

PROCESSO DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA MINERAL

Fernanda Arruda Nogueira Gomes da Silva
Bolsista de Inic. Científica, Licenciatura. Química, UFRJ

Sílvia Cristina Alves França
Orientadora, Eng^a. Química, D. Sc.

Mônica Calixto de Andrade
Co-Orientadora, Eng^a. Química, D. Sc.

João Alves Sampaio
Co-Orientador, Eng. de Minas, D. Sc.

RESUMO

Neste trabalho está sendo estudado o processo de Flotação por Ar Dissolvido (FAD) no tratamento de rejeitos da indústria mineral de ferro e fosfato, visando o reuso da água nas diversas etapas do processo de beneficiamento mineral. O efluente a ser tratado, em ambos os casos, apresenta concentração máxima de 5 % de sólidos em suspensão.

As partículas em suspensão são floculadas, e em seguida inicia-se o processo de tratamento por meio de injeção de uma mistura saturada de água-ar, para a formação de microbolhas de ar, e realização do processo de flotação propriamente dito.

A eficiência do processo de FAD, em termos de remoção de partículas sólidas, é na faixa de 95% , avaliada pela técnica de turbidimetria.

1. INTRODUÇÃO

A demanda de água constitui um dos maiores desafios a serem enfrentados pela humanidade, uma vez que a degradação do meio ambiente escasseia e contamina as reservas superficiais e subterrâneas de recursos hídricos. Dessa forma, o conceito de água como recurso inesgotável e gratuito passa por uma reflexão criteriosa.

A preocupação da indústria mineral com a preservação do meio ambiente deriva do fato de que as atividades de lavra e processamento mineral, são compostas por diversas etapas, às quais estão associadas algumas possibilidades de contaminação. Um exemplo disso é o volume significativo

de água utilizado, que se torna responsável pelo transporte de diversos contaminantes, dentre estes reagentes químicos, óleos e material particulado.

Com o objetivo de reduzir o impacto das atividades de mineração sobre o meio ambiente, foi estabelecida uma política de reutilização de água, incentivando o desenvolvimento e aplicação de processos de tratamento e recuperação de efluentes que atendam às novas exigências ambientais de qualidade de água, além de permitir a sua reutilização em etapas do processamento.

Volumes elevados de água são utilizados nos processos de concentração de minério de ferro e fosfato, por exemplo. Nos dois casos, a água de processo – junção de todas as correntes de água utilizada nas diversas etapas do processo – é caracterizada pela presença de reagentes residuais, como as aminas, e de uma grande quantidade de micropartículas sólidas suspensas, que precisam ser removidos para se promover o reuso da água ou descartá-la para o meio ambiente.

A flotação por ar dissolvido (FAD), é uma técnica de separação que vem ganhando espaço no cenário dos processos de tratamento de efluentes com pequenas partículas sólidas, gotículas de óleo e outros resíduos. A FAD é aplicada nos programas de despoluição da baía de Guanabara, no Rio de Janeiro, dos rios Pinheiro e Tiete e do lago do Ibirapuera, em São Paulo e, atualmente, vem sendo estudada e aprimorada para a sua aplicação no tratamento de efluentes industriais, em especial da indústria mineral (Rubio e Tessele, 2002).

A remoção das partículas sólidas, bem como de reagentes residuais, promoverá uma melhoria na qualidade da água, permitindo a sua recirculação ao beneficiamento e, mais importante, reduzirá o volume de água nova necessário às etapas do beneficiamento mineral. Dessa forma, apresentará como vantagem a redução do impacto ao meio ambiente, tanto em termos de água de captação quanto de volume de efluente a ser despejado nas barragens de rejeitos.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo estudar a eficiência do processo de Flotação por Ar Dissolvido (FAD) no tratamento de efluentes da indústria mineral, visando o reuso da água nas diversas operações de lavra e beneficiamento.

Para tal, faz-se necessária a otimização de variáveis e etapas do processo de flotação por ar dissolvido, para que se obtenha a maior eficiência possível na remoção das partículas sólidas e outros contaminantes, que impedem a reutilização dessa água de processamento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

São estudados dois efluentes, das minerações de ferro e de fosfato. O material processado na FAD é uma suspensão de concentração máxima de 5% de sólidos. Nessa suspensão, as partículas são extremamente pequenas, mantendo-se em equilíbrio com o líquido, dificultando a separação sólido-líquido. Por esse motivo há a necessidade de um processo prévio de coagulação/floculação das partículas, para que estas possam ser removidas.

No caso da mineração de ferro, o efluente é composto por partículas de quartzo e minerais de ferro, além de reagentes residuais, como as aminas. O efluente do fosfato contém partículas de apatita, quartzo, minerais de ferro e também reagentes residuais.

Os experimentos são realizados com efluentes sintéticos, com base no minério seco de alimentação da flotação, para maior controle das variáveis de processo; depois de estabelecidas as faixas de controle das variáveis, os experimentos são realizados com amostras do efluente real.

3.1. Flotação por Ar Dissolvido (FAD)

A Flotação é um processo de separação de partículas via adesão de bolhas. A unidade partícula-bolha apresenta uma densidade menor que o meio aquoso e flutua até a superfície da célula de flotação, de onde as partículas são removidas.

O processo de FAD caracteriza-se, essencialmente, pela geração de microbolhas, obtidas pela despressurização de uma mistura saturada de ar em água, sob pressão de 4-5 atm. A saturação é feita em um vaso pressurizado, o saturador (Figura 1), contendo em seu interior um empacotamento de anéis de *Raschig*, que promove um aumento na superfície de contato entre o ar e água, favorecendo a saturação.

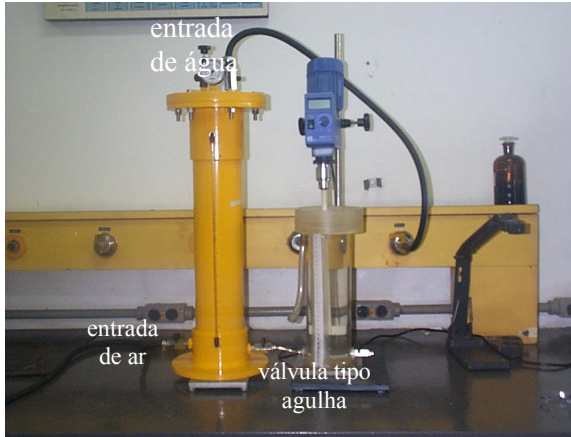


Figura 1 – Montagem experimental da FAD bancada

O procedimento experimental para ensaios de FAD consta de várias etapas. Inicialmente, faz-se a saturação do ar na água; paralelamente é preparada a polpa do efluente.

O sólido utilizado na preparação da polpa de minério é proveniente da alimentação da flotação, nas usinas de beneficiamento de minério. O material é enviado ao CETEM pelas empresas CSN – Mineração Casa de Pedra e FOSFÉRTIL Fertilizantes S.A.; as amostras foram secadas ao sol para retirada da umidade, permitindo que se tenha controle de peso de sólido na preparação da polpa. Como a distribuição granulométrica do material particulado na polpa é variável e o objetivo da FAD é a remoção de micropartículas suspensas, procede-se como descrito a seguir:

a) Preparo do efluente sintético da mineração de ferro

Preparou-se uma polpa de minério de ferro, contendo aproximadamente 30% de sólidos, que foi agitada por 30 minutos, a uma rotação de 300 rpm. Em seguida, a polpa foi mantida em repouso por 20 minutos, para sedimentação das partículas maiores. O sobrenadante foi, então, separado do material decantado e diluído para o dobro do volume inicial. Para 1 L de sobrenadante foram adicionados 1,0 mL de solução de amido, 2,0 g/L, e 2,0 mL de solução de amina 0,125% m/v, com o objetivo de obter as mesmas características do efluente real.

b) Preparo do efluente sintético da mineração de rocha fosfática

A polpa foi obtida pela moagem do minério de fosfato por 1 h em um moinho de barras. O minério moído foi encaminhado para peneiras de 400 e 635 #. Foram feitas diluições com o objetivo de adequar em aproximadamente 5 % a quantidade de sólidos suspensos, como pode ser observado na Tabela 1.

O efluente de minério de ferro era constituído por partículas com granulometria inferior a 0,044 mm; já o efluente de minério de fosfato era formado por partículas com granulometria inferior a 0,037 ou 0,020 mm, dependendo das condições de moagem.

Em ambos os processos fez-se necessário elevar o pH da polpa à aproximadamente 11, evitando que após a etapa de coagulação/ floculação e consequentemente de FAD o pH da água tratada fique abaixo do recomendado para descarte ou reuso nas etapas do beneficiamento mineral.

Tabela 1- Granulometria e diluições para o processo de FAD do efluente de fosfato

Ensaio	Granulometria (mm)	Diluição
1	- 0,020	1:15
2	-0,037+0,020	1:15
3	-0,037+0,020	1:10

Com o objetivo de unir as partículas finas em agregados maiores (flocos) favorecendo a adesão das microbolhas de ar, foi utilizado como floculante para o efluente de minério de ferro o $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ na concentração de 2 g/L, e

para o efluente de minério de fosfato o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 10% (m/v). Durante a etapa de coagulação/ floculação, a suspensão era mantida sob agitação de 100 rpm, para evitar a formação de flocos grandes e, conseqüentemente, a sedimentação destes .

c) Flotação por ar dissolvido

O processo de Flotação por Ar Dissolvido é caracterizado pela formação de microbolhas de ar, formadas a partir da saturação de uma mistura água-ar, sob pressão de 4 a 5 atm, por aproximadamente 20 minutos. Em seguida, a água saturada, que alimenta a cuba de flotação, era forçada a passar por uma válvula de agulha, onde ocorre a despressurização da mistura e a formação das microbolhas de ar (Figura 1). No momento em que a mistura água-ar começa a alimentar a cuba, cessava-se a agitação para evitar a formação de caminhos preferenciais para as bolhas (vórtice) e que os flocos fossem empurrados para o fundo da cuba. Os flocos eram arrastados pelas microbolhas e, quando aparentemente não haviam mais partículas na água, cessava-se a alimentação da mistura água-ar, finalizando o processo de flotação.

As condições em que foram realizados os ensaios de flotação por ar dissolvido com os efluentes de fosfato e de ferro podem ser observadas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela2: condições dos testes de FAD para o efluente de fosfato

Ensaios	pH inicial	Vol. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mL)
1	6,87	3,5
2	6,36	3,0
3	7,89	3,0

Tabela 3: condições dos testes de FAD para o efluente de ferro

Ensaios	pH inicial	Vol. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (mL)
1	6,85	25,0
2	6,78	22,0

4. Resultados e Discussões

A eficiência da FAD é avaliada por meio de medidas de turbidez do efluente antes e após o tratamento. Resultados mostram-se satisfatórios, como pode ser observado nas Tabelas 4 e 5. A Figura 2 ilustra as condições experimentais da FAD, para efluente de minério de ferro, antes e depois do tratamento.

Tabela 4- Medidas de turbidez do minério de ferro

Ensaio	Turbidez antes (NTU)	Turbidez depois (NTU)	Eficiência do processo (%)
1	91,7	4,8	94,8
2	92,0	4,9	94,7



(a)

(b)

Figura 2 – Suspensão de minério de ferro antes (a) e depois (b) da FAD

Tabela 5- Medidas de turbidez do efluente de minério de fosfato

Ensaio	Turbidez antes (NTU)	Turbidez depois (NTU)	Eficiência do processo (%)
1	131,0	12,8	90,2
2	116,0	8,7	92,5
3	122,0	6,9	94,4

De acordo as Tabelas 1, 2 e 5, pode se observar que para o ensaio 1, há uma maior diluição na preparação do efluente, bem como um gasto superior de floculante em relação aos ensaios 2 e 3, esse fato é decorrente da maior quantidade de partículas coloidais.

Para os ensaios com o efluente da mineração de ferro, realizados nas mesmas condições, pode-se observar nas Tabelas 3 e 4 que o volume de floculante utilizado, bem como a eficiência do processo foram reprodutivos.

5. CONCLUSÕES

O processo de flotação por ar dissolvido mostrou-se eficiente na remoção de sólidos de efluentes da indústria mineral, porém apresentando restrições com relação ao tamanho e à quantidade de partículas sólidas presentes.

Na etapa de coagulação/floculação, embora o $Al_2(SO_4)_3$ e o $Fe_2(SO_4)_3$ tenham mostrado eficiência semelhante e o primeiro apresente menor custo, este não será utilizado no processo de tratamento do efluente da mineração de ferro, devido a restrições operacionais de processo a resíduos de alumínio no concentrado de minério de ferro, que afeta o processo siderúrgico de obtenção do aço.

A redução na turbidez dos efluentes, tanto para o ferro quanto para o fosfato foi de aproximadamente 95%, o que permite o reuso dessa água nas diversas etapas do processo de beneficiamento mineral. Porém, ainda há a necessidade de se estudar a qualidade dessa água tratada, no que se refere

a regentes residuais, como as aminas, para que sejam aplicadas outras técnicas de tratamento em etapas posteriores.

O processo de FAD se torna aplicável ao tratamento de efluentes da indústria mineral, uma vez que contribui com o meio ambiente tanto no consumo de água quanto no processo de descarte.

Uma vez otimizada as condições operacionais da FAD, por meio de ensaios em batelada, tanto para o efluente real quanto para o efluente sintético, será realizado um estudo do tratamento de rejeito em escala piloto.

BIBLIOGRAFIA

- BARRAQUE, CH. Y OTROS (1979). Manual Técnico del Agua – Coagulación y Floculación del Agua. Ed. Degremont, Salamanca-Espanha.
- BUNKER, D.Q., EDZWALD, J.K., DAHLQUIST, J. AND GILLBERG, L. (1995). "Upretreatment Consideration for Dissolved Air Flotation: Water Type, Coagulants and Flocculation". *Water Science and Technology*, VOL. 31, Nº 3-4, PAGES. 63-71.
- FRANÇA, S.C.A. (2003). "Utilização do Processo de Flotação por Ar Dissolvido no Tratamento de Efluente da Indústria Minero-Metalúrgica". Relatório Técnico, CETEM/MCT, 23P.
- LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A., MONTE, M. B. M., ALMEIDA, S. L. (2002). Tratamento de Minérios, 3ª ed., CETEM/MCT, 850 p.
- MASSARANI, G. (2002). Fluidodinâmica em Sistemas Particulados, 2ª ed., Ed. E-papers, 152 p.
- OLIVEIRA, A. P. A., LUZ, A. B. (2001). Recursos Hídricos e Tratamento de Água na Mineração. Série Tecnologia Ambiental, nº 24, Ed. MCT/CETEM, 32p.
- Reis, N.L., Barreto, M.L., (2002). Desativação de Empreendimento Mineiro no Brasil, Ed. Signus
- RUBIO, J., TESSELE, F. ET AL. (2002). "Flotación Como Proceso de Remoción de Contaminantes: Avances e Aplicaciones en la Flotación por Aire Dissuelto". *Minerales*, vol. 57, nº 243, p. 21-28.

RUBIO, J., SOUZA, M. L. E SMITH, R. W. (2002). "Overview of Flotation as a Wastewater Treatment Technique". Minerals Engineering, n° 15, p. 139-155.