

Disponibilidade de nitrogênio em solo tratado com lodo de esgoto



Rita Carla Boeira
Viviane Cristina Bettanin Maximiliano

Nitrogen availability in sewage
sludge treated soil

Resumo

O uso agrícola é uma alternativa de descarte de lodos de esgoto (LE) promissora para o Brasil, por sua importância ambiental e econômica. No entanto, há risco de contaminação ambiental com nitrato caso o resíduo não seja corretamente manejado, em função da dinâmica de mineralização de seus compostos nitrogenados orgânicos no solo. Neste trabalho, determinou-se em laboratório o potencial de mineralização de N orgânico em latossolo incubado com doses de LE anaeróbio de origem urbana, da Estação de Tratamento de Esgoto de Franca/SP, durante 15 semanas (24°C; 60% umidade do ar). Os dados obtidos de produção de N inorgânico no decorrer da incubação, em cada dose de LE, ajustaram-se ao modelo cinético de primeira ordem. A disponibilização estimada de N nos sistemas lodo-solo foi de 88, 131, 214 e 262 kg/ha de N, quando se aplicaram as doses de 3, 6, 12 e 24 t/ha de LE (base seca), respectivamente. A fração potencial de mineralização estimada do N orgânico do lodo de esgoto aplicado neste solo foi de 34%.

Palavras-chave: adubação orgânica, fração de mineralização de N orgânico, latossolo, potencial de mineralização de N

Abstract

The agricultural usage is a promising sewage sludge (SS) disposal alternative to Brazil, due to its economic and environmental importance.

However, there are some risks of nitrate environmental contamination if the residue is not properly handled, considering the mineralization of the organic nitrogen composts in the soil. In this laboratory work, the potential of mineralization of organic nitrogen was quantified in a latosol incubated with five rates of an urban anaerobically-digested SS - from Franca/SP Sewage Treatment Station - during 15 weeks (24°C; 60% air humidity). The inorganic nitrogen production data were well fitted to the first order kinetic model, in each SS rate. The estimated nitrogen availability in the systems was 88, 131, 214 and 262 kg/ha for the rate of 3, 6, 12 e 24 t/ha of SS (dry base), respectively. The fraction of potential mineralization of the organic N contained in this sewage sludge was estimated in 34%.

Key words: organic manure, organic N mineralization fraction, latosol, N potential mineralization

Introdução

A disposição de despejos líquidos sanitários em solos agrícolas é uma prática muito antiga, componente de sistemas de adubação orgânica baseados no emprego de resíduos de origem vegetal, animal ou humana.

Resíduos humanos foram usados como fertilizante de solo durante séculos na Europa, Estados Unidos e países do Oriente, sem preocupações ambientais. No decorrer do século XX, no entanto, com o avanço da tecnologia e o gran-

determinou-se em laboratório o potencial de mineralização de N orgânico em latossolo incubado com lodo de esgoto



de crescimento de centros urbanos, a preocupação com a saúde pública veio a inviabilizar o uso de águas residuárias não tratadas em cultivos agrícolas. Desenvolveram-se, então, os sistemas de coleta de esgotos com descarga direta em corpos d'água. Esta prática, porém, tem-se mostrado insustentável, nos dias atuais, devido à intensa poluição dos recursos hídricos. Em consequência, o número de estações de tratamentos de efluentes urbanos (ETEs) é crescente no mundo e também no Brasil.

Nas ETEs, após o tratamento biológico dos esgotos, gera-se o resíduo sólido denominado lodo de esgoto (LE). Para a destinação deste resíduo, existem diversas alternativas. No Brasil, atualmente, quase todo o lodo de esgoto gerado em ETEs é destinado a aterros sanitários, diminuindo os espaços disponíveis para disposição do lixo urbano. A reciclagem agrícola, em que é feita a disposição controlada de lodos em solos cultivados, é uma alternativa de destaque, que pode ser considerada uma ação complementar ao saneamento básico urbano.

Para serem utilizados em agricultura, como adubo orgânico, os lodos de esgoto devem apresentar benefícios agrônômicos sem acarretar quaisquer prejuízos ambientais. É necessário, portanto, que, quando considerado um fertilizante orgânico, vários de seus atributos sejam previamente avaliados, a fim de minimizarem-se os riscos de contaminação ambiental com diversos organismos, substâncias e elementos nocivos passíveis de estarem presentes em lodos de esgoto. Esta etapa envolve a caracterização física, química e sanitária dos lodos, e a avaliação de efeitos sobre a acidez e sobre a condutividade elétrica do solo, dentre outros atributos do solo.

Como os lodos de esgoto são, em geral, ricos em N orgânico, existe a possibilidade de que estes resíduos, como qualquer outra fonte de N, causem acúmulo de níveis excessivos de nitrato na água potável, se não forem aplicados em doses, épocas e localização corretas. Assim, quando não houver outros critérios mais restritivos, a definição de doses máximas de lodo de esgoto a aplicar em determinado cultivo deve ser feita em função da taxa de mineralização do N contido em formas orgânicas no resíduo. Trata-se de uma propriedade do resíduo que infor-

ma qual a quantidade de nitrogênio orgânico que será transformada em nitrogênio mineral em determinado período de tempo, bem como a velocidade em que as etapas desse processo poderão ocorrer, ao se aplicar o lodo de esgoto no solo.

O objetivo deste trabalho foi quantificar a taxa de mineralização e a fração potencial de mineralização de um lodo de esgoto de origem urbana, quando incorporado em Latossolo em diferentes doses.

Materiais e métodos

O solo utilizado foi coletado na área experimental da Embrapa Meio Ambiente, situada em Jaguariúna/SP, e é classificado como Latossolo Vermelho distroférico argiloso. O lodo de esgoto utilizado foi coletado em 1999 na Estação de Tratamento de Esgoto sanitário (ETE) da cidade de Franca/SP, a qual recebe principalmente esgotos domésticos. As amostras de solo (0-20 cm) e dos lodos foram secadas ao ar e passadas em peneira com malhas de 2 mm. A composição química parcial do solo foi: pH: 5,8; P: 3,5 mg dm⁻³; K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ e capacidade de troca de cátions: 1,51; 27,5; 8,5; 1,0 e 73,5 mmol_c dm⁻³, respectivamente, determinada segundo métodos descritos por RAIJ e QUAGGIO (1983). A composição química parcial do lodo de Franca é mostrada na tabela 1.

Os teores de N e C foram determinados por combustão seca a 900°C em analisador simultâneo de N e C (BREMNER e MULVANEY, 1982; SHELDRIK, 1986). Os metais foram extraídos por digestão úmida em sistema aberto (3 HCl: 1 HNO₃) e determinados por espectrometria de emissão atômica com plasma de acoplamento indutivo. O lodo apresentava-se com 17,2% de teor de água em base de massa seca (tabela 1); após correção dessa umidade, os tratamentos constituíram-se das doses 0 (zero; solo sem lodo); 1,5; 3, 6 e 12 g de lodo de esgoto seco de Franca por kg de solo, equivalentes à aplicação no solo de 3, 6, 12 e 24 t/ha de lodo seco. As quantidades de N orgânico aplicadas ao solo via lodo foram calculadas subtraindo-se o N mineral [N-(NO₃⁻+NO₂⁻) +

*buscou-se
quantificar a
taxa de
mineralização
de um lodo de
esgoto de
origem urbana*



TABELA 1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA PARCIAL DO LODO DE ESGOTO COLETADO EM 1999 NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE FRANCA/SP

Lodo	pH ⁽¹⁾	Umidade ⁽²⁾	N-total	C-orgânico ⁽³⁾	Ca	Mg	K	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
		(g kg ⁻¹)							(mg kg ⁻¹)				
Franca	6,3	172	46,0	308	13,1	1,7	0,8	308	33,9	153	744	2,56	72,6

⁽¹⁾ Relação lodo:água 1:2,5.

⁽²⁾ Teor de água em base de massa seca. ⁽³⁾ Walkley-Black.

N-NH₄⁺] extraído na época zero dia do N total (N orgânico + N mineral) aplicado via lodo. Os tratamentos foram organizados em arranjo fatorial em delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições. As parcelas experimentais constituíram-se de microcosmos com capacidade para 100g da mistura lodo+solo. A incubação foi conduzida em sala mantida à temperatura média de 24°C e umidade relativa média do ar de 60%. A umidade do solo nos vasos foi mantida em capacidade de campo, por pesagem, por meio de regas periódicas (LINN e DORAN, 1984), com a água ocupando aproximadamente 60% do volume total de poros (-3 MPa). As épocas de avaliação foram: 0, 7, 14, 21, 28, 42, 63, 84 e 105 dias, nas quais foram determinados N-(NO₃⁻+NO₂⁻) e N-NH₄⁺ por destilação a vapor (TEDESCO et al., 1995), em diferentes unidades experimentais (processo destrutivo), após homogeneização do solo. As quantidades de N orgânico aplicadas ao solo foram calculadas subtraindo-se o N mineral extraído na época zero dia do N total aplicado via lodo de esgoto. A variação líquida de N mineral produzido nos tratamentos durante a incubação do solo foi calculada para cada período de avaliação (0-7 dias, 0-14 dias, 0-21 dias, etc), obtendo-se os valores de N mineral acumulado (Nm). Estas medidas foram ajustadas ao modelo proposto por STANFORD e SMITH (1972). Este modelo é descrito por uma equação exponencial simples: $N_m = N_o (1 - e^{-kt})$. Os parâmetros N_o (N orgânico potencialmente mineralizável no sistema lodo-solo; mg N/kg) e k (constante de primeira ordem da taxa de mineralização de N orgânico; 1/dia) foram estimados por análise de regressão não-linear (SMITH et al., 1980); t refere-se ao tempo (dia).

Com a técnica de regressão linear das estimativas do valor de N orgânico potencialmente mineralizável do lodo de esgoto para as doses de N orgânico aplicadas via resíduo (a 1% de probabilidade), obteve-se a fração potencial de mineralização do N orgânico do lodo de esgoto neste solo.

Resultados e Discussão

Na figura 1 estão representados os dados de mineralização do N orgânico contido nos sistemas lodo-solo estudados com as respectivas linhas de ajuste ao modelo de STANFORD e SMITH (1972). Pode-se observar o acúmulo de N mineral no decorrer da incubação, em cada tratamento.

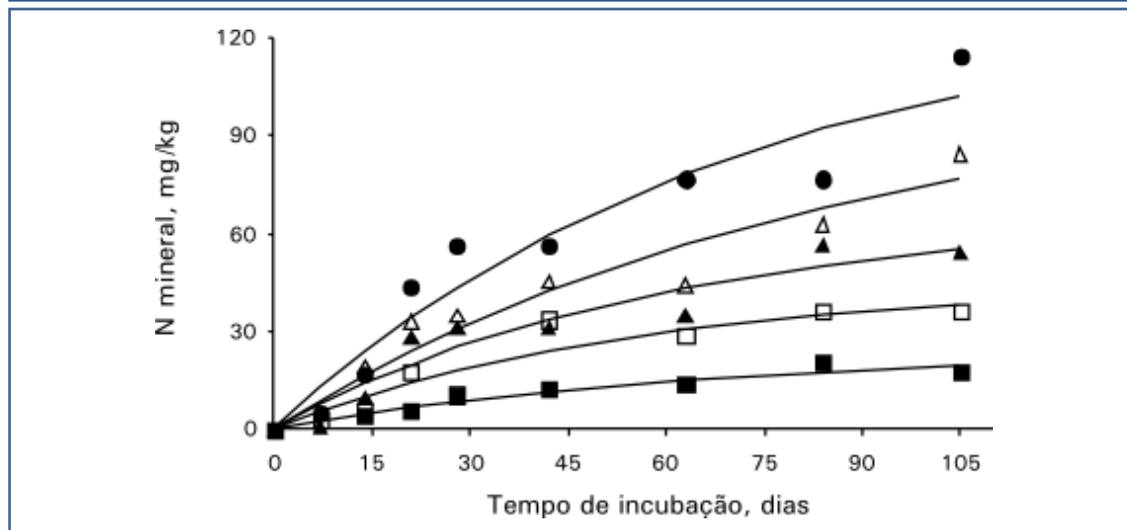
Em todas as doses de lodo de esgoto estudadas, observa-se que as quantidades de N mineral produzidas nos sistemas lodo-solo foram maiores no início da incubação, e decresceram com o tempo. Assim, com a aplicação equivalente a 3 t/ha de lodo de esgoto, estima-se em 19 mg/kg a produção de N mineral durante os primeiros 30 dias, equivalentes a 50% do total produzido no período experimental de 105 dias – 38 mg/kg. Com as doses maiores - 6, 12 e 24 t/ha – as mineralizações aos 30 dias foram de 49%, 42% e 45%, respectivamente, do total produzido em 105 dias. Este comportamento tem sido observado com lodos de esgoto em geral (PARKER e SOMMERS, 1983; BANERJEE et al., 1997; LINDEMANN e CARDENAS, 1984) devido à rápida decomposição no solo de formas nitrogenadas mais lábeis presentes nos mesmos.

Os parâmetros obtidos com o ajuste dos dados observados da figura 1 ao modelo mate-

obteve-se a fração potencial de mineralização do N orgânico do lodo de esgoto



FIGURA 1 - PRODUÇÃO ACUMULADA OBSERVADA (PONTOS) E ESTIMADA (LINHAS) DE N MINERAL EM LATOSSOLO INCUBADO DURANTE 105 DIAS COM LODO DE ESGOTO COLETADO EM 1999 NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE FRANCA/SP (■: TESTEMUNHA (SEM LODO); □: 3; ▲: 6; △: 12 E ●: 24 T/HA DE LODO DE ESGOTO)



mático utilizado (N potencialmente mineralizável e constante da taxa de mineralização) indicaram comportamentos distintos entre os tratamentos. A estimativa da meia-vida do N orgânico presente nos sistemas lodo-solo (tempo necessário para a degradação de 50% do N orgânico) mostrou que os processos de mineralização de N foram mais rápidos com a incorporação ao solo das doses de 3 e 6 t/ha de lodo de esgoto (meia-vida = 38 dias), em relação às doses de 12 e 24 t/ha (meia-vida = 53 dias). As quantidades estimadas de N potencialmente mineralizável em cada tratamento foram equivalentes à geração de 88, 131, 214 e 262 kg/ha de N mineral, respectivamente. Deve-se ressaltar que, nestas estimativas, está incluída a mineralização do N orgânico originalmente presente no solo (dose zero de LE), que foi de 47 kg/ha de N.

Para se avaliar a dinâmica de mineralização de N oriundo exclusivamente do LE aplicado no solo, deve-se considerar que a contribuição do N nativo no solo sobre o potencial de mineralização de um sistema lodo-solo seja pequena (HSIEH et al., 1981; SIKORA e YAKOVCHENKO, 1996). Partindo-se desta pressuposição, pode-se calcular o potencial de fornecimento de N mineral devido apenas ao LE, pela diferença entre os parâmetros N_o (N

orgânico potencialmente mineralizável) dos tratamentos com aplicação de lodo e sem aplicação de lodo. Determinam-se, assim, as quantidades de N orgânico do LE que são potencialmente disponibilizadas às plantas na solução do solo, em formas minerais, em função do tempo decorrido após a incorporação do LE no solo, conforme dados da tabela 2.

Para utilização como adubo nitrogenado, a obtenção de informações como as da tabela 2 possibilita uma previsão de disponibilidade de N no decorrer do cultivo, útil para o manejo adequado do resíduo, minimizando-se riscos ambientais, pois há risco de perdas de N, seja por lixiviação, desnitrificação e/ou volatilização, se sua geração for superior à absorção pelas raízes.

A evolução temporal da fração de mineralização do N orgânico do LE aplicado ao solo está apresentada na tabela 3, para várias épocas no decorrer da decomposição do resíduo. Estes valores representam a relação entre a quantidade líquida de N mineralizado (tabela 2) durante um certo tempo e as quantidades de N orgânico adicionadas ao solo via lodo de esgoto, as quais foram equivalentes à aplicação de 126, 244, 488 e 972 kg/ha de N orgânico nas doses de 3, 6, 12 e 24 t/ha de lodo, respectiva-

processos de mineralização de N foram mais rápidos com a incorporação ao solo das doses de 3 e 6 t/ha de lodo de esgoto

TABELA 2 - ESTIMATIVA DE N POTENCIALMENTE MINERALIZÁVEL E DA QUANTIDADE DE N MINERAL GERADO EM VÁRIAS ÉPOCAS APÓS A INCORPORAÇÃO DE DOSES DE LODO DE ESGOTO EM LATOSSOLO (DADOS EXPERIMENTAIS OBTIDOS EM INCUBAÇÃO AERÓBIA DE 105 DIAS AJUSTADOS AO MODELO EXPONENCIAL SIMPLS). DADOS ACUMULADOS NO DECORRER DO TEMPO

Dose de lodo	N potencialmente mineralizável do lodo de esgoto	N mineralizado a partir do lodo de esgoto					
		Dias após a aplicação do lodo					
		5	15	30	180	360	500
kg/ha							
3.000	41	4	11	20	40	41	41
6.000	84	7	20	35	81	84	84
12.000	167	9	25	46	145	164	167
24.000	215	15	41	74	198	214	215

TABELA 3 - PORCENTAGEM ESTIMADA DE N ORGÂNICO MINERALIZADO EM VÁRIAS ÉPOCAS APÓS A INCORPORAÇÃO DE DOSES DE LODO DE ESGOTO EM LATOSSOLO (DADOS EXPERIMENTAIS OBTIDOS EM INCUBAÇÃO AERÓBIA DE 105 DIAS AJUSTADOS AO MODELO EXPONENCIAL SIMPLS)

Dose de lodo	Fração potencial de mineralização de N orgânico do lodo de esgoto	Porcentagem de mineralização					
		Dias após a aplicação do lodo					
		5	15	30	180	360	500
kg/ha		%					
3.000	32	3	9	16	32	32	32
6.000	34	3	8	14	33	34	34
12.000	34	2	5	9	30	34	34
24.000	22	15	4	8	20	22	22

com a dose mais elevada, a estimativa da fração de mineralização foi muito inferior

mente. De forma similar, estimou-se a fração potencial de mineralização de N para este lodo, para cada dose aplicada, com o parâmetro [N potencialmente mineralizável do lodo de esgoto], que representa a quantidade total esperada de N mineral a ser liberada durante um ciclo de cultivo agrícola pelo lodo de esgoto.

Com estes dados, verifica-se que em apenas um mês ocorreu a mineralização de cerca de 15% do N orgânico potencialmente mineralizável nas duas doses menores, o que representa quase a metade do potencial de mineralização nesses tratamentos, estimado pelo modelo em 32 e 34%, respectivamente. Com a dose de 12.000 kg/ha de LE, a estabilização na decomposição do resíduo foi mais lenta nesse período (9%), sem prejuízo, no entan-

to, da fração de mineralização potencial, que também foi de 34%. No entanto, com a dose mais elevada, 24.000 kg/ha, a estimativa da fração de mineralização foi muito inferior, 22%, levantando-se a possibilidade de que o potencial de mineralização esteja subestimado neste tratamento, podendo ter havido perdas de N por desnitrificação devido à grande quantidade de matéria orgânica adicionada ao solo neste tratamento.

Dada à necessidade de conhecimento da fração potencial de mineralização de lodos de esgoto para o cálculo de taxas agrônomicas de aplicação no solo, esta fração pode ser determinada calculando-se a média de valores experimentais como os da segunda coluna da tabela 3. No entanto, neste experimento, possíveis perdas

de N não foram avaliadas, e o modelo matemático utilizado pressupõe que a taxa de mineralização de N seja proporcional à quantidade de substrato mineralizável no solo, o que não ocorreu com a maior dose testada. Assim, a fração de mineralização potencial deste lodo de esgoto foi estimada por meio de regressão linear das estimativas de [N potencialmente mineralizável pelo lodo de esgoto] somente para as três doses menores de N orgânico aplicadas ao solo via lodo, que obedecem a essa premissa, e que não são demasiadamente elevadas. A relação linear assim obtida foi: [N potencialmente mineralizável pelo lodo de esgoto] = 0,34 N-orgânico ($r^2 = 0,99$), a qual indica ser de 34% a fração potencial de mineralização de N-orgânico deste lodo de esgoto, quando incorporado ao solo.

Na avaliação da capacidade de lodos de esgoto em disponibilizarem N, além da mineralização de compostos nitrogenados orgânicos, devem também ser consideradas as formas amoniacais já presentes no lodo de esgoto, que podem ser elevadas, como no caso do lodo estudado, o qual apresentou 0,9% de N amoniacal em sua forma úmida (469% de água em base de massa seca).

Conclusões

1. A taxa de mineralização de nitrogênio orgânico de lodo de esgoto de Franca é afetada pela quantidade do resíduo que é incorporada em Latossolo:

a) a geração de N mineral é proporcional a doses crescentes até 12.000 kg/ha de lodo de esgoto, estimando-se em 34% a fração potencial de mineralização do N orgânico contido no lodo;
b) com a dose de 24.000 kg/ha, esta fração é reduzida a 22%.

2. A taxa de mineralização de nitrogênio orgânico de lodo de esgoto de Franca é decrescente e contínua com o tempo de incubação, e é maior nos primeiros dias após a incubação com o solo:

a) até 50% do N orgânico potencialmente mineralizável presente no lodo de esgoto é liberado ao solo durante o primeiro mês de incubação;
b) estima-se que os 50% restantes são libera-

dos ao solo em períodos que podem ultrapassar 360 dias.

Referências

BANERJEE, M. R.; BURTON, D. L.; DEPOE, S. Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Oxford, v. 66, n. 3, p. 241-249, 1997.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen - total. **Methods of Soil Analysis: part2. chemical and microbiological properties**. Madison, WI: ASA, 1982. p. 595-622.

HSIEH, Y. P.; LOWELL, A. D.; MOTTO, H. L. Modeling sewage sludge decomposition in soil: II. Nitrogen transformations. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 10, n. 1, p. 59-64, 1981.

LINDEMANN, W. C.; CARDENAS, M. Nitrogen mineralization potential and nitrogen transformations of sludge-amended soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n.5, p. 1072-1077, 1984.

LINN, D. M.; DORAN, J. W. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n.5., p. 1267-1272, 1984

PARKER, C. F.; SOMMERS, L. E. Mineralization of nitrogen in sewage sludges. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 12, n. 1, p. 150-156, 1983.

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

SHELDRIK, B. H. Test of the Leco CHN-600 determinator for soil carbon and nitrogen analysis. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 66, p. 543-545, 1986.

devem também ser consideradas as formas amoniacais já presentes no lodo de esgoto



SIKORA, L. J.; YAKOVCHENKO, V. Soil organic matter mineralization after compost amendment. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, n. 5, p. 1401-1404, 1996.

SMITH, J. L.; SCHNABEL, R. R.; MCNEAL, B. L.; CAMPBELL, G. S. Potential errors in the first-order model for estimating soil nitrogen mineralization potentials. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 996-1000, 1980.

STANFORD, G.; SMITH, S. J. Nitrogen mineralization potentials of soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 36, n 2, p. 465-471, 1972.

TEDESCO, M. J. Et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS-Departamento de Solos, 1995. (Boletim Técnico, 5).

*até 50% do N
orgânico
potencialmente
mineralizável
presente no
lodo de esgoto
pode ser
liberado ao solo
durante o
primeiro mês de
incubação*



Autores

Rita Carla Boeira,
engenheira agrônoma; mestre em Fitotecnia
pela UFRGS; doutora em Solos e Nutrição de
Plantas pela Esalq/USP; pesquisadora da
Embrapa Meio Ambiente.

Viviane Cristina Bettanin Maximiliano,
bacharel em Química pela PUC-Campinas;
assistente de pesquisa da Embrapa Meio
Ambiente.