



EFEITOS DA CONCENTRAÇÃO DE COAGULANTE E DE FLOCULANTE SOBRE A SEDIMENTAÇÃO DE REJEITOS DE ZINCO SILICATADO

Harley Lima de Almeida¹, Arlley de Brito Magalhães Sousa², Renata Nepomuceno da Cunha^{1,2}

*Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM, Patos de Minas, Brasil
(harleylimadealmeida@hotmail.com)*

Resumo: No tratamento do rejeito de processo de zinco, um dos principais desafios é a sedimentação ineficiente no espessador. Objetiva-se avaliar os efeitos da concentração de coagulante (CaO) frente à performance do sedimentador. Os ensaios foram conduzidos por meio de planejamento experimental com e sem a adição de floculante. Foram avaliadas as respostas: velocidade de sedimentação, turbidez, pH e condutividade elétrica. Os modelos de predição mostraram os efeitos de cada variável sobre as respostas.

Palavras-chave: Concentração gravítica; sustentabilidade na mineração; *sinter feed*.

INTRODUÇÃO

A obtenção do zinco metálico ocorre a partir da extração do zinco de minerais como esfarelita (sulfeto de zinco) e calamina (carbonato de zinco), os quais são encontrados em jazidas subterrâneas ou a céu aberto. O processo envolve o beneficiamento e a flotação visando a concentração do mineral. Em seguida o concentrado é calcinado para transformar o sulfeto em óxido de zinco, que recebe a denominação de calcina. O óxido de zinco é reduzido por meio de carbono ou monóxido de carbono, resultando na formação do metal zinco (Cole et al, 2003).

O processo realizado via úmida gera rejeitos (Ribeiro, 2015) constituídos por polpas com altas concentrações de materiais particulados (minerais de ganga) os quais são submetidos ao espessamento por meio da sedimentação nos espessadores.

Os espessadores desempenham um papel fundamental na recuperação de água para recirculação no circuito e na redução do impacto ambiental do rejeito gerado pela usina (Souza, 2013). Contudo, problemas operacionais podem acarretar perdas de sólidos no transbordo que podem comprometer a sua eficiência.

O espessamento é um processo de separação sólido-líquido baseado na sedimentação gravitacional, onde as partículas sólidas em suspensão são separadas do líquido devido à diferença de densidade. O objetivo principal é aumentar a concentração de sólidos em uma polpa ou recuperar o líquido clarificado (França e Massarani, 2010). O processo ocorre no líquido clarificado (região em que a parte superior precisa estar isenta de sólidos), sedimentação livre na parte central (região em que as partículas sedimentam sem

interação) e a parte inferior (região na qual ocorre a compactação e as partículas começam a interagir, formando uma camada de polpa). A floculação é um processo utilizado para promover a agregação de partículas em suspensões, formando flocos que facilitam o espessamento e filtração (Baltar, 2010).

Na sedimentação de polpas de rejeito provenientes da flotação de zinco verifica-se que, a taxa de sedimentação do espessador apresenta dificuldades na aglomeração, resultando uma alta turbidez, que é a presença de sólidos na água clarificada (overflow). Esse fenômeno pode estar associado a fatores como a alta concentração de sólidos na polpa de alimentação e a instabilidade das partículas em suspensão.

Face ao exposto, pretende-se, portanto, avaliar os efeitos da concentração de coagulante, óxido de cálcio, frente à performance do sedimentador. Faz ainda parte do escopo desta pesquisa verificar os efeitos da adição do floculante Flonex sobre a sedimentação das partículas.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras utilizadas nos ensaios experimentais são constituídas de rejeito willemítico em estado líquido, coletadas na empresa, por amostradores automáticos, em tubulações antes do sedimentador para que não haja influência de reagentes manuseados no processo.

A) Preparo das Amostras

O rejeito foi armazenado em baldes plásticos limpos e rotulados e transportados para o laboratório. Para garantir a representatividade da

amostra, a polpa foi quarteada em quarteador para garantir homogeneidade, a partir de conagem e abertura em aranha. A amostra foi desidratada em uma estufa por 5 minutos a aproximadamente 200°C até obtenção de massa constante, permitindo posterior controle da porcentagem de sólidos durante ensaios. Em seguida a amostra foi desagregada com o auxílio de peneiramento em malhas mais grossas, para garantir a quebra de material grosseiro, assegurando-se a sua homogeneização.

B) Ensaios de sedimentação

A polpa aquosa de rejeito foi simulada na concentração industrial de 30% m/v de sólidos, por meio da adição do rejeito seco em 1,5 L de água. Em seguida foi agitada em agitador mecânico até a completa homogeneização, garantindo a dispersão uniforme das partículas sólidas em suspensão antes da realização dos ensaios experimentais de sedimentação.

Com o objetivo de avaliar os efeitos da concentração de coagulante e da adição de floculante frente à eficiência de separação sólido-líquido utilizou-se o óxido de cálcio e o Flonex 910 SH nas concentrações estabelecidas no delineamento experimental (Tabela 01). Em seguida realizou-se, por 5 min a agitação em jar test. As condições experimentais fixadas em todos os experimentos são explicitadas na Tabela 02.

Tabela 01. Delineamento experimental adotado nos ensaios experimentais

Ensaio	Variáveis reais		Variáveis codificadas	
	CaO (g/L polpa)	Flonex (µg/L polpa)	x1	x2
1	0,0	0,0	-1,00	-1,00
2	0,4	0,0	-0,33	-1,00
3	0,8	0,0	0,33	-1,00
4	1,2	0,0	1,00	-1,00
5	0,0	5,2	-1,00	1,00
6	0,4	5,2	-0,33	1,00

Tabela 02. Condições experimentais fixas no processo de coagulação floculação

Condições operacionais	Valores estabelecidos
Concentração de sólidos	30 %
Temperatura da sedimentação	27±1°C
Rotação de agitação no jar test	100 rpm
Tempo de agitação no jar test	5 min

C) Caracterização do processo de coagulação/floculação seguido por sedimentação. Após adição do coagulante e do floculante e agitação em jar test foram avaliadas as respostas descritas a seguir.

Velocidade de sedimentação

O ensaio de proveta consiste em um teste de sedimentação descontínua, que tem o objetivo de acompanhar o deslocamento da interface superior de uma suspensão ao longo do tempo, em uma proveta de 2 L. Durante o ensaio de proveta registrou-se o deslocamento da interface superior da polpa com o tempo, cujos dados foram utilizados na determinação da velocidade de sedimentação das partículas em cm/min. Adotou-se como tempo máximo de sedimentação 15 min.

Turbidez do líquido clarificado

O turbidímetro é um instrumento que mede a quantidade de partículas suspensas em um líquido, como água, utilizando para tanto, um feixe de luz para medir a opacidade do líquido. A medição é feita em unidades nefelométricas (NTU), que indica o quão turva a água está. Medições mais altas da UNT sugerem água menos clara, enquanto leituras baixas indicam um líquido mais claro, ou seja, sem a presença de material particulado no líquido clarificado.

pH

O pH é uma medida da concentração de íons hidrogênio (H^+) ou hidrônio (H_3O^+) em uma solução. Uma solução com alta concentração de H^+ é dita ácida, enquanto uma solução com alta concentração de hidroxila (OH^-) é básica ou alcalina. Portanto, a medida de pH é uma escala que quantifica a acidez ou alcalinidade de uma solução aquosa. Para determinação do pH utilizou-se o phmetro, instrumento eletrônico que mede a diferença de potencial entre um eletrodo de vidro e uma solução de referência. O mesmo foi previamente calibrado com soluções padrões.

Condutividade elétrica

A condutividade elétrica refere-se à capacidade de um material de conduzir corrente elétrica. Em soluções, a concentração de íons é um fator importante, sendo que, soluções iônicas geralmente apresentam alta condutividade. Para medir condutividade elétrica, utilizou-se um condutivímetro, dispositivo que mede a capacidade de um material em conduzir eletricidade. O condutivímetro possui um sensor

(sonda) que é mergulhado no material a ser analisado. A medição é baseada na aplicação de uma tensão entre os eletrodos da sonda. A unidade de medida no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o Siemens por metro (S/m).

D) Análise dos resultados

As respostas experimentais foram analisadas com auxílio do programa Statistica, a fim de se avaliar a influência de cada fator na resposta experimental, ajustar um modelo aos dados experimentais e definir as condições ótimas da sedimentação, com um nível de confiança de 95%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figura 1a e 1b explicitam graficamente a cinética da razão de sedimentação das partículas na polpa, na ausência e na presença de flocculante, respectivamente.

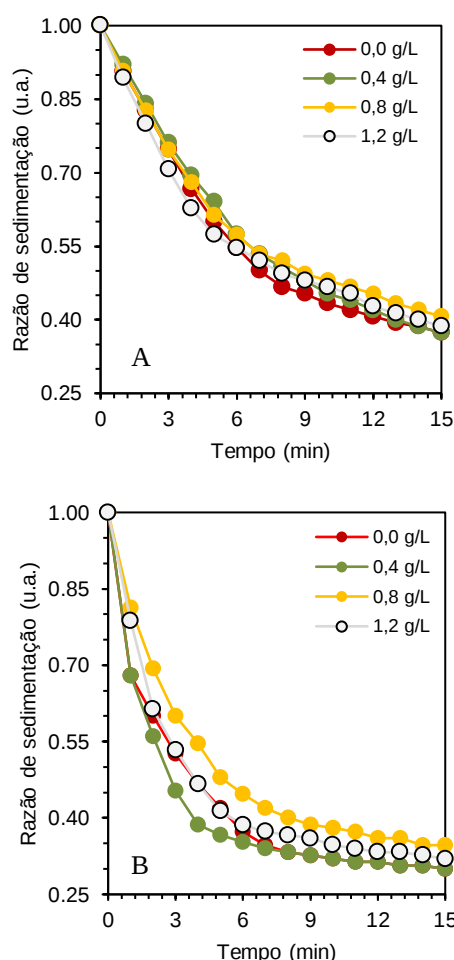


Figura 01. Cinética de sedimentação das partículas da polpa

Confrontando as figuras nota-se que existe uma diferença considerável entre os comportamentos cinético das partículas, ou, seja a adição de flocculante

realmente contribuiu para uma maior velocidade de sedimentação das partículas presentes na polpa. Percebe-se ainda na Figura 1a que não existem grandes distinções entre as razões de sedimentação quando se confronta as diferentes concentrações de coagulantes. Já na Figura 1b nota-se que existe um efeito sinérgico entre o coagulante e o flocculante, pois notam-se nesta figura os efeitos das concentrações de coagulante frente à velocidade de sedimentação.

Na Figura 1b percebe-se ainda que, baixas concentrações de coagulante (0,4 g/L) favorecem a sedimentação das partículas. Ou seja, a adição de flocculante associada à baixa dosagem de coagulante promoveu uma maior aglomeração das partículas suspensas, resultando na formação de flocos maiores. Esses flocos, por serem mais densos, aceleraram o processo de sedimentação, refletindo em uma velocidade significativamente maior em comparação aos demais experimentos.

A Tabela 3 apresenta o delineamento experimental e as respostas obtidas para os ensaios de coagulação/floculação seguido por sedimentação.

Tabela 03. Delineamento experimental e respostas obtidas para o ensaio de sedimentação

CaO (g/L polpa)	Flore x (µg/L polpa)	x1	x2	Veloc. (mm/ min)	pH (u.a.)	Con dutivo (mS/ cm)	Turb idez (NTU)
0,0	0,0	-1,00	-1,00	11,88	9,10	0,22	287
0,4	0,0	-0,33	-1,00	11,88	11,85	1,00	186
0,8	0,0	0,33	-1,00	11,25	12,25	2,27	222
1,2	0,0	1,00	-1,00	11,63	12,46	3,74	209
0,0	5,2	-1,00	1,00	13,27	9,13	0,22	143
0,4	5,2	-0,33	1,00	13,27	11,90	1,17	99
0,8	5,2	0,33	1,00	12,39	12,28	2,82	82
1,2	5,2	1,00	1,00	12,89	12,50	4,27	171

Os efeitos de cada variável independente foram avaliados por meio de análise de regressão. As equações 1 a 4, explicitam os modelos de predição para cada variável resposta.

$$\text{Velocidade de sedimentação} \left(\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right) = 12,31 - 0,26x_1 + 0,65x_2 \quad (R^2 = 0,879; p - \text{valor} = 0,05) \quad (1)$$

$$\text{pH} = 12,23 + 1,57x_1 - 1,43x_2^2 \quad (R^2 = 0,967, p - \text{valor} = 0,05) \quad (2)$$

$$\text{Turbidez (NTU)} = 140,34 + 62,16x_1^2 - 51,13x_2 \quad (R^2 = 0,858, p - \text{valor} = 0,05) \quad (3)$$



$$\text{Condutividade elétrica} \left(\frac{mS}{cm} \right) = 1,78 + 1,92x_1 + 0,34x_1^2 + 0,15x_2 + 0,15x_1x_2 \quad (R^2 = 0,997, p - \text{valor} = 0,10) \quad (4)$$

Os modelos de predição possuem coeficientes de determinação elevados, o que demonstra que esses se adequam de modo satisfatório aos dados experimentais. Infere-se que o fator linear da variável concentração de coagulante (x_1) exerce efeito significativo negativo frente à velocidade de sedimentação das partículas. Efeito contrário foi obtido para a variável dosagem de floculante (x_2). Tais resultados são compatíveis com os comportamentos cinéticos de queda das partículas obtidos nas Figura 1a e 1b.

Para a resposta pH percebe-se que a variável x_2 não exerce efeitos estatísticos significativos. A variável x_1 exerce efeito positivo, ou seja, um acréscimo dessa variável acarreta em um aumento do pH do líquido clarificado. Tal fato deve ser levado em consideração quando se tem a intenção de retornar o líquido clarificado para o processo.

A turbidez do líquido clarificado foi afetada diretamente pelo fator quadrático da variável concentração de coagulante (x_1). Entretanto, a dosagem de floculante (x_2) exerceu efeito contrário sobre a turbidez.

Os efeitos das variáveis x_1 e x_2 sobre a condutividade elétrica foram também avaliados, tendo sido obtidos efeitos positivos para todos os fatores. Nota-se para essa resposta que a interação entre as variáveis se mostrou significativa. Neste contexto, entende-se que aumentos na concentração de coagulante e da dosagem de floculante acarretam acréscimos dessa resposta.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos infere-se que as respostas avaliadas foram realmente afetadas estatisticamente pelas condições operacionais impostas nos ensaios de coagulação/floculação do rejeito de minério de zinco silicatado, seguido por sedimentação.

A adição de floculante contribuiu para o aumento da velocidade, entretanto, para a turbidez o aumento da dosagem de floculante exerceu efeitos negativos sobre essa resposta. O aumento da concentração de coagulante (CaO) contribuiu de modo positivo para o aumento da velocidade, entretanto, promoveu um aumento da turbidez do líquido clarificado.

A partir dos modelos de predição obtidos para todas as respostas foi possível avaliar os efeitos das variáveis operacionais estudadas frente cada resposta.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário de Patos de Minas- UNIPAM pelo incentivo à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- FRANÇA, Sílvia Cristina Alves; MASSARANI, Giulio. Separação sólido-líquido. In: LUZ, Adão Benvindo da (org.). **Tratamento de minérios**. 6. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, Cap. 14, 2019.
- BALTAR, Carlos Adolpho Magalhães. Processos de agregação. In: LUZ, Adão Benvindo da (org.). **Tratamento de minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2010. Cap. 13, p. 559–566.
- COLE, Peter M.; SOLE, Kathryn C. Zinc solvent extraction in the process industries. **Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review**, v. 24, n. 2, p. 91-137, 2003.
- RIBEIRO, Camila de Carvalho. **Estudo sobre o comportamento geomecânico de rejeito de mineração de zinco**. 2015.
- SOUZA, Cássia Cristine de; AMARANTE, Sérgio Coutinho; ARAÚJO, Armando Corrêa. REJEITOS ADENSADOS PARA DISPOSIÇÃO EM SUPERFÍCIE NOVA TECNOLOGIA EM MINÉRIO DE FERRO. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 1, n. 3, p. 60-63, 2013.