



Atributos químicos do solo em áreas de mineração de scheelita no Seridó potiguar ⁽¹⁾.

Alana Rayza Vidal Jerônimo do Nascimento⁽²⁾; Karina Patrícia Vieira da Cunha⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária.

⁽²⁾ Estudante; Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Natal, Rio Grande do Norte; alanarayza15@hotmail.com;

⁽³⁾ Professora; Departamento de Engenharia Civil; Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

RESUMO: A atividade de mineração se destaca entre as atividades antrópicas que contribuem para a redução da qualidade do solo, porém estudos que avaliam as alterações nos atributos físicos e químicos do solo em minas ativas ou desativadas são escassos. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações nos atributos químicos do solo nas áreas de lavra das minas Barra Verde e Olho d'Água, localizadas em Currais Novos-RN. Amostras de solo foram coletadas nas áreas de uma em mina em fase de pesquisa (FP); de deposição de estéril e rejeito na mina desativada Olho d'Água (EOD); de deposição de rejeito na mina Barra Verde (RBV); e sob vegetação nativa (MT). Os atributos químicos analisados foram: pH, condutividade elétrica, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Al^{3+} e H^+ + Al^{3+} trocáveis, matéria orgânica, fósforo disponível, CTCp e saturação por bases. Os atributos químicos dos solos variaram entre as áreas selecionadas para o estudo, indicando que as atividades de lavra têm alterado estes atributos em relação à condição natural do solo. O estágio inicial de degradação em FP é evidenciado pelos incrementos nos teores de Ca^{2+} e MO devido à rápida decomposição pela microbiota do solo. As similaridades nos teores de Ca^{2+} e MO das áreas EOD e MT sugerem que as transformações pedogenéticas ocorridas em EOD ao longo dos anos associadas ao crescimento espontâneo da vegetação têm concorrido para o estabelecimento das condições naturais do solo.

Termos de indexação: qualidade do solo, recuperação de áreas mineradas.

INTRODUÇÃO

A atividade de mineração se destaca entre as atividades antrópicas que contribuem para a degradação ambiental, principalmente tendo em vista a redução da qualidade do solo devido às atividades de lavra e deposição de estéril e rejeito.

Contudo, observa-se uma lacuna nas literaturas internacional e nacional de estudos que avaliem a condição de qualidade do solo em minas ativas ou desativadas com foco nas alterações dos atributos físicos e químicos do solo, a grande maioria dos

estudos enfatiza o aporte de metais pesados (Navarro et al., 2008; Lavazzo et al., 2012). O conhecimento das alterações nos atributos físicos e químicos do solo resultantes da mineração e das características físico-químicas dos resíduos gerados também é de suma importância para adoção de medidas adequadas à redução de impactos gerados e à recuperação do solo das áreas mineradas e consequente sucesso do programa de recuperação ambiental.

Na Região Seridó dos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, encontram-se localizados os principais depósitos de minério scheelita (CaWO_4) do Brasil. No município de Currais Novos-RN, desde a década de 1940, algumas mineradoras realizam a exploração da scheelita, incluindo sua extração, beneficiamento e comercialização. Dentre as minas existentes no município, a Barra Verde é uma das que está em operação e a Olho d'Água foi desativada após cerca de 40 anos de atividade. Ao decorrer da operação dessas minas, o processamento mecânico do minério scheelita gerou elevadas quantidades de rejeito que foram acumuladas em pilhas a céu aberto sem nenhuma proteção, sendo expostas à ação do vento e da água da chuva.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar alterações nos atributos químicos do solo nas áreas de lavra das minas Barra Verde e Olho d'Água, localizadas em Currais Novos-RN.

MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de lavra das minas de scheelita Barra Verde e Olho d'Água estão localizadas no município de Currais Novos (6°15'39" Sul; 36°31'04" Oeste) no estado do Rio Grande do Norte. O clima da região é descrito pela classificação de Köppen & Geiger (1928) como do tipo BSw'h' (Estepe), caracterizado por um regime de escassez e distribuição desigual de chuvas, com média pluviométrica de 610,5 mm/ano e período chuvoso compreendido entre os meses de fevereiro e abril. As formações vegetais da área são esparsas e marcadas pelo caráter seco e baixo porte e incluem a caatinga hiperxerófila e a caatinga subdesértica do Seridó. Os solos predominantes são os Neossolos Litólicos eutróficos



com A fraco, fertilidade natural alta, textura arenosa/média, fase pedregosa, relevo plano a ondulado, baixa profundidade, drenagem moderada e alta suscetibilidade à erosão (EMBRAPA, 1971).

Tratamentos e amostragens

A amostragem do solo foi realizada em quatro áreas: área de uma em mina em fase de pesquisa (FP); área abandonada na mina desativada Olho d'Água (AB); área de deposição de rejeito na mina Barra Verde (RBV); e em uma área com vegetação nativa (MT) com pouca ou nenhuma interferência antrópica e de mesma classe de solo em estudo a fim de servir como referência de qualidade natural do solo da região.

Os atributos químicos analisados foram: pH, condutividade elétrica (CE), Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e Al^{3+} trocáveis, acidez potencial (H^+ + Al^{3+}), matéria orgânica (MO) e fósforo disponível (P). As análises desses atributos foram realizadas de acordo com métodos preconizados pela EMBRAPA (1999). A partir dos resultados obtidos do complexo sortivo, foram calculados os valores de capacidade de troca de cátions potencial (CTCp) e saturação por bases (V).

Análise estatística

Os resultados experimentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e comparação das médias pelo teste de teste Tukey ($p < 0,05$) (SAS v.8, 1999).

A Correlação Linear de Pearson foi realizada para evidenciar a proporcionalidade entre variáveis do solo quando desejado demonstrar e discutir a relação entre elas (SAS v.8, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos químicos dos solos variaram entre as áreas selecionadas para o estudo (**Tabela 1**), indicando que as atividades de lavra têm alterado estes atributos em relação à condição natural do solo.

Tabela 1 – Atributos químicos do solo, na profundidade de 0-20 cm, de áreas de lavra nas minas Barra Verde e Olho d'Água, Currais Novos-RN.

Atributos	Áreas			
	MT	FP	EOD	RBV
pH	6,75 C	7,52 B	8,02 AB	8,14 A
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	206,8 A	320,7 A	241,7 A	1.726,0 A
Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	15,33 B	28,77 A	12,47 B	8,37 B
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	4,27 A	1,88 AB	0,97 B	0,63 B
Na^+ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,02 A	0,01 A	0,02 A	0,02 A
K^+ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,15 A	0,01 A	0,02 A	0,00 A
Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,00 A	0,67 AB	0,00 B	0,00 B
$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,93 A	1,21 A	0,39 B	0,42 B
CTCp ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	21,69 B	31,89 A	13,52 C	9,77 C
V (%)	91,15 B	96,14 A	97,15 A	95,09 AB
MO (g kg^{-1})	19,90 AB	33,48 A	13,25 AB	4,44 B
P (mg dm^{-3})	28,92 A	20,83 AB	4,96 AB	0,28 B

Áreas: MT = Área sob mata nativa; FP = Área de uma mina em fase de pesquisa; EOD = Área de deposição de estéril e rejeito na mina Olho d'Água; RBV = Área de deposição de rejeito da mina Barra Verde. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os solos amostrados apresentaram pH tipicamente alcalino, condição de reação do solo comum a região semiárida (**Tabela 1**). Contudo, apesar da atividade de mineração não ter alterado a reação do solo, percebe-se que a atividade tem contribuído para o processo de salinização do solo face ao aumento significativo de pH nas áreas de lavra das minas (FP, EOD e RBV) em comparação a MT. Contribui para este aumento de pH a exposição dos minerais primários da rocha e do rejeito aos agentes intempéricos, favorecendo o intemperismo químico, o qual, apesar de ser lento devido ao déficit hídrico na região semiárida, é contínuo devido a grande riqueza de minerais facilmente intemperizáveis.

O pH exerce forte influência na disponibilidade de nutrientes e mobilização de metais pesados, assim o aumento de pH pode comprometer o estabelecimento de vegetação nas áreas de lavra e dificultar os processos de recuperação do solo. De fato, em termos nutricionais, a faixa ideal de pH para a maioria das plantas situa-se entre 5,6 e 6,2, pois a maioria dos nutrientes se encontra na forma solúvel e passível de ser absorvida por elas (Costa & Zocche, 2009). Em condições de pH acima de cinco se reduz a mobilidade de metais pesados no solo e a contaminação ambiental, contudo essa condição pode ser desfavorável ao crescimento de plantas por tornar alguns micronutrientes (principalmente Fe e Mn) menos disponíveis (Barros et al., 2011).



Os valores de CE e os teores das bases trocáveis Na^+ e K^+ não se distinguiram entre as áreas nas minas e MT (**Tabela 1**). Por sua vez, o maior teor de Ca^{2+} ocorreu em FP e foram verificadas reduções nos teores de Mg^{2+} em EOD e RBV (**Tabela 1**). O maior teor de Mg^{2+} em MT corresponde ao esperado em áreas sob vegetação nativa, uma vez que atua como co-fator em quase todas as enzimas do metabolismo energético e na molécula de clorofila (Garcia et al., 2007). Além do maior teor de Mg^{2+} , em MT foram encontrados maiores teores de Al^{3+} e de $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, corroborando com o menor pH apresentado nesta área (**Tabela 1**). A correlação negativa entre Mg^{2+} e pH ($r = -0,75^{**}$) revela que a elevação do pH nas áreas EOD e RBV ocorreu com a substituição do Mg^{2+} por outras bases trocáveis.

O incremento no teor de Ca^{2+} ocorrido em FP pode evidenciar um enriquecimento temporário característico de áreas perturbadas, pois a microbiota sensível as alterações na textura do solo, umidade, temperatura e estoques de nutrientes (Zhao et al., 2011) promovidas pela remoção da vegetação e dos horizontes do solo decompõe rapidamente a fração leve da matéria orgânica, acelerando sua mineralização que resulta na liberação de íons trocáveis. O teor de Ca^{2+} que se encontra em excesso em FP pode comprometer a função tampão do solo e ser disponibilizado para os demais componentes da bacia hidrográfica visto os valores de referência de MT, que correspondem aos limites aceitáveis que podem ser mantidos ou assimilados pelo sistema, foram ultrapassados. Assim, por ser o solo um sistema aberto e dinâmico, a deterioração da qualidade do solo não se limita à área de lavra, mas pode atingir toda a extensão da área de influência da mineração.

De forma semelhante ao teor de Ca^{2+} , o maior teor de MO ocorreu em FP, corroborando a ideia de que o desmatamento ocorrido intensificou a decomposição dos resíduos orgânicos no solo (**Tabela 1**). Por outro lado, o menor teor de MO ocorreu em RBV devido à remoção da vegetação nesta área que cessa o aporte de serrapilheira, a qual corresponde a principal fonte de MO do solo. A MO desempenha importante papel nos processos de formação do solo visto que afeta várias características do solo, tais como a estrutura do solo e a retenção de água e de nutrientes (Frouz et al., 2007). Reduções nos teores de MO resultam no aumento da susceptibilidade do solo à erosão, o que possibilita a perda de nutrientes (N e P), aumentando o risco de eutrofização dos corpos d'água. Além disso, a perda de estrutura promovida pela redução de MO contribui para diminuição do sequestro de C no solo tendo em vista que os

agregados do solo são responsáveis pela proteção física do C (Balabane & Plante, 2004).

Os teores de Ca^{2+} e MO em EOD foram estatisticamente similares aos encontrados em MT (**Tabela 1**), confirmando a tendência do potencial de perda líquida de nutrientes que limitam ou são que essenciais para o crescimento das plantas diminuir em ecossistemas em desenvolvimento em comparação com a perda que ocorre nos primeiros estágios que sucedem a abertura de lavra nas minas, ou após perturbações ambientais graves, em virtude da rápida decomposição (Banning et al., 2008). Essa similaridade de Ca^{2+} e MO pode sugerir que, segundo estes atributos, as transformações pedogenéticas ocorridas em EOD ao longo dos anos têm concorrido para o estabelecimento das condições características da qualidade natural do solo e o crescimento espontâneo de vegetação observado na área confirma essa constatação.

Os solos das áreas selecionadas para o estudo foram classificados, de acordo com a caracterização química, como eutróficos ($V > 50\%$) (**Tabela 1**). Os teores de bases em MT, principalmente de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, são condizentes com a alta fertilidade natural que os Neossolos da região semiárida apresentam. Todavia, cumpre ressaltar que a alta V dos solos das áreas EOD e RBV não indica adequada disponibilidade de nutrientes às plantas. Em função da baixa CTCp que apresentam (**Tabela 1**), mesmo baixos teores de bases trocáveis são suficientes para saturar seu complexo de troca. O incremento de Ca^{2+} e o teor de $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ similar ao de MT resultaram no aumento de CTCp em FP (**Tabela 1**).

A maior concentração de P ocorreu em MT e a menor em RBV (**Tabela 1**). A baixa concentração de P em RBV pode comprometer o estabelecimento de vegetação nesta área e dificultar o processo de recuperação do solo, visto que o P é um nutriente essencial para as plantas e sua deficiência é considerada fator limitante para a produção primária, principalmente nos trópicos e subtropicais (Ramaekers et al., 2010). O aumento de pH em RBV pode ter causado a redução de P, uma vez que em condições alcalinas os íons fosfatos tendem a precipitar com o Ca, formando o fosfato de cálcio. A correlação negativa entre pH e P ($r = -0,84^{**}$) constatada corrobora o fato de que a disponibilidade do P é consideravelmente afetada pelo pH. Salienta-se que o fosfato de cálcio pode ser facilmente perdido em decorrência das características naturais dos solos da região semiárida brasileira, como alta suscetibilidade à erosão e predominância da fração areia, associadas às características pluviométricas da região marcadas pelo grande volume precipitado nas



chuvas concentradas em um período do ano que favorece o transporte de fosfato de cálcio pelas enxurradas, o qual pode atingir corpos hídricos próximos onde sua solubilização aumenta o risco de eutrofização. As áreas FP e EOD apresentaram concentrações intermediárias de P entre MT e RBV (**Tabela 1**), evidenciando que a exploração recente, a qual configura um estágio inicial de degradação, e o abandono de áreas mineradas tendem a surtir efeito semelhante na redução de P do solo.

As alterações nos atributos químicos dos solos das áreas FP, EOD e RBV em comparação à MT configuram um processo de degradação ambiental. Contudo, destaca-se que a deterioração da qualidade do solo pode não ser tão perceptível tendo em vista as condições naturais dos solos do sertão, os quais são jovens, frágeis, poucos estruturados e susceptíveis a erosão.

CONCLUSÕES

A mineração de scheelita no semiárido potiguar provoca redução da qualidade do solo, o que compromete o estabelecimento da vegetação e a recuperação da área.

A remoção de vegetação e de solo para a abertura de lavra em FP configura um estágio de degradação inicial evidenciado pelos incrementos nos teores de Ca^{2+} e MO devido à rápida decomposição pela microbiota do solo.

As similaridades nos teores de Ca^{2+} e MO das áreas EOD e MT sugerem que as transformações pedogenéticas ocorridas em EOD ao longo dos anos associadas ao crescimento espontâneo da vegetação têm concorrido para o estabelecimento das condições naturais do solo.

REFERÊNCIAS

BALABANE, M. & PLANTE, A. F. Aggregation and carbon storage in silty soil using physical fractionation techniques. *European Journal of Soil Science*, 55:415–427, 2004.

BANNING, N.C.; GRANT, C.D.; JONES, D.L.; MURPHY, D.V. Recovery of soil organic matter, organic matter turnover and nitrogen cycling in a post-mining forest rehabilitation chronosequence. *Soil Biology & Biochemistry*, 40:2021–2031, 2008.

BARROS, Y. J.; MELO, V. F.; KUMMER, L.; SOUZA, L. C. P.; AZEVEDO, J. C. Indicadores físicos e químicos de qualidade de solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. *Semina: Ciências Agrárias*, 32:1385-1404, 2011.

COSTA, S. & ZOCHE, J. J. Fertilidade de solos construídos em áreas de mineração de carvão na região sul de Santa Catarina. *Revista Árvore*, 33:665-674, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Levantamento Exploratório-Reconhecimento dos solos do Rio Grande do Norte. Recife: Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA-SUDENE/DRN, 1971. 536 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia, 1999. 370 p.

FROUZ, J.; ELHOTTOVÁ, D.; PIŽL, V.; TAJOVSKÝ, K.; ŠOURKOVÁ, M.; PICEK, T.; MALÝ, S. The effect of litter quality and soil faunal composition on organic matter dynamics in post-mining soil: A laboratory study. *Applied Soil Ecology*, 37:72-80, 2007.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; MIRANDA, G. V.; NEVES, J. C. L.; MORAES, W. B.; SANTOS, D. B. Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio em plantas de milho sob estresse salino. *IDESIA (CHILE)*, 25(3):93-106, 2007.

KÖPPEN, W. & GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm, 1998.

NAVARRO, M. C.; PÉREZ-SIRVENT, C.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, M. J.; VIDAL, J.; TOVAR, P. J.; BECH, J. Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: a case study in a semi-arid zone. *Journal of Geochemical Exploration*, 96:183–193, 2008.

IVAZZO, P.; DUCCI, D.; ADAMO, P.; TRIFUOGGI, M.; MIGLIOZZI, A.; BONI, M. Impact of Past Mining Activity on the Quality of Water and Soil in the High Moulouya Valley (Morocco). *Water, Air, & Soil Pollution*, 223:573-589, 2012.

RAMAEKERS, L.; REMANS, R.; RAO, I. M.; BLAIR, M. W.; VANDERLEYDEN, J. Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. *Field Crops Research*, 117:169–176, 2010.

SAS Institute. *Statistical analysis system: Procedure guide for personal computer*. Cary, 1999.

ZHAO, J.; WANG, X.; SHAO, Y.; XU, G.; FU, S. Effects of vegetation removal on soil properties and decomposer organisms. *Soil Biology & Biochemistry*, 43:954-960, 2011.