



Unifesspa - 21 a 25 de Setembro de 2015

I Seminário de Projetos Integrados
I Jornada de Extensão
I Seminário de Iniciação Científica
I Encontro de Pós-Graduação

PROPOSTA DE UM MODELO MATEMÁTICO PARA TESTES DE SEDIMENTAÇÃO

Jailson da Silva Sousa¹ - Unifesspa
Cleber Brito da Silva² - Unifesspa
Carlos Alexandre Carvalho Freire³ - Unifesspa
Reginaldo Saboia de Paiva⁴ - Unifesspa

Agência Financiadora: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

Eixo Temático/Área de Conhecimento: Tratamento de Minério

1. INTRODUÇÃO

Os espessadores são equipamentos de importante função no processamento mineral de determinada usina. O mecanismo básico para o dimensionamento de um espessador é o teste de sedimentação em bancada. Esse experimento consiste na separação sólido-líquido, em uma proveta de 0,002 m³, pelo qual transporta as partículas sólidas através de um meio fluido, onde estão sujeitas às forças da gravidade, empuxo e resistência ao movimento (SAMPAIO; FRANÇA; BRAGA, 2007, p. 394). Esse tipo de procedimento fornece zonas no decorrer de sua execução denominadas de zona de clarificação, zona de sedimentação livre, zona de transição e zona de compactação. Uma interface determinante para o desenvolvimento do teste, é a situada entre a zona de clarificação e a zona de sedimentação livre. Com base nela, obtemos dados sobre o comportamento da polpa anotando seu posicionamento em intervalos de tempo de acordo com o comportamento do minério, para que se obtenha a curva de sedimentação e de concentração dos sólidos. No entanto, cada minério sedimenta de forma diferente obtendo comportamentos e curvas distintas, devido à particularidade de cada material. Dessa forma, vários estudos sugerem fatores como concentração de sólidos em suspensão (GUIMARÃES, 2010) e a natureza das partículas, como: distribuição de tamanhos, forma, densidade específica, propriedades químicas e mineralógicas, entre outros artifícios que interferem na sedimentação do minério. (FRANÇA; MASSARANI, 2004)

Com base nisso, foi desenvolvido um modelo capaz de prever o comportamento da polpa em um teste de sedimentação em bancada, sem que seja necessária a constante aferição da interface entre a zona de clarificação e de sedimentação livre na proveta, tornando o procedimento mais prático e lançando na comunidade científica uma equação capaz de prever a sedimentação de polpas minerais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para essa pesquisa foram executados vários testes. Neste trabalho são apresentadas 7 sedimentações em bancada de materiais diferentes: Areia da construção civil, cobre oxidado, rejeito de manganês, cobre sulfetado, rejeito de ouro, ferro sulfetado e ferro oxidado. Foram feitos uma série de peneiramentos para adequar a granulometria ao experimento em conformidade com as normas da ABNT

¹Graduando do curso de Engenharia de Minas e Meio Ambiente (FEMMA/IGE/Unifesspa). Bolsista do Projeto de pesquisa em Estudo de parâmetros e a otimização da lixiviação do minério oxidado de Canaã dos Carajás, ensaios em tanques agitados, colunas e em pilhas. E-mail: jailsonsousa00@gmail.com

²Graduando do Curso de Engenharia de Minas e Meio Ambiente (FEMMA/IGE/Unifesspa). Voluntário do Laboratório de Hidro e Eletrometalurgia. E-mail: cleber_facu@r7.com.

³Graduando do Curso de Engenharia de Minas e Meio Ambiente (FEMMA/IGE/Unifesspa). Voluntário do Laboratório de Hidro e Eletrometalurgia. E-mail: ale.engemin.10@gmail.com.

⁴Doutor em Engenharia Elétrica: Modelagem da secagem por Microondas e Solar pela UFPA. Professor Associado I da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (FEMMA/IGE/Unifesspa). Coordenador do Projeto de pesquisa em Estudo de parâmetros e a otimização da lixiviação do minério oxidado de Canaã dos Carajás, ensaios em tanques agitados, colunas e em pilhas. E-mail: regisabo@ufpa.br

Unifesspa - 21 a 25 de Setembro de 2015

I Seminário de Projetos Integrados
I Jornada de Extensão
I Seminário de Iniciação Científica
I Encontro de Pós-Graduação

NBR 7181 (1988). As malhas utilizadas foram: 48; 65; 100; 150; 200 e 325#, da série Tyler/Mesh. Após a preparação das amostras, verificaram-se suas densidades e massa, com o auxílio de um picnômetro e uma balança digital.

Cada amostra foi contida em uma proveta de 0,002 m³, onde se adicionou água até o volume restante. Dessa forma, foram determinadas as características iniciais da polpa como: densidade, percentual de sólidos inicial e peso da polpa. Definidas suas características, as amostras foram postas ao teste de sedimentação em bancada. Com a ajuda de um misturador a polpa foi totalmente homogeneizada e o teste iniciado. Os testes de sedimentação em bancada foram executados sem a presença de flocculante e sem deslamagem.

Atualmente o processo de sedimentação é regido pela lei de Stokes, a qual considera que a velocidade de sedimentação de uma partícula isolada (v_t) é função da sua densidade (ρ_s) e do seu diâmetro (D_p), ou seja:

$$v_{t\infty} = \frac{(\rho_s - \rho_f) g D_p^2}{18\mu} \quad (1)$$

Em que na equação ρ_f é a massa específica do fluido, ρ_s é a massa específica do sólido ou partícula e μ é a viscosidade do fluido (no caso do espessador é a água) (SAMPAIO; FRANÇA; BRAGA, 2007, p. 395).

No entanto, com base na observação dos testes, o fenômeno da sedimentação de sólidos pode ser apresentado pela seguinte equação diferencial:

$$-\frac{d\Delta h(t)}{dt} = (\Delta h(t) + h_0) k_1 \quad (2)$$

Onde na equação (2) $h(t)$, h_c e h_0 são a altura em um instante qualquer, altura de compactação e altura inicial da interface. E $\Delta h(t)$, $d\Delta h(t)/dt$ e K_1 são a variação da altura da interface ($h(t) - h_c$), velocidade de decaimento (altura dos sólidos em função do tempo) e o coeficiente de resistência, respectivamente. Trabalhando a equação 1 obtemos:

$$\Delta h(t) = -h_0 + C e^{-k_1 t} \quad (3)$$

Para a fase inicial tem-se:

$$\frac{d\Delta h(t)}{dt} = k_2 h \quad (4)$$

Onde k_2 é uma constante de ajuste. Resolvendo a equação (4) temos:

$$h_0 = \Delta h(t) e^{k_2 t} \quad (5)$$

Então, com $\Delta h(t) = h(t) - h_c$:

$$h(t) = \frac{C e^{-k_1 t}}{(1 + e^{k_2 t})} + h_c \quad (6)$$

Aplicando as condições de contorno $h(0) = h_0$, chega-se a:

$$C = 2 (h_0 - h_c) \quad (7)$$

Então:

$$h(t) = 2 (h_0 - h_c) \frac{e^{-k_1 t}}{(1 + e^{k_2 t})} + h_c \quad (8)$$

Deste modo, $d\Delta h(t)/dt$ é o coeficiente angular para uma reta tangente a curva $h(t)$ que pode ser estendida até o ponto t_c (tempo crítico) que cruza com a reta $h_c = t$, sendo assim possível montar um sistema de equações e encontrar o tempo crítico, a altura crítica e a razão de espessamento, sendo assim no método de Talmage & Fich, demonstrado em Chaves (2010).

Os coeficientes k_1 e k_2 podem ser calculados por análise de regressão não linear, mas nesta pesquisa sugerem-se seus cálculos em função das densidades e das porcentagens de sólidos iniciais e finais pelas seguintes equações:

$$k_1 = \frac{\phi_i}{(\rho_s - \rho_l)} \cdot (\rho_f) \quad (9)$$

$$k_2 = \frac{\phi_i \cdot h_c}{\phi_f \cdot h_0 \cdot (\rho_s - \rho_l)} \cdot (\rho_f)$$

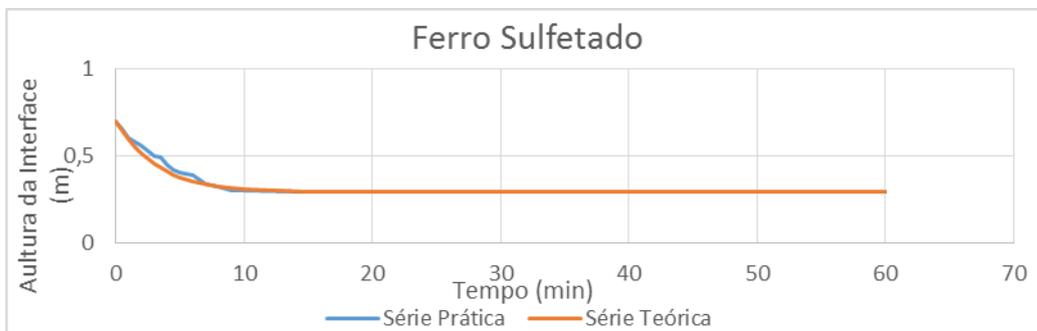
(10)

Em que, nas equações (9) e (10) ϕ_i e ϕ_f são as porcentagens inicial e final dos sólidos, ρ_s , ρ_l e ρ_f são respectivamente as densidades do sólido, do líquido e do flocculante, que no caso da experiência foi igual à da água.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

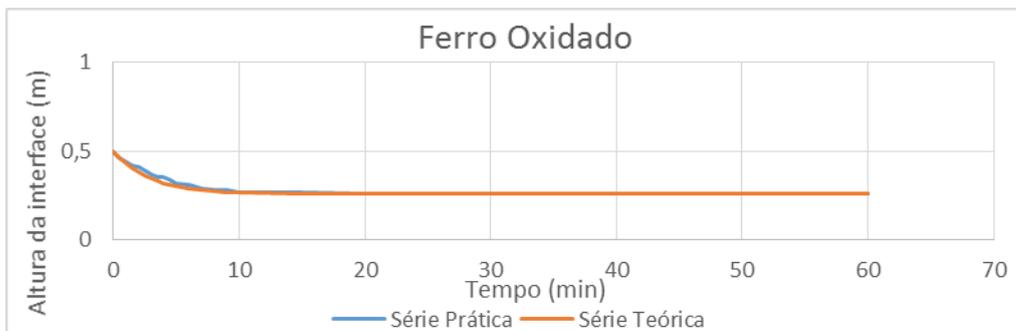
Da figura 1 até a figura 3, estão apresentados os gráficos com a curva de sedimentação prática e teórica de cada teste.

Figura 1 - Curva prática e teórica da sedimentação de ferro sulfetado.



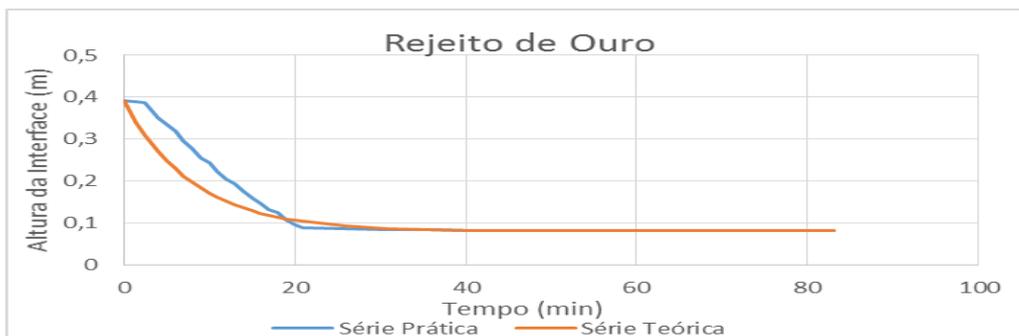
Fonte: Próprio autor

Figura 2 - Curva prática e teórica da sedimentação de ferro oxidado.



Fonte: Próprio autor

Figura 3 - Curva prática e teórica da sedimentação de rejeito de ouro.



Fonte: Próprio autor



Unifesspa - 21 a 25 de Setembro de 2015

I Seminário de Projetos Integrados
I Jornada de Extensão
I Seminário de Iniciação Científica
I Encontro de Pós-Graduação

A seguir apresenta-se uma análise estatística determinando o erro relativo, média aritmética, desvio padrão e o coeficiente de variação dos valores teóricos obtidos pela equação em relação a cada ensaio prático de sedimentação em bancada. Os dados estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Dados estatísticos dos testes

	Rejeito de Ouro	Ferro sulfetado	Ferro oxidado
Erro Relativo	13,808%	4,208%	3,705%
Média	0,1694	0,4191	0,3313
Desvio Padrão	0,0231	0,0138	0,0091
Coef. Variação	10,915%	3,092%	2,703%

Com relação ao rejeito de ouro, foi verificado um maior coeficiente de variação e um erro relativo dentre os experimentos realizados. Isso deve-se a dificuldade de verificação da interface, devido à uma polpa muito turva. No entanto, os valores de desvio padrão indicam que a curva teórica produzida pelos resultados da equação se aproxima do comportamento da curva prática.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A curva de sedimentação teórica obteve uma aproximação satisfatória para todos os testes, apresentando valores baixos de desvio padrão e coeficientes de variação entre 0,009 e 0,023 e 2,70% e 10,91%, respectivamente. Isso indica que os testes de sedimentação em bancada para dimensionamento de espessadores serão mais práticos, visto que não haverá mais a necessidade de verificação da interface entre a zona de clarificação e de sedimentação livre, além de o operador ter uma maior precisão do comportamento da polpa.

Em alguns casos a dificuldade de visualização da interface de uma polpa muito turva, prejudicaram na construção da curva prática, acarretando na aferição mais apurada dos resultados (principalmente no caso do rejeito de ouro), porém a curva prática seguiu um padrão de comportamento semelhante a curva teórica. Os testes iniciais apresentaram resultados positivos, entretanto, novos testes estão sendo elaborados para verificação de uma possível limitação da fórmula, como: diferentes faixas granulométricas, variação do percentual de sólidos e diferentes polpas minerais. Além disso, novos testes serão feitos com a presença de floculante, visto que os testes executados foram somente com a presença de água.

5. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 7181 (1988) – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Solos - Determinação da sedimentação e peneiramento.

CHAVES, A. P. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**: Desaguamento, Espessamento e Filtragem. 3ª Edição. São Paulo: Signus editora, 2010.

FRANÇA, S. C. A; MASSARANI G. Separação Sólido - Líquido. In: LUZ, A. B; SAMPAIO, J. A; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de Minérios**. 4ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2004. p. 572-609.

GUIMARÃES, F. A. V. **Revisão nos métodos de dimensionamento de espessadores e comparação dos modelos industriais**. 2010. 235 folhas. [Tese de Mestrado]. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 2010.

SAMPAIO, J. A; FRANÇA, S. C. A; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de Minérios**: Práticas Laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.