

Notas Científicas

Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado

Sandra Tereza Teixeira⁽¹⁾, Wanderley José de Melo⁽¹⁾ e Érica Tome da Silva⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Estadual Paulista, Dep. de Tecnologia, Via de acesso Paulo Donato Castellane, s/nº, CEP 14884-900 Jaboticabal, SP. E-mail: ssteixeira1@starmeida.com, wjmelo@fcav.unesp.br, ericatome@bol.com.br

Resumo – A disposição de lodo de estação de tratamento de água (LETA) em áreas degradadas é uma alternativa para a gestão de resíduos e pode promover a recuperação destas áreas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de LETA nos teores de macronutrientes, carbono orgânico total (COT) e condutividade eletrolítica (CE) em amostras de solo degradado pela mineração de cassiterita. O LETA pode ser disposto em áreas degradadas, já que eleva os teores de Ca, Mg, K e o valor de pH do solo.

Termos para indexação: salinização, mineração, condutividade elétrica, resíduo sólido, carbono orgânico total.

Application of water treatment sludge in degraded soil

Abstract – The application of water treatments sludge (WTS) in degraded soil is an alternative solution for this residual disposal and also for degraded soil recuperation. The objective of this work was to evaluate the effect of application of WTS in content of macronutrients, total organic carbon (TOC) and electric conductivity (EC) in degraded soil by tin mining. The WTS can be used in degraded area, because it increases the contents of Ca, Mg, K and soil pH.

Index terms: salinity, mining, electric conductivity, solid residue, total organic carbon.

O lodo de estação de tratamento de água (LETA) é um resíduo formado nos decantadores da estação, resultado dos processos de floculação e coagulação. É uma mistura de poluentes, areia, silte, argila e substâncias húmicas presentes nas águas dos rios. Segundo a AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1999), o LETA pode ser disposto em áreas degradadas, mas é necessário um monitoramento das alterações provocadas pela sua aplicação ao ambiente. Isto porque, de uma forma geral, a aplicação de resíduos em solos pode causar efeitos negativos ao solo e às plantas, como a salinização, o acúmulo de metais e a lixiviação de nitratos (Oliveira et al., 2002).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de LETA nos teores de macronutrientes, C orgânico total e condutividade eletrolítica em amostras de solo degradadas pela mineração de cassiterita.

O trabalho foi realizado em casa de vegetação, com temperatura controlada na faixa 25°C–28°C, no Campus da Universidade Estadual Paulista localizado em Jaboticabal, SP. O delineamento experimental utilizado

foi o inteiramente casualizado com cinco tratamentos: Testemunha, solo degradado (n = 4); Solo degradado + calcário (n = 4); e 100, 150 e 200 mg de N, na forma de LETA, por kg de solo e calagem (n = 20 cada), em que n é o número de repetições. O solo, antes da atividade de mineração, era classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo álico, textura argilosa. A amostra para estudo foi coletada na camada de 0–20 cm e apresentava as seguintes características químicas e granulométricas: pH (CaCl₂), 4,9; matéria orgânica (MO), 3 g dm⁻³; fósforo (P_{resina}), 8 mg dm⁻³; K, 0,5; Ca, 5; Mg, 2; H+Al, 12; saturação por bases (SB), 8,0; T, 20 (em mmol_c dm⁻³); V, 38%; argila, 170; silte, 30; areia muito fina, 90; areia fina, 280; areia média, 260; areia grossa, 150; areia muito grossa, 20; areia total, 800 (em g kg⁻¹).

O LETA foi coletado no DAAE, Departamento Autônomo de Água e Esgoto, de Araraquara, SP, cuja Estação de Tratamento de Água é do tipo convencional e utiliza cloreto férrico como agente coagulante. A análise química e granulométrica do LETA apresentou os seguintes resultados: poder de neutralização (PN), 28 g kg⁻¹; CaO,

9,8%; MgO, 4,23%; pH em água, 7,7; umidade, 94%; carbono orgânico total (COT), 11; N, 2; P, 1; K, 2; Ca, 121; Mg, 4,0; (em g kg⁻¹, base seca); Fe, 167.040; Zn, 66; Cu, 149; Mn, 1.683; Pb, 8; Ni, 27; Cd, 6; Cr, 86 (em mg kg⁻¹, base seca); argila, 260; limo, 315; areia total, 425; areia muito fina, 45; areia fina, 115; areia média, 115; areia grossa, 110 e areia muito grossa, 40 (em g kg⁻¹). A análise microbiológica do LETA não revelou presença de coliformes.

O teor de carbono foi determinado pelo método proposto por Tiurin, oxidação via úmida, descrito em Dabin (1976), o N total pelo método Kjeldahl (Melo, 1974), e os demais elementos por espectrofotometria de absorção atômica em extrato de digestão com HNO₃, HCl e H₂O₂ (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1995), enquanto a análise granulométrica e o poder de neutralização, segundo Embrapa (1997). O pH foi medido em água na relação resíduo:extrator de 1:2,5.

Utilizaram-se vasos de polietileno com capacidade de 6 kg, que foram preenchidos com 5 kg de solo degradado. Nos tratamentos com 100, 150 e 200 mg kg⁻¹ de N a aplicação do LETA foi feita gradativamente ao longo de 15 dias, de acordo com a capacidade de retenção de água do solo degradado para evitar percolação. Após aplicação do LETA, o solo do tratamento solo degradado + calcário e os solos com 100, 150 e 200 mg kg⁻¹ de N receberam 2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT = 131%). Os vasos foram irrigados com água destilada a cada dois dias. Aos 30 dias após o início da irrigação, o solo foi removido dos vasos, colocado em bandeja de plástico e homogeneizado, retirando-se, então, uma amostra, que foi secada ao ar e à sombra, destorroadada e peneirada (0,5 mm) para fins das análises químicas.

A condutividade eletrolítica (CE) e o Na⁺ foram determinados a 25°C em extrato aquoso, na relação 1:5 (solo:água) (Raij et al., 2001). A determinação do Na⁺ no extrato 1:5 foi feita em fotômetro de chama. Os teores de Ca, Mg e K total foram obtidos por meio da digestão nítrico-perclórica e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Ca e Mg) e fotometria de chama (K). Os teores de Ca, Mg e K foram obtidos por meio do extrator Mehlich 1 (Jones Junior, 1990). O COT foi determinado pelo método proposto por Tiurin (oxidação via úmida) conforme descrito em Dabin (1976). Após a análise química, foi determinado o incremento de CE (DCE) pela subtração entre o valor de CE do tratamento que recebeu LETA e o

da testemunha. O pH foi medido em água, utilizando-se a relação solo:extrator de 1:2,5. Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância (P<0,05) e, nos casos em que o teste F se mostrou significativo, aplicou-se o teste de Tukey para a comparação de médias (Banzatto & Kronka, 1992). Na análise de correlação e regressão utilizou-se o programa Estatística.

Os teores de Ca total aumentaram com a aplicação de LETA (Tabela 1). Os altos teores de Ca no LETA ocorrem em função da adição de grandes quantidades de CaO presentes no lodo. Associando os altos teores de Ca com aumento no valor de pH (Testemunha, 5,5; solo degradado + calcário, 6,1; e dos tratamentos com 100, 150 e 200 mg kg⁻¹ de N, 7,6, 7,8 e 7,9, respectivamente) o LETA mudou a reação do solo degradado, inicialmente ácida, para uma reação neutra ou fracamente alcalina. Nestas condições, tem-se uma situação semelhante ao que ocorre em solos calcários. Os altos teores de Ca e os valores elevados de pH interferem amplamente nos processos de adsorção e solubilização de íons responsáveis pela concentração de nutrientes no solo, e podem também causar a salinização do solo degradado. Os teores extraíveis de Ca, obtidos pelo extrator Mehlich 1, foram maiores na dose equivalente a 200 mg kg⁻¹ de N, e os valores encontrados ficaram próximos aos teores totais. Os teores totais e extraíveis de Mg aumentaram com as doses de LETA (Tabela 1). Conforme verificado no Ca extraível, os teores de Mg extraídos pelo extrator Melich 1 foram próximos aos

Tabela 1. Valores médios de Ca, Mg e K total e extraível em solo degradado, 30 dias após aplicação do lodo de estação de tratamento de água (LETA)⁽¹⁾.

Tratamentos	Ca	Mg	K
	-----Teores totais (g kg ⁻¹)-----		
T	0,34d	0,10c	0,21a
Tc	0,52d	0,14b	0,24a
D ₁₀₀	5,19c	0,33b	0,23a
D ₁₅₀	8,55b	0,41a	0,25a
D ₂₀₀	12,08a	0,46a	0,26a
-----Teores extraíveis (g kg ⁻¹)-----			
T	0,01c	0,01c	0,052d
Tc	0,24c	0,06c	0,045d
D ₁₀₀	4,98c	0,21b	0,103c
D ₁₅₀	8,68b	0,39a	0,130b
D ₂₀₀	9,56a	0,45a	0,170a

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; T: testemunha, solo degradado; Tc: solo degradado e calcário; D₁₀₀, D₁₅₀ e D₂₀₀: aplicação de 100, 150 e 200 mg kg⁻¹ de N, na forma de LETA.

totais. O extrator Mehlich 1 é universalmente utilizado na extração de P, Ca, Mg, Na, Mn e Zn (Jones Junior, 1990). Por se tratar de uma mistura de ácido sulfúrico e ácido clorídrico (pH 1,2), pode ter solubilizado formas pouco solúveis destes elementos. A aplicação do lodo não afetou o teor de K total no solo degradado, mas aumentou os teores extraíveis, que apresentaram correlação linear ($r = 0,99^{**}$, $P < 0,05$) com as doses do lodo. Os teores extraíveis de K após adição do LETA são semelhantes aos encontrados por Lorenzo (1991) em solo degradado pela mineração de bauxita (111 mg kg^{-1}), utilizando Mehlich 1. A aplicação de LETA e calcário promoveu valores de DCE que variaram de $0,90$ a $2,59 \text{ dS m}^{-1}$ em relação à testemunha (Tabela 2).

O efeito do LETA nos valores de DCE, conforme revelado pela análise de correlação, foi consequência da grande quantidade de sais adicionados por meio do lodo, principalmente Ca, e da baixa CTC inicial do solo degradado (Tabela 3). Estes resultados estão de acordo com os de Epstein et al. (1976), que atribuíram os aumentos na CE de solos fertilizados com lodo de esgoto à grande concentração de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Cl^- presentes no resíduo. Quanto aos teores de Na^+ avaliados no extrato 1:5, observa-se que até o tratamento que recebeu 150 mg kg^{-1} de N, a aplicação do lodo não causou dife-

rença entre os tratamentos. O carbono orgânico total do solo degradado foi influenciado pela aplicação de LETA (Tabela 2). No entanto, apesar de os teores de carbono orgânico total apresentarem relação linear com as doses ($r = 0,99^{**}$, $P < 0,05$), são considerados baixos para solos agrícolas. Esses resultados corroboram os de Duda et al. (1999) em solo degradado sem vegetação ($1,3 \text{ g kg}^{-1}$). Já Santos et al. (2001), em área degradada por processos de erosão encontraram valores da ordem de $12,17 \text{ g kg}^{-1}$. Estes resultados evidenciam que a atividade de mineração exerce grande impacto nas características químicas do solo, principalmente no teor de carbono. Isto ocorre, conforme Bayer & Mielniczuk (1997), porque o carbono orgânico é afetado tanto por oxidação como por erosão e está relacionado com a intensidade de revolvimento do solo e pela sua influência nos regimes de aeração, umidade e temperatura, e exposição da superfície. O LETA pode ser disposto em áreas degradadas, visto que eleva os teores de macronutrientes e o valor de pH do solo. Em altas doses pode causar a salinidade do solo. Para fins de recuperação, sua aplicação deve estar associada a um resíduo orgânico (composto de serragem, esterco de bovino).

Agradecimentos

À Fapesp, pelas bolsas concedidas às autoras Sandra Tereza Teixeira e Érica Tome da Silva.

Referências

- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Commercial application and marketing of water plant residuals**. Denver: AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 1999. 186p.
- BANZATTO, D.A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação agrícola**. 2.ed. Jaboticabal: Funep, 1992. 247p.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.235-239, 1997.
- DABIN, B. **Curso sobre matéria orgânica do solo. Parte 1. Análise dos compostos húmicos do solo**. Piracicaba: CENA, 1976. 115p.
- DUDA, G.P.; CAMPELLO, E.F.C.; MENDONÇA, E.S.; LOURES, J.L.; DOMINGOS, M. Avaliação de frações da matéria orgânica do solo para caracterização de áreas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.723-728, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. p.27-32.

Tabela 2. Valores médios encontrados da condutividade eletrolítica (CE), Na e carbono orgânico total (COT) em solo degradado, 30 dias após a aplicação do lodo de estação de tratamento de água (LETA)⁽¹⁾.

Tratamentos	Na (1:5) ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	COT (g kg^{-1})	CE (1:5) (dS m^{-1})
T	1,9b	0,70a	0,37c
Tc	2,1b	0,53d	1,30bc
D ₁₀₀	2,2b	1,37c	1,87b
D ₁₅₀	2,3b	1,62c	2,21ab
D ₂₀₀	3,0a	1,80a	2,96a

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; T: testemunha, solo degradado; T_c: solo degradado e calcário; D₁₀₀, D₁₅₀ e D₂₀₀: aplicação de 100, 150 e 200 mg kg^{-1} de N, na forma de LETA.

Tabela 3. Correlação entre o incremento da condutividade eletrolítica (DCE) e teores totais e extraíveis de Ca, Mg, K em solo degradado tratado com lodo de estação de tratamento de água.

Variável	Totais			Extraíveis		
	Ca	Mg	K	Ca	Mg	K
DCE	0,94*	0,89*	0,91*	0,78 ^{ns}	0,94*	0,92*

^{ns}Não-significativo. *Significativo a 5% de probabilidade.

EPSTEIN, E.; TAYLOR, J.M.; CHANEY, R.L. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. **Journal of Environmental Quality**, v.5, p.422-426, 1976.

JONES JUNIOR, J.B. Universal soil extractants: their composition and use. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.21, p.1091-1101, 1990.

LORENZO, J.S. **Regeneração natural de uma área minerada de bauxita em Poços de Caldas, Viçosa, Minas Gerais**. 1991. 151p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

MELO, W.J. **Variação do N-amoniaco e N-nitrato em um latossolo roxo cultivado com milho (*Zea mays* L.) e com lablab (*Dolichos lallab* L.)**. 1974. 104p. (Tese de Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto

em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.505-519, 2002.

RAIJ, B. van; GHEYI, H.R.; BATAGLIA, O.C. Determinação da condutividade elétrica e de cátions solúveis em extratos aquosos de solos. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Org.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p.277-284.

SANTOS, A.C.; SILVA, I.F.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, A.P.; CAVALCANTE, V.R. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.1063-1071, 2001.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **A guide to the biosolids risk assessments for the EPA part 503 rule**. 1995. 143p. (Office of Wastewater Management, Rep. No. EPA832-B-93-005, Washington D.C.).

Recebido em 14 de abril de 2004 e aprovado em 30 de setembro de 2004