

# **Influência da porcentagem de sólidos na concentração por flotação de lamas de minério de ferro**

## **Influence of the percentage of solids on the flotation concentration of iron ore sludge**

**Thalia Lopes de Sousa**  
Bolsista PCI, Eng. De Minas

**Elves Matiolo**  
Supervisor, Engenheiro de Minas, D. Sc.

### **Resumo**

A presença de partículas minerais finas no processo de flotação de minério é um desafio recorrente na indústria mineral. Essas partículas finas podem prejudicar a eficiência da flotação, impactando a recuperação de minerais de interesse. Para mitigar esse problema, a etapa de deslamagem é frequentemente empregada anterior a etapa de flotação para remoção desta fração. Esta pesquisa se concentra na influência da porcentagem de sólidos no condicionamento e na flotação de lamas de minério de ferro, a partir de uma amostra com teor de Fe em torno de 45,8%, 17% de SiO<sub>2</sub> e 6,5% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Foram testadas as porcentagens de sólidos de 5, 7, 10, 20 e 29%. Os melhores resultados foram observados com 10% de sólidos, atingindo um teor de ferro de 54,1% e uma recuperação metalúrgica de Fe de 67,2%, teor de SiO<sub>2</sub> de 7,5% e teor de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 5,3%.

**Palavras-chave:** flotação; lamas de ferro; porcentagem de sólidos; deslamagem; minério de ferro.

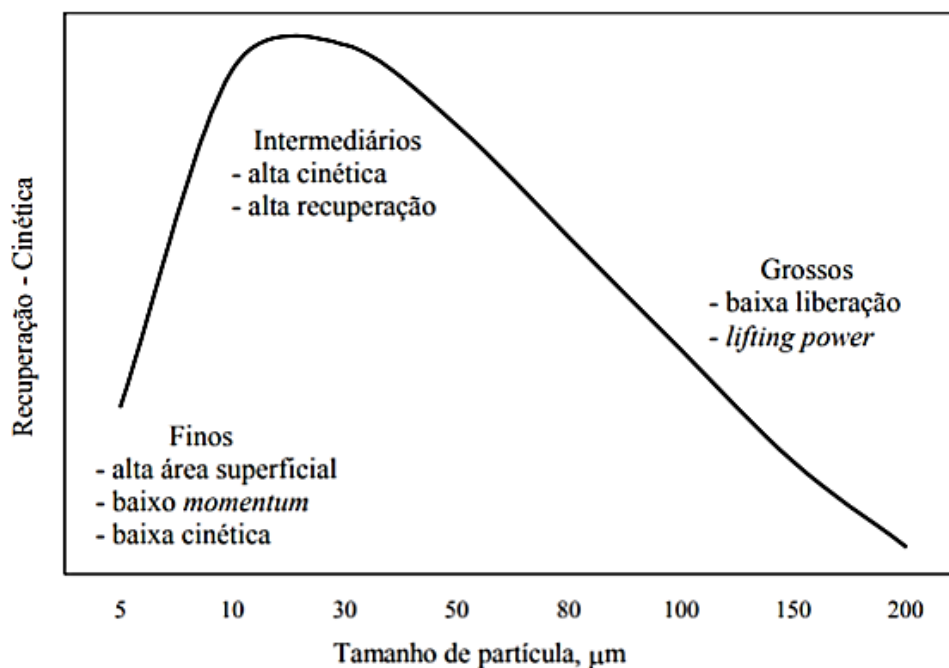
### **Abstract**

The presence of fine mineral particles in the ore flotation process is a recurring challenge in the mineral industry. These fine particles can impair flotation efficiency, impacting the recovery of minerals of interest. To mitigate this problem, the desliming step is often used prior to the flotation step to remove this fraction. This research focuses on the influence of the percentage of solids on the conditioning and concentration by flotation of iron ore sludge with Fe content around 45.8%, 17% SiO<sub>2</sub> and 6.5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Solids percentages of 5, 7, 10, 20 and 29% were tested. The most promising results were observed at 10% solids, reaching an iron content of 54.1% and a metallurgical Fe recovery of 67.2%, SiO<sub>2</sub> content of 7.5% and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content of 5.3 %.

**Keywords:** flotation; iron ore slurry; solids percentage; desliming; iron ore.

## 1. Introdução

A presença de finos (partículas com granulometria menor que 38  $\mu\text{m}$ ) no processo de flotação é um desafio comum na indústria mineral (AI et al., 2017; WANG & TAO, 2017; ZHANG et al., 2017). Essas partículas finas podem prejudicar a eficiência do processo de flotação, afetando a recuperação de minerais de interesse (XING et al., 2017). Matiolo (2008) apresentou uma relação entre recuperação/cinética em função do tamanho de partícula (Figura 1). Partículas de tamanho intermediário exibem alta cinética e recuperação, enquanto partículas finas e grossas têm baixo desempenho cinético e de recuperação. Isso ocorre devido a fatores como a área superficial elevada e baixo *momentum* para partículas finas, e baixa liberação e capacidade de flutuação (*lifting power*) para partículas grossas.



Fonte: Matiolo, 2008.

Figura 1. Efeito do diâmetro da partícula na recuperação ou cinética de flotação.

Entretanto, de acordo com Song et al. (2001), a faixa de tamanho de partícula ideal varia dependendo da espécie mineral, escala de operação e concentração de reagentes.

Nesse contexto, a etapa de deslamagem tem sido amplamente empregada como uma solução para remover esses finos da polpa, melhorando a eficiência do processo de flotação (FORSSBERG, 1988). Entretanto, estas lamas ainda possuem teores significativos de ferro (Fe), passíveis de serem reaproveitados.

Em regiões de produção de minério de ferro, como o Brasil, as operações de beneficiamento frequentemente resultam em perdas substanciais de minerais ricos em ferro na fração de lama. Essas perdas representam uma parcela significativa, variando de 10% a 25% do minério total alimentado nas instalações de processamento (THELLA et al., 2012; FILIPPOV et al., 2014). A flotação reversa de lamas de minério de ferro tem se tornado

cada vez mais relevante devido à necessidade das indústrias de mineração de reduzir a produção de resíduos. Atualmente, existe uma infraestrutura de inovação dedicada aos estudos tecnológicos e científicos voltados para a indústria de mineração, e nos últimos dez anos, diversas abordagens têm sido exploradas para a utilização dos rejeitos resultantes do processamento do minério de ferro (CARVALHO, 2010; SANTOS E DINIZ, 2013). No entanto, a flotação de partículas finas e ultrafinas ainda representa um desafio devido à eficiência limitada nas interações entre partículas e bolhas de ar (TRAHAR, 1981).

Uma variável observada em estudos de flotação de lamas de ferro é a porcentagem de sólidos. Estudos realizados em colunas de flotação mostraram que, para lamas com granulometrias nas faixas de 7 a 15  $\mu\text{m}$ , e porcentagem de sólidos entre 20 até 40%, foi possível obter concentrados com teor de Fe entre 60 e 67%, com recuperações metalúrgicas acima de 80% (ROCHA, 2008; PRAES, 2013; MATIOLO, 2019).

## 2. Objetivos

O objetivo principal deste estudo foi avaliar a concentração de lamas de minério de ferro proveniente do fluxo do *overflow* da deslamagem, que apresenta teor de Fe aproximadamente de 45,8%, para obtenção de um concentrado que atenda as especificações para a produção de *pellet feed*: teor de Fe acima de 62%, teores de  $\text{SiO}_2$  menor que 1%, e recuperação metalúrgica de Fe acima de 65%. O objetivo específico foi avaliar a influência da porcentagem de sólidos no condicionamento e na etapa de flotação, variando nos valores de 5%, 7%, 10%, 20% e 29%.

## 3. Materiais e Métodos

Neste estudo foram utilizadas amostras de minérios de lamas de ferro coletada na planta de concentração mineral do quadrilátero ferrífero. Após o recebimento da amostra, as bombonas com a polpa de minério com aproximadamente 29% de sólidos alimentaram um tanque com agitação mecânica, com capacidade para 1600 L acoplado a uma bomba de polpa vertical, com objetivo de homogeneizar e retirar amostras representativas para a caracterização e também para a etapa de flotação.

A amostra foi caracterizada com base em sua granulometria, realizada com a técnica de difração a laser, conhecida por espalhamento de luz, para analisar a distribuição de tamanho de partículas. O equipamento utilizado foi o da marca *Malvern*, modelo *MasterSizer 2000 SM*. A densidade da amostra foi determinada por picnometria de hélio (Picnômetro marca *Micromeritics*, modelo *AccuPyc II 1340*).

As análises químicas das amostras da alimentação e dos produtos gerados na etapa de flotação foram realizadas através da técnica de Fluorescência de Raios-X.

Os estudos de flotação de lamas de ferro foram realizados em célula mecânica convencional da marca DENVER, modelo D12, equipada com inversor de frequência, em escala de bancada. Os minerais de interesse foram coletados no afundado (concentrado) e as principais gangas foram obtidas na fração de espuma (rejeito).

#### 4. Resultados e Discussão

A amostra apresentou densidade de 3,7 g/cm<sup>3</sup>, e a distribuição granulométrica mostrou que 80% da amostra é passante 32,8 µm e 20% do material é menor que 4,7 µm (figura 2). A amostra analisou 46,1% de teor de Fe, 17% de SiO<sub>2</sub> e 6,5% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

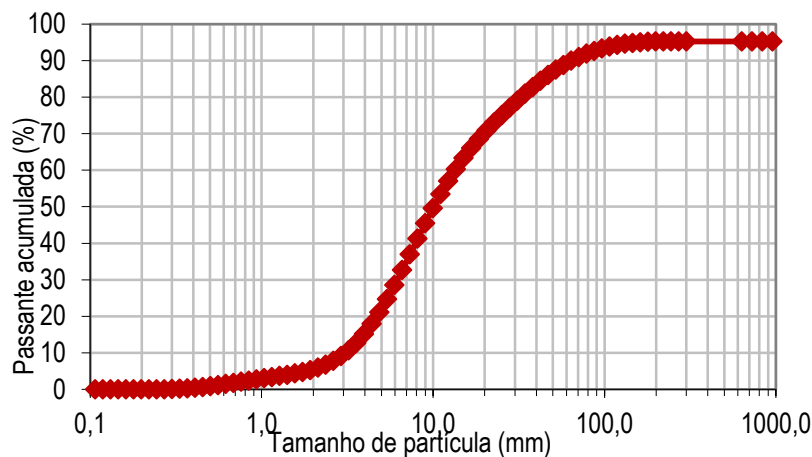


Figura 2. Curva de distribuição granulométrica da amostra cabeça.

Para esta amostra foram testadas diferentes porcentagens de sólidos, incluindo a de 29%, que é a porcentagem que a lama foi recebida. A fim de avaliar apenas a influencia da porcentagem de sólidos na flotação, os demais parâmetros da flotação foram mantidos, sendo eles: Rotação na flotação de 1500 RPM, pH de 10,5, dosagem de 300 g/t do coletor Flotador 16939, velocidade superficial do ar (Jg) de 0,7 cm/s e tempo de flotação de 5 minutos.

Foram realizados ensaios de flotação com as porcentagens de sólidos de 5%, 7%, 10%, 20% e 29%. A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de flotação de lamas de minério de ferro. Observa-se que, de acordo com o aumento da porcentagem de sólidos, de 5 a 29%, ocorre uma diminuição da recuperação mássica de 72 a 25%. Os teores no concentrado variaram entre 46,9 a 54,1% de Fe, 7,5 a 16,6% de SiO<sub>2</sub>, 0,1 a 0,3 de P e 4,4 a 6,0% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Já as recuperações metalúrgicas foram da ordem de 28 a 76,3% de Fe e 16,3 a 57,1% de SiO<sub>2</sub>. O teor de Fe no rejeito variou entre 36,2 a 45,7%.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de flotação.

% sólidos	Rec. Mas. (%)	Concentrado				Rejeito		
		Teor (%)				Rec. Met. (%)		Teor (%)
		Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	SiO <sub>2</sub>	Fe
5	71,8	49,5	14,5	0,1	4,9	76,3	57,1	39,1
7	55,2	50,8	13,0	0,1	4,7	59,8	39,4	42,0
10	57,7	54,1	7,5	0,2	5,3	67,2	23,3	36,2
20	35,8	46,9	16,6	0,3	6,0	36,4	35,8	45,7
29	25,2	52,1	11,6	0,1	4,4	28,0	16,3	45,1

A Figura 3 apresenta a curva de teor versus recuperação de Fe de acordo com a porcentagem de sólidos no concentrado *rougher*. O maior teor de Fe analisado, de 54,1%, foi alcançado com a polpa contendo 10% de sólidos. Este ensaio também apresentou uma das melhores recuperações metalúrgicas de Fe, de 67,2%. Os ensaios com 5 e 7% de sólidos apresentaram recuperações metalúrgicas altas, entre 60 e 76%, porém analisaram baixos teores de Fe, em torno de 50%. O ensaio com 20% de sólidos não mostrou eficiência em termos de teor e recuperação de Fe.

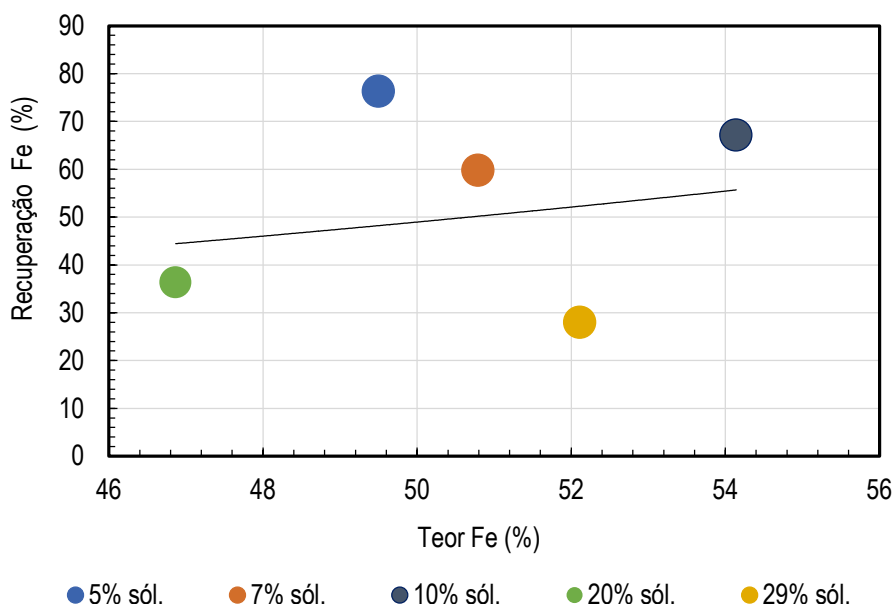


Figura 3. Curva de teor de Fe *versus* recuperação de Fe no concentrado *rougher* pela porcentagem de sólidos.

## 5. Conclusão

Os resultados indicaram que, apesar de a literatura técnica fazer menção a concentrações de sólidos acima de 20% na flotação de lamas, o desempenho ótimo foi alcançado com uma concentração de sólidos de 10%. Nesse cenário o teor e recuperação metalúrgica de Fe foram de 54,1% e 67,2%. Este ensaio também registrou o menor teor de SiO<sub>2</sub>, 7,5%. Portanto para os próximos ensaios de flotação serão utilizados a porcentagem de sólidos de 10%, tanto no condicionamento quanto na etapa de flotação, e serão avaliados outros parâmetros de processo, como o tipo do coletor, dosagem e velocidade superficial do ar (Jg) e o tipo de reator de flotação (coluna), com o objetivo de obter um concentrado que atenda as especificações para a produção de *pellet feed*.

## 6. Agradecimentos

A autora agradece ao orientador pela oportunidade e conhecimentos repassados, à equipe envolvida na realização deste projeto, ao CETEM/MCTI pelo suporte para execução deste estudo, e ao CNPq pela bolsa concedida.

## 7. Referências Bibliográficas

Ai G, Yang X, Li X. **Flotation characteristics and flotation kinetics of fine wolframite**. Powder Technology 305: 377–381, 2017.

CARVALHO, J. M. – **A Escola de Minas de Ouro Preto: o peso da glória**. Centro Edstein de Pesquisas Sociais, Rio de Janeiro, 2010.

Filippov, L.O., Severov, V.V., Filippova, I.V. **An overview of beneficiation of iron ores via reverse cationic flotation**. International Journal of Mineral Processing. 127. pp 62-69. 2014.

Forsberg, K. S. E. **Principles of mineral processing**. Trans Tech Publications, 1988.

MATIOLO, Elves. **Avanços no desenvolvimento da coluna de três produtos - C3P Fundamentos e Aplicações**. 2008. - UFRGS, [s. l.], 2008.

SANTOS, U. P. e DINIZ, C. C. – **O sistema regional de inovação minero-metalúrgico de Minas Gerais e seus efeitos sobre a siderurgia local**. In: Seminário sobre a economia mineira, 14, Anais, CEDEPLAR-UFMG, Diamantina, 2013.

SONG, S et al. **Floc Flotation of Galena and Sphalerite Fines**. Minerals Engineering, [s. l.], 2001.

Thella, J.S., Mukherjee, A.K., Srikakulapu, N.G. **Processing of high alumina iron ore slimes using classification and flotation**. Powder Technology. 217. pp 418-426. 2012

Trahar, W.J., 1981. **A rational interpretation of role of particle size in flotation**. International Journal of Mineral Processing 2, 289–327.

Wang S, Tao X. **Effect of particle size on the hydrophobicity characterization of low-rank coal surfaces**. Energy Sources. Part A, Recovery, Utilization, and Environmental Effects 39(12): 1201–1209, 2017.

Xing Y, Xu X, Gui X, et al. **Effect of kaolinite and montmorillonite on fine coal flotation**. Fuel 195: 284–289, 2017.

Zhang N, Zhou C, Liu C, et al. **Effects of particle size on flotation parameters in the separation of diaspore and kaolinite**. Powder Technology 317: 253–263, 2017.