

# **TRATAMENTO ELETROLÍTICO: POTENCIAL PARA MELHORIA DAS OPERAÇÕES DE DESAGUAMENTO E EMPILHAMENTO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO**

## **ELECTROLYTIC TREATMENT: POTENTIAL FOR IMPROVEMENT OF IRON ORE TAILINGS DEWATERING AND STACKING OPERATIONS**

**Maria Eduarda Sant'Ana Sayão Caruncho**

Aluna de Graduação de Química Industrial, 4º período  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Período PIBIC/CETEM: setembro de 2023 a agosto de 2024  
mariasantana@eq.ufrj.br

**Neanderson Galvão**

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

**Sílvia Cristina Alves França**

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

### **RESUMO**

Os processos eletroquímicos têm se mostrado bastante eficientes no tratamento de efluentes, seja pela facilidade de operação ou por possibilitar a redução no uso de produtos químicos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do tratamento eletroquímico como etapa anterior ao espessamento de rejeito total de minério de ferro, variando a densidade de corrente (20 e 40 mA/cm<sup>2</sup>) e a concentração de eletrólitos (0,5 - 2 g/L). Os ensaios de agregação utilizaram como reagentes o coagulante Zalta MC526 e o floculante Praestrol 2640. Os resultados mostram que o tratamento eletrolítico aplicado como pré-tratamento é eficiente, sendo necessário a adequação dos parâmetros para melhores resultados no espessamento. O ensaio em que foi adicionado 1g/L de eletrólito e aplicada a densidade de corrente de 20 mA/cm<sup>2</sup> foi o que obteve menores valores de turbidez do sobrenadante (15,4 NTU), e um teor de sólidos espessados de 56% e condutividade de 7,0 mS/cm.

**Palavras-chave:** tratamento eletrolítico, eletro-oxidação, minério de ferro.

### **ABSTRACT**

Electrochemical processes have proven to be very efficient in the treatment of effluents, either because of the ease of operation or because they enable the reduction in the use of chemical products. The objective of this work was to evaluate the efficiency of electrochemical treatment as a step prior to the thickening of total iron ore tailings, varying the current density (20 and 40 mA/cm<sup>2</sup>) and the electrolyte concentration (0.5 - 2 g/L). The aggregation assays used the coagulant Zalta MC526 and the flocculant Praestrol 2640 as reagents. The results show that the electrolytic treatment applied as pre-treatment is efficient, and it is necessary to adapt the parameters for better results in thickening. The test in which 1g/L of electrolyte was added and a current density of 20 mA/cm<sup>2</sup> was applied was the one that obtained the lowest values of supernatant turbidity (15,4 NTU), and a thickened solids content of 56% and conductivity of 7,0 mS/cm.

**Keywords:** electrolytic treatment, electro-oxidation, iron ore.

## **1. INTRODUÇÃO**

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro, em 2021, as substâncias das classes dos metálicos foram responsáveis por cerca de 99% do valor da produção mineral no Brasil, levantando cerca de 300 bilhões de reais. O ferro contribuiu fortemente para o incremento desse setor, uma vez que 80% de todo esse valor foi obtido pela sua exploração. Mesmo o beneficiamento do minério de ferro trazendo grandes retornos econômicos para o Brasil, a forma como os rejeitos gerados são dispostos estão passíveis a grandes acidentes ambientais, principalmente pelo grande teor de água presente. A disposição desses rejeitos em pilhas surge como uma alternativa viável, além de permitir a recuperação da água do processo (GUIMARÃES, 2011).

Essa disposição em pilhas depende, fortemente, da eficiência dos processos de separação sólido-líquido, como o espessamento. Segundo Wolf (2009), o espessamento utiliza a ação da gravidade para promover a sedimentação de partículas, aumentando o teor de sólidos da polpa e diminuindo a turbidez do sobrenadante, possibilitando o seu reciclo. Alguns reagentes podem ser adicionados nessas etapas, para facilitar a sedimentação, como floculantes e coagulantes. De acordo com Trampus (2023), essas partículas, devido ao tamanho reduzido e elevada área superficial, interferem diretamente na eficiência dos processos de separação, e de operações subsequentes, como a filtração.

Uma outra alternativa de pré-tratamento que têm se mostrado bastante promissora é o uso da eletroquímica, devido a facilidade de operação, e por dispensar o uso de reagentes químicos. Na eletro-oxidação, por exemplo, agentes oxidantes são produzidos no processo, podendo ser de forma direta ou indireta. Na oxidação direta os poluentes são adsorvidos na superfície do anodo e depois oxidados. Já na oxidação indireta, os agentes oxidantes são formados durante o processo, e os poluentes são degradados pela ação desses oxidantes. Quando se tem a adição de eletrólitos no processo, em especial o cloreto de sódio, forma-se o hipoclorito, que pode reagir com inúmeras espécies presentes na água. Para que se tenha ótimos resultados com a eletro-oxidação, é necessário verificar a influência de cada parâmetro que influencia esse processo, como pH, densidade de corrente, concentração de eletrólitos, entre outros (PELINSON, 2013; GALVÃO, 2018).

## **2. OBJETIVO**

Avaliar a eficiência da eletro-oxidação como etapa anterior ao tratamento de amostras de rejeito de minério de ferro, analisando a influência da concentração de cloreto de sódio e densidade de corrente nas etapas de espessamento.

## **3. METODOLOGIA**

Foi utilizada uma amostra de rejeito total de minério de ferro, proveniente da usina de beneficiamento no Quadrilátero Ferrífero, localizada no estado de Minas Gerais-Brasil. A amostra foi submetida a ensaios de agregação convencional, tratamento eletrolítico, e tratamento eletrolítico combinado com a agregação convencional. Os valores de pH foram obtidos pelo método potenciométrico, utilizando o pHmetro Digimed DM22, a turbidez foi avaliada pelo método nefelométrico, utilizando turbidímetro Policontrol AP-2000, e a condutividade pelo método eletrométrico, utilizando condutivímetro MS Tecnonon mCA-150.

### **3.1 Ensaio de Agregação Convencional, sem e com o Pré-tratamento Eletrolítico**

#### **3.1.1 Agregação convencional (TC)**

A amostra de rejeito total de minério de ferro foi submetida a ensaios de agregação e sedimentação, utilizando o coagulante Zalta MC526, e floculante Praestol 2640, com dosagens de  $90 \text{ gm}^{-3}$  e  $60 \text{ gt}^{-1}$ , respectivamente. A amostra, com volume de 0,7 L, foi agitada para homogeneização. Sob agitação rápida (300 rpm) foi adicionado 0,7 mL do coagulante e após um minuto, 11,5 mL do floculante. 1 minuto depois, foi reduzida a velocidade rotacional para 150

rpm, e após um minuto foi cessada a agitação e iniciou-se a sedimentação durante 21 minutos, em seguida, foi retirado o sobrenadante, obtendo-se uma fração de rejeito espessado e outra da água sobrenadante. No espessado foi medido o teor de sólidos, enquanto que no sobrenadante foram feitas análises de condutividade, pH e turbidez.

### 3.1.2 Pré-tratamento eletrolítico (TE), apenas, e combinado com a agregação convencional (TE+TC)

A amostra de rejeito total de minério de ferro foi submetida à eletrólise antes das etapas de agregação e espessamento. O tratamento eletrolítico foi realizado adicionando-se cloreto de sódio (NaCl) na amostra, com concentrações variando de 0,5 a 2 g/L Cl<sup>-</sup>, como eletrólito. A densidade de corrente também foi variada, entre 20 a 40 mA/cm<sup>2</sup>. Como catodo foi utilizado aço inox AISI 304 e tela de Ti/RuO<sub>2</sub>, como anodo, e área anódica de 34 cm<sup>2</sup>. O tempo de eletrólise foi de 1h.

As amostras que foram submetidas apenas ao ensaio do pré-tratamento eletrolítico seguiram para o espessamento. Já as que passaram também pelo tratamento convencional, seguiu-se a metodologia descrita em 3.1.1.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra a eficiência do espessamento da amostra de rejeito total de minério de ferro, após aplicado diferentes tipos de tratamentos. Observa-se que o maior valor de sólidos espessados (66,3%), quando comparado com os outros tratamentos, foi obtido utilizando apenas o tratamento eletrolítico (TE). Entretanto, a turbidez proveniente da amostra do TE foi a que obteve pior resultado (1095 NTU), enquanto que com o TC e TC+TE foi de 30 e 15,4 NTU, respectivamente.

**Tabela 1:** Desempenho do espessamento do rejeito total de minério de ferro aplicando diferentes tratamentos.

Tratamento	Turbidez (NTU)	Condutividade (mS/cm)	pH	Teor de sólidos (%)
TC	30,05	0,71	8,15	56,0
TE	1095	4,15	8,06	66,3
TC+TE	15,4	7,0	8,36	56,0

Os elevados valores de condutividade do sobrenadante obtido nos ensaios do TE e TC+TE foram devido à adição do cloreto de sódio como eletrólito. Com a aplicação da corrente elétrica, ocorre a migração dos íons e o aumento da condutividade, sendo proporcional a concentração de eletrólito adicionado.

Como não foi utilizado nenhum coagulante/floculante para o TE, é esperado que o valor de turbidez seja elevado. Segundo Trampus (2023), o uso desses polímeros tem influência direta na eficiência da separação sólido-líquido.

Como foi visto na tabela 1, o pré-tratamento eletrolítico associado ao tratamento convencional foi o que obteve melhores resultados de turbidez e teor de sólidos. Portanto, os ensaios avaliando os parâmetros associados ao tratamento eletrolítico foram feitos nas amostras de TC+TE. Na tabela 2, tem-se os resultados do espessamento realizado, variando a concentração do cloreto de sódio como eletrólito na etapa do tratamento eletrolítico. Pode-se observar que, em termos de turbidez, os valores encontrados para 1 g/L e 2 g/L de cloreto são muito próximos (15,5 e 15,4 NTU, respectivamente), enquanto que um valor maior de turbidez (21,6 NTU) foi encontrado para a amostra com 0,5g/L de cloreto. O maior teor de sólidos encontrados (56%) foi para a amostra com 2g/L de cloreto, entretanto, foi a que apresentou também o maior valor de condutividade (7,0 mS/cm).

**Tabela 2:** Influência da concentração de cloreto no espessamento da amostra de rejeito total de minério de ferro, submetida a TC+TE.

[NaCl] g/L	Sobrenadante		Espessado	
	Turbidez (NTU)	Condutividade (mS/cm)	pH	Teor de sólidos (%)
0,5	21,6	2,4	8,2	52,2
1,0	15,5	2,8	8,3	53,1
2,0	15,4	7,0	8,4	56,0

Como um dos objetivos é permitir a maior recirculação da água, altos valores de condutividade não são interessantes, uma vez que pode impactar o processo e causar corrosão em equipamentos que não sejam adequados para o meio. Portanto, a amostra de 1g/L de cloreto foi a que obteve melhores resultados nos ensaios de espessamento, apresentando menores valores de turbidez e condutividade. Com ela, fez-se os ensaios avaliando a influência da densidade de corrente nos ensaios de espessamento, descritos na tabela 3.

**Tabela 3:** Influência da densidade de corrente no espessamento na amostra de rejeito total de minério de ferro com 1g/L de cloreto, submetida a TC+TE.

i (mA/cm <sup>2</sup> )	Sobrenadante		Espessado	
	Turbidez (NTU)	Condutividade (mS/cm)	pH	Teor de sólidos (%)
20	15,4	7,0	8,4	56,0
40	48,5	6,9	7,5	64,1

Como pode ser observado na tabela 3, a amostra submetida a 40 mA/cm<sup>2</sup> foi a que apresentou maiores valores de turbidez (48,5 NTU) e teor de sólidos (64,1%), com condutividade praticamente iguais a amostra aplicada 20 i, uma vez que a concentração de eletrólitos não foi variada.

Segundo Galvão (2018) durante a eletro-oxidação ocorre a formação de agentes oxidantes. Quando aplicada a corrente de 40 mA/cm<sup>2</sup> esses compostos passaram a ter um efeito residual com concentrações muito mais elevadas, prejudicando a eficiência dos polímeros coagulantes e floculantes, obtendo um sobrenadante com elevados valores de turbidez quando comparado a correntes menores.

## 5. CONCLUSÕES

A eletro-oxidação se mostrou eficiente como pré-tratamento para amostras de rejeito total de minério de ferro. Ao avaliar os parâmetros do processo na eficiência do espessamento, obteve-se melhores resultados na dosagem de 1 g/L de cloreto e densidade de corrente de 20 mA/cm<sup>2</sup>, com turbidez de 15,4 NTU, 7,0 mS/cm de condutividade e 56% de teor de sólidos espessados.

## 6. AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida, sem ela o desenvolvimento deste trabalho não seria possível. Sou grata ao meu orientador, Neanderson Galvão, por toda a assistência nas análises realizadas e por ser sempre solícito para responder minhas dúvidas. Ao CETEM por toda a infraestrutura e aos seus funcionários e técnicos, por fazer do ambiente de trabalho um lugar leve.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Anuário Mineral Brasileiro: Principais substâncias metálicas. Brasília, 2021. Disponível em: <<http://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicações/anuário-mineral/anuário-mineral-brasileiro/amb-2021-ano-base-2020.pdf>> Acesso em: 20 de junho. 2024

GALVÃO, N. Tratamento de lixiviado utilizando eletrocoagulação com eletrodos de ferro e alumínio. 2018. 80 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UNICENTRO, Irati (Brasil)

GUIMARÃES, N.C. Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas. 2011. 114 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (Brasil)

PELINSON, N.S. Estudo de tratabilidade de lixiviado de aterro sanitário submetido a eletro-oxidação como pré-tratamento a um sistema de lodos ativados operado em batelada. 2013. 134 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Paulo (Brasil)

TRAMPUS, B.C., FRANÇA, S.C.A., MOREIRA, G.C. Influência da agregação de partículas no desaguamento de rejeitos minerais. In: 22º Simpósio de Mineração, 7ª edição, 2023, São Paulo, Brasil.

WOLF, A.P. Caracterização de rejeitos de minério de ferro de minas da Vale. 2009. 107 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto (Brasil)