

TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS (DAM) EM REATOR DE LEITO EMPACOTADO COM ESCÓRIA DE ACIARIA ELÉTRICA¹

Fábio Augusto do Amaral²
Antônio Cezar Faria Vilela³
Rejane Maria Candiota Tubino³
Ivo André Homrich Schneider³

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi estudar a neutralização da drenagem ácida de minas (DAM), utilizando a escória do forno panela de uma aciaria elétrica. Os experimentos foram conduzidos em um reator de leito empacotado, preenchido com a escória granulada. O efluente bruto e tratado foi analisado em termos de pH, concentração dos metais, dureza e toxicidade para peixes e microcrustáceos. A escória, antes e após o tratamento, foi analisada em relação ao potencial de neutralização, periculosidade conforme a NBR 10.004 e expansibilidade por hidratação de acordo com a norma ASTM C1260. Os resultados demonstraram que é possível tratar a DAM no reator de leito empacotado preenchido com escória de aciaria elétrica. Nas condições empregadas no presente trabalho, chegou-se a uma relação de volume de efluente tratado por volume de leito de escória de 24:1. O processo mostrou-se eficiente para a neutralização do pH e remoção dos metais Fe, Al, Zn e Mn. A escória, após emprego no processo de tratamento, apresentou uma menor alcalinidade e expansibilidade, proporcionando melhores condições para reuso como agregado.

Palavras-chave: Escória de aciaria; Drenagem ácida de minas; Tratamento de efluentes.

TREATMENT OF ACID MINE DRAINAGE (AMD) IN PACKED BED REACTOR USING ELECTRIC STEEL SLAG

Abstract

This work aimed to study the acid mine drainage (AMD) neutralization using an electric steel slag from a ladle furnace of an electric steel plant. The experiments were carried out in a packed bed reactor filled with granular slag. The effluent, before and after treatment, was analyzed in terms of pH, metals concentration, water hardness and toxicity for fishes and microcrustaceans. The slag, before and after treatment, was evaluated using parameters such as neutralization potential, hazardous according to NBR 10004, and ASTM C1260 hydration expansion test. The results proved that is possible to treat the AMD using a packed bed reactor filled with steel slag. In the conditions applied, it was reached a relationship of treated effluent per reactor volume bed of 24:1. The process proved to be efficient in pH neutralization and metals removal, such as Fe, Al, Zn and Mn. The slag, after the treatment, showed smaller alkalinity and expansion, providing better conditions to the utilization as aggregate.

Key words: Steel slag; Acid mine drainage; Effluent treatment.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *M.Sc., Engenheiro Metalúrgico, Doutorando do PPGEM, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, RS.*

³ *Prof.Dr.do Departamento de Metalurgia e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Endereço: UFRGS, Campus do Vale, Centro de Tecnologia, LEAmet, Av. Bento Gonçalves 9500, CEP: 91501-970, CP 15021, Porto Alegre, RS. E-mail: vilela@ufrgs.br; rejane.tubino@ufrgs.br, ivo.andre@ufrgs.br*

1 INTRODUÇÃO

A drenagem ácida de minas (DAM) é um sério problema ambiental enfrentado pelo setor da mineração. Segundo Kontopoulos,⁽¹⁾ a DAM resulta de reações químicas de sulfetos metálicos na presença de oxigênio e água. Esse tipo de poluição é comum em áreas de mineração de carvão, uma vez que a pirita e a marcassita (ambos FeS_2 , porém em formas cristalinas distintas) são encontradas nas jazidas de carvão.

Os poluentes da drenagem ácida de minas afetam a qualidade da água, baixando o pH, reduzindo a alcalinidade natural, aumentando a dureza total e acrescentando quantidades indesejáveis de ferro, manganês, alumínio, sulfatos e, eventualmente, outros metais pesados. Estas fontes permanecem ativas por décadas e até mesmo por séculos após a sua produção.⁽¹⁾

O problema de geração de acidez ocorre na mineração de carvão no sul do país, em especial no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A disposição inadequada de rejeitos gera grandes volumes de DAM, sendo esse um dos problemas ambientais enfrentados pelas carboníferas. Segundo Monteiro,⁽²⁾ é uma questão que vem requerendo estudos no sentido de encontrar soluções que venham minimizar os danos causados ao meio ambiente, pois um passivo ambiental foi deixado e a geração da drenagem ácida de mineração ainda não cessou.

Os métodos de controle da DAM podem ser classificados em métodos preventivos, de controle da migração e remediação.^(1,3) Entre os métodos de remediação, os mais aplicados para a redução de acidez são os drenos de calcário. O processo é simples e de baixo custo.⁽⁴⁾ Além do calcário, os drenos também podem ser construídos com outros materiais alcalinos, como escórias de siderurgia.^(3,5)

As escórias são co-produtos das aciarias responsáveis pela qualidade do aço. Atualmente não são mais consideradas resíduos sólidos, pois possuem valor econômico. Podem ser usadas de forma ambientalmente correta como alternativa a agregados naturais (brita e areia) e como matéria-prima ou insumo de processos industriais. Entre as diversas aplicações, destaca-se o uso como agregado para pavimentação, lastro para ferrovias, artefatos de concreto, produção de cimentos, corretivos e fertilizantes de solos, material de retorno na aciaria, entre outras⁽⁶⁾. Porém, as escórias do forno-panela, que apresentam em particular uma alta expansibilidade, são preteridas como agregado para a construção civil e atividades afins. Em muitos casos são ainda destinadas a aterros. Entretanto, como apresentam uma alta alcalinidade, podem ser considerados materiais promissores como agentes neutralizantes da DAM.

Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a neutralização da drenagem ácida de minas (DAM) pela percolação do efluente em um reator de leito empacotado preenchido com escória de aciaria elétrica do forno-panela. A eficiência do tratamento foi avaliada por parâmetros físico-químicos e ecotoxicológicos de qualidade da água. Ainda, investigou-se as características de neutralização, periculosidade e expansibilidade da escória antes e após sua aplicação no tratamento da DAM.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A drenagem ácida de minas foi coletada em um depósito de rejeitos de carvão conhecido como “Capão da Roça”, situado no município de Charqueadas, Rio

Grande do Sul. Essa área recebeu rejeitos de mineração de carvão por anos e atualmente encontra-se em processo de recuperação ambiental

A escória de aciaria utilizada neste trabalho foi fornecida pela empresa Gerdau Riograndense, localizada no município de Sapucaia do Sul. A coleta da escória seguiu os procedimentos de amostragem em pilhas da NBR 10007⁽⁷⁾. As amostras foram levadas ao Laboratório de Estudos Ambientais para a Metalurgia (LEAmet), localizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, para realização das operações de quarteamento, cominuição e secagem.

A amostra de escória foi cominuída para a granulometria entre 6,35 e 1,00 mm para colocação no sistema de reator de leito empacotado para o tratamento da DAM. Para as análises químicas, parte do material foi cominuído para granulometria inferior a 0,149 mm.

A análise do potencial de neutralização da escória foi realizada pelo método contabilização de ácidos e bases (ABA método tradicional), de acordo com Sobek⁽⁸⁾. O objetivo foi determinar o balanço entre a produção de acidez (AP) e consumo de acidez (potencial de neutralização, NP), pelos componentes minerais da escória do forno-panela.

A Figura 1 apresenta o sistema de tratamento utilizado para o tratamento da drenagem ácida de minas em reator de leito empacotado. O sistema foi composto por um tanque de alimentação, com capacidade de 60 litros, com a função de manter constante o fluxo do efluente no reator de leito empacotado. O reator utilizado apresentava as dimensões de 0,80 m de altura e de 0,05 m de raio, com capacidade volumétrica útil de 6,3 L. Foi projetado para funcionamento em fluxo ascendente. Empregaram-se 7,85 kg de escória no procedimento. Considerando que a massa específica da escória utilizada é 1,4 kg/L, o volume ocupado de escória foi de 4,9 L. O tanque de armazenamento, com capacidade de 120 litros, tinha função de equalização do efluente tratado e de decantação de eventuais precipitados não retidos no meio poroso.

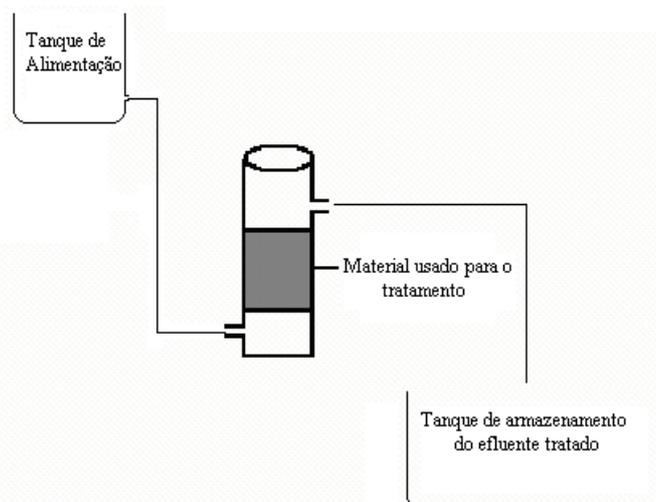


Figura 1. Sistema utilizado para a neutralização da drenagem ácida de minas em reator de leito empacotado.

A vazão de entrada do efluente, de 20 mL/min, foi controlada por uma torneira instalada no tanque de alimentação, adaptada com base em estudos realizados por Santomartino e Webb.⁽⁹⁾ O controle e o ajuste da vazão foi realizado periodicamente, através de cronometragem do tempo para enchimento de uma proveta de 100 mL. O

monitoramento do pH do meio ocorreu em três pontos: (a) entrada do sistema, (b) saída do reator e (c) tanque de armazenamento. As medidas foram realizadas a aproximadamente cada 10L de efluente extravasado do sistema de reator de leito empacotado. O parâmetro para determinar o encerramento do experimento foi o valor de pH 6,5 no tanque de armazenagem, escolhido por estar dentro da faixa permitida para descarte de efluentes segundo a resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul.⁽¹⁰⁾

As análises realizadas na drenagem ácida bruta e tratada estão resumidas na Tabela 1 e seguiram os procedimentos do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*.⁽¹¹⁾ As análises ecotoxicológicas foram realizadas com o microcrustáceo *Daphnia magna* e *Daphnia similis* e com o peixe *Pimephales promelas*. A avaliação foi qualitativa em termos de presença ou ausência de toxicidades. Os ensaios seguiram a metodologia OECD 202⁽¹²⁾ e OECD 203,⁽¹³⁾ respectivamente. Todas as análises foram feitas em triplicata.

Tabela 1. Métodos de análise físico químicos, equipamentos, limites de detecção.

Análise	Método	Equipamento	Limite de detecção
pH	Potenciométrico	pHmetro digital Digimed	0,1
Acidez	Titulométrico	pHmetro digital Digimed	-
Alumínio	Absorção atômica	Varian AA1275	0,002 µg/ml
Ferro	Absorção atômica	Varian AA1275	0,005 µg/ml
Manganês	Absorção atômica	Varian AA1275	0,003 µg/ml
Zinco	Absorção atômica	Varian AA1275	0,002 µg/ml
Cromo	Espectrometria a plasma (IPC)	OTIMA 3.000 DV	0,004 mg/L
Cálcio	Espectrometria a plasma (IPC)	OTIMA 3.000 DV	0,1 mg/L
Magnésio	Espectrometria a plasma (IPC)	OTIMA 3.000 DV	0,04 mg/L
Condutividade	Medida direta	Handy Lab LF1	0,1 µmS/cm
Sulfato	Turbidimétrico	Turbidímetro TB 1000	0,1 mg/L
Dureza	Titulométrico	Bureta manual	0,1 mg/L

Para a avaliação das características da escória do forno-panela antes e após o tratamento da DAM, visando viabilizar um possível reuso, foram realizadas análises de Fluorescência de raios X, através de Espectrometria de fluorescência de Raios-X com equipamentos Rigaku RIX 2000 automático e Rigaku 400 manual. Determinou-se também a periculosidade da escória, através do ensaio de lixiviação e solubilização de acordo com a Norma Brasileira NBR 10.004.^(14,15,16) Por fim, mediu-se a expansibilidade da escória conforme norma ASTM C 1260,⁽¹⁷⁾ pela imersão de 4 barras de uma mistura de argamassa com escória em água a 80°C por 15 dias, realizando medidas diárias da expansibilidade através de um relógio de precisão (Figura 2). O limite de expansão médio para este ensaio não pode ultrapassar 0,1%.



Figura 2. Medição da expansibilidade da barra.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 demonstra a evolução do pH no tanque de armazenagem e na saída do reator de leito empacotado, durante o processo de neutralização da DAM com escória do forno-panela. O pH da DAM, que inicialmente era de 2,3 chega a 12 por efeito da alcalinidade presente na escória. Com o decorrer do tempo, a alcalinidade da escória vai sendo consumida e o pH do efluente aos poucos vai decrescendo. O experimento foi mantido até que o pH no tanque de armazenamento chegou a pH 6,5, considerado adequado para descarte.

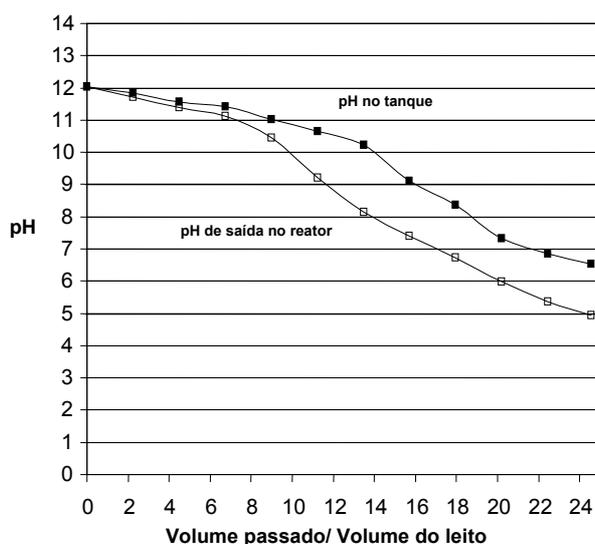


Figura 3. Neutralização da DAM em reator de leito empacotado com escória.

As características gerais da DAM bruta e tratada estão resumidas na Tabela 2. Verifica-se que o sistema foi eficiente no que diz respeito à correção de pH e remoção de metais. As concentrações de ferro, alumínio, zinco e manganês sofreram grande redução, favorecida pelos valores altos e constância de pH obtida durante a neutralização. As análises demonstraram que a presença destes metais foi diminuída a níveis admissíveis para descarte. A condutividade do efluente apresentou uma redução muito pequena em seu valor. A dureza do efluente tratado foi aumentada pelo aumento da concentração de Ca e Mg após a neutralização no reator de leito empacotado.

Tabela 2. Análises realizadas na DAM antes e após a neutralização em reator de leito empacotado.

Parâmetro	DAM	DAM	Valores máximos de emissão CONSEMA (128/06) ⁽¹⁰⁾
	Bruta	Após trat. c/ Escória	
pH	2,3	6,5	Entre 6,0 e 9,0
Acidez (mg CaCO ₃ /L)	1015	-	-
Fe (mg/L)	302,68	0,42	10
Al (mg/L)	5,66	ND	10
Zn (mg/L)	0,50	0,01	2
Mn (mg/L)	4,99	ND	1
Cr (mg/L)	0,012	<0,004	0,5
Ca (mg/L)	423,0	1236,0	-
Mg (mg/L)	37,0	59,0	-
Sulfato (mg/L)	2082,8	1789,7	-
Condutividade (µs/cm)	2975,4	2700	-
Dureza (mg/L Ca CO ₃)	956	2250	-

ND: Não detectado.

Os resultados do ensaio de toxicidade, apresentados na Tabela 3, demonstram que a DAM bruta é letal aos organismos testados. Entretanto, após o tratamento, todos os organismos submetidos ao efluente sobreviveram ao ambiente, comprovando que a correção de pH e remoção de metais tem um efeito benéfico no sentido de recuperação dos recursos hídricos.

Tabela 3. Análise da toxicidade da DAM com o peixe *Pimephales promelas* e os microcrustáceos *Daphnia magna* e *Daphnia similis*

Amostra	Toxicidade		
	Peixe	<i>D. magna</i>	<i>D. similis</i>
Antes do tratamento	‡ <8h	‡ <20h	‡ <8h
Tratada com escória em reator de leito empacotado	Vivos 96h	Vivos 48h	Vivos 48h

‡ Mortos

Após o término do experimento, notou-se a formação de uma camada de hidróxido de ferro uniforme sobre todo material. A diferença da escória antes e após a neutralização da DAM pode ser visualizada na Figura 4.

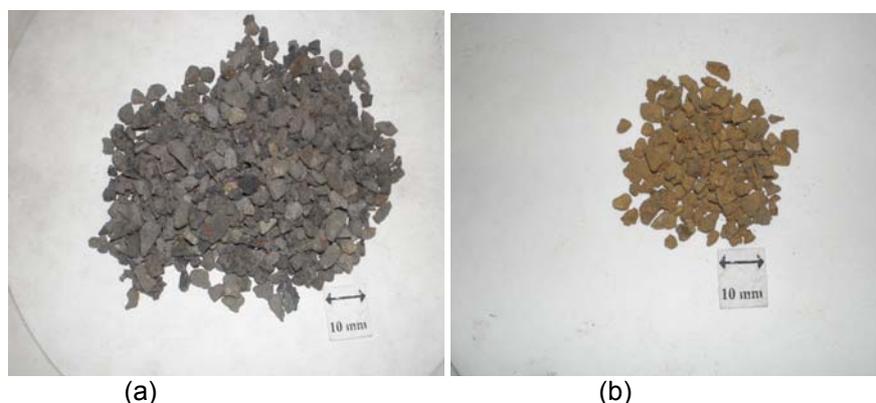


Figura 4. (a) Escória antes e (b) após o tratamento da DAM em reator de leito empacotado.

Os valores do potencial de neutralização (NP) da escória, antes e após o tratamento, estão resumidos na Tabela 4. O NP inicial da escória foi medido em

456,15 kg CaCO₃/t, o que corresponderia a 45,6% da capacidade de neutralização do carbonato de cálcio puro. Os valores estão coerentes com dados apresentados por Skousen et al⁽³⁾, que descrevem que o potencial de neutralização de escórias pode variar de 400 a 950 kg CaCO₃/t de amostra. Como o potencial de neutralização do material após o tratamento foi medido em 415,4 kg CaCO₃/t de escória, verifica-se que somente parte da alcalinidade foi consumida. Presume-se que o depósito de hidróxido de ferro diminuiu a vida útil do sistema. Esse fato foi relatado nos estudos de Santomartino e Webb⁽⁹⁾ com calcário, devido à grande concentração de ferro no efluente. Segundo os autores, uma possível solução seria uma agitação mecânica a ser realizada dentro do reator.

Tabela 4. Propriedades da escória antes e depois do tratamento no reator de leito empacotado.

Parâmetro	Escória – antes	Escória – depois
Massa (g)	7850	7870
NP (kg CaCO ₃ /t de amostra)	456,15	415,4

Mesmo com esse empecilho, os resultados obtidos foram considerados bons em relação à correção de pH e remoção de metais. Não foi detectado nenhum problema em relação a caminhos preferenciais no reator. O volume de efluente tratado ficou muito abaixo do que o potencial de neutralização da escória pode oferecer. O comportamento do pH e a uniformidade da passagem da DAM pelo material alcalino, garantida pelo sistema de fluxo vertical ascendente, possibilitaram uma melhor precipitação dos metais, diminuindo sua concentração no efluente. Outro aspecto do método de reator de leito empacotado de fluxo ascendente é que não foi gerado lodo no tanque de armazenagem, ficando este depositado sobre a escória no interior do reator.

O resultado das análises de fluorescência de raios X realizadas na escória antes e após o tratamento está apresentado na Tabela 5. Pode-se observar que as mudanças mais significativas notadas foram um aumento de aproximadamente 3% na concentração do Fe e uma redução desta mesma magnitude do cálcio e do magnésio após a neutralização do efluente. Os outros elementos presentes na amostra não sofreram nenhum efeito significativo da passagem do efluente.

Tabela 5. Composição para elementos maiores da escória do forno-panela, em porcentagem.

	Escória antes do tratamento	Escória após tratamento
Si	14,88	13,88
Al	0,89	0,91
Ti	0,31	0,33
Fe	4,96	7,33
Mn	2,31	2,41
Ca	24,8	21,88
Mg	6,94	3,27
Na	ND	ND
K	ND	ND
P	0,12	0,18

ND: Não detectado.

Os ensaios de lixiviação e solubilização não apresentaram nenhuma diferença de resultado antes ou após a neutralização do efluente, ou seja, o tratamento não gerou uma modificação na periculosidade do material (Tabelas 6 e 7). A escória foi classificada como resíduo não perigoso – classe II-a, não inerte.

Tabela 6. Resultados do ensaio de lixiviação conforme NBR 10005 ⁽¹⁵⁾

Parâmetros(mg/L)	Antes do tratamento	Depois do tratamento	Limites máximos (mg/L)
Arsênio	ND	ND	1,0
Bário	ND	ND	70,0
Cádmio	ND	ND	0,5
Chumbo	ND	ND	1,0
Cromo Total	ND	ND	5,0
Mercúrio	ND	ND	0,1
Fluoreto	ND	ND	150,0
Prata	ND	ND	5,0
Selênio	ND	ND	1,0

ND: Não detectado.

Tabela 7. Resultados do ensaio de Solubilização conforme NBR 10006 ⁽¹⁶⁾

Parâmetros(mg/L)	Antes do tratamento	Depois do tratamento	Limites máximos (mg/L)
Dureza(mg/L CaCO ₃)	62,8	264,2	500,0
Fenóis totais	ND	ND	0,001
Mercúrio	ND	ND	0,001
Arsênio	ND	ND	0,01
Bário	ND	ND	0,7
Cádmio	ND	ND	0,005
Chumbo	ND	ND	0,01
Cromo Total	ND	ND	0,05
Alumínio	ND	ND	0,2
Ferro	ND	ND	0,3
Manganês	ND	ND	0,1
Sódio	2,9	4,5	200,0
Zinco	ND	ND	5,0
Cobre	ND	ND	2,0
Prata	ND	ND	0,05
Selênio	ND	ND	0,01
Cianeto	ND	ND	0,07
Fluoreto	ND	ND	1,5
Nitrato	ND	ND	10,0
Cloreto	6,8	6,8	250,0
Sulfato	84,8	254,0	250,0
Surfactantes	ND	ND	0,5

Pode-se averiguar, pela Tabela 6, que não houve lixiviação de nenhum dos elementos estudados. Na tabela 7, são apresentados os resultados de solubilização. Apenas o valor do sulfato aferido na escória após o tratamento da DAM excedeu os limites máximos. Isso pode ser explicado pelo procedimento de recolhimento da escória úmida e secagem a 60°C em estufa. O sulfato fica adsorvido na escória (efeito esponja). Após a colocação na água para o ensaio de solubilização, o sulfato foi solubilizado.

Por fim, a Figura 5 demonstra os resultados de expansibilidade conforme a norma ASTM C1260.⁽¹⁷⁾ A escória antes do tratamento da DAM foi classificada como expansiva. Os óxidos de Mg e o Ca sofrem hidratação em contato com a água e causam aumento do volume das barras. Nas barras ensaiadas com a escória pós-tratamento, observou-se uma redução da característica expansiva do material, ficando abaixo do limite estabelecido e, portanto, sendo classificada como não expansiva. A redução de Ca e Mg, observadas através da fluorescência, pode explicar a redução das características expansivas da escória após a neutralização da DAM.

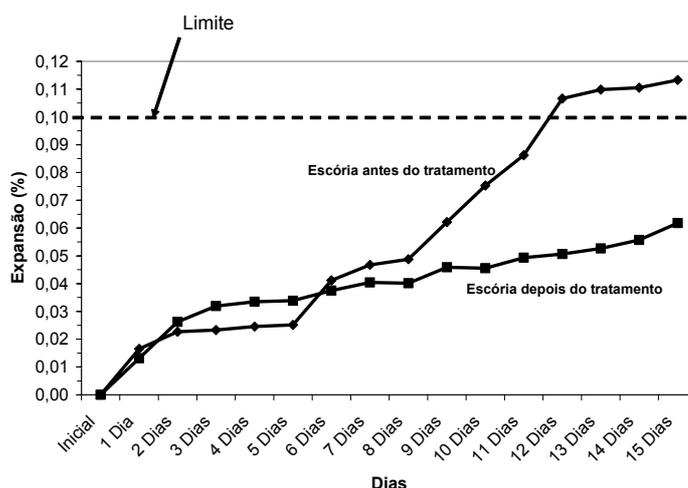


Figura 5. Média de expansibilidade da escória do forno-panela.

4 CONCLUSÕES

Os ensaios realizados com a escória do forno-panela no reator de leite empacotado demonstraram que esse material possui alta basicidade. O lixiviado apresentou inicialmente um valor de pH próximo a 12, que decresceu com o passar do tempo. Nas condições empregadas no presente trabalho, chegou-se a uma relação de volume de efluente tratado por volume de leite de escória de 24:1. A equalização do efluente de saída permitiu que o efluente seja descartado na faixa neutra de pH com a remoção dos metais Fe, Al, Mn e Zn. A drenagem ácida de minas apresentou-se tóxica para os microcrustáceos *Daphnia magna*, *Daphnia similis* e o peixe *Pimephales promelas*. O tratamento no reator com escória permitiu que o efluente não apresentasse toxicidade para essas espécies. O recobrimento das partículas por hidróxidos metálicos na superfície da escória do forno-panela reduziu a vida útil do sistema e o volume de efluente tratado. O ensaio de expansibilidade demonstrou que a escória do forno-panela antes do tratamento da DAM apresentava característica expansiva. Após o uso na neutralização do efluente, a expansão da escória foi menor do que o limite estabelecido pela ASTM C1260,⁽¹⁷⁾ e assim foi caracterizada como não expansiva, talvez viabilizando sua utilização como agregado na construção civil, enfatizando-se a necessidade de estudos mais detalhados do influência da DAM neste agregado. A escória do forno-panela é um material alcalino disponível no Rio Grande do Sul e atualmente é descartado em aterros. Os estudos realizados neste trabalho permitiram concluir que o uso de escórias do forno-panela para neutralização de DAM é uma solução possível no sentido de melhorar a qualidade da água em depósitos de rejeitos de carvão.

A principal vantagem obtida com este tratamento foi a possibilidade de interação entre dois problemas ambientais que, inseridos neste sistema, sofrem uma melhoria, podendo ser reaproveitados sem danos ao meio ambiente e aos seres vivos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Gerdau, CNPq e CAPES pelos recursos financeiros disponibilizados, indispensáveis para o desenvolvimento da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 KOUTOPOULOS, A. Acid mine drainage control. In: Effluent Treatment in the Mining Industry. Castro, S.H.; Vergara, F.; Sánchez, M.A.; (Eds.). University of Concepción, 1998.
- 2 MONTEIRO, K.V. Carvão: O Combustível de Ontem. Porto Alegre: Núcleo Amigos da Terra, 82p., 2004.
- 3 SKOUSEN, J. et al. A handbook of technologies for avoidance and remediation of acid mine drainage. West Virgínia, West Virgínia: University and the National Mine Land Reclamation Center, 1998.
- 4 CRAVOTTA, C.A.; TRAHAN, M. Limestone drains to increase pH and remove dissolved metals from acid mine drainage. Applied Geochemistry, v.14, p.581-606, 1999.
- 5 SIMMONS J., ZIEMKIEWICZ, P., BLACK D.C. Use of steel slag leach beds for the treatment of acid mine drainage. Mine Water and the Environment, v. 21, p. 91-99, 2002.
- 6 VILELA, A. C. F. Geração e processamento da escória de aciaria e sua transformação em agregado siderúrgico. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM (workshop - o agregado siderúrgico- da geração nas aciarias à utilização ambientalmente sustentável), São Paulo, 2006.
- 7 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Amostragem de resíduo: procedimento. NBR – 10.007. Rio de Janeiro: nov., 2004.
- 8 SOBEK, A.A., et al. Field and Laboratory Methods Applicable to Overburden and Minesoils, EPA 600/2-78-054, 1978.
- 9 SANTOMARTINO, S., WEBB, J.A., Estimating the longevity of limestone drains in treating acid mine drainage containing high concentrations of iron. Applied Geochemistry, 2007.
- 10 SECRETARIA DA SAÚDE E DO MEIO AMBIENTE – RS. Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA). Resolução N° 128/2006. Porto Alegre, 24 de novembro de 2006.
- 11 AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA.. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21^a ed. Washington D.C.: APHA-AWWA-WEF, 2005.
- 12 ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD 202, 2000, Revised Proposal for updating Guideline 202. *Daphnia* sp. Acute Immobilisation Test. Revised Draft Document. OECD 2000.

- 13 ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD 203 (1992). Fish, acute toxicity test. OECD Guidelines for Testing of Chemicals, 1992.
- 14 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos: classificação. NBR – 10.004. Rio de Janeiro: nov., 2004.
- 15 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Lixiviação de resíduos: procedimento. NBR – 10.005. Rio de Janeiro: nov., 2004.
- 16 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solubilização de resíduos: procedimento. NBR – 10.006. Rio de Janeiro: nov., 2004.
- 17 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (Mortar-Bar Method) – ASTM C 1260. 1994.