

TRATAMENTO ELETROLÍTICO APLICADO A REJEITOS DA MINERAÇÃO

ELECTROLYTIC TREATMENT APPLIED TO MINING TAILINGS

Gustavo Felipe da Silva

Aluno de Graduação de Engenharia Química, 11º período
Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Período PIBITI/CETEM: junho de 2025 a agosto de 2025
silva.gustavo_1@graduacao.uerj.br

Neanderson Galvão

Orientador, Engenheiro Ambiental, D.Sc.
neandersongalvao@gmail.com

Sílvia Cristina Alves França

Coorientadora, Engenheira Química, D.Sc.
sfranca@cetem.gov.br

RESUMO

O presente estudo investiga o potencial da eletro-oxidação como uma etapa integrada ao circuito de beneficiamento mineral, para melhoria nas operações de separação sólido-líquido e possibilidade de reutilização da água de processo. Para tanto, foram avaliados os efeitos da adição de sulfato de sódio como eletrólito suporte no tratamento eletrolítico, por meio da eletro-oxidação de rejeitos de minério de ferro, para eliminar a espuma gerada pela amina residual presente no rejeito, a qual impacta negativamente a eficiência da etapa de espessamento. A adição do sulfato de sódio buscou otimizar a condutividade do meio e favorecer as reações eletroquímicas responsáveis pela degradação de compostos orgânicos e surfactantes presentes nos rejeitos. . A remoção de contaminantes e a redução da turbidez e de compostos orgânicos, permitirá o reuso da água no processamento, reduzindo o consumo de água nova e contribuindo para uma operação mais sustentável. O tratamento combinado resultou numa torta de baixa umidade e sobrenadante de menor turbidez.

Palavras chave: Tratamento eletrolítico, eletro-oxidação, espuma.

ABSTRACT

The present study the potential of electro-oxidation as an integrated step in the mineral beneficiation circuit was investigated, allowing for improved solid-liquid separation performance and the possibility of water reuse in the process. In the project the effects of adding sodium sulfate as a supporting electrolyte in the electrolytic treatment, through electro-oxidation of iron ore tailings, were evaluated to eliminate the froth generated by the residual amine present in the tailings, which negatively impacts the efficiency of the thickening stage. The addition of sodium sulfate aimed to optimize the conductivity of the medium and favor the electrochemical reactions responsible for the degradation of organic compounds and surfactants present in the tailings. The removal of contaminants and the reduction of turbidity and organic compounds enable water reuse in processing, reducing the consumption of fresh water and contributing to a more sustainable operation. The combined treatment resulted in a low-moisture cake and overflow with lower turbidity.

Keywords: Electrolytic treatment, electro-oxidation, froth.

1. INTRODUÇÃO

O beneficiamento do minério de ferro envolve uma sequência de etapas visando obter um concentrado de maior valor agregado que atenda aos padrões industriais. A disponibilidade de água é indispensável para o processamento de minérios, uma vez que praticamente todas as etapas do beneficiamento dependem desse recurso para transporte, separação e concentração dos sólidos. Visando reduzir os custos operacionais e garantir a continuidade do processo, a água utilizada é continuamente recuperada e reutilizada, retornando aos circuitos após etapas de tratamento destinadas à remoção de sólidos e contaminantes residuais (LUZ; FRANÇA; BRAGA, 2018).

As etapas tradicionais de tratamento envolvem o espessamento do rejeito, para o adensamento dos sólidos e a recirculação da água ao processo, seguido da filtração. A presença de reagentes residuais, especialmente espumantes, compromete a sedimentação, gera espuma persistente na superfície do espessador e reduz a eficiência da separação.

A eletro-oxidação surge como uma alternativa promissora para a degradação de espumantes residuais, pois gera espécies oxidantes capazes de mineralizar compostos orgânicos de difícil degradação (GARCIA-RODRIGUEZ et al., 2020). Contudo, a baixa condutividade elétrica da polpa de rejeitos pode inviabilizar o processo. Nesse contexto, a adição de eletrólitos suporte tem sido estudada em outros setores industriais para aumentar a condutividade. O uso de cloreto de sódio tem sido estudado na literatura, entretanto o cloreto residual na água de reuso pode causar corrosão no sistema de adução, além da formação de subprodutos clorados (FANG; LI, 2024).

Assim, o presente estudo visa a investigação do uso de sulfato de sódio como eletrólito suporte na eletro-oxidação do espumante e outros reagentes residuais, reduzindo a formação de espuma no espessamento, sem gerar subprodutos indesejáveis que comprometam a qualidade da água de processo.

2. OBJETIVO

Avaliar a eficiência da adição de sulfato de sódio como eletrólito para minimizar o uso de cloreto de sódio na etapa de eletro-oxidação do processo de tratamento de rejeitos de minério de ferro, comparando os resultados com o tratamento convencional. A avaliação será realizada com base nos parâmetros de turbidez, condutividade e pH do clarificado, bem como a umidade final da torta obtida após o espessamento e filtração.

3. METODOLOGIA

3.1. Preparo das Amostras

As amostras de rejeito utilizadas foram originadas de uma usina de beneficiamento localizada no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais. O preparo inicial consistiu no peneiramento do rejeito total da usina, utilizando peneira com abertura de 45 μ m.

Na fração fina, polpa com 13% de sólidos, adicionou-se eteramina, na concentração de 30 mg/L, conforme condição operacional da usina. Após a adição da eteramina, a amostra foi agitada por 1 min e aerada por mais 1 min, para promover a formação de espuma, para atingir a condição tipicamente observada no espessador industrial.

O rejeito fino foi submetido ao tratamento convencional (TC) e ao pré-tratamento eletrolítico anterior ao tratamento convencional (TE + TC). Em seguida, as amostras foram filtradas e o filtrado e a torta resultantes foram analisados.

Os valores de pH foram medidos com pHmetro Digimed DM22; a turbidez foi determinada com turbidímetro Policontrol AP-2000; e a condutividade elétrica, com condutivímetro MS Tecnopon mCA-150. A umidade da torta foi determinada por gravimetria após secagem em estufa.

3.2. Tratamento Convencional (TC)

Os ensaios de agregação e sedimentação foram realizados utilizando o coagulante Zalta MC526 e o floculante Praestol 2640Z, ambos da marca Solenis, nas concentrações de 20 mg/ cm³ e 40 g/t, respectivamente. Uma amostra de 1,5 L de polpa de rejeito fino foi inicialmente agitada a 300 rpm para garantir adequada homogeneização. Em seguida, foi adicionado o coagulante; após 1 minuto, adicionou-se o floculante. Um minuto depois, a rotação foi reduzida para 150 rpm e mantida por mais 1 minuto, favorecendo a formação dos flocos. Posteriormente, a amostra foi deixada em repouso, sem agitação, por 30 minutos para a sedimentação dos flocos formados.

Após esse período, foram medidos o teor de sólidos do material espessado e os parâmetros de condutividade elétrica, pH e turbidez do sobrenadante.

3.3. Tratamento Eletrolítico (TE)

A amostra foi submetida ao tratamento eletrolítico para degradar a eteramina que forma a espuma. Foi adicionado cloreto de sódio para se obter a concentração de 0,25 g/L de cloreto na polpa. Adicionalmente, adicionou-se sulfato de sódio até que a condutividade da amostra atingisse 1740 µS/cm², valor definido com base em ensaios preliminares. A densidade de corrente aplicada foi de 20 mA/cm².

O sistema eletrolítico utilizou como ânodo uma malha de Ti/RuO₂ e, como cátodo, uma placa de aço inoxidável AISI 304. O tempo do tratamento eletrolítico foi de 30 minutos.

Em seguida, a amostra foi submetida ao Tratamento Convencional descrito anteriormente.

3.4. Filtragem

Após a etapa de espessamento, aos sólidos espessados foram adicionados os sólidos grossos retidos na peneira de 45 µm durante o preparo inicial. O *blend* formado foi submetido ao ensaio de filtragem, utilizando o equipamento Filtratest® Bokela, sob uma pressão de 1 bar, durante 45 segundos. Foi realizada a medição da umidade da torta, por gravimetria, após a secagem em estufa, e para o filtrado obtido foram analisados os parâmetros turbidez, condutividade elétrica e pH.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a etapa de espessamento, os parâmetros turbidez e pH do clarificado e teor de sólidos apresentaram valores semelhantes, a exceção foi a condutividade do tratamento combinado. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados da etapa de espessamento.

Tratamento	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm ²)	pH	Teor de sólidos (%)
TC	153	609,9	8,4	41,4
TE+TC	113	1919	8,3	40,7

A Figura 1 apresenta decomposição da espuma no começo e fim do tratamento eletrolítico. Durante essa etapa, o pH inicial da amostra foi de 8,7, os valores de pH apresentaram elevação durante a operação, com valor máximo medido de 9,3, mas se estabilizaram a 8,3 ao final do tratamento. Isso ocorre devido ao consumo dos cloretos durante a eletrólise e às hidroxilas produzidas.

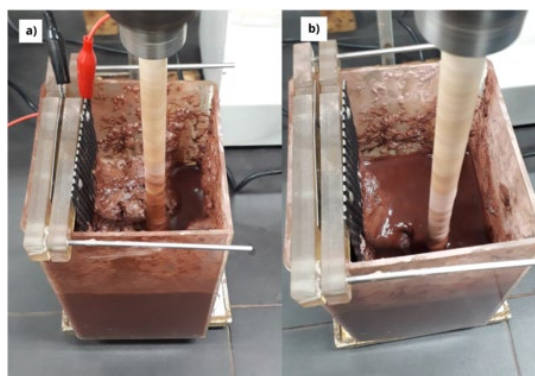


Figura 1: Célula eletrolítica durante tratamento eletrolítico.
a) $t = 0$ min; b) $t = 30$ min.

A Tabela 2 apresenta os resultados da etapa de filtração. É possível notar uma diferença significativa na turbidez e no percentual de umidade na torta produzida, para as duas condições de tratamento avaliadas.

Tabela 2: Resultados da etapa de filtração.

Tratamento	Turbidez (NTU)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	pH	Umidade da torta (%)
TC	2107	693,5	8,3	30,7
TE+TC	993	1531	8,2	14,2

5. CONCLUSÕES

A aplicação da etapa de tratamento eletrolítico com adição de sulfato de sódio mostrou-se eficaz na decomposição da espuma formada durante a etapa de flotação, além de contribuir para a melhoria da qualidade da separação na etapa de filtração. Os resultados indicam que a eletro-oxidação pode ser integrada de forma eficiente ao circuito de beneficiamento mineral.

Entretanto, ainda são necessários mais estudos envolvendo a caracterização química da amostra, fundamental para avaliar a degradação dos compostos orgânicos e geração de subprodutos clorados.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pelo apoio por meio da bolsa de Iniciação Científica, fundamental para a realização deste trabalho. Gostaria de agradecer ao meu orientador, Neanderson Galvão, a minha coorientadora, Sílvia França, ao suporte técnico, infraestrutura e aos demais colaboradores que tornaram essa pesquisa possível.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FANG, F.; LI, Q. Molecular composition and formation mechanism of chlorinated organic compounds in biological waste leachate treated by electrochemical oxidation with a boron-doped diamond anode. **Chemosphere**, v. 369, p. 143788, 2024.

GARCIA-RODRIGUEZ, O. et al. Electrochemical treatment of highly concentrated wastewater: A review of experimental and modeling approaches from lab- to full-scale. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 52, n. 2, p. 240-309, set. 2020.

LUZ, A.B.; FRANÇA, S.C.A.; BRAGA, P.F.A. (ORGS.). **Tratamento de minérios**. 6. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. p. 959