



ESTUDO DOS PARÂMETROS PARA CONCENTRAÇÃO MAGNÉTICA DO MINÉRIO DE FERRO DE UMA MINA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

CORREA, A.S.¹, SOUZA, T.F.², SANTOS, L.H.³,

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). e-mail:

¹ameliacorrea12@hotmail.com

²tamiris.fonseca@cefetmg.br

³leandro.ufmg.minas@gmail.com

RESUMO

A evolução de operações de beneficiamento mineral tem se tornado essencial no aproveitamento de minérios de ferro de baixo teores. Dessa forma, é possível reduzir custos associados a rota de produção e aumentar a eficiência do beneficiamento. Os métodos de concentração magnética são importantes para o beneficiamento de itabiritos e através de ensaios em escala piloto ou testes de bancada é possível verificar a viabilidade da fase de projeto de um investimento. Com esse propósito, por meio deste estudo, avaliou-se os seguintes parâmetros separador magnético de escala laboratorial: massa de sólidos da alimentação, tipo de matriz de tela expandida e granulometria do material, com o intuito de concentrar um minério itabirítico da região do Quadrilátero Ferrífero (MG), e ainda se analisou o impacto destas variáveis sobre o teor de ferro no concentrado. Para a fração denominada média (-150 +37 μ m), o concentrado da etapa *rougher* atingiu 60% de ferro, rejeito com 30% de ferro, recuperação mássica e metalúrgica de 51% e 68%, respectivamente. O concentrado da fração fina (-37 μ m), obteve 61% de teor de ferro, recuperação mássica e metalúrgica de 45% e 63%, de modo respectivo.

PALAVRAS-CHAVE: Concentração magnética. Minério Itabirítico. Matriz de tela expandida. Massa de alimentação. Granulometria de alimentação.

ABSTRACT

The development of beneficiation operations in the mineral industry have been essential to recover iron ores of low grades. In this way, it is possible to reduce costs associated to the production route as well as increase the efficiency of the operations. Magnetic separation is an important mineral concentration operation that through pilot scale or bench tests can assess the project feasibility. With this purpose, this study, evaluated the parameters: type of expanded screen matrix, mass of solids in the feed and grain size of the material, aiming to concentrate an itabirite of the Quadrilátero Ferrífero (MG) region. In addition to this, the impact of the variables on the iron grade in the concentrate was analyzed. For the medium fraction (-150 +37 μ m), the concentrate of the rougher step reached a content of 60% of iron, tail with 30% of iron, mass and metalurgical recovery of 51% and 68%, respectively. The concentrate of the fine fraction (-37 μ m) reached 61% of iron content, mass and metalurgical recovery of 45% and 63%, respectively.

KEYWORDS: Magnetic concentration. Itabirite ore. Expanded screen matrix. Feed mass. Feed granulometry.

1. INTRODUÇÃO

O minério itabirítico tem sido o principal tipo de depósito para o fornecimento de minério de ferro no estado de Minas Gerais, dado a circunstância de que grande parte do minério hematítico já foi extraído. Este recurso mineral é constituído pela alternância entre camadas de óxidos de ferro e sílica, sendo seus principais minerais hematita, magnetita e quartzo (MAIA, 2011; CARVALHO *et al.*, 2014; NASCIMENTO, 2010).

O Brasil tem beneficiado itabiritos por diferentes rotas e operações de concentração que envolvem flotação, concentração gravítica e magnética, de acordo com os aspectos físicos, químicos e mineralógicos de cada minério (FERREIRA, 2011; NASCIMENTO, 2010). De acordo com Sampaio e Luz (2004), a concentração magnética, que foi utilizada neste estudo, tem se consagrado no beneficiamento de minérios devido aos avanços tecnológicos dos equipamentos e conhecimentos das ocorrências magnéticas. Esse tipo de método de concentração se baseia na diferença da característica de susceptibilidade magnética natural dos minerais quando expostos ao campo magnético induzido.

Silva e Luz (2013), estudando parâmetros para a concentração magnética de hematita em lamas com valores de porcentagem de sólidos na polpa entre 25 e 45%, obtiveram o concentrado com mais 59% de Fe e 62% de recuperação metalúrgica. Bontempo (2017), trabalhando com uma polpa de 20% de sólidos de rejeito de minério de ferro, no separador magnético a úmido e de alta intensidade da INBRAS, atingiu um concentrado com 68,8% de ferro. Reis *et al.* (2015) alcançaram resultados expressivos de separação magnética de minério de ferro goethítico, trabalhando com partículas de granulometria de 53µm a 147 µm, atingindo cerca de 68% de recuperação mássica e aproximadamente 80% de recuperação metalúrgica. Seifelnassr *et al.* (2013) afirma que para granulometrias abaixo de 150µm a liberação de minérios de ferro é aquém a 90%.

Estudos realizados por Sampaio *et al.* (2007) mostraram que a faixa de campo magnético de 500 a 5000 Gauss (G) é empregada a minerais ferromagnéticos. Já a faixa de campo entre 10.000 a 18.000 G é utilizada para minerais paramagnéticos. Bontempo (2017) obteve efetividade em concentrar minério de ferro via concentração magnética utilizando o campo magnético de 10.430G. Segundo Sampaio *et al.* (2007), a massa alimentada nos separadores magnéticos de bancada de alta intensidade a úmido não deve ultrapassar 200 gramas.

O presente trabalho tem o objetivo de avaliar a viabilidade da concentração do minério de ferro itabirítico de uma mina do Quadrilátero Ferrífero no separador magnético de escala laboratorial analisando a influência das variáveis: granulometria do minério, tipo de matriz, quantidade de massa alimentada através de análise fatorial do teor de ferro do concentrado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A amostra mineral era proveniente de uma mina do Quadrilátero Ferrífero localizada no município de Caeté-MG. Para os ensaios de concentração magnética da fração média (-150 +37µm) e da fração fina (-37µm), a amostra mineral foi preparada e caracterizada como representado no fluxograma da Figura 1. Durante a caracterização foram realizados ensaios de picnometria de ambas as frações para a determinação da massa específica das

amostras e posterior cálculo dos teores de ferro, e análise mineralógica através da técnica de difratometria de raios X (DRX). A retirada de magnetita presente na amostra foi feita no separador magnético de escala laboratorial, modelo L-4 do fabricante INBRAS, em um campo magnético de 1000G.

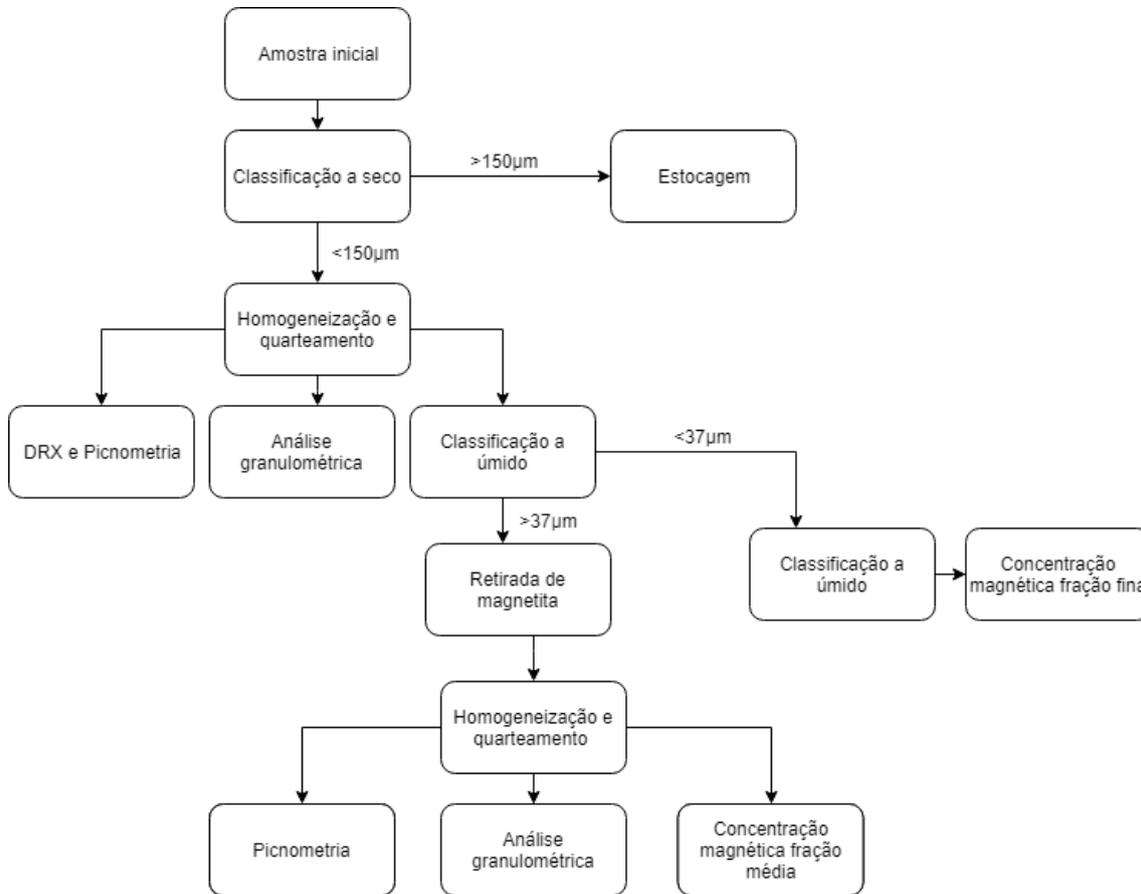


Figura 1: Preparação e caracterização das amostras

Os testes em escala piloto foram realizados em duplicata de forma aleatória, no separador magnético INBRAS modelo L-4 do Laboratório de Tratamento de Minérios, do CEFET-MG unidade Araxá. Os parâmetros avaliados durante os ensaios foram: massa da alimentação variando em 100 e 200g, tipo de matriz de tela expandida (5B fina indicada para granulometrias abaixo de 150 µm, EXP 6 indicada para granulometria abaixo de 150µm e 14 mesh para granulometria abaixo de 105µm), e granulometria da alimentação, que foi denominada de fração média (- 150µm +37µm) e fração fina (-37µm). A polpa foi preparada com 20% de sólidos, o campo magnético do separador foi fixo em 10.430G e volume de água de lavagem foi igual a 2L. A melhor condição de massa de sólidos na alimentação, revelada nos resultados para a fração média foi utilizada para os testes com a fração fina.

Os teores de ferro nas amostras da alimentação e dos produtos foram estipulados pela Equação 1, considerando que as amostras eram constituídas apenas de hematita e quartzo.

$$\%H = \frac{dH.(dM-dQ)}{dM.(dH-dQ)} \quad (1)$$

Fonte: Bontempo (2017)

Em que:

%H: porcentagem de hematita;

dH: densidade da hematita de 5,30 g/cm³;

dM: densidade do minério, obtida por picnômetro;

dQ: densidade do quartzo de 2,65 g/cm³.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização das amostras e os resultados obtidos nos testes de concentração magnética são apresentados nesse tópico.

3.1 Caracterização da amostra

Através da análise do DRX da amostra de minério de ferro, após a retirada da magnetita em baixo campo, identificou-se picos característicos de quartzo, hematita, magnetita e minerais filossilicatos, como mostra a Figura 2.

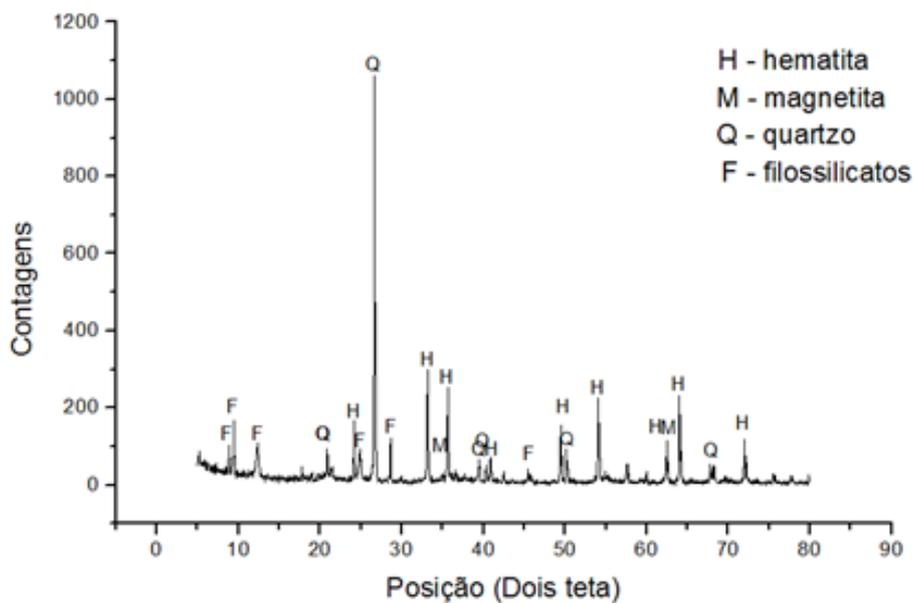


Figura 2: Caracterização de DRX

A densidade da fração média foi igual a 3,91 g/cm³ e da fração fina correspondeu a 3,86g/cm³. Utilizando a equação 1, nota-se que o teor médio de ferro da fração média foi de 45,36% e da fração fina de 43,89%.

3.2 Resultados da fração média (-150 +37µm)

A Tabela 2 traz os resultados de teores de ferro, recuperações mássica e metalúrgica obtidos para a fração granulométrica média.

Tabela 2. Resultados médios para a fração média

Ensaio	Alimentação (g)	Matriz	Teor Fe concentrado (%)	Teor Fe rejeito (%)	Recuperação mássica (%)	Recuperação metalúrgica (%)
1		5B	63,24	37,77	28,85	40,43
2	100	EXP 6	61,37	38,29	29,56	40,21
3		14 mesh	59,86	29,68	51,15	67,86
4		5B	63,19	37,51	29,63	41,50
5	200	EXP 6	63,13	38,72	26,20	36,67
6		14 mesh	56,53	33,69	50,02	62,68

A partir do tratamento estatístico dos dados, através do programa Minitab®, foi possível avaliar a influência das variáveis na separação magnética. Em relação a variável massa de alimentação, na Figura 3, observa-se uma redução do teor de ferro no concentrado ao passar de 100g para 200g, sendo esta variável a que teve menor significância no teor de ferro do concentrado, como pode ser observado pela pequena variação deste. Este resultado corrobora com o manual do fabricante do equipamento utilizado, a INBRAS (2013), em que o aumento da massa de sólidos alimentada afeta a capacidade do separador, diminuindo a precisão da separação magnética, e conseqüentemente reduzindo o teor de ferro no concentrado.

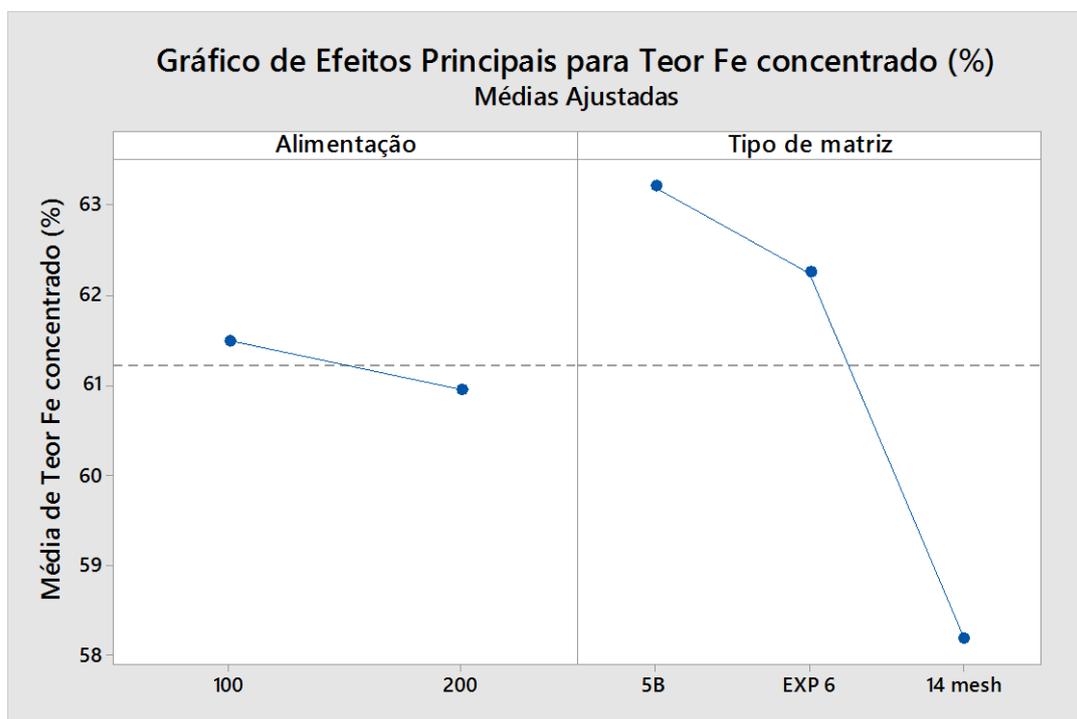


Figura 3. Gráfico de efeitos principais para teor de ferro no concentrado

A variável tipo de matriz, também mostrada na Figura 3, apresenta um efeito significativo sobre o teor de ferro no concentrado. O teor de ferro diminui ao passar da matriz 5B para a matriz EXP 6, de forma que a matriz 14 mesh de menor abertura apresentou menor média do teor de ferro no concentrado.

Este resultado corresponde aos estudos de Silva (2014), que propôs que quanto maior a abertura da tela da matriz maior o teor de ferro no concentrado para um mesmo campo magnético aplicado. Matrizes de menores aberturas causam o aprisionamento de partículas não magnéticas, desfavorecendo o concentrado.

A Figura 4 apresenta a análise dos parâmetros estudados para a recuperação mássica. O parâmetro massa de sólidos da alimentação corresponde a variável de menor relevância, revelando um pequeno decréscimo ao passar de 100g para 200g. De acordo com Borges (2015), este resultado era provável, uma vez que a maior quantidade de sólidos na polpa alimentada provoca o arraste de partículas para o rejeito, diminuindo a recuperação de massa.

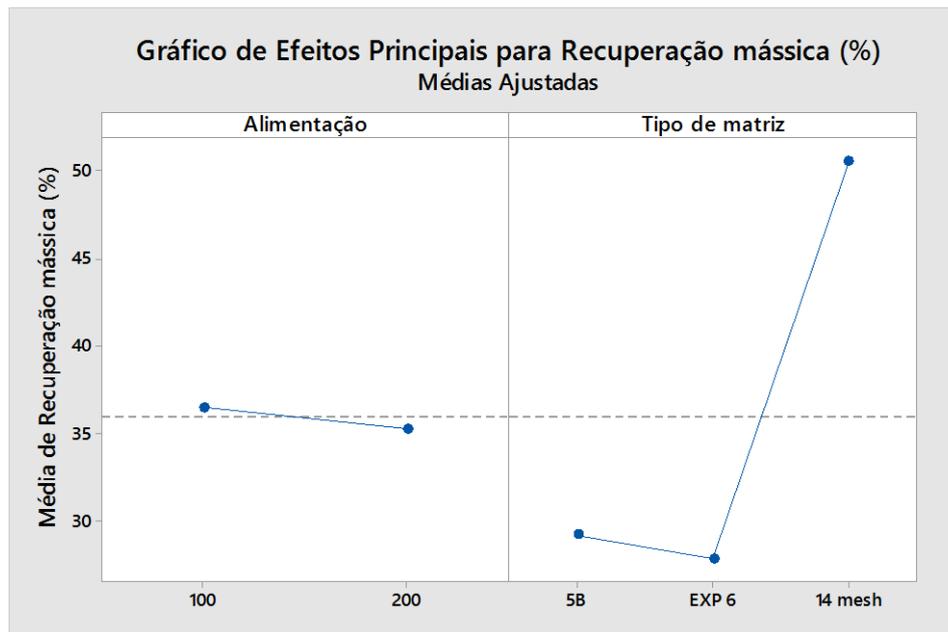


Figura 4. Gráfico de efeitos principais para a recuperação mássica

No entanto, o parâmetro tipo de matriz teve importante relevância na recuperação de massa, como demonstra a Figura 4, aumentando consideravelmente das matrizes 5B e EXP 6 (mais abertas) em relação a matriz 14 mesh (mais fechada). Quanto maior a abertura das telas das matrizes menor a recuperação mássica, devido ao arraste de partículas que vão constituir a fração não magnética, como propôs Silva (2014).

Segundo o índice Platts (2018), o minério de ferro para ser comercializado deve seguir as especificações de teor que se seguem: 66% de Fe, 5% de SiO₂, 0,75% de Al₂O₃, menos de 0,03% de P e menos de 0,05% de S. De acordo com o índice e a Tabela 2, nota-se que nenhum ensaio atingiu a exigência no que tange ao teor de ferro do concentrado, porém estão pouco abaixo (6,9% em média) do valor especificado pelo mercado. Dessa forma, algumas alterações como uma etapa *cleaner* ou uma modificação nos parâmetros avaliados, são sugeridos.

3.2 Resultados da fração fina (-37 μ m)

A Tabela 3 apresenta os resultados de recuperação mássica e metalúrgica dos ensaios de separação magnética para a fração fina, cujo teor de ferro na alimentação correspondia a

43,89%. Os ensaios desta fração foram realizados com a massa de sólidos da alimentação correspondente a 100g, pois foi o melhor resultado encontrado para a fração média.

Tabela 3. Resultados para a fração fina

Ensaio	Matriz	Teor ferro concentrado (%)	Recuperação mássica (%)	Recuperação metalúrgica (%)
1	5B	62,66	16,17	23,05
2	EXP 6	60,55	13,83	19,17
3	14 mesh	61,15	44,92	62,60

De acordo com os resultados, a matriz 5B constitui o teste com maior média de teor de ferro no concentrado, apesar de não ser a mais apropriada segundo a INBRAS, seguida pela matriz 14 mesh e EXP 6, diferindo do que propôs Silva (2014). A diferença entre teor do concentrado entre as matrizes 5B e EXP 6, de mesma abertura, apesar de pequena é existente e pode ser explicada pela desigualdade dos rearranjos internos entre elas como explicado por Silva (2014). Esta diferença reforça ainda mais o quanto as matrizes tem influência na separação magnética e devem ser estudadas. Para a recuperação mássica, a matriz 14 mesh obteve melhores resultados, comprovando que quanto menor a abertura da matriz maior a facilidade de partículas não magnéticas ficarem presas a parte interna da mesma, indo compor assim, o concentrado.

Ainda de acordo com Platts (2018), a especificação de mercado para o minério de ferro, deve possuir teor de ferro igual a 66%. Analisando a Tabela 3, as condições testadas não permitem que o teor de Fe do concentrado atinja tal exigência, apesar de estar em média 4,54% abaixo da referência. Assim sendo, algumas modificações podem ser feitas como uma etapa *cleaner* ou mudança de parâmetros estudados.

Ao comparar os teores de ferro do concentrado observa-se que a matriz 5B gerou um concentrado com cerca de 63% de teor de ferro para ambas as frações. A matriz EXP 6 possibilitou obter um concentrado com teor de ferro 61,3% para a fração média e 60,5% para a fração fina. No caso da matriz 14 mesh, o concentrado da fração média atingiu um teor de ferro de aproximadamente 60%, enquanto o teor de ferro para a fração fina foi de 61%. Dessa forma, a matriz 5B é a mais indicada para minérios com granulometrias média e fina, atingindo melhores resultados de teor de ferro no concentrado.

Os resultados obtidos para a recuperação mássica mostraram que a fração média apresentou no geral melhores resultados independente do tipo de matriz estudado, comparando-se com a fração fina. Este resultado, justifica a dificuldade da separação magnética aplicada a partículas de granulometria fina ($-37\mu\text{m}$), que também foi notado por Silva (2014), isto é, quanto menor o tamanho das partículas, menor é a recuperação da fração magnética.

4. CONCLUSÕES

Após a avaliação dos resultados obtidos e dentro dos parâmetros testados, a concentração magnética em escala de bancada é aplicável a esse minério de ferro itabirítico. Os melhores resultados para teor de ferro no concentrado foram utilizando a matriz 5B para

ambas as granulometrias e massas avaliadas. Já resultados mais promissores de recuperação mássica foram obtidos para a fração média.

Para a massa ensaiada de 100g a recuperação metalúrgica média foi de 45,5% para a fração média (-150 +37 μm) e de 45,5 % para a fração fina (-37 μm), indicando a dificuldade de se concentrar materiais com granulometrias abaixo de 37 μm .

6. REFERÊNCIAS

- Bontempo LFM, Magalhaes DG, Santos, LH, Oliveira MS. Recuperação de rejeito de minério de ferro através de concentração magnética visando obtenção de pellet feed. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais; 2017.
- Borges CB. Concentração de minério de ferro proveniente do depósito Jambreiro da região de Guanhães-mg via métodos gravíticos e magnéticos. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais; 2015.
- Carvalho PSL., Silva MM, Rocio MAR, Moszkowicz J. Minério de Ferro. 2014. BNDES Setorial, 39, 197-234.
- Correa, AS. Estudo dos parâmetros para concentração magnética do minério de ferro proveniente da mina de Posse-MG. [Trabalho de conclusão de curso]. Engenharia de Minas, CEFET-MG, 2018. 64p.
- Ferreira, DHO. Principais Etapas do Tratamento de Minérios Itabiríticos do Quadrilátero Ferrífero. [Monografia de Pós-Graduação]. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Minerais, Belo Horizonte; 2011.
- INBRAS. Separador Eletromagnético modelo L-4: Manual de Instrução, Operação e Manutenção. Diadema, São Paulo. 2013.
- Maia ES. Pelotização e Redução de Concentrado Magnetítico. [Dissertação de Mestrado]. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos da PUC-Rio, Rio de Janeiro; 2011.
- Nascimento DR. Flotação Aniônica de Minério de Ferro. [Dissertação de Mestrado]. Escola de Minas de Ouro Preto. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto; 2010.
- Platts. Methodology and specifications guide: iron ore. [homepage on the internet]. 2018 [cited 2019 May 8]. Available from: <https://www.spglobal.com/platts/en>.
- Reis JLM, Rafael GS, Dias AC, Pereira CA. Concentração magnética de materiais goethíticos do Quadrilátero Ferrífero. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 2015.
- Sampaio JA, Luz AB. Separação magnética e eletrostática. In: Luz AB, Sampaio JA, Almeida SLM. Tratamento de Minérios. 4a ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004, p. 303-335.
- Sampaio JA, França SCA, Luz AB. Ensaios de separação magnética e eletrostática. In: Sampaio JA, França SCA, Braga PFA. Tratamento de minérios: práticas laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. Cap. 18, p. 319-348.
- Seifelnassr AAS, Moslim EM, Abouzeid, AM. Concentration of a Sudanese lowgrade iron ore. International Journal of Mineral Processing. 2013.
- Silva JPM. Aplicação de separação magnética de alta intensidade (WHIMS) no beneficiamento de itabirites pobres. [Dissertação de Mestrado]. Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 2014.
- Silva MB, Luz JAM. Magnetic scavenging of ultrafine hematite from itabirites. Escola de Minas; Ouro Preto 2013; 66(4); 499-505.