

# DEGRADAÇÃO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DE LODOS DE ESGOTO

Rita Carla Boeira<sup>2</sup>, Marcos Antonio Vieira Ligo<sup>3</sup>, Viviane Cristina Bettanin Maximiliano<sup>4</sup>

## RESUMO

Embora lodos de esgoto possuam um teor relativamente alto de carbono orgânico, há um expressivo consumo de matéria orgânica no solo logo após sua aplicação, até que seja alcançado novo equilíbrio da relação C:N. Neste trabalho, apresentam-se resultados obtidos em laboratório, referentes à degradação da fração orgânica de dois lodos de esgoto, provenientes das estações de tratamento de Franca/SP (doméstico) e de Barueri/SP (urbano-industrial). As doses utilizadas dos lodos foram equivalentes à aplicação de 3, 6, 12 e 24 Mg/ha (Franca) e 8, 16, 32 e 64 Mg/ha (Barueri). Determinaram-se as perdas de carbono, na forma de CO<sub>2</sub>, em câmaras sem circulação forçada de ar, após 57 dias de incubação dos lodos em latossolo. De um modo geral, o comportamento dos dois lodos foi semelhante. No período inicial de decomposição ocorreram as maiores perdas de carbono; 50% ou mais da degradação total dos tratamentos ocorreu nos primeiros 15 dias. A biodegradação estimada média dos tratamentos (lodos x doses) foi de 15%.

**Palavras-chave:** lodo de esgoto, carbono, mineralização, solo

---

<sup>2</sup> Engenheira agrônoma, Doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente

<sup>3</sup> Doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente

<sup>4</sup> Bacharel em Química, assistente de pesquisa da Embrapa Meio Ambiente

## INTRODUÇÃO

Diversos resíduos sólidos ricos em matéria orgânica podem ser aplicados ao solo, quando se busca o tratamento biológico dos mesmos através da oxidação de compostos de carbono a gás carbônico e água.

No entanto, na conjugação de esforços das populações para otimizar a produção de alimentos, minimizando a poluição ambiental, a disposição desses resíduos em solos agrícolas requer que os mesmos melhorem sua qualidade e potencial produtivo, com comprovado benefício agrônomico e sem qualquer prejuízo ambiental.

Entre estes resíduos, alguns lodos de esgoto podem ter o solo agrícola como seu receptor final, quando são rigorosamente atendidas as recomendações técnicas estipuladas pela legislação, já existente em muitos países e atualmente em fase de estabelecimento no Brasil (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2004).

Nas estações de tratamento de esgoto, ocorre uma grande diminuição do volume de resíduos, mas mesmo assim as quantidades de materiais residuários gerados são ainda muito grandes.

A aplicação da matéria orgânica presente em lodos de esgoto ao solo tem como fundamento os objetivos de melhoria da qualidade física e/ou química do solo e de redução da carga orgânica dos resíduos como fator de preservação da qualidade ambiental. Se parte do carbono orgânico presente no lodo de esgoto for resistente à degradação, sem que haja, porém, inibição da atividade microbiana do solo, seu teor no solo aumentará, o que pode promover alterações significativas em alguns atributos de solo.

A persistência (incrementos e/ou conservação do teor de carbono orgânico) de materiais orgânicos no solo pode ser avaliada medindo-se as taxas de degradação do lodo pela atividade microbiana indígena do solo, análise que faz parte da necessária caracterização qualitativa e quantitativa do material para disposição em solos agrícolas (Cetesb, 1999; Nuvolari, 1996).

Neste estudo, avaliou-se como a incorporação de doses de lodo de esgoto ao solo afeta a mineralização da matéria orgânica do solo, por meio da evolução de  $C-CO_2$ , utilizando-se dois lodos de esgoto, um de origem urbana e outro de origem urbano-industrial.

## MATERIAL E MÉTODOS

A determinação da biodegradação da matéria orgânica contida nos lodos estudados foi realizada de acordo com metodologia da Cetesb (1990), que aplica o método respirométrico para determinação da taxa de biodegradação da matéria orgânica contida num resíduo quando tratado em solo, derivado do sistema proposto por Bartha & Pramer (1965).

Doses de dois tipos de lodo de esgoto foram aplicadas e incorporadas em amostras coletadas de 0 a 20 cm de profundidade em Latossolo Vermelho distroférrico textura argilosa, além de um tratamento com fertilização mineral completa NPK, e utilização de dois tratamentos em branco (sem solo). O solo e os lodos de esgoto foram secados ao ar e peneirados (2mm). A composição química parcial do solo foi: pH: 5,8; P: 3,5 mg  $dm^{-3}$ ;  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  e capacidade de

troca de cátions: 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 (1983).

Os lodos de esgoto foram coletados em 1999 nas estações de tratamento de Franca, SP (de origem doméstica) e de Barueri, SP (de origem urbano-industrial; não tratado com cal), apresentando-se na Tabela 1 alguns de seus atributos.

Tabela 1. Composição química parcial de lodos de esgoto coletados em 1999 nas Estações de tratamento de esgoto de Franca/SP e de Barueri/SP.

Lodo	pH <sup>(1)</sup>	Umidade (base seca)	N- total	C- orgânico <sup>(2)</sup>	Ca	Mg	K	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
				(g kg <sup>-1</sup> )					(mg kg <sup>-1</sup> )				
Franca	6,3	172	46,0	308	13,1	1,7	0,8	308	34	15 3	744	2,6	73
Barueri	6,5	96	26,8	206	21,5	2,3	1,4	418	289	73 8	1765	8,8	160

<sup>(1)</sup> Relação lodo:água 1:2,5. <sup>(2)</sup> Walkley- Black.

Os tratamentos constituíram-se da testemunha (solo sem lodo), NPK (adubação mineral), lodo de Franca: 1,5; 3, 6 e 12 g de lodo kg<sup>-1</sup> de solo e lodo de Barueri: 4, 8, 16 e 32 g de lodo kg<sup>-1</sup> de solo (quantidades dos lodos consideradas em base seca). Os tratamentos foram denominados de acordo com a origem do lodo (F = Franca, B = Barueri) e as quantidades de lodo adicionadas e misturadas com o solo, estimadas em Mg/ha: F3, F6, F12 e F24; B8, B16, B32 e B64.

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 tratamentos tiveram arranjo fatorial 2 (lodos de esgoto) x 6 (doses), com três repetições, com delineamento casualizado em blocos e rodízio semanal das unidades experimentais, em cada bloco. As unidades experimentais foram recipientes plásticos com tampa (vasos), e com volume de três litros.

A incubação das misturas lodo-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.

Em cada vaso foi colocado um recipiente com 20mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> para captura de CO<sub>2</sub>, determinando-se as perdas de carbono na forma de CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>), nas seguintes épocas de avaliação: 3, 4, 7, 9, 11, 15, 18, 25, 32, 37, 43, 50 e 57 dias (o estudo ao longo do tempo foi feito na mesma unidade experimental), ocasiões em que ocorreu aeração natural nos tratamentos, obtendo-se as curvas de emissão de gás carbônico para cada tratamento. 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> 0,1N, utilizando-se fenolftaleína como indicador do ponto de viragem. No final do período de incubação, quantificou-se a geração de gás carbônico acumulada *versus* tempo.

A fração de degradação foi estimada dividindo-se a diferença entre o carbono desprendido em cada tratamento e na testemunha pelo total de carbono aplicado ao solo via lodo de esgoto.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação respirométrica de resíduos tem por objetivo a determinação da taxa de biodegradação da matéria orgânica contida num resíduo, quando tratado em solo, sendo um entre outros critérios aplicável à determinação da taxa máxima de aplicação do resíduo em campo (Cetesb, 1990).

Neste trabalho, a biodegradação não foi afetada pela adubação mineral NPK. Para os tratamentos com aplicação das doses de lodo de esgoto ao solo, a perda de carbono dos sistemas lodo-solo foi reduzida durante o experimento (Tabela 2), variando de 2,6 a 6,0% do teor inicial de carbono no solo, em cada tratamento, durante o período de incubação (57 dias).

Tabela 2. Dose aplicada de lodo de esgoto e de carbono, evolução 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 em 1999, nas estações de tratamento de esgoto de Franca, SP e de Barueri, SP.

Tratamento	Dose de lodo	Dose de carbono	Teor inicial de C no solo	Evolução de C-CO <sub>2</sub> do solo		Fração de degradação do C do lodo
	Mg ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup> de solo	g kg <sup>-1</sup>	%	%
NPK	0	0	17,1	0,341	2,1	-
Testemunha	0	0	17,4	0,368	2,0	-
F3	3	0,462	17,3	0,455	1,8	19,7
F6	6	0,924	18,3	0,485	2,6	13,1
F12	12	1,848	19,0	0,687	2,6	17,5
F24	24	3,696	20,5	0,931	3,6	15,4
B8	8	0,824	17,8	0,469	2,6	11,9
B16	16	1,648	16,8	0,569	3,4	12,1
B32	32	3,296	21,0	0,897	4,3	16,0
B64	64	6,592	23,0	1,383	6,0	15,4

Houve tendência de aumento da evolução de C-CO<sub>2</sub> com o aumento das doses de lodo. No entanto, estas perdas não foram proporcionais às doses aplicadas de carga orgânica, evidenciando que nas doses maiores houve decréscimo da taxa de decomposição, com acúmulo relativo de C-orgânico no solo nesses tratamentos, no período avaliado. Resultados semelhantes também foram observados por Santos et al. (2002), com as maiores doses testadas, em incubação durante 151 dias de dois lodos de esgoto anaeróbios, um tratado com cal e outro tratado com biopolímero, por Pires et al (2002) e também por Barretto (1995), com lodo da estação de Barueri/SP, utilizando doses de até 40 Mg ha<sup>-1</sup>, com incubação durante 70 e 60 dias, respectivamente.

A menor taxa de decomposição de grandes quantidades aplicadas pode ser desfavorável quando se busca no solo um meio para descarte dos resíduos; quando for esse o objetivo, os resultados deste experimento indicam que os lodos de Franca e de Barueri devem ser adicionados aos solos em pequenas doses, caso sejam desejáveis altas taxas de decomposição, o que requer maior área para disposição do material. Quando o objetivo é o aproveitamento em solos agrícolas, as taxas de aplicação de lodos de esgoto devem ser simultaneamente condicionadas a outros

critérios, como teores de substâncias, organismos e elementos químicos perniciosos ao ambiente. Entre eles, é relevante a disponibilização potencial de nitrato no solo, também decorrente da degradação do material orgânico, e que pode tornar a aplicação de doses elevadas de lodos de esgoto danosas ao meio ambiente (Dynda & Boeira, 2000).

De um modo geral, o comportamento dos dois tipos de lodos de esgoto foi semelhante. Semelhantemente ao observado por Barretto (1995) em incubação durante 60 dias de lodo de esgoto de Barueri (pH = 10,1) em Latossolo e em Areia Quartzosa, no período inicial de decomposição ocorreram as maiores perdas de carbono. Houve ocorrência de 50% ou mais da degradação total nos primeiros 15 dias, em todos os tratamentos, devido à rápida decomposição inicial de substâncias menos complexas. 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).

Os dados obtidos para a fração de degradação também foram semelhantes para os dois tipos de lodo, e pouco dependentes das doses aplicadas (Tabela 2), o que pode ser devido ao fato de que os materiais orgânicos carbonados contidos no lodo de esgoto são referenciados como persistentes no solo (Boyle & Paul, 1989).

A fração de degradação média do carbono aplicado foi de 15%, similar aos valores encontrados por Reis & Rodella (2002), mas bastante inferior ao valor estimado por Santos et al. (2002) para lodo de esgoto anaeróbico tratado com biopolímero e também incubado em latossolo durante 151 dias (42%). Como se pode verificar na Figura 1, aos 57 dias de incubação já é possível verificar uma tendência de estabilização na degradação do carbono em todos os tratamentos, embora a taxas menores do que as iniciais, o que significa que a fração de degradação evolui no decorrer do tempo. Por outro lado, Pires et al., trabalhando com o lodo de Barueri/SP tratado com cal (pH = 11,1) incorporado em latossolo obtiveram fração média de degradação de 21% do carbono orgânico (após 70 dias de incubação), superior ao valor médio encontrado neste trabalho para este lodo de esgoto não tratado com CaO (14%, Tabela 2), que apresentou pH = 6,5 (Tabela 1).

As curvas que exprimem a geração acumulada de CO<sub>2</sub> nos respirômetros ao final do período encontram-se na Figura 1.

Verifica-se que o comportamento do solo testemunha (sem lodo) ou do solo com adubação mineral NPK foi semelhante, com mesmas quantidades de matéria orgânica degradadas no período avaliado.

Comparando-se as doses de lodo de esgoto, foi possível detectar a ocorrência de biodegradação do resíduo em todos os tratamentos, observando-se as diferenças entre a biodegradação na testemunha e nas menores doses (tratamentos F3 e B8), nos quais pequenas quantidades de matéria orgânica foram incorporadas ao solo.

Considerando-se ainda a geração de CO<sub>2</sub> acumulada *versus* tempo (Figura 1), verifica-se 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.

Comparando-se os dois tipos de lodo de esgoto, observa-se uma tendência do lodo de Franca de apresentar degradação mais intensa, gerando mais gás carbônico quando se comparam, por exemplo, os tratamentos F6 com B8, ou F12 com B16 (Tabela 2 e Figura 1).

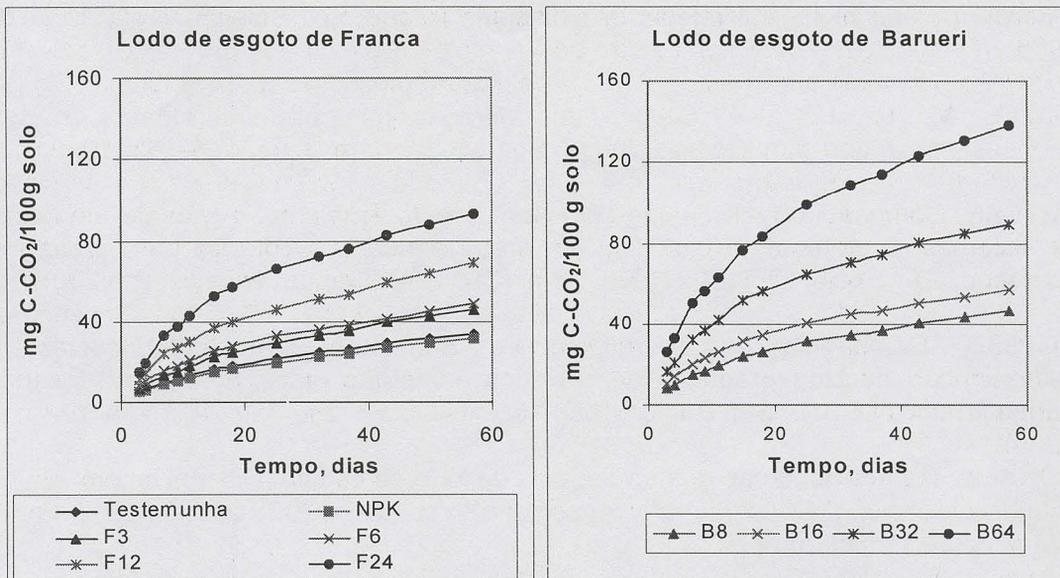


Figura 1. Produção acumulada de C na forma de CO<sub>2</sub> em 13 épocas de avaliação em Latossolo incubado durante 57 dias com doses crescentes de lodos de esgoto coletados em 1999 nas estações de tratamento de esgotos de Franca, SP e de Barueri, SP.

## CONCLUSÕES

As doses aplicadas permitiram a manutenção da condição aeróbia necessária à degradação dos dois tipos de lodo de esgoto.

A decomposição dos lodos de esgoto foi mais lenta nas doses mais elevadas.

A velocidade de decomposição é distinta para lodos de esgoto de diferentes origens, quando aplicados em doses semelhantes.

## AGRADECIMENTOS

À Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa, Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental, que forneceu os meios para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETTO, M. C. V. Degradação da fração orgânica de resíduos e efeitos em algumas propriedades químicas e físicas de dois solos. 1995. Tese (Tese de Doutorado) - ESALQ-USP. Piracicaba. 106 p.

BARTHA, R.; PRAMER, D. Features of a flask and method for measuring the persistence and biological effects of pesticides in soil. *Soil Science*, 100(1):68-70, 1965.

BOYLE, M.; PAUL, E. A. Carbon and nitrogen mineralization kinetics in soil previously amended with sewage sludge. *Soil Sci.Soc. Am. J.*, (53):99-103, 1989.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação. São Paulo: CETESB, 1999. 32 p. (CETESB. Manual Técnico, P 4.230).

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Solos – determinação da biodegradação de resíduos – método respirométrico de Bartha. Norma Técnica L6.350, São Paulo: 1990, 15p.

CONAMA. Regulamentação do uso agrícola de lodo de esgoto. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama/processo.cfm?processo=02000.002533/2003-11>> Acesso em : 11 jun. 2004.

DYNIA, J. F.; BOEIRA, R. C. Implicações do uso do lodo de esgoto como fertilizante em culturas anuais: nitrato no solo. Comunicado Técnico. 4. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna-SP. nov, 2000.

NUVOLARI, A. Aplicação de lodo de esgotos municipais no solo: ensaios de respirometria para avaliar a estabilidade do lodo. Campinas/SP, 1996, 158p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - UNICAMP, Faculdade de Engenharia Civil.

PIRES, A.M.M.; ANDRADE, C.A.; MATTIAZO, M.E. Degradação da carga orgânica, condutividade elétrica e pH de um latossolo tratado com biossólido incorporado ou em superfície. XXV Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Rio de Janeiro, 2002. Resumo expandido (CD-ROM).

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas: Instituto agrônomo, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).

REIS, T. C.; RODELLA, A. A. Cinética de degradação da matéria orgânica e variação do pH do solo sob diferentes temperaturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:619-626, 2002.

SANTOS, D.S.; ANDRADE, C.A.; MATTIAZZO, M.E. Degradação da fração orgânica de lodos de esgoto após aplicação no solo. XXV Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Rio de Janeiro, 2002. Resumo expandido (CD-ROM).

## ABSTRACT

Even though sewage sludges present high levels of organic carbon, important organic matter disappearance occurs following sludge application to soils, until a new balance is reached in the C:N ratio. This paper presents the results of a laboratory study of the organic fraction degradation of sewage sludge obtained from two treatment plants, namely Franca/SP (domestic sludge) and Barueri/SP (urban-industrial sludge). The sewage sludge doses applied were 3, 6, 12 and 24 Mg/ha for the Franca sludge and 8, 16, 32 and 64 Mg/ha for the Barueri sludge. CO<sub>2</sub> carbon losses were determined in chambers without forced ventilation, during 57 days of sewage sludge incubation in latossol. The general degradation rates were similar for the sewage sludge obtained from the two sources. Major carbon losses occurred in the initial degradation period – 50% or more of the total degradation occurred in the initial 15-day period. The mean biodegradation estimated for the treatments (sewage sludge x doses) was 15%.

**Key-words:** sewage sludge, carbon, mineralization, soil.