

# Emissão de C-CO<sub>2</sub> em solo tropical suplementado com lodo de esgoto

R.C. BOEIRA<sup>1</sup>, M.A.V. LIGO<sup>1</sup> & V.C.B. MAXIMILIANO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Meio Ambiente, Caixa Postal 69 – Jaguariúna/SP – CEP 13820-000; [rcboeira@cnpma.embrapa.br](mailto:rcboeira@cnpma.embrapa.br)

**RESUMO** - Lodos de esgoto possuem alto teor de carbono orgânico, porém, há um expressivo consumo de matéria orgânica logo após sua aplicação no solo, resultando novo equilíbrio da relação C/N. Se parte da matéria orgânica presente no lodo de esgoto for resistente à degradação e não inibir a atividade microbiana, o teor de carbono orgânico no solo poderá aumentar. Em solo agrícola, esse efeito pode ser considerado positivo se houver melhorias em sua qualidade e potencial produtivo, sem qualquer prejuízo ambiental. A persistência de carbono orgânico no solo pode ser avaliada medindo-se as taxas de degradação do lodo de esgoto pela atividade microbiana do solo. Esta análise faz parte da caracterização qualitativa e quantitativa de lodo de esgoto, exigida na legislação para disposição em solos agrícolas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a decomposição de lodo de esgoto aplicado a um latossolo, medindo-se a emissão de CO<sub>2</sub>. Os tratamentos estudados foram de 1, 2, 4 e 8 vezes a aplicação da dose recomendada na legislação atual, com base no teor de N, além de um tratamento com adubação mineral NPK e um tratamento testemunha. Avaliaram-se dois lodos de esgoto, um de origem urbana (Franca/SP) e um de origem urbano-industrial (Barueri/SP). As doses de lodo de esgoto foram equivalentes à aplicação, numa camada de 0-20 cm de profundidade, de 3, 6, 12 e 24 Mg ha<sup>-1</sup> (Franca) e de 8, 16, 32 e 64 Mg ha<sup>-1</sup> (Barueri/SP). O solo estudado foi um Latossolo Vermelho distroférrico. Avaliou-se o efeito dos tratamentos sobre a emissão de carbono na forma de CO<sub>2</sub> em câmaras sem circulação forçada de ar, durante 57 dias de incubação. O padrão de emissão de C-CO<sub>2</sub> foi semelhante nos dois tipos de lodo de esgoto. Concluiu-se que as doses utilizadas ou os tipos de lodo de esgoto não afetaram a biodecomposição da matéria orgânica aplicada ao solo a qual foi estimada em 15 %.

## Introdução

A aplicação ao solo de resíduos sólidos ricos em matéria orgânica resulta no tratamento biológico dos mesmos, por meio da oxidação de seus compostos de carbono a gás carbônico e água. O uso desses resíduos na agricultura é recomendado somente quando houver comprovado benefício agrônômico, sem qualquer prejuízo ambiental [1, 2], e com melhorias na qualidade e potencial produtivo dos solos agrícolas. Entre esses resíduos, alguns lodos de esgoto podem ter o solo agrícola como seu receptor final, desde que rigorosamente atendidas as recomendações técnicas estipuladas pela legislação já existente em muitos países e, recentemente, estabelecida no Brasil [3]. Nas

estações de tratamento de esgoto ocorre diminuição do volume de resíduos, mas mesmo assim, as quantidades de materiais residuários gerados são grandes, tornando-se necessária sua disposição, que deve ser ambientalmente adequada. Quando a opção para redução da carga orgânica dos resíduos for o uso agrícola, deve-se buscar a melhoria da qualidade física e/ou química do solo, preservando-se a qualidade do ambiente local da aplicação. Se parte do carbono orgânico presente no lodo de esgoto for resistente à degradação e não inibir a atividade microbiana do solo [4], seu teor no solo poderá aumentar, promovendo alterações em alguns atributos de solo.

Em laboratório, pode-se avaliar a persistência (incrementos e/ou conservação do teor de carbono orgânico) de materiais orgânicos no solo, medindo-se as taxas de degradação do lodo de esgoto pela atividade microbiana indígena do solo [5]. Esta análise faz parte da caracterização qualitativa e quantitativa do material, necessária para disposição em solos agrícolas e exigida pelos órgãos regulatórios brasileiros [6]. O efeito da aplicação de lodo de esgoto sobre a atividade microbiológica pode ser estimado pela taxa de respiração, que depende da disponibilidade de C para a biomassa. Assim, taxa respiratória elevada indica maior atividade microbiana e decomposição mais rápida da matéria orgânica no solo.

O objetivo deste trabalho foi a avaliação laboratorial da decomposição da matéria orgânica de um latossolo tratado com doses crescentes de dois tipos de lodos de esgoto, por meio da emissão de CO<sub>2</sub>.

**Palavras-chave:** respirometria, decomposição de carbono, taxa respiratória

## Material e métodos

A determinação da biodecomposição da matéria orgânica contida nos lodos foi avaliada de acordo com metodologia da Cetesb [6], que aplica o método respirométrico, derivado do sistema proposto por Bartha & Pramer [7]. O experimento foi instalado no laboratório, em delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições, utilizando-se o teste DMS para comparação conjunta de médias, quando indicado pela análise de variância, e análise de regressão linear para tratamentos comparados em cada tipo de lodo de esgoto. Foram avaliadas dez doses de lodos, em 13 épocas (3, 4, 7, 9, 11, 15, 18, 25, 32, 37, 43, 50 e 57 dias), aplicadas em Latossolo Vermelho distroférrico textura argilosa. As amostras de solo utilizadas na preparação dos tratamentos foram coletadas de 0 a 20 cm de profundidade, secadas ao ar e peneiradas (2 mm). A

composição química parcial do solo foi: pH em água: 5,8; P: 3,5 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> e capacidade de troca de cátions (calculada pela soma de bases + H + Al): 1,51; 27,5; 8,5; 1,0 e 73,5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente, determinada segundo métodos descritos por Raij & Quaggio [8].

Os tratamentos constituíram-se da testemunha (solo sem lodo), de aplicação e incorporação ao solo de fertilização mineral completa (tratamento NPK) e de doses de dois lodos de esgoto, Franca (tratamentos F 1N, F 2N, F 4N e F 8N) e Barueri (tratamentos B 1N, B 2N, B 4N e B 8N). Os tratamentos F 1N e B 1N foram equivalentes à dose calculada de cada lodo de esgoto, segundo Cetesb [9], para um cultivo com adubação recomendada de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Os demais tratamentos representaram duas, quatro e oito vezes a dose 1N (Tab. 1). No tratamento NPK, foi feita aplicação uniforme de solução contendo N (50 mg kg<sup>-1</sup> de solo), P (21,2 mg kg<sup>-1</sup> de solo) e K (26,7 mg kg<sup>-1</sup> de solo), utilizando-se como fontes fosfato ácido de potássio e nitrato de amônio. Os lodos de esgoto foram coletados nas estações de tratamento de Franca (SP), que trata esgotos de origem doméstica, e de Barueri (SP), que trata esgotos de origem urbano-industrial; ambos não alcalinos e digeridos em reator anaeróbio.

As unidades experimentais foram recipientes plásticos com tampa (vasos), com volume de três litros. A incubação das misturas lodo de esgoto-solo (100 g/tratamento) foi conduzida durante 57 dias em ambiente escuro, com a umidade do solo em capacidade de campo, e sob temperatura ambiente controlada (24°C ± 2°C), em respirômetros fechados (lacrados), com rodízio semanal das unidades experimentais, em cada bloco. O fluxo de carbono na forma de CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) foi estimado por meio da captura do C evoluído do solo em solução de NaOH [10]. Em cada vaso foi colocado um recipiente com 20 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>. As determinações foram feitas após adição de BaCl<sub>2</sub> saturado aos frascos de NaOH, por meio de titulação com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 mol L<sup>-1</sup>, utilizando-se fenolftaleína como indicador do ponto de viragem. A partir da concentração inicial e final da solução de NaOH obteve-se a quantidade de carbono liberada do solo na forma de CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>), em cada época de avaliação (o estudo ao longo do tempo foi feito na mesma unidade experimental), ocasiões em que ocorreu aeração natural nos tratamentos. No final do período de incubação, calculou-se a emissão de gás carbônico acumulado *versus* tempo.

## Resultados e discussão

A avaliação respirométrica de resíduos tem por objetivo a determinação da taxa de biodegradação da matéria orgânica contida num resíduo, quando aplicado em solo. Este é um entre vários outros critérios para determinação da taxa máxima de adição do resíduo em campo [6]. Neste trabalho, a biodecomposição não foi afetada pela adubação mineral NPK. O comportamento do tratamento testemunha (sem aplicação de lodo de esgoto) e do solo com adubação mineral NPK foi semelhante, com as mesmas quantidades de C-CO<sub>2</sub>

evoluídas no período avaliado, tendo ocorrido emissão de 2% do carbono original no solo (Tab. 1). Na mesma tabela, observa-se que nos tratamentos com os lodos de esgoto, a perda de carbono dos sistemas lodo-solo variou de 2,6 a 6,0 % em relação ao teor inicial de carbono da mistura solo + lodo, durante o período de incubação de 57 dias.

Houve aumento significativo na emissão de C-CO<sub>2</sub> com o aumento das doses nos tratamentos (Tab. 1), tanto para o lodo de Franca quanto para o de Barueri, obtendo-se regressões lineares significativas para a variável. Esta resposta também foi observada por Santos et al. [11], ao estudarem doses de 32, 63 e 95 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo anaeróbio alcalino e doses de 33 e 50 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo anaeróbio tratado com biopolímero, em incubação durante 151 dias. Mesmo comportamento também foi observado com lodo da estação de Barueri (SP) nas doses de 24 e 47 Mg ha<sup>-1</sup> [12] e 19 e 38 Mg ha<sup>-1</sup> [13], com incubação durante 70 e 60 dias, respectivamente. Segundo Wong *et al.* [14], a maior taxa respiratória, que foi observada no tratamento com maior dose de lodo de esgoto, resulta, em parte, da influência de maiores teores de nitrogênio e de fósforo disponibilizados pelo resíduo. Deve ainda ser considerada a possibilidade de estímulo à decomposição da matéria orgânica nativa dos solos (efeito *priming*) [15].

Os resultados obtidos mostraram que não houve redução na taxa de decomposição dos resíduos nas doses elevadas, o que é favorável quando o solo é utilizado como um meio de disposição, em que se visa apenas a diminuição da carga orgânica do material. No entanto, quando se tem como objetivo o aproveitamento desses resíduos em solos agrícolas, as taxas de aplicação de lodos de esgoto devem ser simultaneamente condicionadas a outros critérios, como teores máximos de certos compostos inorgânicos e de compostos orgânicos persistentes, além da avaliação da presença de organismos patogênicos perniciosos ao ambiente [9]. Entre esses critérios, é relevante que seja considerada a elevada disponibilização potencial de nitrato no solo, também decorrente da degradação do material orgânico, especialmente com aplicação de doses elevadas de lodos de esgoto [16].

O padrão de emissão de C-CO<sub>2</sub> foi semelhante para os dois tipos de lodo de esgoto (Fig. 1). No período inicial de decomposição ocorreram as maiores perdas de carbono, como também observado por Barretto [13] em incubação, durante 60 dias, de lodo de esgoto de Barueri (pH = 10,1) em Latossolo e em Neossolo Quartzarênico. Em todos os tratamentos houve ocorrência de 50% ou mais da decomposição total nos primeiros 15 dias, devido à rápida decomposição inicial de substâncias menos complexas [17]. Após 20-30 dias de incubação houve tendência de estabilização das perdas de carbono, com valores sempre mais altos para as maiores doses, evidenciando um novo estado de equilíbrio no solo, diferente do solo original (testemunha). Outros autores também encontraram baixa velocidade de emanação de CO<sub>2</sub> após 15 dias de incubação de biossólidos, como Reis & Rodella [18] (aplicação estimada em 44 Mg ha<sup>-1</sup>), e Wong *et al.* [14] (aplicação estimada em 700 Mg ha<sup>-1</sup>).

Na Fig. 1, verifica-se que aos 57 dias de incubação há uma tendência de estabilização na

decomposição do carbono em todos os tratamentos, embora a taxas menores do que as iniciais.

Na Fig. 2, em que se apresentam as curvas da geração acumulada de CO<sub>2</sub> nos respirômetros ao final do período, pode-se observar que a geração de CO<sub>2</sub> no período estudado foi crescente para todas as doses dos dois lodos de esgoto, indicando que as doses utilizadas não afetaram a ação microbiana. A análise de regressão linear para esses dados mostrou que a emissão de C foi crescente com o aumento das doses utilizadas de resíduos (Tab. 1).

## Conclusão

As doses utilizadas ou os tipos de lodo de esgoto não afetaram a biodecomposição da matéria orgânica aplicada ao solo, estimada em 15 %. No entanto, para o aproveitamento desses resíduos em solos agrícolas, as doses de aplicação de lodos de esgoto devem ser simultaneamente condicionadas a outros critérios, com limites de teores para certos compostos inorgânicos e, ou compostos orgânicos persistentes e para organismos patogênicos.

## Referências

- [1] HSIEH, Y. P.; DOUGLAS, L.A. & MOTTO, H.L. 1981. Modeling sludge decomposition in soil. I. Organic carbon transformation. *Journal of Environmental Quality*, 10 (1): 54-59.
- [2] HERNÁNDEZ, M.T.; MORENO, J.I.; COSTA, F.; GONZÁLEZ-VILA, F.J. & FRÜND, R. 1990. Structural features of humic acidlike substances from sewage sludges. *Soil Science*, 149 (2): 63-68.
- [3] Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2006. Resolução n. 375 de 29 de agosto de 2006. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- [4] FLIESBATCH, A.; MARTENS, A. & REBER, H.H. 1994. Soil microbial biomass and microbial activity in soil treated with heavy metal contaminated sewage sludge. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(9):1201-1205.
- [5] NUVOLARI, A. 1996. Aplicação de lodo de esgotos municipais no solo: ensaios de respirometria para avaliar a estabilidade do lodo. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, São Paulo. 158 p.
- [6] Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. 1990. Solos - determinação da biodegradação de resíduos - método respirométrico de Bartha. Cetesb, São Paulo, 15 p. (Norma Técnica, L6.350).
- [7] BARTHA, R. ; PRAMER, D. 1965. Features of a flask and method for measuring the persistence and biological effects of pesticides in soil. *Soil Science*, 100 (1): 68-70.
- [8] RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. 1983. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Instituto Agronômico, Campinas. 31 p. (Boletim Técnico, 81).
- [9] Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. 1999. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação. São Paulo. 32 p. (Manual Técnico, P 4.230).
- [10] ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic, London. 576p.
- [11] SANTOS, D.S., ANDRADE, C.A. & MATTIAZZO, M.E. 2002. Degradação da fração orgânica de lodos de esgoto após aplicação no solo. In Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 25. Rio de Janeiro, RJ. CD-ROM. Anais.
- [12] PIRES, A.M.M., ANDRADE, C.A. & MATTIAZZO, M.E. 2002. Degradação da carga orgânica, condutividade elétrica e pH de um latossolo tratado com biossólido incorporado ou em superfície. In Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição

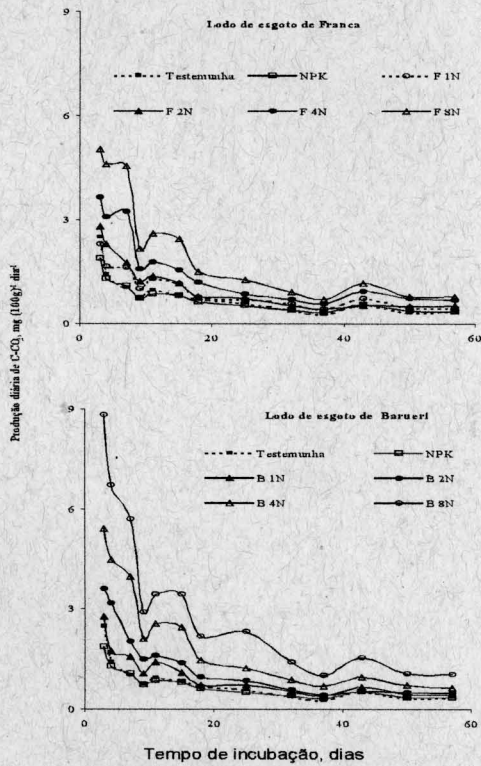
de Plantas, 25. Rio de Janeiro, RJ. CD-ROM. Anais.

- [13] BARRETTO, M. C. V. 1995. Degradação da fração orgânica de resíduos e efeitos em algumas propriedades químicas e físicas de dois solos. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, São Paulo. 106 p.
- [14] WONG, J. W. C.; LAI, K.M.; FANG, M. & MA, K.K. 1998. Effect of sewage sludge amendment on soil microbial activity and nutrient mineralization. *Environmental International*, 24(8): 935-943.
- [15] LEVI-MINZI, R.; RIFFALDI, R. & SAVIOZZI, A. Carbon mineralization in soil amended with different organic materials. *Agricultural Ecosystem Environment*, 31:325-335, 1990.
- [16] DYNIA, J. F., SOUZA, M. & BOEIRA, R.C. 2006. Lixiviação de nitrato em Latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(5): 855-862.
- [17] ANDRADE, C.A. 2004. Fração orgânica de biossólidos e efeito no estoque de carbono e qualidade da matéria orgânica de um latossolo cultivado com eucalipto. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, São Paulo. 135p.
- [18] REIS, T.C.; RODELLA, A.A. 2002. Cinética de degradação da matéria orgânica e variação do pH do solo sob diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26 (3): 619-626.

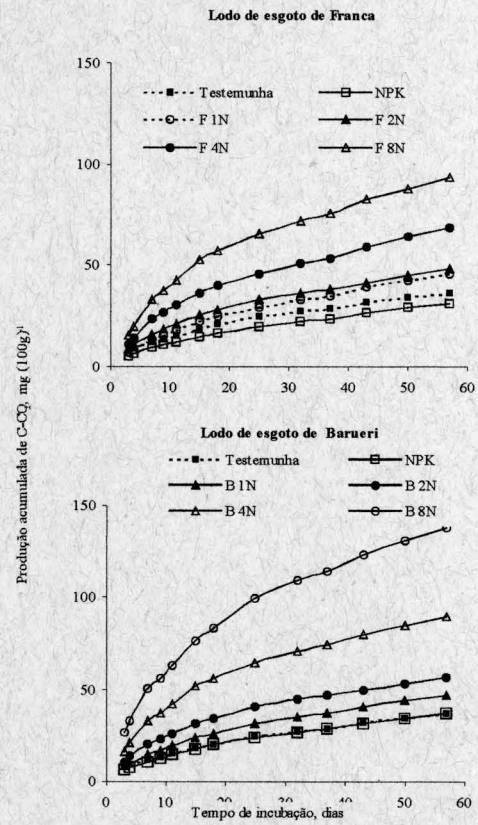
**Tabela 1.** Dose aplicada de lodo de esgoto e de carbono, desprendimento de carbono na forma de CO<sub>2</sub> e fração de degradação de carbono em Latossolo incubado durante 57 dias com lodos de esgoto coletados nas estações de tratamento de esgoto de Franca (SP) e de Barueri (SP).

Tratam. <sup>1</sup>	Dose de lodo de esgoto g kg <sup>-1</sup>	C inicial nos tratamentos g kg <sup>-1</sup>	Emissão de C-CO <sub>2</sub> nos tratamentos g kg <sup>-1</sup>	Emissão de C-CO <sub>2</sub> pelos lodos de esgoto %	Emissão de C-CO <sub>2</sub> pelos lodos de esgoto g kg <sup>-1</sup>
NPK	0	17,1 f <sup>3</sup>	0,341 f	2,0	-
Test	0	17,4 ef	0,368 f	2,1	-
		-----			
F 1N	1,5	17,3 ef	0,455 e	2,6	0,087
F 2N	3	18,3 cde	0,485 e	2,6	0,117
F 4N	6	19,0 bcd	0,687 c	3,6	0,319
F 8N	12	20,5 ab	0,931 b	4,5	0,563
		-----			
[R <sup>2</sup> ] <sup>2</sup>		0,77 (P≤0,01)	0,80 (P≤0,01)		
		-----			
B 1N	4	17,8 def	0,469 e	2,6	0,101
B 2N	8	16,8 bc	0,569 d	3,4	0,201
B 4N	16	21,0 ab	0,897 b	4,3	0,529
B 8N	32	23,0 a	1,383 a	6,0	1,015
		-----			
[R <sup>2</sup> ]		0,23 (P≤0,05)	0,87 (P≤0,01)		

<sup>1</sup> F: lodo de esgoto de Franca; B: lodo de esgoto de Barueri. 1N: tratamento correspondente à aplicação, via lodo de esgoto, de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral; 2N, 4N e 8N representam múltiplos da dose 1N. <sup>2</sup> Regressão linear significativa na probabilidade apresentada (Teste F). <sup>3</sup> Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si (DMS, P≤0,05). <sup>4</sup> 0,341/17,1.



**Figura 1.** Emissão de C na forma de  $\text{CO}_2$  em Latossolo incubado durante 57 dias com doses crescentes de lodos de esgoto. F: lodo de esgoto de Franca; B: lodo de esgoto de Barueri. 1N: tratamento correspondente à aplicação, via lodo de esgoto, de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral; 2N, 4N e 8N representam múltiplos da dose 1N.



**Figura 2.** Emissão acumulada de C na forma de  $\text{CO}_2$  em Latossolo incubado durante 57 dias com doses crescentes de lodos de esgoto. F: lodo de esgoto de Franca; B: lodo de esgoto de Barueri. 1N: tratamento correspondente à aplicação, via lodo de esgoto, de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral; 2N, 4N e 8N representam múltiplos da dose 1N