

Avaliação da aplicação de composto de lixo urbano e lodo de esgoto em dois solos diferentes¹

Cláudio Henrique Kray², Marino José Tedesco³, Carlos Alberto Bissani³,
Leandro Bortolon⁴, Robson Andreazza^{4*}, Clesio Gianello³

Resumo – O descarte de resíduos com alta carga orgânica no solo pode ser uma alternativa para reduzir o seu potencial poluidor. O objetivo deste trabalho foi avaliar a taxa de decomposição de composto de lixo urbano e de lodo de esgoto aplicados em dois solos diferentes e seus efeitos. A atividade microbiana foi avaliada por respirometria de amostras de solo com adição de diferentes doses de composto de lixo urbano e lodos de esgoto, incubados durante dois anos, sendo utilizados dois solos (Argissolo e Latossolo). Os resíduos foram aplicados quatro vezes em dois anos, com a adição de composto de lixo urbano, lodo de esgoto; um tratamento adicional com o dobro desta dose de resíduo com adição de metais (Cu, Zn, Cd, Ni e Pb), juntamente comparados com um tratamento com adubação mineral completa e uma testemunha. Os resultados obtidos mostram o aumento da atividade microbiana do solo pela adição de lodo de esgoto, composto orgânico e adubação mineral, variando conforme as doses aplicadas. O enriquecimento dos resíduos com metais pesados não influenciou a atividade microbiana. Nas taxas de aplicação mais altas, a mineralização dos resíduos foi, na média, de 14,5 % para o composto de lixo e de 28,7 % para o lodo de esgoto, com pequenas variações entre solos.

Palavras-chave: C-CO₂, composto de lixo urbano, lodo de esgoto, ETE.

Evaluation of the urban waste and sewage sludge application in two different soils

Summary – Land disposal of the wastes with high organic content can be an efficient alternative to reduce its pollutant potential. The aim of this study was to evaluate the decomposition rate of the urban waste and sewage sludge applied in two soils and their effects. The microbial activity was evaluated for the respirometric method after addition of the different residues and concentrations in two soils (Hapludult and Paleudult). The residues were applied four times in two years at the different rates of the urban waste, sewage sludge, and mineral fertilization. An additional treatment with 2-fold residue concentration over the higher rate of the residues, enriched with metals (Cu, Zn, Cd, Ni and Pb) was also included. Results exhibited an increase of the microbial activity in the soils after application of the urban waste, sewage sludge, mineral treatment, varying with the different doses. The residues' enrichment with heavy metals did not affect the microbial activity. In the highest application rate, the mineralization of residues were 14.5 % for the urban waste and 28.7 % for the sewage sludge, with small differences between soils.

Key words: C-CO₂, urban waste, sewage sludge, ETE.

¹ Manuscrito submetido em 13/04/2011 e aceito para publicação em 27/10/2011.

² Eng. Agr., Dr., Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RS, Campus Restinga, Porto Alegre. Caixa Postal 772. *E-mail:* claudio.kray@restinga.ifrs.edu.br.

³ Eng. Agr., Dr., Professor do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, CEP 90001-970, Porto Alegre (RS).

⁴ Eng. Agr., Dr., Pós-Doutorando Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Bolsista CAPES-REUNI. Av. Bento Gonçalves 7712, CEP 90001-970, Porto Alegre (RS).

**E-mail:* robsonandreazza@yahoo.com.br.

Introdução

A aplicação de resíduos urbanos em solos agrícolas vem sendo utilizada de forma crescente em nível mundial, sendo uma alternativa ambientalmente e economicamente viável (PEREIRA et al., 2008; PIRES et al., 2011). Devido a suas características físicas, químicas e biológicas, o solo propicia as condições necessárias para a biodegradação de resíduos orgânicos e retenção dos metais pesados e outros poluentes (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). O material orgânico pode disponibilizar nutrientes, como o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), para as plantas e microrganismos, melhorando os atributos químicos e físicos do solo pela adição de matéria orgânica (BOEIRA e MAXIMILIANO, 2009; NOGUEIRA et al., 2011). Entretanto, a dose a ser adicionada não pode causar efeitos prejudiciais ao ambiente.

A decomposição de resíduos orgânicos adicionados ao solo pode ser avaliada pela atividade microbiana por meio da quantificação do CO_2 liberado pelos microrganismos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Estudos realizados em laboratório permitem avaliações em uma situação mais controlada e rápida, em condições ideais para a degradação. No entanto, embora os experimentos de respirometria sejam amplamente utilizados para avaliar a mineralização de materiais orgânicos, deve-se considerar que estudos de curto prazo, frequentemente conduzidos nessas condições, são limitados para a extrapolação de seus resultados às condições de campo (HSIEH et al., 1981).

Resíduos de lixo urbano e lodos de esgoto podem ser importantes fontes de nutrientes, contudo, quando aplicados indiscriminadamente podem contribuir com o efeito estufa pela liberação de CO_2 , onde a utilização adequada pode ser uma alternativa ambientalmente adequada (GENG et al., 2010). A utilização de compostos orgânicos, como resíduos de lixo urbano e lodos de esgoto em solos agrícolas pode ser uma opção viável para reduzir o impacto ambiental. Para se determinar a capacidade que um determinado solo pode receber de um substrato é necessário quantificar a taxa de decomposição destes resíduos. Em virtude disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a taxa de decomposição do lodo de esgoto de estação de tratamento de esgoto (ETE) e do composto de lixo urbano adicionado em dois solos em quatro períodos de tempo, durante dois anos.

Material e Métodos

No presente trabalho, a estimativa da atividade microbiana foi avaliada pela determinação do car-

bono (CO_2) liberado em um período de 631 dias, em quatro etapas, sendo uma aplicação inicial e três reaplicações dos tratamentos, de seis em seis meses. Foram utilizados dois solos classificados como Latossolo Vermelho distroférico nitossólico (LVd) e Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd) (EMBRAPA, 1999), sem histórico de cultivo recente.

As doses dos resíduos foram adicionadas com base no teor de N total dos resíduos e de acordo com o teor de N necessário para a cultura do milho (COMISSÃO, 2004). Os tratamentos utilizados foram: 1- Controle (sem composto e sem adição de NPK); 2- NPK mais calcário para atingir pH 6,0 (NPK + calc.); 3- Composto de lixo urbano mais PK (CI); 4- Uma vez e meia (1,5) a quantidade de lixo urbano utilizada no tratamento 3 mais PK (CII); 5- Três vezes a quantidade de composto de lixo urbano utilizada no tratamento 3 mais PK, mais metais pesados (CIII); 6- Lodo de esgoto mais PK (LI); 7- Uma vez e meia (1,5) a quantidade de Lodo de esgoto utilizada no tratamento 6 mais PK (LII); 8- Três vezes a quantidade de Lodo de esgoto utilizada no tratamento 6 mais PK, mais metais pesados (LIII). O composto de lixo urbano (CI) foi adicionado nas doses de 23,7, 11,9, 28,4 e 14,2 t ha^{-1} na 1ª, 2ª, 3ª e 4ª aplicação respectivamente. O lodo de esgoto (LI) foi adicionado nas doses de 9,3, 4,6, 11,6 e 5,8 t ha^{-1} na 1ª, 2ª, 3ª e 4ª aplicação respectivamente. Nos tratamentos (CI), (CII) e (CIII), estimou-se que 75, 50 e 25 % do N total do resíduo, respectivamente, estariam disponíveis para cada cultivo. O mesmo critério foi adotado para os tratamentos (LI), (LII) e (LIII). Devido ao espaço de tempo entre o início e o final do experimento, foram utilizadas duas remessas de resíduos. Os atributos químicos dos resíduos são apresentados na Tabela 1.

No tratamento com calagem e adubação mineral, foi inicialmente adicionado $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ (3:1) e N, P e K nas forma de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, conforme recomendação da COMISSÃO (2004). Nos tratamentos com doses mais baixas de resíduos, foi feita a suplementação de P_2O_5 solúvel e aplicada a quantidade total de K_2O recomendada. Na 1ª e 3ª aplicações, no tratamento com NPK, foram adicionados 160 kg ha^{-1} de nitrogênio, 130 kg ha^{-1} de fósforo (P_2O_5) e 100 kg ha^{-1} de potássio (K_2O), com a adubação de NPK na forma de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio respectivamente. Já na 2ª e 4ª aplicações, foram adicionados 80 kg ha^{-1} de nitrogênio, 100 kg ha^{-1} de fósforo (P_2O_5) e 120 kg ha^{-1} de potássio (K_2O).

Nos tratamentos com composto de lixo urbano dose III, e lodo de esgoto dose III, as quantidades dos metais pesados adicionados na forma de sais

Tabela 1 - Propriedades físicas e químicas do Argissolo (PVd) e Latossolo (LVd) na camada superficial e dos resíduos de composto de lixo urbano e lodo de esgoto.

Atributos ⁽¹⁾	Solos			
	PVd		LVd	
pH em água (1:1)	4,5		5,1	
P (Mehlich-1), mg dm ⁻³	1,6		2,7	
K (Mehlich-1), mg dm ⁻³	24		69	
Matéria orgânica, g dm ⁻³	13		24	
Ca trocável, cmol _c dm ⁻³	0,5		3,7	
Mg trocável, cmol _c dm ⁻³	0,2		1,6	
H+Al, cmol _c dm ⁻³	3,6		4,3	
CTC, cmol _c dm ⁻³	4,4		9,9	
Teor de argila, g dm ⁻³	130		540	
	Composto de Lixo Urbano ⁽²⁾		Lodo de Esgoto ⁽²⁾	
	2002	2003	2002	2003
Teor de sólidos, g dm ⁻³	700	720	140	150
pH em água (1:1)	9,1	9	7,3	7,1
Carbono orgânico, g kg ⁻¹	86	80	220	200
N total, g kg ⁻¹	8,2	7,6	23	19
P total, g kg ⁻¹	3,2	3	4,5	4,2
Cu total, mg kg ⁻¹	54	51	1200	1190
Zn total, mg kg ⁻¹	154	150	778	753
Cd, mg kg ⁻¹	<2	<2	<2	<2
Ni, mg kg ⁻¹	21	22	20	19
Pb, mg kg ⁻¹	27	29	85	88
Valor de neutralização, g kg ⁻¹	6,2	5,8	3,4	3,2

⁽¹⁾ Atributos determinados através de metodologias descritas por Tedesco et al. (1995).
⁽²⁾ Determinações realizadas em material seco a 75 °C.

somadas à adição dos mesmos pelos resíduos orgânicos foram calculadas para atingir as quantidades limites, em kg ha⁻¹, para aplicação no solo, sugeridas por Rodrigues et al. (1993), para áreas experimentais, sendo: chumbo (PbCl₂): 1.000 mg kg⁻¹; zinco (ZnCl₂): 560 mg kg⁻¹; cobre (CuCl₂): 280 mg kg⁻¹; níquel (NiCl₂): 70 mg kg⁻¹; e cádmio (CdCl₂): 5,0 mg kg⁻¹. As quantidades totais dos metais foram fracionadas em quatro aplicações e adicionadas juntamente com os resíduos nas aplicações dos tratamentos.

Para o teste de respirometria foram utilizados 200 g (peso seco) de solo. Após a pesagem, foram adicionados os respectivos tratamentos e imediatamente foram acondicionados nos frascos de incubação de vidro (com volume de 1 L). Sobre a superfície do solo de cada frasco foi colocado um suporte de inox para os frascos de polietileno (para não ter

o contato do solo com o frasco), contendo um copo de polietileno (50 mL) com 20 mL de solução de 0,5 M NaOH, e o frasco de incubação foi hermeticamente fechado. A intervalos variáveis, os frascos de polietileno contendo NaOH foram retirados dos frascos de incubação para a determinação do CO₂ liberado, adicionando-se 1,0 mL de uma solução de BaCl₂ (2,5 g L⁻¹) e três gotas de fenolftaleína (0,5 g L⁻¹); em seguida o excesso de NaOH, ou seja, a fração não consumida na reação com CO₂ foi titulada com solução padronizada de 0,5 M HCl (STOTZKY, 1965). Foram utilizadas duas repetições para cada tratamento e mais duas provas em branco. A liberação de CO₂, em mg de C-CO₂ kg⁻¹ de solo, foi calculada pela fórmula:

$$\text{CO}_2 \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} = (V_B - V_A) \times M \times E \times 5 \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

V_B = volume de HCl gasto na titulação da prova em branco;

V_A = volume de HCl gasto na titulação da amostra;

M = molaridade do HCl ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$);

E = peso equivalente grama do carbono (6).

5 = transformação para kg de CO_2 , por ter sido usada 200 g de solo.

No final de cada etapa, antes da reaplicação dos tratamentos foi retirada uma amostra de solo de cada unidade experimental. Nessas amostras foram determinados: teor de umidade, pH do solo e os teores de nitrogênio inorgânico (NH_4^+ e NO_3^-), conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e aos testes estatísticos de comparação de médias múltiplas de Tukey, com nível de probabilidade de diferenças estatísticas menores que 5 % ($p < 0,05$).

Resultados e Discussão

As quantidades cumulativas totais de CO_2 estão apresentadas nas Figuras 1A e 1B. Os resultados mostram aumento da atividade microbiana com adição de lodo de esgoto, composto de lixo urbano e adubação mineral, variando conforme as doses aplicadas. Nas quatro aplicações dos resíduos, a maior parte do CO_2 foi liberado na fase inicial de cada etapa, em todos os tratamentos em ambos os solos. Este fato indica que as maiores taxas de respiração dos microrganismos do solo com adição de materiais orgânicos ocorrem nos primeiros dias após a aplicação (METZGER e YARON, 1987), conforme a dinâmica das populações microbianas heterotróficas, as quais oxidam, inicialmente, os compostos mais simples, ocorrendo um rápido desprendimento do carbono (ATLAS e BARTHA, 1997). Os compostos mais complexos e de difícil decomposição são a seguir metabolizados com menores taxas de desprendimento de CO_2 (ALEXANDER, 1977; ATLAS e BARTHA, 1997).

A menor quantidade de CO_2 liberado em todas as etapas foi determinada no tratamento testemunha. A degradação é favorecida pelo manuseio e desagregação do solo, tornando os compostos orgânicos mais suscetíveis aos microrganismos, conseqüentemente, ocorre aumento da taxa respiratória. Essa mineralização foi estimulada no tratamento

com adição de NPK + calcário, pelo incremento do índice pH e do suprimento de nutrientes, indicando o alto potencial de degradação da matéria orgânica do solo em condições favoráveis. A decomposição do lodo de esgoto no solo aumentou a liberação de CO_2 . Em ambos os solos, o tratamento com a adição de lodo de esgoto na dose III, proporcionou a maior liberação acumulada de CO_2 , seguido do tratamento com a adição de lodo de esgoto na dose II (Figuras 1A e 1B).

Em geral, nos tratamentos com lodo de esgoto, as maiores quantidades de CO_2 foram determinadas nas etapas iniciais, nos dois solos, indicando uma redução da atividade microbiana ao longo do tempo. A adição de metais pesados ao solo (Pb, Cu, Zn, Ni e Cd) na forma de sais solúveis não afetou a atividade microbiana avaliada pela liberação de CO_2 , em todas as etapas, em ambos os solos. Embora altas concentrações de metais pesados possam afetar a composição dos microrganismos, reações bioquímicas e a biodisponibilidade dos metais (ALEXANDER, 1997).

Os tratamentos com adição de composto de lixo urbano liberaram CO_2 em uma taxa inferior à determinada nos tratamentos com lodo de esgoto, em todas as etapas e nos dois solos. Na 1ª etapa do experimento, no Argissolo, os tratamentos CI e CII, e no Latossolo, todos os tratamentos com composto orgânico apresentaram uma liberação acumulada inferior ao tratamento com adição de calcário + NPK (Figuras 1A e 1B). Em experimento a campo, Ferreira et al. (2003) atribuíram o menor valor de P disponível à imobilização microbiana de P na decomposição de serragem cromada.

A degradação do material orgânico adicionado ao solo foi maior no lodo de esgoto (Tabela 2). Isso ocorreu pela maior biodegradabilidade dos seus compostos carbonados, por ser um material ainda não completamente estabilizado. Entre os solos, a maior degradação foi determinada no Latossolo. A diferença entre os solos pode estar relacionada à capacidade de utilização de substratos orgânicos pela microbiota do solo, teor de argila, aeração, entre outros. Conforme Øvreås e Torsvik (1998), solos com maiores teores de matéria orgânica e argila apresentam maiores quantidade e diversidade microbiana do que solos com baixos teores de matéria orgânica.

A fração degradada diminuiu com o aumento da dose dos dois resíduos adicionados, em ambos os solos (Tabela 2). Interação negativa entre a taxa de mineralização e a dose de resíduo aplicada ao solo também foi observada por Guenzi et al. (1978). Ao final de todas as etapas de incubação, os menores

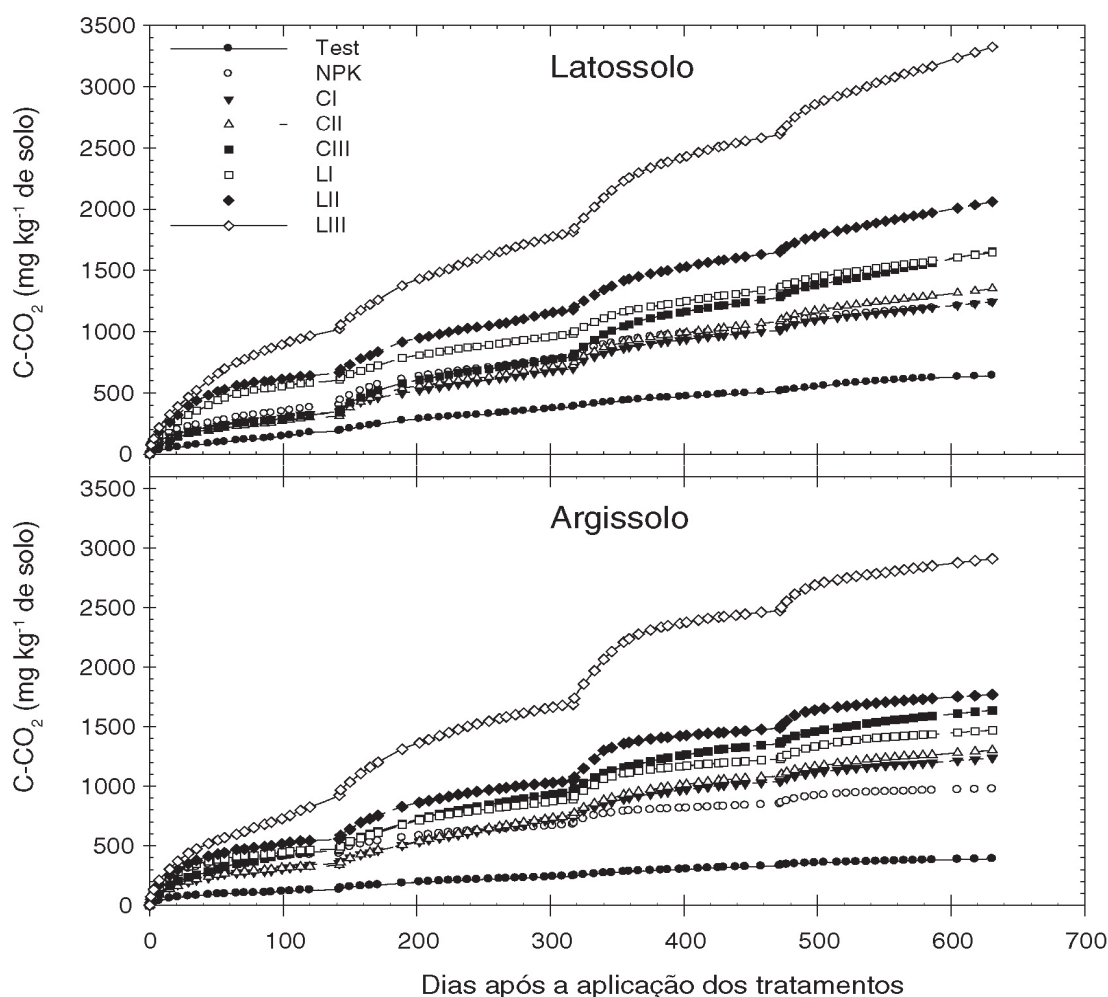


Figura 1. Quantidade cumulativa total de carbono ($C-CO_2$) volatilizado em solo Argissolo com adição de resíduos orgânicos nas quatro aplicações sucessivas (a). Quantidade cumulativa total de carbono (CO_2) volatilizado em Latossolo com adição de resíduos orgânicos nas quatro aplicações sucessivas (b)

teores de N mineralizados foram determinados nos tratamentos testemunha. Nesses tratamentos os teores de N provêm da decomposição da matéria orgânica do solo. Entre os solos, os maiores teores de N mineralizados foram determinados no Latossolo, devido ao seu maior teor de matéria orgânica.

Nos tratamentos com adição de lodo de esgoto, o teor de N aumentou, pelas adições desse resíduo, aumentando com as quantidades adicionadas. As grandes quantidades acumuladas são devidas às adições na forma mineral e à fração mineralizada (Tabela 2). Os aumentos dos teores de N mineral nos tratamentos com adição de composto de lixo urbano foram menores do que com a adição de lodo de esgoto (Tabela 2). A mineralização do N dos compostos orgânicos é afetada pela sua relação

C:N, dependendo, entretanto, do grau de estabilização do material (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Nos tratamentos com adição de lodo de esgoto no Argissolo, nas doses LI, LII e LIII, aproximadamente 37, 34 e 33 % respectivamente do N orgânico incorporado foi mineralizado. Já no Latossolo a mineralização foi de aproximadamente de 47, 42 e 40 % nos tratamentos LI, LII e LIII respectivamente, indicando a maior degradabilidade deste material. No tratamento com adição da maior dose de lodo (LIII) os teores de N mineralizados foram superiores aos determinados nos tratamentos com calcário + NPK, nos dois solos (Tabela 2). Nos tratamentos com a adição de Pb, Cu, Zn, Ni e Cd ao solo na forma de sais solúveis, foram observados os maiores teores de N. Dessa forma, não há indicação de que

Tabela 2 – Percentual de carbono degradado (C-degradado), N-mineralizado e pH do solo após a aplicação dos resíduos de composto de lixo urbano e lodo de esgoto de estação de tratamento de esgoto (ETE) em três doses aplicados em dois solos (Argissolo (PVd) e Latossolo (LVd)).

Tratamentos	C-degradado (%)	N-mineralizado (%)	pH (1:1)
Solo PVd			
1- Controle	--	--	5,1 c
2- Calcário+NPK	--	--	6,7 a
3- Comp. Lixo dose I	23,2 c*	15,9 c	6,7 a
4- Comp. Lixo dose II	15,8 d	11,8 d	6,7 a
5- Comp. Lixo dose III ⁽¹⁾	11,3 e	8,2 d	6,6 a
6- Lodo de ETE dose I	31,2 a	37,2 a	5,9 b
7- Lodo de ETE dose II	26,2 b	34,2 ab	5,7 b
8- Lodo de ETE dose III ⁽¹⁾	24,0 c	33,3 b	5,2 c
Solo LVd			
1- Controle	--	--	5,0 c
2- Calcário+NPK	--	--	5,6 b
3- Comp. Lixo dose I ⁽¹⁾	18,6 d	16,0 c	6,0 a
4- Comp. Lixo dose II	13,2 e	12,9 c	6,1 a
5- Comp. Lixo dose III ⁽²⁾	8,7 f	8,8 d	6,1 a
6- Lodo de ETE dose I	36,3 a	46,5 a	5,0 c
7- Lodo de ETE dose II	31,2 b	42,2 b	4,7 c
8- Lodo de ETE dose III ⁽¹⁾	28,6 c	4,04 b	4,1 d

⁽¹⁾ As diferentes doses correspondem a 75, 50 e 25 % do N total dos resíduos nas doses I, II e III respectivamente.
⁽²⁾ Com adição de Cd, Cu, Ni, Pb e Zn na forma de sais solúveis.
* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05) em cada solo.

estas quantidades de metais tenham afetado negativamente a atividade microbiana.

A acidez dos solos foi corrigida na primeira etapa visando pH 6,0; nos tratamentos com adição de resíduos a quantidade de corretivo indicada pelo valor de neutralização dos mesmos foi subtraída da dose de calcário adicionada. Os valores de pH nos tratamentos com calcário + NPK, em ambos os solos, evidenciam os processos naturais de acidificação do solo, favorecidos pela adição de ureia e de superfosfato triplo na adubação.

Os efeitos da aplicação do composto de lixo urbano sobre o pH do solo são apresentados na Tabela 2. Em geral, os valores de pH do solo aumentaram em função da reaplicação e da dose, o que sugere um efeito crescente sobre o pH, através de aplicações sucessivas do resíduo. Aumentos no índice pH em decorrência da aplicação de composto de lixo urbano foram também observados por Oliveira (2000).

O lodo de esgoto apresentou potencial de acidificação do solo. O efeito acidificante do lodo de

esgoto foi observado em todas as doses, em ambos os solos, sendo mais evidente nas doses mais elevadas (Tabela 2). O poder de acidificação dos resíduos está relacionado com o comportamento de sua carga orgânica no solo. Pietz et al. (1989) atribuem a acidificação à nitrificação do nitrogênio amoniacal e à oxidação de sulfetos. Chang et al. (1991) atribuem a redução do pH à nitrificação do amônio e à produção de ácidos durante a decomposição.

Conclusões

Aplicações sucessivas de composto de lixo urbano aumentaram o pH dos solos, já a aplicação de lodo de esgoto diminuiu o pH devido à baixa estabilidade deste composto orgânico. O enriquecimento do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano com metais na forma de sais solúveis (Cu, Zn, Pb, Cd e Ni) não afetou a atividade microbiana em ambos os solos estudados. Além disso, a decomposição

dos resíduos, avaliados tanto pela liberação de CO₂ como pela liberação de nitrogênio, diminuiu as quantidades do material orgânico adicionado.

Agradecimentos

À CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro e pelas bolsas de estudo.

Referências

- ALEXANDER, M. I. H. Introduction to soil microbiology. New York: John Wiley, 1977. 472p.
- ATLAS, R. M.; BARTHA, R. Microbial Ecology: Fundamentals and Applications. 4 ed. Menlo Park: Benjamin/Cummings Science Publishing, 1997. 694p.
- BOEIRA, R. C.; MAXIMILIANO, V. C. B. Mineralização de compostos nitrogenados após aplicações de lodos de esgoto em quatro cultivos de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 207-218, 2009.
- CHANG, C.; SOMMERFELDT, T. G.; ENTZ, T. Soil chemistry after eleven annual applications of cattle feedlot manure. *Journal of Environmental Quality*, v. 20, p. 475-480, 1991.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 755-763, 2003.
- GENG, Y.; TSUYOSHI, F.; CHEN, X. Evaluation of innovative municipal solid waste management through urban symbiosis: a case study of Kawasaki. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, p. 993-1000, 2010.
- GUENZI, W. D.; BEARD, W. E.; WATANABE, F. S. et al. Nitrification and denitrification in cattle manure – amended soil. *Journal of Environmental Quality*, v.7, p.406-412, 1978.
- HSIEH, Y. P.; DOUGLAS, L. A.; MOTTO, H. L. Modeling sewage sludge decomposition in soil: 1. organic carbon transformation. *Journal of Environmental Quality*, v. 10, p. 54-59, 1981.
- METZGER, L.; YARON, B. Influence of sludge organic matter on soil physical properties. *Advances in Soil Science*, v. 7, p. 141-163, 1987.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.
- NOGUEIRA, F. G. E.; CASTRO, I. A.; BASTOS, A. R. R.; SOUZA, G. A.; CARVALHO, J. G.; OLIVEIRA, L. C. A. Recycling of solid waste rich in organic nitrogen from leather industry: Mineral nutrition of rice plants. *Journal of Hazardous Materials*, v. 186, p. 1064-1069, 2011.
- OLIVEIRA, F. C. Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ, 2000. 247 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.
- ØVREÅS, L.; TORSVIK, V. Microbial diversity and community structure in two different soil agricultural communities. *Microbial Ecology*, v. 36, p. 303-315, 1998.
- PEREIRA, W. C.; SILVA, D. M.; CARVALHO, J. O.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; RAVELLI NETO, A.; BÔAS, R. C. V. Alternativas de utilização de resíduos sólidos alcalinos na disposição de resíduos contaminados: estudo de caso no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 13, n. 2, p. 163-170, 2008.
- PIETZ, R. I.; CARLSON, C. R.; PETERSON JÚNIOR, J. R.; ZENZ, D. R.; LUE-HING, C. Application of sewage sludge and other amendments to coal refuse material; III. Effects on percolate water composition. *Journal of Environmental Quality*, v. 18, p. 174-179, 1989.
- PIRES, A.; MARTINHO, G.; CHANG, N. B. Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, v. 92, p. 1033-1050, 2011.
- RODRIGUES, A. L. M.; ANGHINONI, M. C. M.; TEDESCO, M. J. Critérios técnicos para disposição no solo de resíduos sólidos de curtume. In: CONGRESSO DA UNIÃO INTER-NACIONAL DOS QUÍMICOS E TÉCNICOS DA INDÚSTRIA DO COURO, 22., 1993, Porto Alegre. Boletim. Porto Alegre: FEPAM, 1993. 14 p.
- STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A. (Ed) Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 1551-1572. Chemical and microbiological properties (Agronomy Series, 9).
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. et al. Análises de solos, plantas e outros materiais. 2. Ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).