



## OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ESPESSAMENTO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO DE ITATIAIUÇU-MG.

LOPES, L.M.<sup>1</sup>, OLIVEIRA, M.S.<sup>1</sup>, PIRES, N.J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET), Departamento de Engenharia de Minas e Construção Civil

### RESUMO

O desaguamento é amplamente empregado na indústria mineral, dentre as operações mais utilizadas está o espessamento que envolve diversas variáveis, dentre elas: pH, reagentes e porcentagem de sólidos. Este trabalho teve como objetivo otimizar o processo de espessamento do rejeito de minério de ferro da empresa Minerita Ltda. Para tal foram realizados testes de sedimentação em proveta alterando os valores das variáveis operacionais. O pH foi controlado nos valores de 5 e 6.5, o floculante foi utilizado nas dosagens de 15 g/t e 30 g/t e a porcentagem de sólidos foi 25% e 40%. A partir dos resultados obtidos nos testes foi feita uma análise estatística no software Minitab 17 com o intuito de otimizar a operação como um todo. O resultado do espessamento ideal foi a dosagem no nível máximo (30 g/t), o pH (5,0) e a porcentagem de sólidos (25%) nos níveis mínimo. A réplica do teste 2 se adequou perfeitamente ao resultado ideal e gerou respostas de turbidez e velocidade de sedimentação de 61 FTU e 1,78 m/h, respectivamente. Considerando o espessador e os dados operacionais da empresa, a porcentagem de sólidos no underflow do espessado com as condições do teste 2 seria de 63,42%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sedimentação, Rejeito, Minério de ferro.

### ABSTRACT

The dewatering is widely used in the mineral industry, among the most used operations is the thickening that involves several variables, among them: pH, reagents and percentage of solids. The objective of this work was to optimize the thickening process of iron ore tailings from Minerita Ltda. For this purpose, sedimentation tests were carried out in a cylinder by changing the values of the operational variables. The pH was controlled in the values of 5 and 6.5, the flocculant was used in the dosages of 15 g / t and 30 g / t and the solids percentage was 25% and 40%. From the results obtained in the tests, a statistical analysis was done in Minitab 17 software in order to optimize the operation as a whole. The ideal thickening result was the dosage at the maximum level (30 g / t), the pH (5.0) and the solids percentage (25%) at the minimum levels. The replication of test 2 fitted the ideal result perfectly and generated turbidity and settling velocity responses of 61 FTU and 1.78 m / h, respectively. Considering the thickener and operational data of the company, the percentage of solids in the underflow of the thickened with the conditions of test 2 would be 63.42%.

**KEYWORDS:** Sedimentation, Talling, Iron ore.

## 1. INTRODUÇÃO

O ferro (do latim ferrum) é um elemento químico metálico, o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre (aproximadamente 5%) (DEVANEY, 1985 apud SOUZA, 2010, p. 1). É extraído da natureza na forma de minério de ferro e são encontradas em diferentes composições, que são economicamente viáveis, como: óxidos, sulfetos, silicatos e carbonatos.

O Brasil se destaca mundialmente no que diz respeito às reservas de minério de ferro. Em 2011 o país possuía cerca de 29 bilhões de toneladas de minério de ferro, aproximadamente 18% das reservas mundiais, sendo que Minas Gerais tem cerca de 67% dessas reservas de minério de ferro. Na região central do estado de Minas Gerais, está situado o Quadrilátero Ferrífero que destaca-se como uma região de grande concentração das reservas de minério de ferro, presente no Quadrilátero Ferrífero está a mina Lagoa das Flores, no município de Itatiaiuçu/MG, fica localizada em uma região denominada Complexo Serra Azul, sendo uma unidade fisiográfica-geológica de idade pré-cambriana (VASCONCELOS, 2011).

A separação sólido-líquido é uma fase importante e, algumas vezes crítica, nas usinas de beneficiamento mineral. Geralmente apresenta um alto consumo energético (OLIVEIRA; SOUZA, 2008), as principais técnicas empregadas na separação sólido-líquido são a secagem, a centrifugação, a filtração e a sedimentação por gravidade (OLIVEIRA; LUZ; LACERDA, 2004). O espessamento consiste numa operação de separação sólido-líquido baseada na velocidade de sedimentação, é empregada para recuperar água de polpas de rejeitos ou concentrados, elevar a concentração de sólidos nas polpas de rejeitos para posterior descarte, elevar a densidade de polpa buscando-se melhorar as operações seguintes como filtração e separar os constituintes dissolvidos de resíduos lixiviados em instalações hidrometalúrgicas (LARA, 2011), com intuito de facilitar a separação das partículas em meio líquido adiciona-se reagentes, como coagulantes ou polímeros floculantes, permitindo a adesão de uma partícula diretamente à outra (GADELHA; ANDRADE; FRANÇA, 2015).

As principais variáveis operacionais do espessamento são: porcentagem de sólidos da alimentação, pH da polpa e dosagem de reagentes. Tendo em vista otimizar a operação como um todo da empresa Minerita Ltda em Itatiaiuçu-MG, ou seja, minimizar a turbidez e maximizar a velocidade de sedimentação, além disso, obter um espessado com pelo menos 60% de sólidos, foram realizados testes de sedimentação em proveta e um estudo estatístico onde foi feito o planejamento fatorial com dois níveis (2k), que é o mais utilizado e mais simples para identificar as influências entre as variáveis de um experimento (NEVES; SCHVARTZMAN; JORDÃO, 2002).

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Preparação da amostra

A amostra de rejeito de minério de ferro que foi fornecida pela empresa Minerita Ltda estava em forma de polpa, assim, foi necessário a sua preparação, envolvendo operações de sinfonamento, secagem, desagregação, homogeneização e quarteamento. A Figura 1 representa um fluxograma com toda a preparação da amostra.

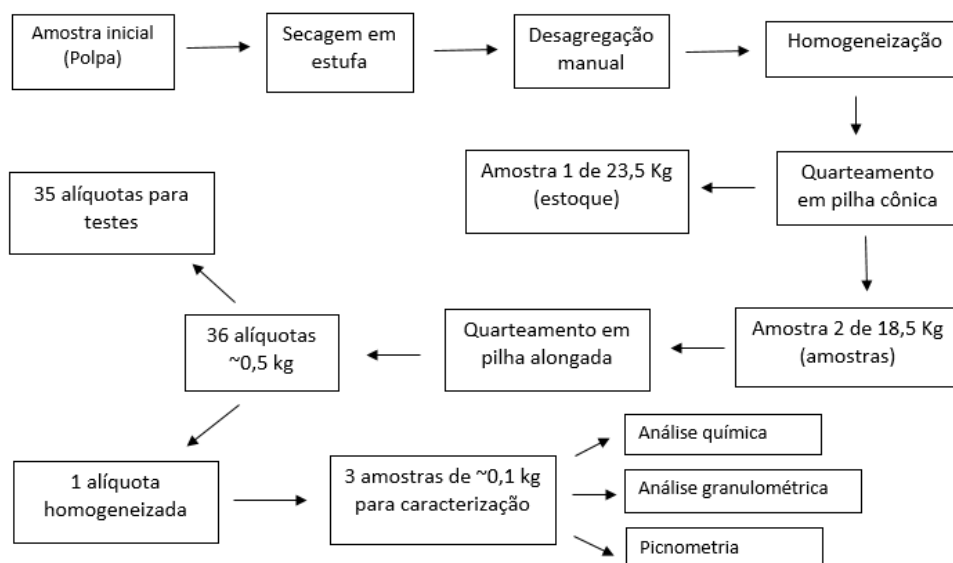


Figura 1. Fluxograma da preparação da amostra.

### 2.2 Testes preliminares

Após a preparação das amostras foram realizados 6 testes de sedimentação em proveta preliminares onde foi possível analisar as melhores condições para a realização dos testes oficiais e definir os níveis de mínimo e máximo das variáveis operacionais (dosagem do floculante, pH e porcentagem de sólidos) no planejamento fatorial. A tabela 1 expressa os valores dos testes preliminares.

Tabela 1. Dados dos testes preliminares.

Teste	Dosagem floculante (g/t)	pH	% Sólidos
P1	30	6,5	25
P2	35	6,5	25
P3	30	6,5	40
P4	30	5	25
P5	20	6,5	25
P6	30	9,0	25

Para a realização de cada teste, foi pesada a amostra de rejeito e a massa de água. O volume da solução de floculante, uma poliácridamida aniônica (SUPERFLOC 8566), calculado a partir da sua dosagem e a massa de sólido. Caso houvesse necessidade de manipular os

valores de pH para ácido ou básico, foram utilizadas soluções de ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH), respectivamente.

Após a inclusão de todos os materiais na proveta graduada de 1000 mL e a cuidadosa agitação o cronometro foi disparado, sendo registrada a altura da interface de clarificação da polpa em intervalos de tempo estabelecidos, o último ponto coletado foi após 60 minutos, decorridos do início do teste.

Ao final do tempo uma alíquota do líquido clarificado foi coletada e submetida a medição da turbidez, realizada em um Turbidímetro portátil da HANNA HI 93703 e comparada com os parâmetros de referência da CONAMA 357/2005, e a partir das notas tomadas em cada teste foi possível calcular suas respectivas velocidades de sedimentação.

### 2.3 Avaliação dos resultados

Assim foi definido a realização de mais 8 testes de sedimentação em proveta com o objetivo de analisar as variáveis estudadas, buscando condições ótimas de operação, com uma redução da turbidez e uma máxima velocidade de sedimentação ( $v_s$ ). O planejamento das condições experimentais deste estudo foi realizado através de técnicas do planejamento de experimentos fatoriais (DOE) em dois níveis, sendo realizado em duplicata.

Segundo o modelo de Mishler, o fluxo de sólidos é influenciado pela velocidade de sedimentação e pela concentração de sólidos na polpa. Assim o modelo pode ser explicado pela Equação 1 (VALADÃO & ARAUJO, 2012).

$$S = \frac{A \cdot (D_A - D_D)}{V_s \cdot \rho} \quad (1)$$

Onde:

S – Área do espessador;

A - Fluxo de massa de sólido da alimentação (massa de sólido/tempo);

D<sub>A</sub> - Diluição da alimentação (massa de líquido/massa de sólido);

D<sub>D</sub> - Diluição do underflow (massa de líquido/massa de sólido);

V<sub>s</sub> - Velocidade de sedimentação;

ρ - Densidade do fluido.

Considerando as informações de operação do espessador da empresa Minerita e a Eq. 1. é possível calcular a velocidade de sedimentação ótima, para obter uma polpa espessada com 60% de sólidos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização da amostra

A composição química da amostra de alimentação utilizada nos testes de proveta foi determinada por espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) e está representada pela Tabela 2. Observa-se que o rejeito é composto predominantemente por quartzo, 73%, e hematita, 18%.

Tabela 2. Composição química da amostra.

Espécie Química	Composição (%)
SiO <sub>2</sub>	72,977
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,941
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,996
MnO	0,484
K <sub>2</sub> O	0,180
SO <sub>3</sub>	0,161
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,147
Cs <sub>2</sub> O	0,113

Através da picnometria realizada em triplicata, onde se obteve uma densidade média do minério igual a 2,73 g/cm<sup>3</sup>.

E a partir da análise granulométrica foi possível observar que cerca de 50% das partículas estão com a granulometria abaixo de 400#, 0,037 mm, o que gera uma dificuldade técnica para os testes de sedimentação, já que partículas finas têm dificuldade de sedimentação, reduzindo a eficiência da operação. A partir dos dados obtidos pelo peneiramento, construiu-se a curva granulométrica, representada pela Figura 2.

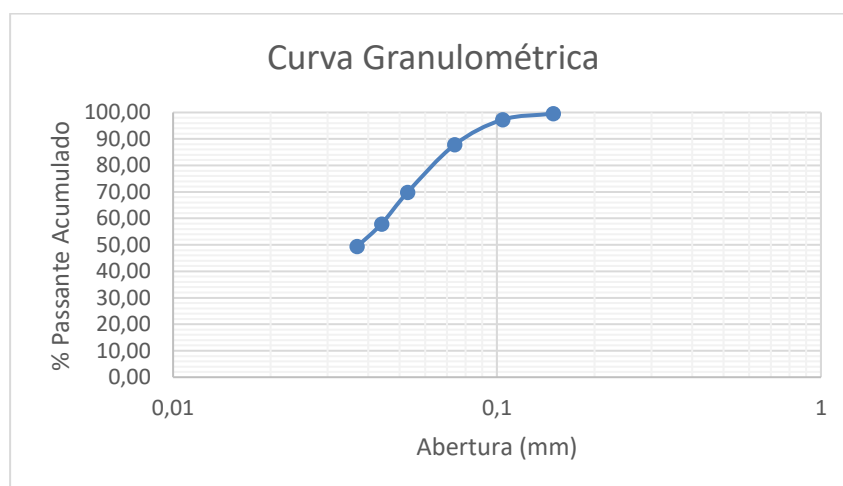


Figura 2. Curva granulométrica.

#### 3.2 Análise dos testes preliminares

A partir dos testes preliminares foi possível perceber uma possível super dosagem de floculante, já que o aumento da dosagem não promoveu um aumento significativo na velocidade de sedimentação, como era esperado.

Como também descartou-se a utilização de um pH básico, pois não foi possível, no teste preliminar 6, visualizar a altura de interface do clarificado nem tão pouco medir sua turbidez, já que seu valor excedeu o valor limítrofe do aparelho que é de 1000 FTU.

Um pH mais básico afeta as cargas superficiais das partículas, favorecendo a repulsão entre as mesmas e favorecendo também a ionização do polímero utilizado, o que gerou a reestabilização do sistema e assim a dispersão do mesmo predomina.

Considerando que, para o espessado atingir 60% de sólidos, sua velocidade de sedimentação, em uma escala laboratorial, deve ser de aproximadamente 1,69 m/h calculado a partir do modelo de Mishler, Eq.1.

### 3.3 Análise dos resultados

Após a análise dos testes preliminares foi definido as melhores condições para os testes oficiais. Assim os 8 testes foram realizados, sendo X e RX indicam testes com as mesmas condições operacionais. Os resultados dos mesmos se encontram na Tabela 3.

**Tabela 3 – Valores de níveis mais e menos, de velocidade de sedimentação e turbidez.**

TESTES	A - Dosagem (g/t)	B - pH	C - % Sólidos	Turbidez (FTU)	V <sub>s</sub> (m/h)
1	15	5,0	25	62,00	1,45
R1	15	5,0	25	64,00	1,52
2	30	5,0	25	117,00	1,67
R2	30	5,0	25	61,00	1,78
3	15	6,5	25	292,00	1,73
R3	15	6,5	25	231,00	1,64
4	30	6,5	25	613,00	1,77
R4	30	6,5	25	804,00	1,80
5	15	5,0	40	19,65	0,46
R5	15	5,0	40	18,20	0,46
6	30	5,0	40	17,36	0,55
R6	30	5,0	40	25,41	0,59
7	15	6,5	40	28,78	0,52
R7	15	6,5	40	39,98	0,51
8	30	6,5	40	80,00	0,59
R8	30	6,5	40	59,00	0,55

Segundo a resolução CONAMA 357/2005 apenas nos testes 5, 6 e 7 os valores de turbidez atendem os limites da especificação, abaixo de 40 FTU. Considerando que, para o espessado atingir 60% de sólidos, sua velocidade de sedimentação, em uma escala laboratorial, deve ser de aproximadamente 1,69 m/h. Na Tabela 3 é possível perceber que a velocidade de sedimentação nos testes 2, 3 e 4, foi maior que 1,69m/h.

Como o principal objetivo deste trabalho é otimizar o processo como um todo, o ideal é analisar as duas respostas simultaneamente, ou seja, minimizar a turbidez e

maximizar a velocidade de sedimentação ao mesmo tempo. A Figura 3, representa a otimização em conjunto feita pelo programa MiniTab 17.

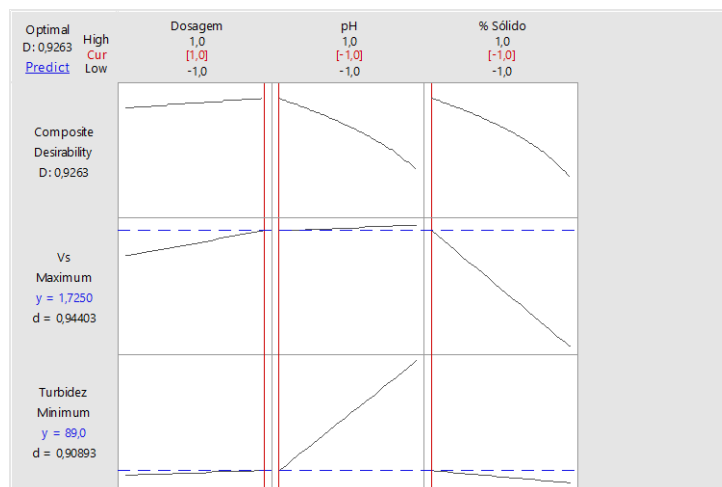


Figura 3. Gráfico de Otimização.

É possível analisar que o ideal é trabalhar com a: dosagem no nível máximo (30 g/t), pH no nível mínimo (pH 5) e a porcentagem de sólidos no nível mínimo (25% sólidos). Gerando valores ótimos de respostas: turbidez de 89 FTU e velocidade de sedimentação (Vs) de 1,725 m/h. A queda no valor de pH, provavelmente, está ligada a aproximação do ponto isoelétrico das espécies contidas no rejeito o que favorece a aglomeração das partículas.

O teste 2 e sua réplica (R2) se encaixam perfeitamente nos níveis ótimos para as variáveis dosagem, pH e porcentagem de sólidos. Há uma discrepância entre os valores de turbidez entre os testes, esse fato pode se dar por algum erro operacional na medição da turbidez do teste 2, já que o esperado, nas condições do mesmo, era um valor baixo para a turbidez.

Sendo assim, o que mais se assemelha quando levado em consideração as variáveis e as respostas ótimas obtidas é o teste réplica 2 (R2), já que o mesmo apresenta dosagem no nível máximo (30 g/t), pH no nível mínimo (pH 5) e a porcentagem de sólidos no nível mínimo (25% sólidos), gerando respostas de turbidez e velocidade de sedimentação de 61 FTU e 1,78 m/h, respectivamente. A Figura 4 apresenta a situação final do teste 2.

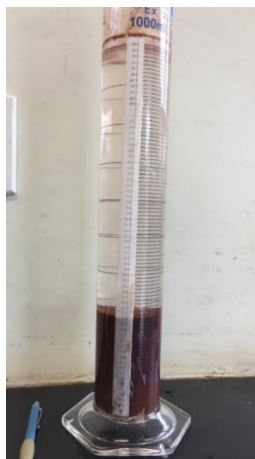


Figura 4: Representação do teste 2.

Considerando o modelo de Mishler, Eq. 1, com os dados operacionais da empresa (área do espessador, vazão da alimentação e porcentagem de sólidos) e os dados analisados durante o trabalho (velocidade de sedimentação e densidade) é possível calcular a porcentagem de sólidos do espessado do teste R2, 63,42%.

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados encontrados, para as variáveis operacionais, apresentam sucintas mudanças em relação à operação da empresa Minerita, já que a porcentagem de sólidos ideal é a mesma da utilizada na empresa e a dosagem utilizada é de 35 g/t sendo que o ideal seria de 30 g/t, a mudança mais brusca está relacionada a faixa de pH que é trabalhado na empresa com valor de aproximadamente 7 e, a partir da análise estatística, foi analisado como ideal pH 5.

A partir dos resultados do teste R2, que se adequa nos níveis ótimos para as variáveis e valores ótimos para as respostas, turbidez (61 FTU) e velocidade de sedimentação (1,78 m/h) e considerando o modelo de Mishler, a porcentagem de sólidos do espessado do teste R2 é de 63,42%.

Esse valor se adequa nas solicitações da empresa, já que o principal problema enfrentado pela empresa é atingir a porcentagem de sólidos de 60% no material espessado, apresentando como consequência uma alta perda de água de recirculação.

#### 6. REFERÊNCIAS

- DEVANEY, F.D., Introduction – SME Mineral Process Handbook, 1985. In SOUZA, N. A. F. de. Análise Crítica de Rotas de Processamento de Minérios de Ferro. 107 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- GADELHA, T. S.; ANDRADE, L. S.; FRANÇA, S. C. A. Desempenho de floculantes no desaguamento de polpas de minério de níquel. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 26, 2015, Poços de Caldas. Anais. Poços de Caldas: CETEM/MCT, 2015. p. 398-406.
- LARA, A. F. M. Espessamento e Transporte de Pasta Mineral. 2011. 66 p. (Monografia, Especialização, Engenharia de Recursos Minerais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- NEVES, C. F. C., SCHVARTZMAN, M. M. A. M.; JORDÃO, E. Variables search technique applied to gas separation. Química Nova. v.25, n 2, p.327-329, 2002.
- OLIVEIRA, M. L. M.; LUZ, J. A. M.; LACERDA, C. M. M. Espessamento e Filtragem. Ouro Preto: [s.n.], 2004. 122 p.
- OLIVEIRA, M. S.; SOUZA, M. D. de. Tratamento de Minérios. Araxá: [s.n.], 2008. 219 p.
- VALADÃO, G.E.S.; ARAUJO, A.C. de. Introdução ao Tratamento de Minérios. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2012. 234 p.
- VASCONCELOS, J. A. Rotas De Processo Para Concentração De Rochas Itabiríticas Da Mina Lagoa Das Flores, Itatiaiuçu, Mg. 2011. 204 p. Dissertação (Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.