

Avaliação da influência do tipo de solo utilizado como blend na cinética de geração de drenagem ácida de um rejeito de mineração

Evaluation of the influence of the type of soil used as blend on the kinetics of acid drainage generation of a mining tailings

DOI: 10.34188/bjaerv5n2-087

Recebimento dos originais: 20/01/2022

Aceitação para publicação: 31/03/2022

Raíssa Rodrigues Pereira

Bacharel em Engenharia Ambiental pela Faculdade FINOM

Instituição: Campo Análises Ltda

Endereço: Rua Lindolfo Garcia Adjuto, nº 1000 - Alto do Córrego, Paracatu - MG, Brasil

E-mail: raissa.pereira@campoanalises.com.br

Fernando José Vilela

Doutor em Química Tecnológica pela Universidade de Brasília

Instituição: Campo Análises Ltda

Endereço: Rua Lindolfo Garcia Adjuto, nº 1000 - Alto do Córrego, Paracatu - MG, Brasil

E-mail: fernando.vilela@campoanalises.com.br

Geraldo Jânio Eugênio de Oliveira Lima

Mestre em Ciência dos Solo pela Universidade de Lavras

Instituição: Campo Análises Ltda

Endereço: Rua Lindolfo Garcia Adjuto, nº 1000 - Alto do Córrego, Paracatu - MG, Brasil

E-mail: geraldo.lima@campoanalises.com.br

Fernanda Pires de Melo Gonçalves

Bacharel em Ciência e Tecnologia e Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Instituição: Campo Análises Ltda

Endereço: Rua Lindolfo Garcia Adjuto, nº 1000 - Alto do Córrego, Paracatu - MG, Brasil

E-mail: fernanda.pires@campoanalises.com.br

RESUMO

A drenagem ácida de mina é conhecida como um dos impactos ambientais mais severos e duradouros existentes na mineração. Este fenômeno pode ocorrer de forma natural e lenta, entretanto, quando atividades de mineração expõem o material sulfetado, a cinética da reação é acelerada. Tecnologias para prevenção e mitigação da drenagem ácida de mina são utilizadas visando a desaceleração do processo. Para minimizar este impacto ambiental, é necessário prever o potencial de geração da drenagem ácida e a velocidade na qual a mesma pode acontecer, permitindo assim um planejamento de disposição adequado para cada tipo de material. Para isto, testes estáticos e cinéticos são utilizados para auxiliarem na decisão de quais medidas corretivas ou preventivas devem ser tomadas. Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar a cinética de formação da drenagem ácida de mina diante da disposição de um minério sulfetado junto a solos com diferentes teores de argila, areia e silte. A amostra de rejeito utilizada apresentava potencial para geração ácida e, ao final de 20 semanas de teste, foi possível concluir que nos blends de solo argiloso com até 50% de rejeito, a cinética de geração de drenagem ácida foi diminuída.

Palavras-chave: drenagem ácida de mina, técnica de disposição, minério sulfetado, solo.

ABSTRACT

Acid mine drainage is known as one of the most severe and lasting environmental impacts in mining. This phenomenon can occur naturally and slowly, however, when mining activities expose the sulfide material, the kinetics of the reaction is accelerated. Technologies for prevention and mitigation of acid mine drainage are used to slow down the process. To minimize this environmental impact, it is necessary to predict the potential for generating acid drainage and the speed at which it can happen, thus allowing adequate disposal planning for each type of material. For this, static and kinetic tests are used to assist in deciding which corrective or preventive measures should be taken. Therefore, this study aimed to evaluate the kinetics of formation of acid mine drainage before the arrangement of a sulfide ore next to soils with different levels of clay, sand and silt. The tailings sample used had the potential for acid generation and, at the end of 20 weeks of testing, it was possible to conclude that in clay soil blends with up to 50% tailings, the kinetics of acid drainage generation was decreased.

Keywords: acid mine drainage, disposal technique, sulfide ore, soil.

1 INTRODUÇÃO

A indústria minerária é um dos principais setores da economia que sofre com a crescente imposição de alta produtividade associada à baixos impactos ambientais. As etapas de extração e beneficiamento do minério contam, em algumas minas, com um dos problemas ambientais mais severos decorrente da exposição do material sulfetado e geração de rejeitos de minério, a drenagem ácida de mina.

A Drenagem Ácida de Mina (DAM) é um processo químico que ocorre naturalmente, contudo atividades que demandam grandes movimentações de terras aceleram seu processo [1, 2]. A cinética da drenagem ácida é função das concentrações de sulfetos, oxigênio e água, sendo por vezes, catalisada biologicamente. Após formada, o tratamento da DAM é oneroso e demanda tempo, desta forma sua gestão deve objetivar a prevenção e mitigação [3].

A prevenção e mitigação da drenagem ácida são possíveis a partir de técnicas escolhidas com base na avaliação de fatores físicos e químicos do material e também ambientais [4]. Estratégias como minimizar a entrada de oxigênio e reduzir o fluxo de água a partir da construção de coberturas com baixa permeabilidade, reprocessamento e compactação de minérios e formação de misturas entre materiais alcalinos que garantem a neutralização da acidez gerada devem ser bem avaliadas antes de implementadas, considerando os custos que poderão impactar na viabilidade do projeto [5].

A disposição controlada do rejeito de minério é uma necessária estratégia de controle. A disposição de material com potencial de geração de drenagem ácida com outro material com potencial de neutralização é uma prática mundialmente conhecida. Além do potencial de neutralização, bastante discutido na literatura, não existem trabalhos avaliando o efeito da mistura do resíduo com solo, assim como de seus constituintes argilosos, na cinética da reação, já que, a

presença de uma elevada capacidade de troca catiônica e aniônica e sítios de adsorção podem alterar a cinética das reações de drenagem ácida.

2 OBJETIVO

Este trabalho objetivou avaliar o efeito de solos com diferentes teores de argila, areia e silte, quando disposto juntamente com um minério sulfetado, na cinética de formação da Drenagem Ácida de Mina.

3 METODOLOGIA

Para este estudo foi realizado o teste estático MABA para verificar quanto ao potencial de geração de drenagem ácida da amostra de rejeito. Após resultado positivo, foi montada uma bancada com nove colunas de drenagem livre [6] para conhecer a cinética da geração de drenagem ácida de um rejeito de mineração composto a solos de diferentes texturas, sendo um arenoso, classificado como neossolo flúvico eutrófico + gleissolo melânico distrófico / gleissolo háplico distrófico (RUbe1) e o outro argiloso, classificado como latossolo vermelho-amarelo distrófico (LVAd1), em diferentes proporções. A Tabela 01 apresenta as proporções de rejeito e solos adicionados a cada coluna.

Tabela 01 Proporções de rejeitos e solos

ID da Coluna	Amostra	Quantidade de Solo (kg)	Quantidade de Rejeito (kg)	Proporção Solo:Rejeito (%)
S_arg_0	Solo Argiloso	1,0	0	100:0
S_arg_0,25	Solo Argiloso	0,750	0,250	75:25
S_arg_0,50	Solo Argiloso	0,500	0,500	50:50
S_arg_0,75	Solo Argiloso	0,250	0,750	25:75
S_are_0	Solo Arenoso	1,0	0	100:0
S_are_0,25	Solo Arenoso	0,750	0,250	75:25
S_are_0,5	Solo Arenoso	0,500	0,500	50:50
S_are_0,75	Solo Arenoso	0,250	0,750	25:75
Resíduo	Rejeito	0	1,0	0:100

O teste ocorreu com alternância de ciclos úmidos e secos, onde nos ciclos úmidos adicionou-se uma alíquota de 400 mL de água destilada em cada coluna. Durante um período de 24 horas o efluente lixiviado foi coletado e posteriormente analisado seus parâmetros químicos e físico-químicos. No ciclo seco cada coluna deixou de receber adição de água por um período de seis dias. No sétimo dia os procedimentos para o ciclo úmido foram repetidos conforme descritos anteriormente. Estes ciclos foram reproduzidos por 20 semanas. Os lixiviados foram analisados em relação aos parâmetros pH, sulfato, cálcio e magnésio dissolvidos.

Para medição de pH foi utilizado o equipamento da marca Hanna, modelo HI 2221. Nas análises de sulfato foi utilizado o método colorimétrico por espectrofotometria, ajustado a comprimento de onda na faixa 450 nm conforme metodologia Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4110, 23ª edição. As determinações dos metais cálcio e magnésio dissolvidos foram realizadas por Espectrofotometria de Emissão em Plasma - ICP/EOS, utilizando o equipamento Agilent 5800.

4 RESULTADOS

Para melhor avaliação do efeito do efeito do solo quando disposto juntamente com o resíduo, deve-se avaliar cada proporção da mistura separadamente.

Os resultados dos lixiviados das vinte semanas das amostras de solo argiloso (S_ARG), solo arenoso (S_are) e Resíduo estão apresentados na Tabela 02.

Tabela 02 Resultados de pH, sulfato, cálcio e magnésio dissolvido durante 20 semanas nas amostras S_ARG_0 e S_ARE_0

Parâmetro	Amostra	Semana 1	Semana 5	Semana 10	Semana 15	Semana 20
pH	S_ARG_0	7,04	6,87	6,98	7,79	7,18
pH	S_ARE_0	6,74	7,21	6,89	7,88	6,92
pH	RESÍDUO	7,33	6,8	5,32	5,53	4,68
Sulfato (mg/kg)	S_ARG_0	3	10	26	33	43
Sulfato (mg/kg)	S_ARE_0	20	46	98	121	132
Sulfato (mg/kg)	RESÍDUO	4.750	23.394	25.158	30.539	35.108
Cálcio (mg/kg)	S_ARG_0	4	14	32,05	48,4	73,88
Cálcio (mg/kg)	S_ARE_0	16	145	231	342	390
Cálcio (mg/kg)	RESÍDUO	3	15	198	1.023	1.961
Magnésio (mg/kg)	S_ARG_0	4	14	52	75	98
Magnésio (mg/kg)	S_ARE_0	4	14	48	76	120
Magnésio (mg/kg)	RESÍDUO	2	10	33	101	182

Como é possível observar na Tabela 02, na semana 1 as amostras de S_ARG, S_ARE e RESÍDUO apresentaram um pH neutro, enquanto que, após 20 semanas de ensaio, a amostra do resíduo apresentou um pH de 4,68, evidenciando o seu potencial para geração de drenagem ácida, e os solos S_ARG_0 e S_ARE_0 continuaram apresentando pH próximo a neutralidade. Já quando se avalia os teores de sulfato, observa-se que, desde a primeira semana a amostra de resíduo apresentou maiores teores no lixiviado, o que persistiu até a semana 20. Este sulfato presente no lixiviado é resultado da oxidação dos sulfetos presentes na amostra, o qual, na presença de água e oxigênio foi oxidado a sulfato e gerando acidez, corroborando com os resultados obtidos para o pH

do extrato lixiviado. As amostras de solos S_ARG_0 e S_ARE_0 apresentaram baixa lixiviação de sulfato, sendo estes já presentes no solo.

Avaliando os resultados de cálcio e magnésio, observa-se que a amostra de resíduo apresentou uma maior lixiviação de ambos os cátions, sendo que, para o cálcio os teores foram bastante superiores aos das amostras de S_ARG_0 e S_ARE_0. A presença destes cátions no lixiviado indicam a presença destes metais no resíduo, os quais, apesar de geralmente estarem relacionados a um potencial de neutralização, não foram suficientes para impedir a redução do pH em função da geração de H⁺ da oxidação dos sulfetos, conferindo ao resíduo uma característica de gerador de acidez.

Os resultados das análises do lixiviado nas propostas 25% resíduo / 75% de solo, 50% resíduo / 50% de solo e 75% resíduo / 25% de solo estão apresentados nas Tabelas 03, 04 e 05, respectivamente.

Tabela 03 Resultados de pH, sulfato, cálcio e magnésio dissolvido durante 20 semanas nas amostras S_ARG_0,25 e S_ARE_0,25

Parâmetro	Amostra	Semana 1	Semana 5	Semana 10	Semana 15	Semana 20
pH	S_ARG_0,25	5,97	5,84	6,36	7,69	6,2
pH	S_ARE_0,25	5,99	7,25	6	3,81	3,95
pH	RESÍDUO	7,33	6,8	5,32	5,53	4,68
Sulfato (mg/kg)	S_ARG_0,25	9.212	16.533	18.498	19.257	20.020
Sulfato (mg/kg)	S_ARE_0,25	6.646	13.949	15.746	17.023	18.352
Sulfato (mg/kg)	RESÍDUO	4.750	23.394	25.158	30.539	35.108
Cálcio (mg/kg)	S_ARG_0,25	44	204	566	79	1.023
Cálcio (mg/kg)	S_ARE_0,25	138	670	1.132	1.625	1.753
Cálcio (mg/kg)	RESÍDUO	3	15	198	1.023	1.961
Magnésio (mg/kg)	S_ARG_0,25	20	103	186	242	283
Magnésio (mg/kg)	S_ARE_0,25	20	100	145	206	227
Magnésio (mg/kg)	RESÍDUO	2	10	33	101	182

Tabela 04 Resultados de pH, sulfato, cálcio e magnésio dissolvido durante 20 semanas nas amostras S_ARG_0,50 e S_ARE_0,50

Parâmetro	Amostra	Semana 1	Semana 5	Semana 10	Semana 15	Semana 20
pH	S_ARG_0,50	6,23	5,78	5,86	6,64	6,37
pH	S_ARE_0,50	6,82	6,65	6,5	5,46	4,36
pH	RESÍDUO	7,33	6,8	5,32	5,53	4,68
Sulfato (mg/kg)	S_ARG_0,50	27.796	39.974	47.263	49.063	49.974
Sulfato (mg/kg)	S_ARE_0,50	27.918	35.710	42.581	46.490	48.991
Sulfato (mg/kg)	RESÍDUO	4.750	23.394	25.158	30.539	35.108
Cálcio (mg/kg)	S_ARG_0,50	396	1.449	3.312	3.855	4.215
Cálcio (mg/kg)	S_ARE_0,50	246	832	2.569	4.154	4.552
Cálcio (mg/kg)	RESÍDUO	3	15	198	1.023	1.961
Magnésio (mg/kg)	S_ARG_0,50	25	81	171	238	305
Magnésio (mg/kg)	S_ARE_0,50	13	112	206	301	356
Magnésio (mg/kg)	RESÍDUO	2	10	33	101	182

Tabela 05 Resultados de pH, sulfato, cálcio e magnésio dissolvido durante 20 semanas nas amostras S_ARG_0,75 e S_ARE_0,75

Parâmetro	Amostra	Semana 1	Semana 5	Semana 10	Semana 15	Semana 20
pH	S_ARG_0,75	6,07	6,18	3,51	3,43	3,56
pH	S_ARE_0,75	6,36	6,93	3,7	3,48	3,66
pH	RESÍDUO	7,33	6,8	5,32	5,53	4,68
Sulfato (mg/kg)	S_ARG_0,75	45.893	55.733	60.741	61.926	64.036
Sulfato (mg/kg)	S_ARE_0,75	46.462	56.981	64.124	67.524	72.423
Sulfato (mg/kg)	RESÍDUO	4.750	23.394	25.158	30.539	35.108
Cálcio (mg/kg)	S_ARG_0,75	142	660	1.041	1.331	1.934
Cálcio (mg/kg)	S_ARE_0,75	398	1.224	2.535	3.785	4.578
Cálcio (mg/kg)	RESÍDUO	3	15	198	1.023	1.961
Magnésio (mg/kg)	S_ARG_0,75	21	111	206	264	356
Magnésio (mg/kg)	S_ARE_0,75	15	100	221	339	421
Magnésio (mg/kg)	RESÍDUO	2	10	33	101	182

Ao observar os resultados apresentados nas Tabelas 03 e 04, percebe-se que a adição de rejeito às amostras de solos resultou em uma redução do pH dos seus lixiviados, em razão da acidez gerada pelo minério. As amostras compostas por solo arenoso e rejeito nas proporções 25% e 50% apresentaram menores resultados de pH ao longo do tempo, quando comparados às amostras compostas por solos argilosos nas mesmas proporções. Este fato está relacionado ao efeito do solo arenoso, que aumentou a porosidade das amostras, ocasionando o aumento na velocidade de drenagem da água intersticial, menor retenção dos íons H^+ provenientes da oxidação dos sulfetos e também aumento do contato com o ar, garantindo maiores trocas gasosas. Estes fatos contribuíram positivamente para a oxidação dos sulfetos presentes nas amostras, gerando elevadas concentrações de sulfato.

A alteração do pH no lixiviado foi menos percebida nas amostras compostas por solo argiloso nas proporções 25% e 50% de rejeito, sendo o pH do lixiviado mantido acima de 6, enquanto o pH do resíduo foi de 4,68 no mesmo período. Solos com textura argilosa apresentam dois aspectos que podem ter contribuído a neutralização da acidez gerada pelo minério, sendo um a sua maior CRA (Capacidade de Retenção de Água) e o outro a maior quantidade de bases trocáveis (CTC). Uma maior concentração de argila no solo indica uma maior abundância de microporos e maior CTC, o que pode favorecer a retenção de água e adsorção de parte dos íons H^+ liberados pelo resíduo.

Avaliando os resultados da Tabela 05, verifica-se que as amostras S_ARG_0,75 e S_ARE_0,75 apresentaram pH próximo a neutro até a semana 5 com redução a partir desta até o final da semana 20. Avaliando as concentrações de sulfato destas amostras verifica-se que desde a primeira semana houveram altas taxas de oxidação dos sulfetos, ocasionando em elevadas concentrações de sulfato nos extratos lixiviados de ambas as amostras. Analisando os resultados de cálcio e magnésio, percebe-se que ambas as amostras lixiviam os referidos cátions, sendo o cálcio em maior abundância, entretanto estas concentrações não foram suficientes para neutralizar o pH, devido a elevada proporção de minério na mistura com solo.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos a partir das análises realizadas nos lixiviados permitiram avaliar que, a cinética de formação da drenagem ácida em uma amostra de minério sulfetado é acelerada quando maiores proporções de minério são compostas às amostras de solo. As altas concentrações de sulfato acompanham as maiores proporções de rejeito nas amostras. Conclui-se que a utilização de solo argiloso em uma proporção até 50% do resíduo, resultou na diminuição da cinética de formação da drenagem ácida para o período avaliado de 20 semanas, sendo, portanto, uma opção viável para misturas em disposição de rejeitos com potencial de geração de drenagem ácida.

AGRADECIMENTOS

Os autores registram seus agradecimentos à Faculdade FINOM, a qual possibilitou a realização deste projeto por meio do Programa de Iniciação Científica (PIBIC), e ao Laboratório Campo Análises pela disponibilização do Laboratório Geoquímico para execução de todos os ensaios necessários para realização deste estudo.

REFERENCIAS

- [1] Moodley, I., Sheridan, C.M., Kappelmeyer, U., Akcil, A., 2018. Environmentally sustainable acid mine drainage remediation: Research developments with a focus on waste/by-products. *Minerals Engineering* Volume 126, September 2018, Pages 207-220.
- [2] Akcil, A., Koldas, K., 2006. Acid mine drainage (AMD): causes, treatment and case studies. *J. Clean. Prod.* 14, 1139–1146. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.006>
- [3] International Network for Acid Prevention – INAP, 2014. *Global Acid Rock Drainage Guide*.
- [4] Ritcey, A.I.M. (1994). *Sulfide Oxidation Mechanisms: Controls and Rates of Oxygen Transport*, MAC Short Course Handbook, Vol. 22, pp. 201-246. J.L Jambor; D.W. Blowes (eds.), Waterloo, Ontario, Canada.
- [5] SKOUSEN, J.G., ZIEMKIEWICZ, P.F., McDONALD, L.M., 2018. Acid mine drainage formation, control and treatment: Approaches and strategies. *The Extractive Industries and Society*
- [6] AMIRA Project P387A Prediction & Kinetic Control of Acid Mine Drainage, Project P387A Prediction & Kinetic Control of Acid Mine Drainage, 271 William Street Melbourne 3000 Australia - 2002