

Estudo de desaguamento de polpas minerais para a produção de concentrados de alto teor de sólidos

Tatiana Salviano Gadêlha
Bolsista Capacitação Institucional PCI/CETEM/MCTI, Eng. Química, M. Sc.

Sílvia Cristina Alves França
Eng. Química, D. Sc.

Resumo

A presença cada vez mais constante de material particulado superfino em rejeitos de processamento mineral torna-se um grande desafio para a eficiência dos processos de separação sólido-líquido, bem como para a possibilidade de reutilização da água no processo. A dificuldade de sedimentação natural dessas partículas requer melhorias contínuas dos processos de aglomeração, desaguamento e produção de rejeitos com percentagens de sólidos mais elevadas. Assim, o presente trabalho visa avaliar o desempenho de polímeros floculantes comerciais na floculação e na filtração do rejeito do beneficiamento de minério sulfetado de níquel.

1. Introdução

O processamento de minérios com granulometria de liberação cada vez mais fina acarreta em desafios tecnológicos para as diferentes etapas do beneficiamento, em especial para as operações de separação sólido-líquido (espessamento e filtração). Essas partículas finas, quando em suspensão, demandam longos tempos de sedimentação natural dificultando a reutilização da água de processo, bem como o reaproveitamento do rejeito. Como resultado, há o acúmulo de grandes volumes de rejeitos minerais, colaborando com o crescimento de problemas ambientais relacionados ao seu descarte.

A agregação de partículas finas é uma saída utilizada na separação destas em meio líquido e pode ser feita utilizando reagentes, como coagulantes ou polímeros floculantes, permitindo a adesão de uma partícula diretamente à outra. O tamanho da partícula, que é inversamente proporcional à sua área superficial, interfere na quantidade de polímero floculante que se deve usar (Oliveira et al., 2004). Além das características dos floculantes, os aspectos físicos de um rejeito, como distribuição granulométrica, morfologia das partículas e mineralogia têm influência nas interações entre o material particulado e a água, durante os processos de agregação.

No processo de espessamento, forma-se um sedimento saturado em água e, na maioria das vezes, é necessário expelir essa água em excesso para maior redução de volume e aumento da resistência mecânica do sedimento, satisfazendo as especificações regulatórias para deposição segura do rejeito (Wang, 2014). Uma operação unitária adicional utilizada no desaguamento de polpas minerais é a filtração com formação de torta, em que o produto sólido resultante - a torta - com elevada concentração de sólidos, pode então ser transportada ou descartada mais facilmente (Qi, 2011) e o filtrado, reutilizado como água de processo.

A reutilização da água de processo por meio de operações de desaguamento mais eficientes é de grande

importância para a implementação de projetos de menor custo operacional e menor impacto ao meio ambiente.

2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é estudar as operações envolvidas no desaguamento do rejeito de níquel, visando à produção de concentrados minerais com alto teor de sólidos e recuperação de água de processo.

Para tanto, pretende-se: i) avaliar a performance de flocculantes comerciais na velocidade de sedimentação do rejeito de níquel e da turbidez do líquido sobrenadante; iii) averiguar a dependência entre a concentração de sólidos e a dosagem dos flocculantes nas variáveis de processo: velocidade de sedimentação, diâmetro e densidade dos flocos e turbidez do sobrenadante; v) estudar a filtração do sedimento formado, relacionando a influência da dosagem de polímero flocculante e da concentração de sólidos nos parâmetros umidade e tempo de formação da torta.

3. Material e Métodos

Foi utilizada uma amostra de rejeito do processamento de um minério sulfetado de níquel, apresentando granulometria com $d_{50} = 10\mu\text{m}$. Foram preparadas polpas com teores de sólidos variando entre 2 e 23% (p/v). Os flocculantes comerciais estudados foram: Zetag 7565, Rheomax 1050, Rheomax 9050 (BASF) e Hengfloc, (Beijing Hengju), os quais foram utilizados na forma de soluções poliméricas a 0,5 g/L, nas dosagens de 100 e 200 g/t. A Figura 1 mostra o diagrama de blocos que ilustra a metodologia utilizada neste trabalho.

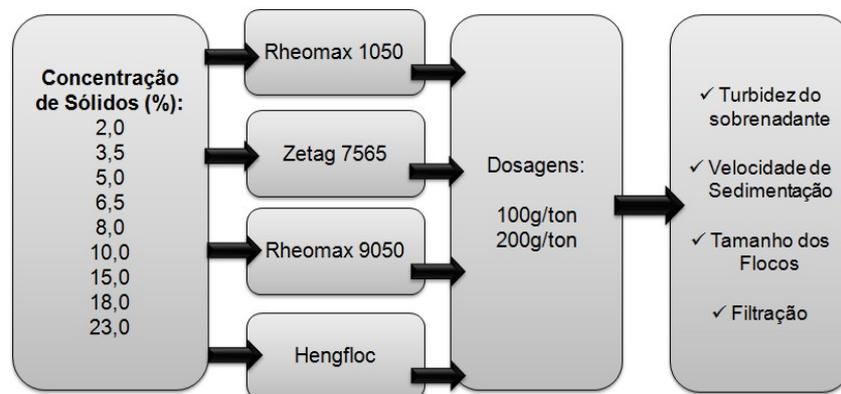


Figura 1: Metodologia utilizada nos estudos de floculação e desaguamento

3.1. Ensaio de Sedimentação

Os testes de sedimentação foram realizados em equipamento jar test, com polpas previamente preparadas adicionadas ao equipamento. Após um tempo de agitação de 3 minutos a 300 rpm, o flocculante foi adicionado à polpa em pH natural, de 7,6. Em seguida, a polpa foi condicionada por 1 minuto a 300 rpm e 2 minutos a 150 rpm, totalizando 3 minutos de agitação, para permitir o contato entre as partículas e o reagente e o crescimento dos flocos. Após este período, o equipamento jar test foi desligado e o cronômetro imediatamente acionado, para medição da variação da altura da interface sólido-líquido em função do tempo de sedimentação, que permite o cálculo da velocidade de sedimentação, que é utilizada como medida indireta da eficiência de floculação (Hogg, 2000).

3.2. Determinação da Turbidez

A turbidez é um parâmetro físico bastante utilizado para quantificar a eficiência de remoção de sólidos, especialmente particulado fino, de um efluente líquido. Com base na Resolução CONAMA 357/2005, os limites aceitáveis são de 40 NTU para águas doces classe 1 e de 100 NTU para as classes 2 e 3.

Ao fim dos ensaios de sedimentação, uma alíquota do líquido sobrenadante foi coletada de cada experimento e submetida à medida de turbidez, realizada em turbidímetro portátil da Hach, modelo 2100P, e comparada com os parâmetros de referência.

3.3. Determinação do Diâmetro do Floco

Partículas em suspensão são submetidas à Lei de Stokes, que considera a velocidade de sedimentação de uma partícula isolada (v_t) como função da sua densidade (ρ_s) e do seu diâmetro (D_p), ou seja:

$$v_t = \frac{\rho_s - \rho_f}{18} g D_p^2 \quad \text{Equação 1}$$

Na Equação 1, ρ_f é a massa específica do fluido, ρ_s a massa específica do sólido (partículas ou flocos) e μ é a viscosidade do fluido, neste caso, água.

Embora a equação de Stokes aplique-se em regimes de escoamento com número de Reynolds menor ou igual a 0,1 e, a mesma foi utilizada para estimar, de forma aproximada, o diâmetro dos flocos formados. Os valores de velocidade terminal (v_t) foram obtidos a partir das curvas de sedimentação em batelada e a densidade dos flocos foi determinada por meio da técnica de picnometria.

A densidade foi determinada em picnômetro de vidro, de capacidade 25 mL. As medidas foram feitas em triplicata, para o Zetag 7565 (5%, 18% e 23%) e Rheomax 1050 (5% e 23%) nas dosagens de 100 e 200g/t. A partir destes dados, foi feito um estudo para avaliar o uso da densidade média no cálculo do diâmetro do floco, considerando-se um erro experimental de $\pm 5\%$ e o desvio das medidas em relação à densidade média ($\bar{\rho}_f$).

3.4. Ensaio de Filtração

A Figura 2 mostra o diagrama de blocos que ilustra a metodologia utilizada nesta etapa do trabalho.

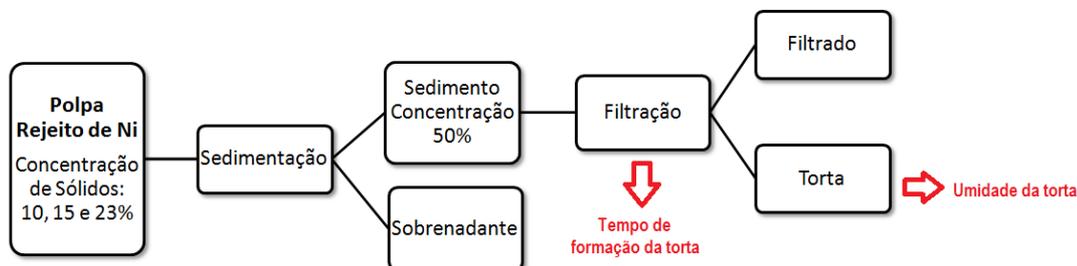


Figura 2: Metodologia utilizada no processo de filtração da polpa flokulada e concentrada.

Após a sedimentação, o líquido sobrenadante foi sifonado, concentrando o sedimento até 50% (p/v). Em seguida, o sedimento foi submetido a cisalhamento em jar test por 1 minuto a 250 rpm, objetivando liberar a

água aprisionada na estrutura dos flocos antes da filtração. Os ensaios de filtração foram realizados no equipamento Filtratest® (Bokela), com área de filtração de 19,63 cm². Foi utilizado um tecido filtrante de polipropileno com fios de multifilamentos, com permeabilidade ao ar de 1,5-5 m³/min/m²; a queda de pressão utilizada foi de 2 bar. Para todos os testes, o tempo de desaguamento da torta foi de 8 segundos. O desempenho dos polímeros foi avaliado com base no tempo de formação e umidade final da torta de filtração.

4. Resultados e Discussão

4.1. Turbidez

Os resultados das análises de turbidez do líquido sobrenadante são exibidos na Tabela 1.

Tabela 1: Turbidez do líquido clarificado (após a sedimentação).

Turbidez (NTU)	Floculante	Dosagem (g/t)	Concentração de sólidos (%)								
			2	3,5	5	6,5	8	10	15	18	23
	Rheomax 1050	100	6,86	6,13	3,96	4,38	6,25	6,11	10,2	4,04	5,33
		200	3,63	2,64	3,58	4,14	4,61	3,43	3,12	4,77	6,38
	Zetag 7565	100	4,8	2,78	2,83	3,9	6,32	5,87	13,3	7,03	6,3
		200	1,25	2,43	2,04	1,76	3,94	1,78	4,62	2,40	2,45

Pela Tabela 1 é possível observar que o uso de maior dosagem de floculante confere ao líquido sobrenadante uma menor turbidez. Nota-se que para polpas com concentração de sólidos de até 10%, o Zetag 7565 promoveu maior redução da turbidez que o Rheomax 1050, em ambas as dosagens analisadas. Assim, o Zetag 7565 (polímero catiônico), em baixas percentagens de sólidos, adsorveu mais partículas que o Rheomax 9050. Entretanto, em concentrações acima de 10% em sólidos, o polímero não apresenta redução no desempenho em relação ao Rheomax 1050 (polímero aniônico). O floculante Rheomax 1050 na dosagem de 100 g/t obteve melhor desempenho em polpas com concentrações a partir de 15%. É notável que para os casos analisados, a turbidez do sobrenadante permanece abaixo de 40 NTU, respeitando a resolução ambiental CONAMA357/2005.

4.2. Velocidade de Sedimentação

A Figura 3 (a) e (b) mostram a relação entre a velocidade de sedimentação e a concentração de sólidos para a polpa natural e floculadas com os polímeros testados na dosagem de 100 g/t e 200 g/t, respectivamente.

Na Figura 3 (a) observa-se que a velocidade de sedimentação nas duas dosagens analisadas, é maior para os flocos formados pelo floculante Hengfloc, comparada à dos flocos formados com os outros polímeros analisados. O Rheomax 1050 foi o segundo floculante com melhor desempenho, seguido pelo Zetag 7565 e o Rheomax 9050. É notável que o aumento na dosagem de floculante aumenta a velocidade de sedimentação e os polímeros Rheomax 1050 e Hengfloc foram os que tiveram acréscimo mais significativo com o aumento da dosagem.

Na Figura 3 (b) mostra que, para o floculante Hengfloc, o aumento da concentração de sólidos na polpa promove uma redução na velocidade de sedimentação dos flocos. Entretanto, esta tendência ocorre para as polpas com percentagem de sólidos de até 10%. Para as polpas de maior concentração observa-se que houve aumento na

velocidade. Isso ocorreu, pois a agitação em zona lenta foi insuficiente para manter os flocos em suspensão, fazendo com que a maior parte dos flocos sedimentasse.

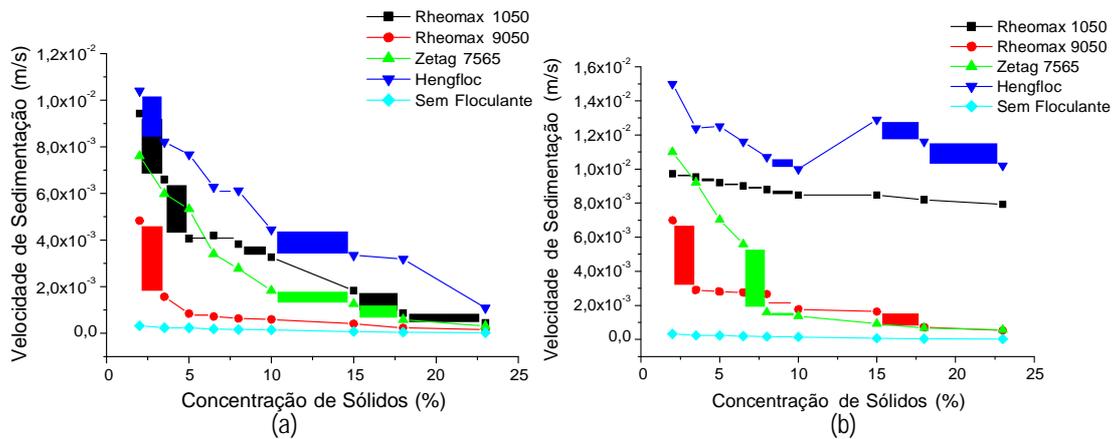


Figura 3: Velocidade de sedimentação versus concentração de sólidos para a polpa natural e com floculante nas dosagens (a) 100 g/t; (b) 200 g/t.

O gráfico também exibe a velocidade de sedimentação da polpa natural (sem floculante), onde é possível observar a importância do uso dos reagentes na agregação das partículas, permitindo o aumento significativo da velocidade de sedimentação.

4.3. Densidade Média

A Figura 4 mostra as medidas de densidade dos flocos formados com os diferentes floculantes, bem como a densidade média ($\bar{\rho}_{fl}$) e o erro experimental de $\pm 5\%$.

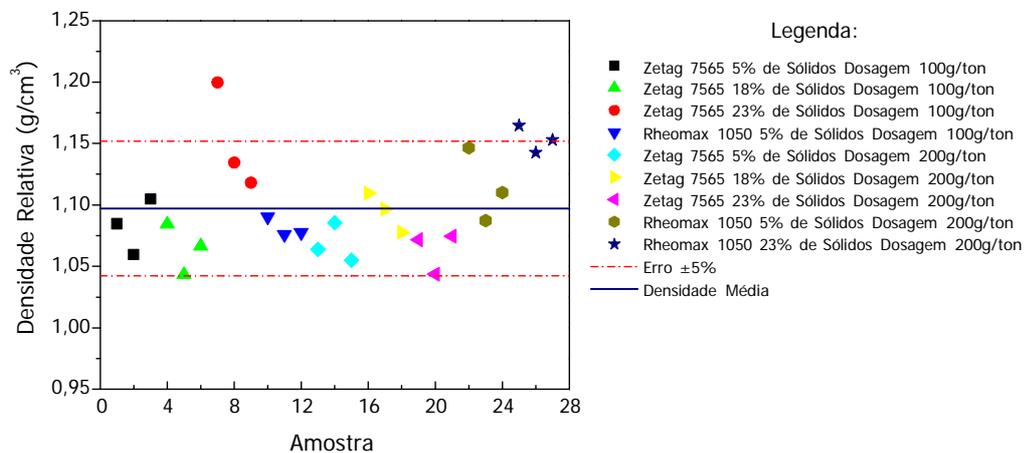


Figura 4: Avaliação da dispersão das medidas de densidade em relação à média e ao erro experimental.

A Figura 4 mostra que apesar das medidas serem relacionadas a dosagens e polímeros floculantes distintos, maior parte dos valores de densidade das amostras analisadas encontra-se dentro do intervalo de $\pm 5\%$, referente ao erro experimental. Dessa forma, como os valores não se dispersam da média além do esperado, o valor médio de densidade ($\bar{\rho}_{fl} = 1,097 \text{ g/cm}^3$) foi utilizado no cálculo do diâmetro médio dos flocos, conforme apresentado na seção seguinte.

4.4. Diâmetro do Floco

Com os valores de densidade do floco e velocidade terminal determinados, foi possível calcular o diâmetro do floco de acordo com a Equação 1, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Diâmetro do floco formado

D (m)	Floculante	Dosagem (g/t)	Porcentagem de sólidos (%)								
			2	3,5	5	6,5	8	10	15	18	23
Rheomax 1050	100	380	320	250	250	240	220	170	110	80	
	200	380	380	370	370	370	360	360	350	350	
Zetag 7565	100	290	270	240	210	190	170	140	90	70	
	200	410	370	330	290	160	140	120	100	90	

É possível visualizar na Tabela 2 que o Rheomax 1050 confere maior diâmetro ao floco que o Zetag 7565. Este fato também pode ser constatado a partir das Figuras 3, pois como mostra a Equação 1, a velocidade terminal é proporcional ao quadrado do diâmetro do floco. Nota-se que o aumento da concentração de sólidos causa uma redução no diâmetro do floco formado, bem como que o aumento da dosagem de floculante promove o aumento no diâmetro do floco. Além disso, é possível verificar que o Rheomax 1050 aumentou em até 70% o diâmetro do floco em relação ao Zetag 7565, para a dosagem de 100g/t, e até 1300% para a dosagem de 200g/t. Assim, dos casos analisados, o Rheomax 1050 na dosagem 200g/t proporcionou maior diâmetro ao floco formado.

4.5. Ensaio de Filtração

A Figura 5 (a) e (b) correlaciona a concentração de sólidos com o tempo de formação e a umidade da torta, respectivamente.

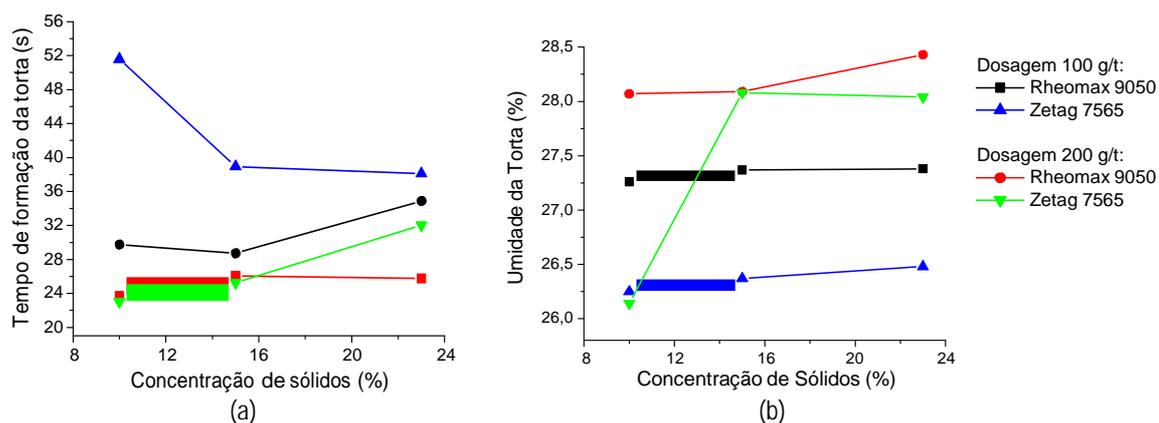


Figura 5: Concentração de sólidos com o tempo de formação

Na Figura 5 (a) é possível notar que o aumento na concentração de sólidos favorece o aumento no tempo de formação da torta. Observa-se também que o aumento na dosagem de floculante provocou redução no tempo de formação da torta. A Figura 5 (b) mostra que há aumento na umidade da torta com o aumento da concentração de sólidos. Entretanto, a umidade sofreu maior influência da dosagem de floculante, pois sua utilização a 200 g/t fez aumentar significativamente a umidade da torta. Esta constatação pode ser justificada pelo fato que o

aumento na dosagem de floculante faz aumentar a quantidade de água aprisionada no interior do floco.

Comparando a Figura 5 (a) e (b) é possível verificar que o Rheomax 9050 na dosagem de 200 g/t fez com que o sedimento fosse filtrado em menor tempo quando comparado aos demais floculantes. Em contrapartida, a torta formada foi a que se mostrou com maior umidade.

5. Conclusão

No presente estudo foi possível observar que o uso dos polímeros floculantes Zetag 7565, Rheomax 1050, Rheomax 9050 e Hengfloc promoveram nas polpas de rejeito de níquel eficiente separação sólido-líquido, com altas taxas de sedimentação e reduzida turbidez do líquido sobrenadante, com valores abaixo de 40 NTU.

Pelos valores de turbidez obtidos, nota-se que é importante realizar testes de floculação para menores dosagens de floculante, visando à redução de custos operacionais, mantendo a qualidade da água de recirculação ou de descarte, conforme preconiza a norma ambiental vigente.

Os resultados de velocidade de sedimentação mostraram que a utilização de polímeros floculantes é de extrema importância para reduzir o tempo necessário à sedimentação das partículas. Mostraram também que a dosagem do floculante influencia significativamente a velocidade de sedimentação. Dessa forma, para as dosagens de 100 e 200 g/t, os resultados sugerem a seguinte ordem de velocidade de sedimentação entre os floculantes analisados, como sendo: Hengfloc > Rheomax 1050 > Zetag 7565 > Rheomax 9050 > Polpa sem Floculante.

Foi possível observar que o floculante Rheomax 1050 aumentou em até 29% o diâmetro do floco em relação ao Zetag 7565, para a dosagem de 100g/t, e até 274% para a dosagem de 200g/ton.

O estudo da filtração do rejeito de níquel floculado e concentrado mostrou que o aumento na concentração de sólidos favorece o aumento do tempo de formação e da umidade final e da torta, assim como o aumento da dosagem de floculante contribui na redução do tempo de formação da torta, mas eleva sua umidade final.

6. Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa concedida através do Programa PCI/CETEM/MCTI.

7. Referências Bibliográficas

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357/05. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Brasília, SEMA, 2005.

HOGG, R. Flocculation and dewatering. In International Journal of Mineral Processing, 2000, Vol. 58, p. 223–236.

OLIVEIRA, M.L.M.; LUZ, J.A.M.; LACERDA, C.M.M. Espessamento e filtragem. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, Brasil, 2004. p. 4-42.

QI, Y., THAPA, Khagendra B., HOADLEY, Andrew F.A. Application of filtration aids for improving sludge dewatering properties –A review. Chemical Engineering Journal, 2011, Vol. 58, p.373 - 384.

WANG, C., HARBOTTLE, D., et al. Current state of fine mineral tailings treatment: A critical review on theory and practice. In Minerals Engineering, 2014, Vol. 58, p. 113–131.