

Técnicas para tratamento e aproveitamento de águas ácidas residuais da mineração de carvão

Aline N. da Silveira; Renato D. R. da Silva; Jorge Rubio

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental

Av. Bento Gonçalves Bento Gonçalves, 9500/75, 91501-970, Porto Alegre – RS, Brasil.

E-mail: jrubio@ufrgs.br; <http://www.lapes.ufrgs.br/lrm>

Resumo

A Drenagem Ácida de Minas (DAM) é o maior problema ambiental na mineração e extração de carvão mineral, principalmente em SC. Essas águas, oriundas da oxidação da pirita, contêm altos teores de íons sulfato, metais pesados e acidez. Este trabalho descreve estudos (piloto de $1-1,4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) de neutralização-precipitação-floculação-flotação e sedimentação lamelar, realizados com um efluente ácido (pH 2,5-3,3) de mina extinta ($30-200 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) em São-Simão-Criciúma. A neutralização, usando cal, até pH 9, foi seguida de flotação e sedimentação dos precipitados gerados para remoção de íons Fe e Al e a pH 12, para precipitação dos íons sulfato, com sais de alumínio e cal. Foram avaliados parâmetros físico-químicos e operacionais na geração de flocos, antes da sedimentação ou flotação com microbolhas. Os melhores resultados foram obtidos a pH 12 com remoções de íons e sólidos > 90% e concentrações residuais de sulfato < $250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, usando $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de polímero não-iônico e $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de oleato de sódio. A remoção também foi eficiente a pH 9.2 (> 90%). Os resultados comprovaram a eficiência das técnicas estudadas para o tratamento futuro dessa DAM e a qualidade da água tratada mostra um bom potencial para reúso.

Palavras-chave:

1. Introdução

A Drenagem Ácida de Minas (DAM) representa um dos mais severos problemas ambientais da indústria da mineração a nível mundial (com a poluição de águas e solos). A DAM é gerada pela oxidação da pirita e a formação de ácido sulfúrico, sulfato e íons ferroso e férrico, catalisados principalmente pelas espécies bacterianas *Thiobacillus ferrooxidans* e *Thiobacillus denitrificans* (Rubio, 1998a, 1998b).

O tratamento convencional da DAM consiste basicamente na neutralização-precipitação dos metais pesados e separação sólido-líquido, dos sólidos formados. A remoção de íons sulfato, em baixas concentrações, é muito difícil e todos os processos tornam-se muito onerosos (Rubio, 1998a). Atualmente, o volume de água (da ordem de 800 L/s) demandado por mais de 200.000 habitantes da região de Criciúma, é captado em trechos de rios à montante, ainda não poluídos. A DAM é um efluente caracterizado por elevada acidez e altas concentrações de sulfato e de metais, tais como Al, Fe e Mn (Menezes, et al, 2004). As técnicas propostas para o tratamento da DAM geralmente incluem combinações de neutralização e precipitação com cal, oxidação com peróxido, osmose reversa, adsorção e troca iônica e muitas têm se mostrado economicamente inviável ou tecnicamente deficientes.

A neutralização demanda um alto consumo de material alcalino para elevar e manter o pH em valores superiores a 6,5, condição necessária para a remoção dos metais (Matlock et al., 2002), e promove a precipitação da Gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Este precipitado apresenta uma alta solubilidade e a concentração residual de íons sulfato é quase sempre $> 1300 \text{ mg/L}$.

Assim, são necessárias tecnologias para o tratamento das drenagens ácidas geradas pela mineração de carvão, visando o reciclo-reúso dessas águas tratadas em atividades de agricultura e urbanas. O reúso e/ou reaproveitamento deve reduzir a demanda sobre os mananciais de água devido à substituição da água potável por uma água de qualidade menos nobre. O presente trabalho insere-se dentro deste contexto e apresenta um processo integrado de neutralização e separação sólido-líquido por flotação ou sedimentação, para produção de água industrial. O trabalho resume as técnicas de tratamento para a remoção de íons sulfato e íons de metais pesados numa água residual de uma mina de carvão extinta. Espera-se que os resultados desta pesquisa contribuam de maneira significativa para atingir tal objetivo, dentro do estabelecido pela recente Resolução (n. 54 de 2005) que estabelece as normas de reúso de águas em atividades industriais ou de lazer e não para fins de abastecimento.

2. Materiais e métodos

2.1. DAM SS-16

As características físico-químicas da água ácida da boca de mina SS-16 nos estudos de flotação em pH 12 (Amostra 1), e em pH 9 (Amostra 2) são mostradas na Tabela I.

Tabela I. Características físico-químicas do efluente da SS-16 para os Estudos de flotação em pH 12 (Amostra 1) e Estudos de flotação e sedimentação em pH 9 (Amostra 2).

Parâmetro	Amostra 1	Amostra 2
	Água bruta	
pH	3,0	2,8
SO_4^{-2} , mgL^{-1}	815±20	939±20
Mn, mgL^{-1}	2,9	2,7
Fe, mgL^{-1}	2,6	3,1
Al, mgL^{-1}	37	47
Sólidos Totais, mgL^{-1}	1347	735
Sólidos Dissolvidos, mgL^{-1}	1347	735
Turbidez, NTU	1,2	0,2
Cor, Hz	15	18
Condutividade, μScm^{-1}	1400	1384

2.2. Reagentes

Cal calcítica foi empregada para precipitação dos íons de metais e PAC TE 1018 (policloreto de alumínio), Alupan (aluminato de sódio), fornecidos pela Empresa Panamericana S.A., para os íons sulfato. Foram utilizados os polímeros não-iônico Qemifloc 1020 PWG e o FLONEX 9045 (catiônico de

alto peso molecular) para a formação de flocos. Oleato de sódio e ácido oléico foram empregados para aumentar a hidrofobicidade e a cinética de captura dos flocos pelas bolhas.

2.3. Metodologia

2.3.1 Remoção de íons sulfato e de metais pesados e eficiência de separação S-L em pH 12 – Os fluxogramas dos sistemas de tratamento são detalhados nas Figuras 1 e 2. A DAM foi captada através de uma moto-bomba centrífuga e bombeada até os reservatórios (tanques de 2 m³) para o tratamento via precipitação química em batelada. Para os estudos de remoção de íons SO₄⁻² foram adicionados 1 mL.L⁻¹ de PAC TE 1018, 0,5 mL.L⁻¹ de Alupan e 2500 mg.L⁻¹ de cal, para atingir pH 12 (condição de formação da etringita). O sistema foi mantido sob agitação constante por um período de 30 min. Posteriormente, a água da DAM foi alimentada ao Reator Gerador de Flocos-RGF[®] (Carissimi e Rubio, 2005) para formação dos flocos, com Qemifloc 1020 e hidrofobização dos flocos com oleato de sódio, usando bombas dosadoras. Os parâmetros avaliados foram: vazão de alimentação e dosagens de reagentes. A seguir, foi feita a separação S-L dos flocos gerados na célula de flotação de alta taxa.

2.3.2 Remoção de íons de metais pesados em pH 9. Os estudos de sedimentação e flotação em pH 9, sem a adição de sais de alumínio, foram realizados seguindo o mesmo procedimento descrito no item 2.3.1, onde foi avaliado o efeito da variação da concentração de floculante FLONEX 9045 e ácido oléico, com as demais condições operacionais fixas. A vazão de alimentação foi de 1,0 m³.h⁻¹; taxa de reciclo de 30% e pressão de saturação na bomba Edur[®] de 8 kgfcm⁻².

2.4. Técnicas de Separação Sólido-líquido

2.4.1 Floculação-flotação - O reciclo e a geração de microbolhas foi realizada com uma bomba centrífuga multifases (Edur[®]) que possibilita a cavitação da água e a dissolução do ar, sob pressão, em água durante o fluxo na linha, sendo as bolhas formadas após a passagem da água saturada por uma válvula agulha. A flotação foi realizada em uma célula de flotação em acrílico com um design especial, de alta taxa de processamento.

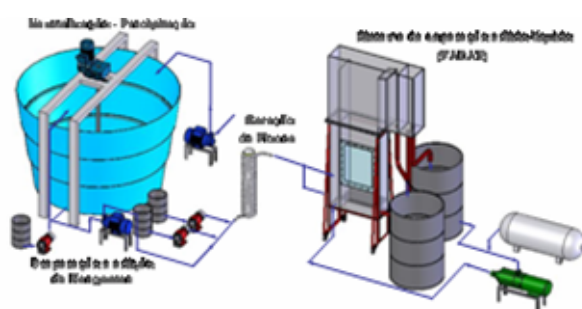


Figura 1. Estação piloto de tratamento (flotação) de DAM-SS-16-Criciúma-SC (~ 1 m³.h⁻¹)



Figura 2. Detalhe de célula FADAT operando com microbolhas gerada com bomba multifásica

2.4.2 Sedimentador de lamelas - O Sedimentador de Lamelas (SL) usado foi um sistema compacto de clarificação que tem sido aplicado com sucesso em diversos processos de tratamento de efluentes desde o início da década de 1970 (Di Bernardo, 1997). Consiste basicamente de placas inclinadas que propiciam uma redução na área efetiva quando comparado com um sistema de decantação convencional o que permite uma rápida remoção de suspensões flocculentas. O equipamento utilizado tem $0,19 \text{ m}^2$ de área na seção transversal e taxa de aplicação nominal de $7,0 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$.

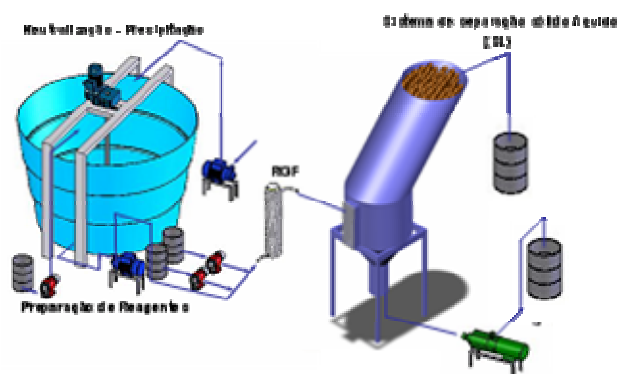


Figura 3. Fluxograma da estação piloto de tratamento (sedimentação) de DAM-SS-16-Criciúma-SC ($\sim 1 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$)

Figura 4. Detalhe do Sedimentador de lamelas empregado

3. Resultados e discussão

As figuras 5 à 7 mostram resultados de remoção dos íons Fe , Al e SO_4^{2-} e a qualidade da água tratada em pH's 9,0 e 12,0 para os sistemas de SL (sedimentação Lamelar) e FADAT (Flotação por Ar Dissolvido de alta taxa). Os resultados, todos, mostram elevados valores de remoção dos poluentes e contaminantes após neutralização, precipitação, floculação ou sedimentação.

As figuras ilustram uma equivalente eficiência para os sistemas comparados e os resultados tiveram um baixo grau de dispersão embora as variações normais em sistemas contínuos. A figura 7 apresenta os resultados do tratamento a pH 12 do sistema FADAT, ao longo do tempo e os resultados foram consistentes, com altos valores de remoção. Entretanto houve uma geração muito elevada de lodos (etringita) o que impossibilitou o uso do SL.

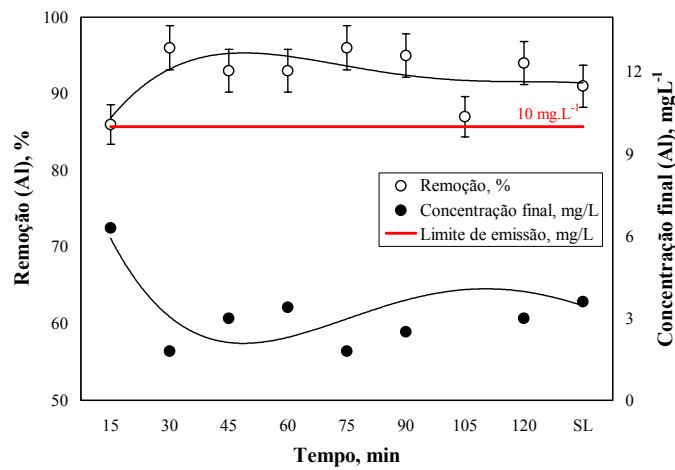


Figura 5. Resultados de concentração residual e remoção de Al a pH 9,0 em função do tempo (FADAT e SL).

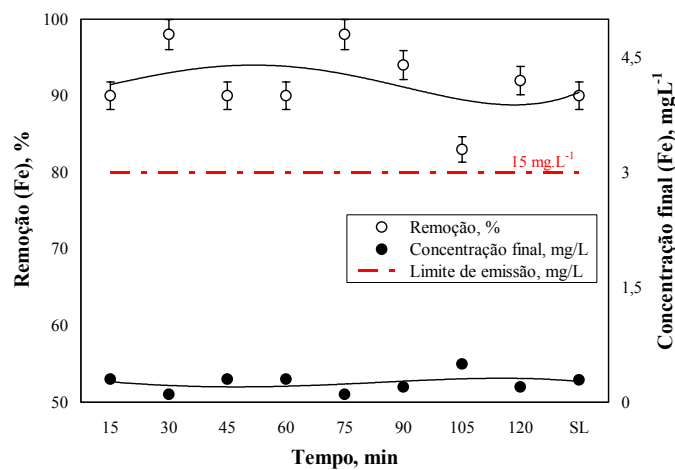


Figura 6. Resultados de concentração residual e remoção de Fe a pH 9,0 em função do tempo (FADAT e SL).

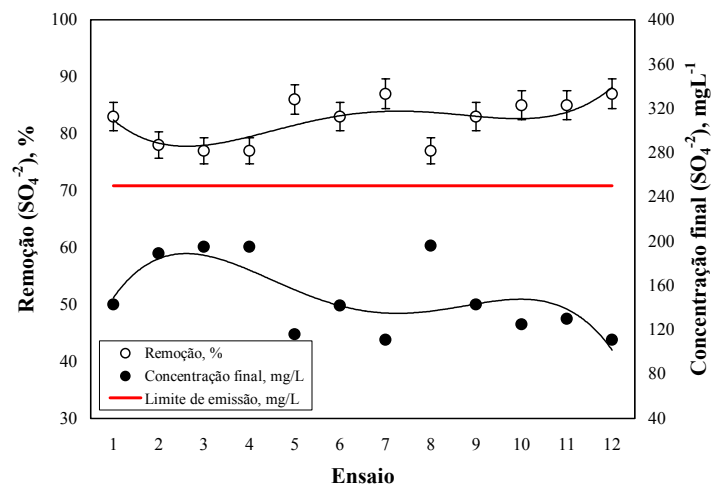


Figura 7. Resultados de concentração residual e remoção de SO_4^{2-} a pH 12,0 (FADAT).

4. Conclusões

O presente trabalho resume as atividades de tratamento para reciclo de águas ácidas oriundas de uma mina extinta de carvão em um município de Santa Catarina. As técnicas usadas foram a neutralização com cal, precipitação química (com sais poliméricos de Al no caso de remoção de íons sulfato) e a separação dos sólidos gerados foi realizada por flotação com microbolhas ou via sedimentação lamelar. Esses sistemas mostraram um bom potencial para o tratamento da DAM e aproveitamento da água na região, contribuindo para reduzir o impacto ambiental causado pela indústria da mineração. A água tratada poderá ser usada pela comunidade, carente deste recurso hídrico para fins de lavagem de pátios, ruas, carros, irrigação, entre outros.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os estudantes do LTM-UFRGS, ao SIECESC, a FAPERGS, ao CNPQ, a CAPES, Aquafлот S.A. e a Pan Americana S.A. pelo suporte e contribuição técnica ao trabalho.

Referências bibliográficas

- CARISSIMI, E., RUBIO, J. The Floccs Generator Reactor – FGR: a news basis for flocculation and solid-liquid separation. **International Journal of Mineral Processing**, 75, p. 237-247, 2005.
- CONAMA 54, 2005. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente de outubro de 2005.
- DI BERNARDO, L.; SOARES, C. A.; SCHULZ, H. E.; ROMA, W. N. L. Sedimentação de partículas discretas no trecho de transição em dutos de seção quadrada e retangular usados na decantação de alta taxa. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 2, n. 1, p. 190-197. 1997.
- MATLOCK, M.M., HOWERTON, B.S., ATWOOD, D.A. **Chemical precipitation of heavy metals from acid mine drainage**. *Water Research*, Vol.36, pp.4757 – 4764, 2002.
- MENEZES, C. T. B.; SANTO, E. L.; RUBIO, J.; DA ROSA, J. J.; LEAL Fº, L. S.; GALATO, S. L.; IZIDORO, G. Tratamento de drenagem ácida de mina: Experiência da Carbonífera Metropolitana. **XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, Florianópolis, SC. 15-18 de junho de 2004, vol. 1, Sessão 04 – Drenagem Ácida de Mina, p. 599-608.
- RODRIGUES, R. T., RUBIO, J. DAF - Dissolved Air Flotation: Potential Applications in the mining and mineral processing industry. **International Journal of Mineral Processing**, v. 82, p. 1-13, 2007.
- RUBIO, J. Aspectos ambientais no setor minero-metalúrgico. Em: Capítulo 13 do livro “**Tratamento de Minérios**”; A.B. da Luz, M.V. Possa e S. L. de Almeida (Eds), CETEM-CNPq-MCT, p.537-570, 1998a.
- RUBIO, J. Environmental applications of the flotation process. Em: **Effluent Treatment in the Mining Industry**. 389 p. (S.H.Castro, F. Vergara and M. Sanchez, Eds), University of Concepción-Chile, Chapter 9, p.335-364, 1998b.