundida para classificação granulométrica na mineração. Entretanto, quando submetidas ao processamento de materiais úmidos e coesivos, podem apresentar limitações relacionadas ao cegamento das aberturas (BARBOSA JUNIOR; CHAVES, 2010), empastamento das telas e redução da área aberta efetiva. Entre as configurações de peneiras vibratórias, destaca-se a peneira desaguadora, empregada na separação sólido-líquido de polpas e rejeitos em suspensão aquosa, cuja operação depende da adição de água de processo para manter a fluidez do material e promover a lavagem contínua da tela — o que representa uma demanda hídrica adicional ao circuito de classificação. Essas limitações tornam-se particularmente relevantes em projetos de reaproveitamento de rejeitos, nos quais a presença de ultrafinos, umidade e aglomerados é frequente.

Diante das limitações apresentadas pelas peneiras vibratórias convencionais no processamento de materiais úmidos e coesivos, tecnologias alternativas têm sido investigadas e progressivamente adotadas na indústria mineral. Entre elas, as peneiras de estrelas elastoméricas destacam-se por sua concepção operacional voltada especificamente para materiais com elevada umidade, comportamento coesivo e tendência à formação de aglomerados. As características e o potencial de aplicação dessa tecnologia no contexto do reaproveitamento de rejeitos são discutidos na subseção a seguir.

A Figura 1 ilustra a comparação entre os processos de peneiramento por peneira desaguadora e peneira de estrelas elastomérica, evidenciando a diferença no consumo de água entre as duas tecnologias: enquanto a peneira desaguadora depende da adição de água de processo para evitar o cegamento da tela, a peneira de estrelas dispensa essa necessidade por meio do movimento rotacional autolimpante dos elementos elastoméricos.

Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br



Figura 1. Processos de peneiramento por peneira desaguadora e peneira de estrelas elastomérica.

4. PENEIRAS DE ESTRELAS ELASTOMÉRICAS

As peneiras de estrelas elastoméricas, desenvolvida pela empresa brasileira Recimac, constituem uma tecnologia de classificação baseada na movimentação rotacional de elementos flexíveis montados sobre eixos paralelos. Seu princípio operacional combina transporte, desaglomeração e classificação granulométrica em uma única etapa operacional (GONÇALVES et al., 2024). Diferentemente das peneiras vibratórias convencionais, cuja eficiência depende predominantemente da estratificação do leito de partículas, os sistemas de estrelas promovem revolvimento contínuo do material, favorecendo simultaneamente sua movimentação, individualização e segregação granulométrica. A flexibilidade dos elementos elastoméricos contribui

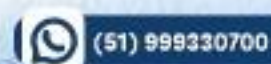
Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



para a autolimpeza dinâmica da superfície classificadora (GONÇALVES et al., 2024), reduzindo problemas associados ao cegamento e à perda de área efetiva de classificação. Esse aspecto é particularmente relevante no processamento de materiais úmidos, coesivos e com elevada tendência à formação de aglomerados.

Aplicações industriais previamente reportadas em minério de ferro, carvão mineral e fertilizantes demonstraram estabilidade operacional em condições de elevada umidade, bem como redução significativa da ocorrência de cegamento da superfície classificadora (GONÇALVES et al., 2025). Tais características sugerem potencial para aplicação em materiais de comportamento semelhante aos rejeitos armazenados em barragens. É importante destacar que as peneiras de estrelas elastoméricas não constituem uma tecnologia de recuperação mineral. Seu papel potencial em projetos de reaproveitamento de rejeitos está relacionado à preparação granulométrica do material para etapas subsequentes de concentração e valorização. Nesse contexto, a tecnologia pode contribuir para a segregação eficiente de diferentes faixas granulométricas, para a redução da presença de aglomerados e para a melhoria das condições de alimentação das etapas posteriores de recuperação mineral, atuando como tecnologia habilitadora de rotas de reaproveitamento.

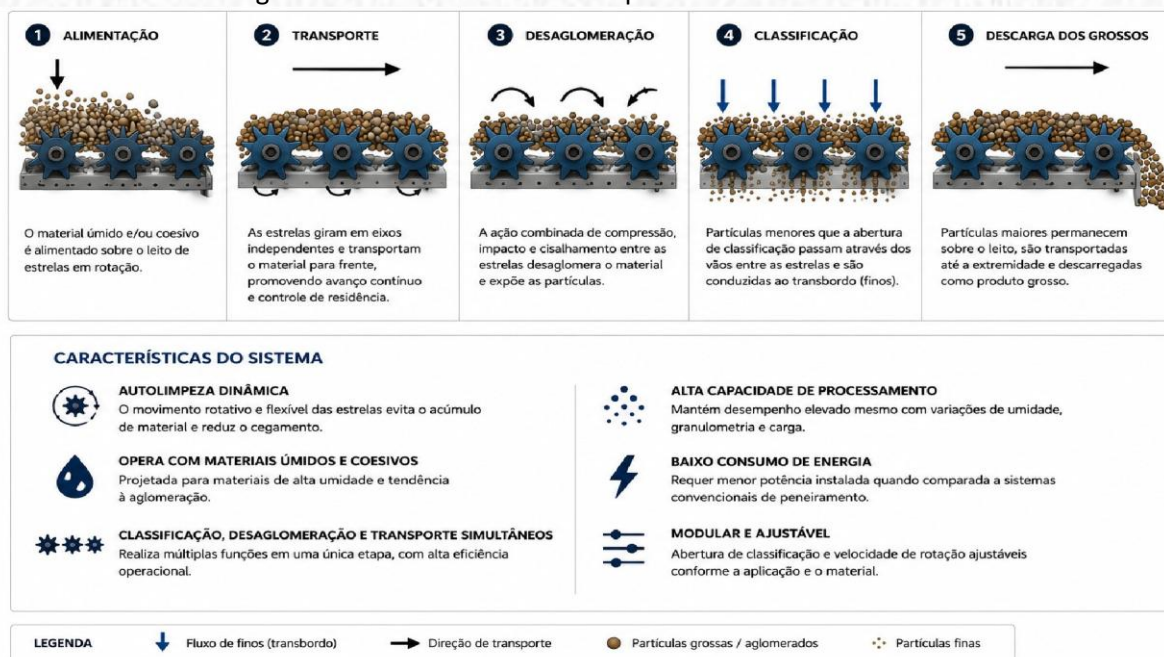


Figura 2. Ilustração do princípio de classificação por estrelas elastoméricas

5. MODELO CONCEITUAL DE REDUÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS

A Figura 3 apresenta o modelo conceitual proposto para a redução de passivos

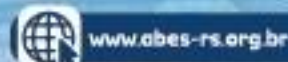
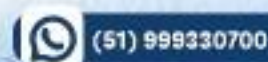
Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



ambientais por meio do reprocessamento de rejeitos de barragens de mineração. O modelo articula as principais etapas da rota de valorização, desde a extração do material armazenado até a geração de produtos e subprodutos passíveis de inserção em cadeias produtivas, ao mesmo tempo em que representa os benefícios ambientais resultantes da redução progressiva dos volumes depositados. Na etapa inicial, o material é extraído da barragem de rejeitos por dragagem hidráulica ou escavação mecânica, conforme as características físicas do depósito, seu estado de consolidação e os requisitos de segurança da estrutura. Em seguida, realiza-se a caracterização física e mineralógica do material, etapa fundamental para a definição das rotas de reaproveitamento adequadas e o dimensionamento dos equipamentos de classificação e concentração.



Figura 3. Modelo conceitual para a redução de passivos ambientais por meio do reprocessamento de rejeitos de barragens de mineração.

A classificação granulométrica constitui o elemento central do modelo, sendo responsável pela segregação eficiente do material em frações com características distintas e passíveis de direcionamento diferenciado. Em condições de elevada umidade e comportamento coesivo, essa etapa deve ser realizada por tecnologias capazes de promover simultaneamente desaglomeração e

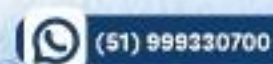
Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



separação por tamanho, favorecendo a individualização das partículas e melhorando as condições de alimentação das etapas subsequentes. As peneiras de estrelas elastoméricas representam uma alternativa tecnológica com potencial para exercer essa função de forma eficiente.

A partir da classificação, cada fração granulométrica é direcionada para a rota de valorização mais adequada às suas características: (i) frações grossas com teores remanescentes de minerais de interesse podem ser encaminhadas para operações de concentração gravimétrica, separação magnética de alta intensidade ou flotação; (ii) frações intermediárias podem ser avaliadas para uso como agregados para construção civil ou como matérias-primas para materiais cimentícios e outras aplicações industriais; e (iii) frações ultrafinas, cuja recuperação mineral é mais complexa, podem ser destinadas a aplicações alternativas ou à disposição em menor volume, com características geotécnicas eventualmente melhoradas em relação ao material original.

Os resultados do reprocessamento se manifestam em dois níveis complementares. No âmbito técnico-econômico, materializam-se pela recuperação de minerais com valor de mercado e pela geração de produtos alternativos comercializáveis. No âmbito ambiental, expressam-se pela redução progressiva dos volumes armazenados na barragem, pela viabilização gradual de sua descaracterização e pela mitigação dos riscos geotécnicos e dos passivos ambientais associados à estrutura de contenção. O modelo conceitual proposto não deve ser interpretado como uma sequência rígida de etapas, mas como um referencial estruturante para o desenvolvimento de rotas de reaproveitamento específicas para cada depósito. As características individuais de cada barragem — em termos de mineralidade, granulometria, umidade e volume armazenado — condicionarão as escolhas tecnológicas e a viabilidade de cada etapa do fluxograma.

6. DISCUSSÃO

O conjunto de evidências reunidas na literatura aponta para um cenário de crescente viabilidade técnica do reaproveitamento de rejeitos armazenados em barragens de mineração. Entretanto, o sucesso dessas iniciativas depende da adequada articulação entre as etapas de caracterização, classificação granulométrica e concentração mineral, além de condicionantes econômicos, regulatórios e ambientais específicos de cada depósito e de cada contexto operacional.

Outro aspecto relevante refere-se ao potencial de redução do consumo de água em etapas de classificação granulométrica. Em diversas operações minerais, a separação granulométrica é realizada por processos úmidos, demandando volumes significativos de água para transporte, dispersão e classificação das partículas. Nesse contexto, tecnologias de classificação a seco capazes de processar materiais com elevada umidade natural podem representar uma alternativa de interesse para determinadas aplicações. Embora a recuperação mineral dependa de etapas subsequentes de concentração, a utilização de sistemas de classificação que dispensam adição de água pode contribuir para a racionalização do uso dos recursos hídricos, redução de custos operacionais e diminuição da geração de efluentes associados ao processamento mineral.

6.1. Viabilidade técnica e econômica do reprocessamento

A viabilidade do reaproveitamento de rejeitos está intrinsecamente associada ao potencial

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

de recuperação de minerais remanescentes e às possibilidades de utilização dos materiais em cadeias produtivas alternativas. Tavares e Brandão (2022) demonstraram que rejeitos de minério de ferro depositados em barragens podem apresentar teores residuais de hematita com potencial econômico relevante, especialmente quando considerados os volumes totais armazenados e os ciclos de preço das commodities metálicas. Esse entendimento alinha-se à perspectiva de Tayebi-Khorami et al. (2019), que propõem a reinterpretação dos rejeitos como depósitos minerais secundários, cujo potencial de valorização aumenta progressivamente à medida que as tecnologias de processamento evoluem e os custos de operação se reduzem.

Contudo, é necessário reconhecer que a viabilidade econômica do reprocessamento é sensível a variáveis que vão além dos teores minerais do depósito. Os custos de extração e transporte do material desde a barragem, os investimentos em infraestrutura de processamento, a variação dos preços de mercado, as exigências de licenciamento ambiental para operação em áreas de disposição e os custos de gestão dos rejeitos residuais após o reprocessamento influenciam diretamente a atratividade financeira dos projetos. Dessa forma, análises de viabilidade tecno-econômica detalhadas são necessárias antes da implantação de qualquer rota de reaproveitamento em escala industrial, e os resultados obtidos em laboratório ou planta-piloto não devem ser extrapolados diretamente para tomadas de decisão de investimento sem adequada análise de sensibilidade.

6.2. O papel estratégico da classificação granulométrica e da desaglomeração

A classificação granulométrica exerce influência determinante sobre o desempenho global das rotas de reaproveitamento. Wills e Finch (2016) e Napier-Munn (2015) ressaltam que a adequada preparação granulométrica condiciona a eficiência de operações subsequentes de concentração, afetando tanto a seletividade dos processos quanto as taxas de recuperação dos minerais de interesse. No contexto específico dos rejeitos de barragens, essa influência é amplificada pelas características do material armazenado. A elevada umidade, a presença de argilominerais e o comportamento coesivo favorecem a formação de aglomerados que mascaram a distribuição granulométrica real do depósito e comprometem a eficiência de qualquer operação de concentração subsequente. Dessa forma, a etapa de classificação granulométrica não deve ser compreendida como operação auxiliar, mas como elemento estruturante da rota de valorização.

A desaglomeração eficiente durante a classificação promove a individualização das partículas, expondo superfícies minerais e melhorando as condições de alimentação de processos de separação por densidade, magnetismo ou flotação. Em materiais com comportamento coesivo pronunciado, a diferença entre uma classificação com e sem desaglomeração efetiva pode determinar a viabilidade ou o insucesso das operações de concentração a jusante, uma vez que partículas ultrafinas aderidas a aglomerados grossos podem ser incorretamente direcionadas para a fração inadequada, reduzindo tanto a seletividade quanto a recuperação global. Nesse sentido, a seleção criteriosa da tecnologia de classificação, com ênfase em sua capacidade de promover desaglomeração simultânea à separação por tamanho, pode exercer impacto positivo sobre toda a cadeia de valorização dos rejeitos.

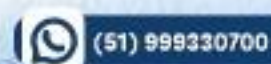
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



6.3. Peneiras de estrelas elastoméricas: análise crítica das evidências disponíveis

As evidências disponíveis na literatura sobre as peneiras de estrelas elastoméricas indicam desempenho promissor em condições de elevada umidade e materiais coesivos. Gonçalves et al. (2024) e Gonçalves et al. (2025) reportaram resultados satisfatórios em aplicações com minério de ferro hidratado, demonstrando estabilidade operacional e redução significativa dos problemas associados ao cegamento da superfície classificadora, limitação recorrente das peneiras vibratórias convencionais nessas condições. Silveira (2024) corrobora esses resultados ao destacar o efeito de autolimpeza dinâmica proporcionado pela flexibilidade dos elementos elastoméricos como fator diferencial da tecnologia.

Todavia, é necessário ressaltar que a base de publicações sobre essa tecnologia, especialmente no contexto específico do processamento de rejeitos de barragens, é ainda reduzida. Os estudos disponíveis referem-se predominantemente a materiais de características relativamente bem definidas, enquanto os rejeitos de barragens podem apresentar heterogeneidade significativamente maior, com variações de umidade, granulometria e composição mineralógica ao longo do depósito. Essa heterogeneidade representa um desafio adicional para qualquer tecnologia de classificação e deve ser considerada no dimensionamento de projetos de reprocessamento, especialmente no que diz respeito à estabilidade e à previsibilidade operacional.

Adicionalmente, o desempenho das peneiras de estrelas elastoméricas em faixas granulométricas muito finas — frequentes nos rejeitos de barragens — não está suficientemente documentado na literatura atual. Estudos experimentais com materiais reais provenientes de diferentes depósitos e distintas origens mineralógicas são necessários para quantificar indicadores de desempenho, como eficiência de separação, capacidade específica de processamento e grau de desaglomeração em condições operacionais representativas. Portanto, embora as características da tecnologia indiquem compatibilidade com os desafios impostos pelo processamento de rejeitos úmidos e coesivos, seu potencial de aplicação nesse contexto específico deve ser interpretado como promissor, porém ainda carente de validação experimental sistemática.

6.4. Dimensão ambiental e regulatória

A Resolução ANM nº 95/2022 estabeleceu exigências mais rigorosas para a segurança de barragens de mineração no Brasil, incluindo prazos e condições para a descaracterização de estruturas classificadas em categorias de risco elevado (ANM, 2022). Nesse contexto regulatório, o reprocessamento de rejeitos adquire uma dimensão que transcende a valorização econômica dos recursos: constitui estratégia direta de redução dos volumes armazenados e de aceleração dos processos de descaracterização das estruturas de contenção.

A perspectiva de economia circular reforça esse argumento ao propor que a redução dos passivos ambientais seja acompanhada pela reinserção dos materiais em cadeias produtivas (Kinnunen et al., 2021; Keskin et al., 2026). Rejeitos valorizados como agregados para construção civil, matérias primas para materiais cimentícios ou insumos para obras de infraestrutura deixam de representar exclusivamente custos ambientais e passam a gerar valor econômico, melhorando a atratividade global

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

dos projetos de reprocessamento e contribuindo para a construção de um modelo de mineração mais alinhado aos princípios do desenvolvimento sustentável.

O alinhamento entre as exigências regulatórias de descaracterização e os incentivos econômicos derivados da valorização dos rejeitos podem atuar como força motriz para a aceleração dos investimentos nessa área, especialmente no cenário brasileiro posterior a Mariana e Brumadinho, no qual a pressão social e regulatória sobre a gestão de barragens alcançou níveis historicamente elevados.

6.5. Lacunas identificadas e perspectivas de pesquisa

A análise da literatura permite identificar lacunas que limitam o avanço do conhecimento e a transferência de resultados para aplicações industriais. Em primeiro lugar, há escassez de estudos que integrem, em um único fluxograma experimental, as etapas de caracterização, classificação granulométrica e concentração mineral aplicadas a rejeitos reais de barragens. A maior parte dos trabalhos disponíveis aborda essas etapas de forma isolada, dificultando a avaliação do desempenho global das rotas de reaproveitamento e a identificação de gargalos operacionais.

Em segundo lugar, a literatura carece de estudos específicos sobre o comportamento das peneiras de estrelas elastoméricas no processamento de rejeitos com distintas origens mineralógicas, com ênfase em materiais de granulometria muito fina e elevado teor de argilominerais. A ausência dessas informações impede a definição de parâmetros operacionais de referência para o dimensionamento de sistemas de classificação em projetos de reprocessamento.

Por fim, modelos tecno-econômicos integrados — que considerem simultaneamente os custos de processamento, os benefícios da recuperação mineral, as externalidades ambientais positivas e os requisitos regulatórios de descaracterização — são necessários para orientar decisões de investimento em projetos de reaproveitamento de rejeitos em escala industrial. O desenvolvimento desses modelos representa uma oportunidade concreta de avanço para a pesquisa aplicada na área de processamento mineral e gestão de rejeitos.

7. Conclusões

Os rejeitos armazenados em barragens podem representar importantes depósitos minerais

secundários e potenciais fontes de matérias-primas para outras cadeias produtivas. O reaproveitamento desses materiais está alinhado aos princípios da economia circular e pode contribuir para a redução dos passivos ambientais associados à mineração. A classificação granulométrica desempenha papel estratégico nesse processo ao permitir a preparação e segregação eficiente de materiais heterogêneos para etapas subsequentes de recuperação e valorização. Tecnologias capazes de processar materiais úmidos e coesivos, como as peneiras de estrelas elastoméricas, apresentam potencial para contribuir com fluxogramas de reaproveitamento de rejeitos, apoiando iniciativas de redução de volumes armazenados, descaracterização de barragens e mitigação de riscos ambientais.

Conclui-se que o reprocessamento de rejeitos associado a tecnologias eficientes de

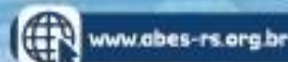
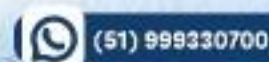
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



classificação granulométrica representa uma abordagem promissora para a transição da mineração em direção a modelos mais sustentáveis e alinhados aos princípios da economia circular. Os resultados da literatura sugerem que o sucesso do reaproveitamento de rejeitos não depende exclusivamente das tecnologias de recuperação mineral. Etapas eficientes de preparação granulométrica, especialmente em materiais heterogêneos, úmidos e coesivos, podem atuar como elementos habilitadores da economia circular na mineração ao favorecer a valorização de materiais anteriormente destinados à disposição permanente.

REFERÊNCIAS

BARBOSA JUNIOR, L. A.; CHAVES, A. P. Peneiramento industrial no processamento mineral. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, v. 7, n. 2, p. 75-82, 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. Resolução nº 95, de 7 de fevereiro de 2022. Brasília, DF: ANM, 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM): classificação nacional de barragens de mineração. Brasília: ANM, 2026. Disponível em: <https://sigbm.anm.gov.br/Publico/ClassificacaoNacionalDaBarragem>. Acesso em: 22 de jun. de 2026.

CHAVES, A. P.; PERES, A. E. C. *Teoria e prática do tratamento de minérios: britagem, peneiramento e moagem*. São Paulo: Signus Editora, 2003.

GONÇALVES, T. A. R.; CARLETI, F.; ROZA, W. R.; BRAGA, F.; SILVEIRA, G. J.; COSTA, H. F. S. C.; ALVES, W. O.; PEREIRA, L. F. *Peneiramento à umidade natural com elevada umidade – peneira estrela de borracha*. In: ABM WEEK, 2024. Anais [...]. São Paulo: ABM, 2024. DOI: 10.5151/2594-357X-40730.

GONÇALVES, T. A. R.; PEREIRA, L. F.; CARLETI, F.; ALVES, W. O.; ROZA, W. R.; GANDRA, P.; BATISTA, A. B. S. G.; COSTA, H. F. S. C. *Desenvolvimento e validação da peneira de rolos estrela para minérios hidratados*. In: ABM WEEK, 2025. Anais [...]. São Paulo: ABM, 2025. DOI: 10.5151/2594-357X-42341.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. *Gestão e manejo de rejeitos da mineração*. Brasília, DF: IBRAM, 2016.

ICMM; UNEP; PRI. *Global Industry Standard on Tailings Management*. London: International Council on Mining and Metals, 2020.

KESKIN, T.; YILMAZ, E.; et al. Reuse and valorization practices of mine tailings: a review of existing perspectives and advances. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2026.

KINNUNEN, P.; ISOKANGAS, A.; RÄMÖ, J.; HEIKKINEN, E. P. J. Review of closed water loops with ore sorting and tailings valorisation for a more sustainable mining industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 278, 2021.

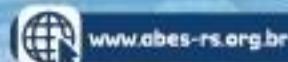
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. *Tratamento de minérios*. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2010.

MASSIGNAN, R. S.; SÁNCHEZ, L. E. O que significa descaracterizar barragens de rejeitos de mineração? Uma revisão sistemática da literatura. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 27, n. 2, p. 225-234, 2022.

NAPIER-MUNN, T. *Mineral processing design and operations*. Amsterdam: Elsevier, 2015.

TAVARES, L. D. C.; BRANDÃO, P. R. G. Rejeito de minério de ferro depositado em barragem: caracterização para definição de processo para reciclagem econômica. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, v. 19, n. 3, 2022.

TAYEBI-KHORAMI, M. et al. Re-thinking mining waste through an integrative approach led by circular economy aspirations. *Minerals*, v. 9, n. 286, 2019.

WILLS, B. A.; FINCH, J. A. *Mineral processing technology*. 8. ed. Oxford: ButterworthHeinemann, 2016.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br