

Influência da agregação de partículas no desaguamento de rejeitos minerais e na qualidade da água de reuso

Influence of particle aggregation on mineral tailings dewatering and water quality for reuse

Guilherme Campos Moreira
Bolsista PCI, Técnico em Química

Sílvia Cristina Alves França
Supervisora, Eng. Químico, D.Sc

Resumo

A disposição de rejeitos minerais na forma de polpa em barragens é considerada de baixo custo, porém de alto impacto ambiental. A fim de diminuir o impacto ambiental são empregadas etapas de desaguamento, como a filtração. Uma forma de auxiliar a operação de filtração é por meio da adição de polímeros floculantes, que atuam na agregação de partículas. Este trabalho estuda como diferentes dosagens de um polímero floculante influenciam na eficiência da filtração. Foi estudada uma amostra de rejeito de minério de ferro utilizando o polímero Magnafloc 5250 nas dosagens de 30, 60, 90 e 120 g/t. Na operação de filtração foi utilizado o equipamento de bancada Filtratest®, sob $\Delta p = 1$ bar. Foi observado um aumento da eficiência de filtração conforme se aumenta a dosagem de floculante, determinando-se como 60 g/t a dosagem ideal. Esta promove uma significativa diminuição do tempo de filtração, um filtrado com turbidez na faixa de 60 NTU adequada ao reuso e tortas com menor umidade, possibilitando a disposição em forma de pilhas, modo ambientalmente mais seguro do que as barragens de rejeito convencionais.

Palavras chave: filtração, floculação, rejeito mineral, disposição em pilhas.

Abstract

The disposal of mineral tailings slurries in dams is considered to be of low operational cost but with high environmental impact and. In order to decrease this impact, dewatering steps are necessary, reducing the volume of mineral tailings with a process like filtration. An auxiliary form of optimize the filtration efficiency is with the addition of flocculant polymers for particle aggregation. This work studies how different dosages of a flocculant polymer improve the filtration efficiency. Iron ore tailings were studied using Magnafloc 5250 polymer at dosages of 30, 60, 90 and 120 g/t. In the filtration operation the equipment used was the Filtratest® operating under pressure drop of 1 bar. Increased filtration efficiency was observed as the dosage of flocculant increased, determining the optimal dosage of 60 g/t. This has a significant reduction in filtration time and a filtrate with turbidity of 60 NTU, adequate to reuse. In addition, the process led to the production of cake with less moisture, which allows the dry-stacking disposal, a more environmental friendly way than conventional tailings dams.

Key words: filtration, thickened tailings, flocculation, dry stacking.

1. Introdução

Os rejeitos da mineração têm uma grande representatividade econômica, pois essa indústria gera grandes volumes de rejeito e necessita de uma alta demanda de água (Gonçalves et al., 2016). A disposição destes rejeitos é feita, em sua grande maioria, em barragens devido ao menor custo no tratamento deste resíduo. Por outro lado, há um elevado impacto ambiental e social na construção de barragens, entretanto deveria ser realizada de maneira ambientalmente sustentável (FALCUCCI e PERES, 2010).

No contexto de operações unitárias, o termo filtragem refere-se à separação de fases sólida e líquida ao conduzir a mistura (polpa) através de uma barreira, denominada meio filtrante (PEÇANHA, 2014), sendo uma das operações mais empregadas na produção de material de baixa umidade. A filtragem visa, não somente a geração de produtos com elevada concentração de sólidos, para transporte ou descarte, mas também a recuperação de água de processo (QI et al., 2011). No setor da mineração utilizamos a filtragem com formação de tortas. Assumindo como hipóteses uma pressão positiva constante na polpa e a incompressibilidade da torta, é possível utilizar um modelo matemático para caracterizar a influência da pressão aplicada, da resistência do meio filtrante e da resistividade da torta na vazão de filtrado, conforme Equação 1.

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu\alpha C_s}{A^2(-\Delta p)} V + \frac{\mu}{A(-\Delta p)} R_m \quad (1)$$

Onde, $\frac{dt}{dV}$ é o inverso da variação de volume de filtrado ao longo do tempo (s/m^3), A é a área do filtro (m^2), ΔP é a queda de pressão (Pa), μ é a viscosidade do filtrado (Pa.s), α é a resistência específica da torta (m/kg), C_s é a concentração de sólidos (kg/m^3) e R_m é a resistência ao meio filtrante (kg/m^2).

A integração e a divisão pelo volume, possibilitam obter uma equação em função volume de filtrado (m^3) e o tempo (s), conforme representado na Equação 2.

$$\frac{t}{V} = \frac{K_p}{2} V + B, \text{ onde } \frac{K_p}{2} = \frac{\mu\alpha C_s}{A^2(-\Delta p)} \text{ e } B = \frac{\mu}{A(-\Delta p)} R_m \quad (2)$$

Desta forma é possível plotar um gráfico de t/V versus V obtendo uma reta com coeficiente angular $\frac{K_p}{2}$ e com coeficiente linear B .

Para medir a produtividade da operação da filtragem foi utilizado a Taxa Unitária de Filtragem, ou TUF ($\frac{t}{m^2 h}$), consistindo na massa produzida (massa seca) em relação à área filtrante, por hora (ORSINE, 2014). E pode ser descrita segundo a Equação 3.

$$TUF = \frac{M_S}{(A \times F_e) \times \frac{3600}{t}} \times 10^{-3} \quad (3)$$

Onde, M_S é a massa da torta seca (kg), A é a área do filtro (m^2), t é o tempo final da filtragem de bancada (s), 3600 é a correção para o tempo em horas e F_e é o fator de *scale-up* adotado como 0,8 (ORSINE, 2014).

As partículas finas têm elevada influência na eficiência da filtração devido ao seu tamanho reduzido, cargas de superfície e o elevado valor de área superficial, tornando a separação das fases difícil e extremamente lenta, o que pode, em alguns casos, inviabilizar a filtração em processos industriais (FRANÇA et al., 2018). Uma solução é utilizar uma etapa de agregação destas partículas com o auxílio de coagulantes ou polímeros floculantes, aliadas à filtração possibilitando um aumento na eficiência da separação sólido-líquido, a obtenção de tortas com baixo teor de umidade, para disposição em barragens, e a recuperação de água com baixos valores de turbidez, para reutilização no processo (FRANÇA e MASSARANI, 2018).

As operações de desaguamento produzem rejeitos de menor umidade e, conseqüentemente, menor risco às estruturas de disposição, menor susceptibilidade à liquefação e a rupturas; menor potencial de contaminação das águas subterrâneas e maior facilidade de aceleração dos procedimentos de reabilitação das áreas degradadas (PORTES, 2013).

A escolha do polímero floculante é uma etapa de grande importância na produção de flocos com tamanho e estrutura (quantidade de água agregada) adequados às operações subsequentes de desaguamento, além de possibilitar o reuso da água nas etapas de lavra e processamento mineral (REZENDE NETO et al., 2015).

Um estudo sobre as operações de agregação de partículas e desaguamento (espessamento e filtração) do rejeito floculado faz-se necessário, de forma a avaliar como a dosagem de polímero floculante em relação ao minério influencia na filtrabilidade do rejeito.

2. Objetivo

Estudar a influência de um polímero floculante na agregação de partículas de polpas minerais, usando a melhoria na eficiência da filtração para produção de tortas com baixos teores de umidade e filtrado com turbidez adequada ao reuso da água. A eficiência do processo será avaliada por meio das variáveis: resistência específica da torta (α), resistência do meio filtrante (R_M), umidade da torta, TUF e turbidez do filtrado.

3. Material e Métodos

Utilizou-se uma amostra de rejeito de minério de ferro, com um teor de sólidos médio de 36%, proveniente de uma usina de beneficiamento que produz *pellet feed*. O polímero floculante utilizado foi o Magnafloc 5250 (BASF), de caráter aniônico e recomendado pelo fabricante como ideal para rejeitos de minério de ferro.

3.1. Preparo da amostra

A etapa de agregação de partículas foi realizada para diversas dosagens do polímero Magnafloc 5250 no equipamento *jar test*. A polpa foi agitada por 3 min para homogeneização e subsequente adição do polímero floculante nas dosagens de 30, 60, 90 e 120 g/t. Conservou-se o sistema por 1 min sob agitação de 300 rpm e

por mais 2 min a 150 rpm. A polpa floculada foi vertida para o espessador, onde permaneceu livre de perturbações por 5 horas. Para cada dosagem de floculante estudada, obteve-se um rejeito espessado, que foi submetido, posteriormente, à operação de filtração.

3.2. Ensaio de filtração

A etapa de filtração foi realizada no equipamento Filtratest® (Figura 1), da empresa Bokela, com área de filtração fixa de 19,63 cm² (19,63 x 10⁻⁴ m²). Como parâmetros operacionais foi utilizada queda de pressão (Δp) de 1 bar e o meio filtrante 4520-T, multifilamentado, termofixado e de polipropileno (Remae), com permeabilidade ao ar com 1/2" C.A. na faixa de 1,5 – 5 m³/min/m².

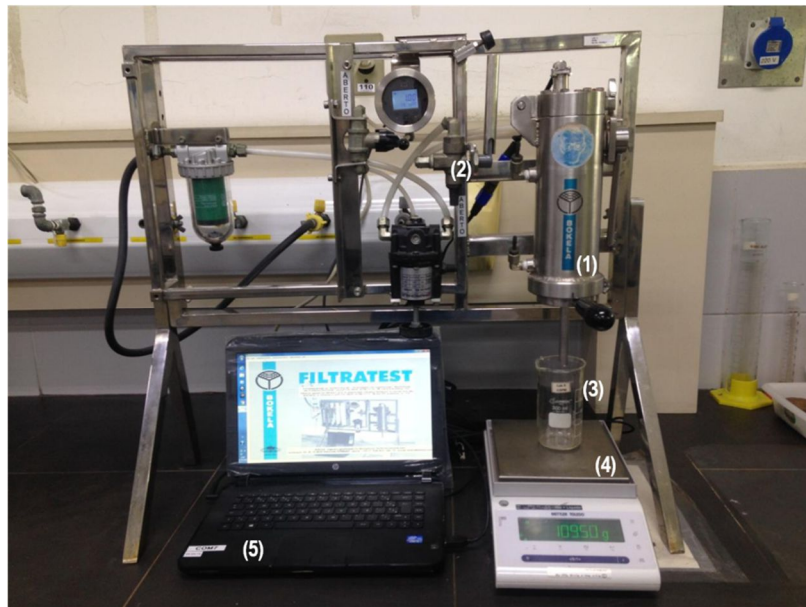


Figura 1. Montagem do equipamento Filtratest® com o compartimento de filtração (1), alimentação de ar comprimido (2), recipiente de coleta de filtrado (3), balança (4) e computador com software para aquisição de dados (5).

O sedimento espessado foi alimentado no compartimento de filtração (1). Após a vedação do compartimento, iniciou-se a alimentação do ar comprimido (2) para promover a queda de pressão desejada, 1 bar. Ao detectar a queda da primeira gota de filtrado no recipiente (3) posicionado sobre a balança (4), o tempo de filtração começou a ser contabilizado e a interrupção se deu no momento em que o peso de filtrado registrado no software (5) permaneceu constante. Os experimentos foram realizados em triplicata, para cada sedimento avaliado.

As variáveis medidas foram o tempo de filtração, peso do filtrado, umidade final da torta (por secagem) e turbidez do filtrado (turbidímetro Hach 2100P). Montou-se o gráfico t/V (s/m³) versus V (m³), obtendo o coeficiente angular $\frac{K_p}{2}$, e o coeficiente linear B para cada ensaio de filtração, conforme Equação 2.

4. Resultados e Discussão

Os resultados da filtragem são apresentados por meio das curvas mostradas na Figura 2. Por meio destas curvas foi possível obter os coeficientes das retas ($\frac{K_p}{2}$ e B) e determinar a resistência específica da torta (α) e a resistência do meio filtrante (R_m) para cada condição implementada. A média dos parâmetros obtidos para a operação de filtragem, umidade da torta e turbidez do filtrado são apresentados na Tabela 1.

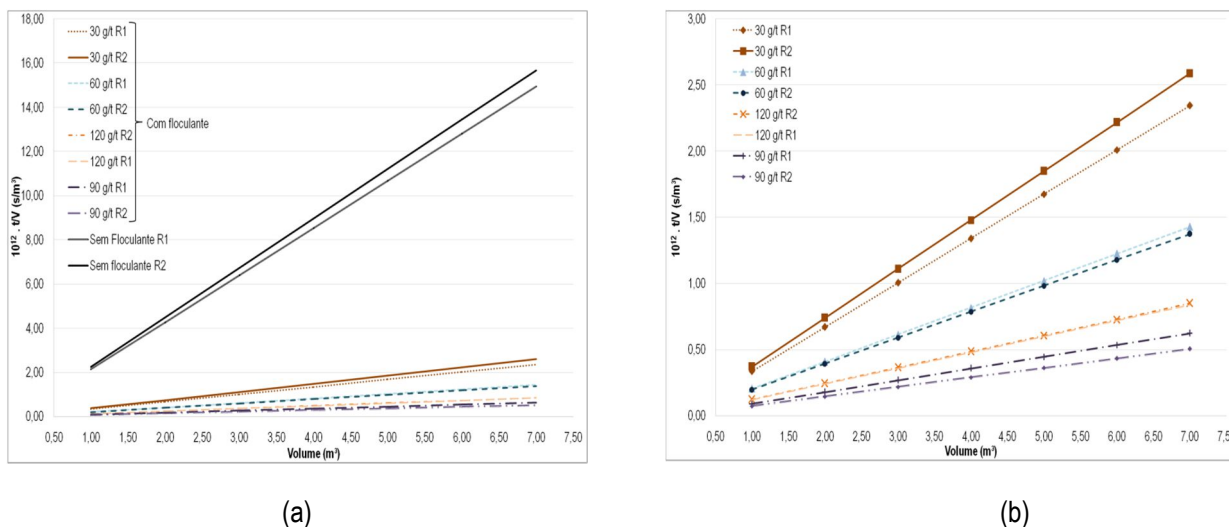


Figura 2. Curvas de filtragem para rejeitos espessados de minério de ferro (a) com e sem flocculante e (b) detalhe das curvas com polpas flocculantes de 30, 60, 90 e 120 g/t.

Tabela 1. Parâmetros obtidos nos ensaios de filtragem com polímero flocculante.

Dosagem do flocculante (g/t)	C_s (kg/m ³)	α x 10 ¹¹ (m/kg)	R_m x 10 ¹¹ (kg/m ²)	Umidade da torta (p/p, %)	Turbidez filtrado (NTU)
	765	24,41 ± 0,56	11,53 ± 1,26	12	6770
30	629	4,81 ± 0,35	3,56 ± 2,94	18	311
60	632	2,73 ± 0,11	4,71 ± 1,00	18	74
90	628	1,11 ± 0,18	7,01 ± 0,39	18	291
120	611	1,70 ± 0,04	6,41 ± 0,28	20	63

A adição de Magnafloc 5250 à polpa mineral aumenta a filtrabilidade do rejeito, mostrando que para um mesmo volume de rejeito espessado, aquele sem flocculante leva um tempo 4 vezes maior para filtrar que o rejeito com a menor dosagem de flocculante. A eficiência da filtragem acompanha diretamente o aumento da dosagem de flocculante, conforme visto nas curvas de 30, 60 e 90 g/t. Para o rejeito flocculado com 120 g/t de polímero, a curva de filtragem indica uma inversão de tendência; possivelmente, devido ao floco formado apresentar um maior volume, logo uma maior quantidade de moléculas de água aprisionadas na sua estrutura, o que diminui a eficiência de separação sólido-líquido.

Utilizando as variáveis de umidade da torta e turbidez do filtrado, apresentados na Tabela 1, podemos notar que a torta do rejeito de minério de ferro obtida sem floculante apresenta a menor umidade, porém o filtrado possui uma turbidez de 6770 NTU; para as dosagens de 30 e 120 g/t, os valores de turbidez do filtrado foram de 311 e 63 NTU, respectivamente, evidenciando a influência positiva do polímero nesta variável operacional.

Os ensaios com 30, 60 e 90 g/t apresentaram valores iguais de umidade na torta, porém distinguem-se ao comparar a turbidez do filtrado obtido. Esta apresenta uma tendência de diminuição, conforme a dosagem do floculante aumenta, indicando uma melhor agregação. Para a torta formada com adição de 120 g/t de polímero, obteve-se maiores valores de umidade quando comparada às outras dosagens, o que pode estar relacionado à maior quantidade de moléculas de água aprisionadas no floco e maior viscosidade do filtrado, devido à maior quantidade de polímero adicionado. Já o baixo valor de turbidez demonstra que a agregação das partículas foi mais eficiente.

A taxa unitária de filtração (TUF) foi calculada utilizando as variáveis descritas na Equação 3 e seu resultado foi apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Taxa unitária de filtração e tempo de desaguamento para estudo da influência da concentração do polímero Magnafloc 5250 na filtração.

Dosagem do Floculante (g/t)	Taxa Unitária de Filtração (t/m ² /h)	Desaguamento para etapa de filtração (%)
0	0,35 ± 0,06	46
30	1,38 ± 0,52	51
60	1,00 ± 0,14	51
90	0,73 ± 0,18	52
120	0,85 ± 0,35	49

É possível identificar que a utilização de um polímero floculante acarreta no aumento da TUF, quando comparado ao sem floculante, porém a TUF diminuiu conforme a dosagem de floculante aumenta. Isto ocorre porque a viscosidade do filtrado é aumentada devido à presença de maior concentração do floculante; além disso pode ter alguma influência no aumento da resistência do meio filtrante (R_m), evidenciado na Tabela 1.

5. Conclusão

A eficiência da etapa de filtração está intimamente ligada à presença de partículas finas, influenciando no tempo de filtração e na turbidez do filtrado. A adição de polímeros floculantes causa diminuição expressiva no tempo de filtração e aumento na qualidade do filtrado obtido, porém nota-se um ligeiro aumento na umidade da torta. A etapa de filtração foi responsável pelo desaguamento médio de cerca de 50% da água contida no rejeito espessado.

A torta obtida no ensaio sem floculante apresentou menor umidade (12%), porém o tempo necessário para filtração chega a ser 4 vezes maior que o tempo de filtração do rejeito floculado com 30 g/t de polímero, cuja

torta continha umidade de 18%. Em termos de TUF, obteve-se um aumento de 0,35 para 1,38 t/m².h com o uso da menor dosagem de polímero.

O polímero Magnafloc 5250 com uma dosagem de 60 g/t apresentou a melhor resposta dentre os parâmetros avaliados: tempo de filtração, taxa unitária de filtração (TUF), umidade da torta e turbidez do filtrado. Este equilíbrio possibilita a aplicação de uma dosagem média de floculante que removerá cerca de 50% da água contida no rejeito espessado na etapa de filtração, num tempo 3 vezes menor do que para o desaguamento da polpa sem floculante.

6. Agradecimento

Gostaria de primeiramente agradecer pela oportunidade dada a mim pelo CNPq. Agradeço também a minha supervisora Sílvia C.A. França, a bolsista PCI Bruna Trampus e ao servidor Caio Moura.

7. Referências Bibliográficas

FRANÇA, S.C.A, MASSARANI, P. **Separação sólido-líquido**. In: LUZ, A.B. et al. Tratamento de Minérios. 6 ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 6ª Ed; CETEM/MCTIC, Rio de Janeiro, p. 597-626, 2018.

FALCUCCI, A.; PERES, A.E.C. **Abordagem prática para o uso de pastas minerais como forma de disposição de rejeitos**. In: Acervo da 6ª Edição do Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto, Belo Horizonte-MG, 2010.

FRANÇA, S.C.A. **Desaguamento de rejeitos minerais para aplicação de métodos de disposição alternativos às barragens de rejeitos convencionais**. In: FRANÇA, S.C.A, Série Tecnologia Ambiental 102, RJ, Brasil; CETEM/MCTIC, Rio de Janeiro, 2018.

GUIMARÃES, N.C., **Filtração de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas**. Belo Horizonte: UFMG, 2011. (Dissertação de Mestrado)

GONÇALVES, A.A.G., GADELHA, T.S. e FRANÇA, S.C.A. **Avaliação operacional da filtração de rejeitos floculados**. XXIV Jornada de Iniciação Científica do CETEM, CETEM/MCTIC, Rio de Janeiro, 2016.

ORSINE, N.M., **Definição de tecnologias para desaguamento de ultrafinos ricos de minério de ferro uma aplicação na Vale Carajás – Pará, Brasil**, Porto Alegre: UFRS, 2014 (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais),

PEÇANHA, P.R. **Sistemas Particulados: operações unitárias envolvendo partículas e fluidos**. 6 ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1ª Ed; CETEM/MCTIC, Rio de Janeiro, p. 262-278, 2014.

PORTES, A.M.C. **Avaliação da disposição de rejeitos de minério de ferro nas consistências polpa e torta**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

QI, Y., THAPA, K.B., HOADLEY, A.F.A. **Application of filtration aids for improving sludge dewatering properties –A review**. In: Chemical Engineering Journal, 2011, v. 58, p.373 - 384.

REZENDE NETO, M.C., FERREIRA, K.C., OLIVEIRA, M.S.M., VALADÃO, G.E.S. **Obtenção de pastas minerais a partir do espessamento de lamas provenientes de processamento fosfático**. HOLOS, v. 7, p. 148-155, 2015.