

Determinação da Fração de Mineralização de Compostos Nitrogenados de Lodos de Esgoto Aplicados em Solo Agrícola

Introdução

Com o objetivo de calcular as quantidades de lodo de esgoto a serem aplicadas a solos agrícolas, um dos critérios que podem ser utilizados é baseado na quantidade de N inorgânico que o resíduo poderá gerar. Visando-se minimizar a lixiviação de N no perfil do solo, esta quantidade não deve superar a capacidade de absorção pelas plantas, com risco de contaminação de corpos de água. O valor de 10 mg L^{-1} de N na forma de nitrato é adotado em vários países como limite máximo tolerável para padrão de potabilidade de água; valores superiores ao mencionado podem levar uma pessoa, particularmente crianças, à metahemoglobinemia, doença que pode ser fatal nos primeiros anos de vida, devida à inibição da atividade do ferro no transporte de oxigênio à corrente sanguínea.

Em geral, a maior parte do N em lodos de esgoto está na forma orgânica, e o restante como íons amônio; as concentrações de nitrato são baixas nos resíduos gerados nas estações de tratamento que utilizam processos anaeróbios. Entretanto, imediatamente após a aplicação do resíduo a solos adequadamente arejados, inicia-se a liberação de nitratos, como parte do processo de mineralização dos compostos orgânicos do resíduo. Como a mineralização é contínua, nem todo o N orgânico aplicado será disponibilizado às plantas como N mineral, no primeiro ano da aplicação; quantidades decrescentes serão disponibilizadas durante algum tempo após a aplicação inicial.

A quantidade de N que poderá ser disponibilizada em determinado solo após aplicação de lodo de esgoto é calculada utilizando-se a estimativa da fração de mineralização do N orgânico contido no resíduo (CONAMA, 2006; BOEIRA et al., 2002). Para obtenção dessa estimativa, deve-se considerar diversos aspectos metodológicos (BOEIRA, 2005), seguindo-se as três etapas a seguir:

- Determinação da taxa de mineralização de N orgânico em solo tratado com lodo de esgoto

A taxa de mineralização refere-se às quantidades de N inorgânico geradas ao longo do tempo no solo tratado com lodo de esgoto, e pode ser obtida por diferentes metodologias, em laboratório ou em campo. Em laboratório, são feitos ensaios de incubações aeróbias com ou sem lixiviação, ou ensaios de incubações anaeróbias, avaliando-se doses crescentes do resíduo aplicadas ao solo.

- Estimativa de N orgânico potencialmente mineralizável em solo tratado com lodo de esgoto

Com os dados das quantidades de N mineralizadas ao longo do tempo pode-se estimar o potencial de mineralização de N do solo tratado com lodo de esgoto, ou seja, a quantidade máxima esperada do nutriente (em formas inorgânicas) que será gerada pelo solo tratado com lodo de esgoto, na dose aplicada.

- Estimativa da fração de mineralização potencial de N orgânico de lodo de esgoto

Jaguariúna, SP
Outubro, 2009

Autores

Rita Carla Boeira

Engenheira Agrônoma,
Doutora em Solos e
Nutrição de Plantas,
Embrapa Meio Ambiente
Rod. SP 340, km 127,5
13.820-000
Jaguariúna/SP
rcboeira@cnpma.embrapa.br

Marcos Antonio Vieira Ligo

Ecólogo,
Doutor em Ciências,
Embrapa Meio Ambiente
Rod. SP 340, km 127,5
13.820-000
Jaguariúna/SP
ligo@cnpma.embrapa.br

Viviane Cristina Bettanin Maximiliano

Química, Especialista em
Gestão da Qualidade,
Embrapa Meio Ambiente,
Rod. SP 340, Km 127,5 -
Cep. 13.820-000,
Jaguariúna, SP.
viviane@cnpma.embrapa.br

Adriana Marlene Moreno Pires

Engenheira Agrônoma,
Doutora em Solos e
Nutrição de Plantas,
Embrapa Meio Ambiente
Rod. SP 340, km 127,5
13.820-000
Jaguariúna/SP
adriana@cnpma.embrapa.br

Tendo-se obtido o potencial de mineralização de N para o solo tratado com algumas doses de lodo de esgoto, e conhecendo-se as respectivas quantidades de N orgânico contidas no resíduo aplicado, faz-se uma regressão linear, cuja declividade representa a estimativa da fração potencial de mineralização de N orgânico do lodo de esgoto em estudo.

1. Metodologia para determinação da taxa de mineralização de N orgânico presente em solo tratado com lodo de esgoto, utilizando-se incubação aeróbia sem lixiviação

1.1. Princípio da metodologia

A taxa de mineralização ao longo do tempo é determinada após o acompanhamento de um ensaio de mineralização do N orgânico presente numa certa quantidade de solo incubado com uma dose conhecida de lodo de esgoto. Em períodos pré-determinados coletam-se amostras da mistura lodo-solo, e após extração do N mineral é feita sua determinação analítica. Pressupõe-se na metodologia que não há efeito do N nativo do solo sobre o potencial de mineralização do solo incubado com o lodo de esgoto. Nesta metodologia, devem ser prevenidas ao máximo as perdas de nitrogênio por volatilização e, ou, por desnitrificação devida a excesso de umidade.

1.2. Métodos utilizados

São utilizados os métodos de determinação de umidade gravimétrica, umidade em capacidade de campo, e de teores de N Kjeldahl, de N amoniacal e de N nítrico em extratos de solo e em lodos de esgoto.

O teor de N orgânico presente nas amostras é determinado pela diferença matemática entre o teor de N Kjeldahl e o teor de N amoniacal (para amostras com baixo teor de nitrato, segundo Tedesco et al. (1995).

No caso de ser determinado o N total (para amostras com alto teor de nitrato), o N orgânico será obtido pela diferença entre o teor de N total e o teor de N mineral das amostras.

1.3. Modo de conservação e transporte de amostras

Solo: compor uma amostra com 10 subamostras

coletadas na área em que o lodo será aplicado, e na profundidade em que o mesmo será incorporado ao solo (0 a 10 ou 0 a 20 cm). Não deixar a amostra secar e não peneirar; determinar sua umidade em capacidade de campo e manter nessa umidade, num saco plástico semi-aberto, em local fresco e à sombra, até o início da incubação.

Lodo de esgoto: secar ao ar, em local telado para não atrair insetos, peneirar a 4 mm, sem desprezar os torrões (moê-los se necessário), e guardar em saco plástico, em ambiente seco.

1.4. Procedimento experimental para lodos não tratados com cal

a) Obter curvas de neutralização do solo com carbonatos (relação molar Ca:Mg 3:1) para elevar o pH do solo em CaCl_2 a 5,5.

b) Peneirar o solo (5mm) que será utilizado na incubação com o lodo de esgoto, determinar a umidade e proceder à correção da acidez do solo, incubando-o com a quantidade de carbonato indicada na curva de neutralização e mantendo a umidade em capacidade de campo; depois de estabilizado o pH dos solos (cerca de três semanas), determinar a umidade do solo. No lodo de esgoto seco, determinar: umidade, teores de N Kjeldahl (N-orgânico + N-NH_4^+), de amônio (N-NH_4^+) e de nitrato + nitrito [$\text{N}-(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$]; os resultados devem ser expressos em mg do parâmetro por kg de lodo de esgoto em base seca.

c) Para a incubação aeróbia, avaliam-se algumas doses de lodo de esgoto, por exemplo, doses equivalentes a zero, uma, duas e três vezes a quantidade de N recomendada para a adubação do cultivo de interesse, segundo cálculo definido em CETESB (1999). Separar, em sacos ou baldes plásticos, cerca de 2 kg de solo para cada dose de lodo a ser avaliada, misturando as massas de lodo de esgoto previamente determinadas ao solo. Nas pesagens, descontar a umidade atual (umidade gravimétrica, determinada em estufa a 105°C) dos materiais, considerando as massas de solo e de lodo de esgoto em base seca para a composição dos tratamentos (kg de lodo de esgoto/kg de solo). Homogeneizar adequadamente os tratamentos nos sacos plásticos, misturando bem o lodo com o solo.

d) Imediatamente, determinar nessas misturas de [lodo de esgoto + solo] (considerado tempo zero):

umidade, teores de N Kjeldahl, de amônio e de nitrato + nitrito (sempre em base seca): realizar a extração do solo (utilizando aproximadamente 3 g de solo úmido) com KCl 2M (15 mL) e determinar, no extrato, NH_4^+ e $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ por destilação a vapor com MgO e liga Devarda (BREMNER & KEENEY, 1966; TEDESCO et al., 1995).

e) Logo em seguida, pesar 500 g de cada tratamento (base seca) em sacos plásticos reforçados, em triplicata (três sacos para cada tratamento), e colocar água suficiente para atingir a capacidade de campo. Anotar o peso de cada saco.

f) Manter o solo em capacidade de campo, pesando os sacos periodicamente e acrescentando água destilada quando necessário.

g) Manter a temperatura ambiente constante, se possível.

h) Periodicamente, homogeneizar o solo nos sacos, sacudindo-os; fazer rodízio dos mesmos na bancada em que se encontram no laboratório.

i) Decorridos os intervalos de dias previamente determinados (por exemplo, 7, 14, 28, 35, 42, 56, 63, 70, 84, 98, 112 dias), coletar amostras de cada saco em quantidade suficiente para fazer as determinações dos teores de amônio e de nitrato + nitrito. Anotar o novo peso.

j) Para cada período de incubação, a quantidade total de N mineralizado é obtida pela soma dessas determinações.

k) É interessante fazer também as determinações de pH nas várias épocas estudadas, para avaliar o efeito do lodo de esgoto sobre este atributo da fertilidade do solo.

1.5 Cálculos

a) Para cada repetição e para cada época estudada, calcula-se a quantidade total de N mineralizada desde o início da incubação (N acumulado), somando-se o N amoniacal (NH_4^+) e o N ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) determinados no solo na época considerada e descontando-se os teores encontrados no tempo zero (item 1.4.d). Estes resultados representam o total mineralizado pela mistura [lodo de esgoto + solo] desde o início da incubação até aquele momento.

b) Os resultados devem ser expressos em mg do parâmetro por kg de solo (em base seca).

2. Estimativa de N orgânico potencialmente mineralizável em solo tratado com lodo de esgoto (N_0)

Para cada dose de lodo, ajustar uma curva com os valores das três repetições, por meio de um programa de computador (StatGraphics, SAS, ou outro), utilizando os dados obtidos no item 1.5. (teor de N mineralizado a cada período de incubação: 0 a 7 dias; 0 a 14 dias; 0 a 21 dias, etc.)

O ajuste é feito de acordo com o modelo proposto por Stanford & Smith (1972) estimado por análise de regressão não-linear (SMITH et al., 1980), baseado em uma equação de regressão exponencial simples dada por $N_m = N_0 \cdot e^{-kt}$, em que N_m é o N total que foi mineralizado no tempo t, N_0 é o N potencialmente mineralizável num ciclo de cultivo e k é a constante da taxa de mineralização. N_0 e k são estimados pelo programa. O ajuste dos dados ao modelo também permite que sejam feitas estimativas das quantidades potenciais de N mineral que podem ser disponibilizadas no solo em diferentes épocas após a aplicação do lodo (BOEIRA, 2004).

Na Fig. 1 apresentam-se, como exemplo, as curvas obtidas com quatro doses de N orgânico (0, 106, 201 e 400 mg kg⁻¹) aplicadas a Latossolo, em laboratório, que corresponderam à aplicação de 0, 4.000, 8.000 e 16.000 kg ha⁻¹ de lodo de esgoto de Barueri/SP (considerando-se, para esse cálculo, a camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo com densidade igual a 1,0 kg dm⁻³).

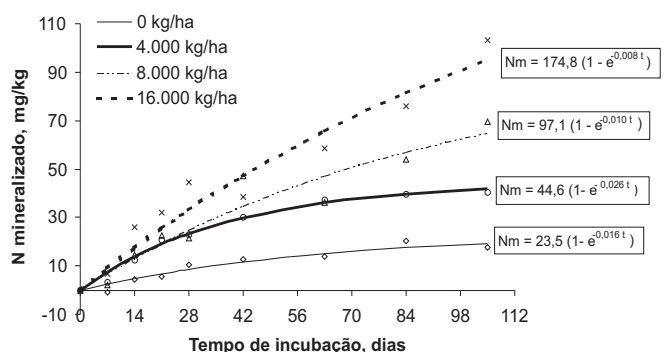


Fig. 1. Ajuste dos teores de N mineral gerados em Latossolo durante incubação com doses de lodo de esgoto de Barueri/SP ao modelo exponencial simples: $N_m = N_0 (1 - e^{-kt})$. Dados obtidos em Boeira et al. (2002).

3. Estimativa da fração de mineralização potencial de N orgânico de lodo de esgoto

A fração de mineralização de N de lodos de esgoto representa a fração da quantidade de N presente em compostos nitrogenados orgânicos de lodos que será mineralizada no solo. No processo de mineralização o N torna-se disponível para absorção pelas plantas, na forma de nitratos, nitritos e compostos nitrogenados amoniacais.

A fração de mineralização pode ser obtida pela análise de regressão linear entre os dados estimados de N_0 (N potencialmente mineralizável) nos solos tratados (item 2) e as doses aplicadas de N orgânico via compostos nitrogenados de lodo de esgoto. A declividade obtida, multiplicada por 100, representa a fração de mineralização que se quer estimar.

Na Fig. 2, apresenta-se a regressão linear relativa às estimativas obtidas para N_0 no exemplo da Fig. 1. Com esses dados, estima-se em 39% a fração de mineralização potencial do N orgânico do lodo de Barueri, conforme equação apresentada nessa figura.

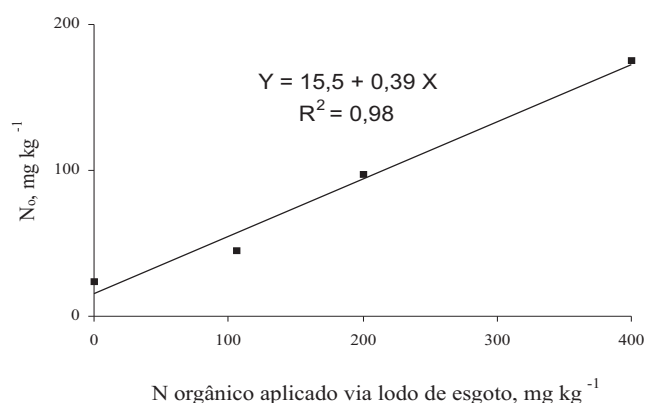


Fig. 2. N potencialmente mineralizável (N_0) de Latossolo tratado com doses de lodo de esgoto de Barueri/SP. Dados obtidos em Boeira et al. (2002).

Referências

BOEIRA, R. C. **Uso de lodo de esgoto como fertilizante orgânico**: disponibilização de nitrogênio em solo tropical. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 3p. (Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico, 12).

BOEIRA, R. C. **Aspectos experimentais na avaliação da mineralização de nitrogênio de lodos de esgoto incubados com solos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 5 p. (Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico, 27).

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J.F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 11, p. 1639-1647, 2002.

BREMMNER, J. M.; KEENEY, D. R. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3 - Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-destillation methods. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 30, p. 577-582, 1966.

CETESB. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas**: critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999. 32 p. (Manual Técnico, P. 4230)

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006**. Disponível em: <http://www.ecolnews.com.br/legislacao/resolucoes/res_indice.htm>. Acesso em: 15 jan. 2007.

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**, v. 44, n. 5, p. 996-1000, 1980.

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

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, 1995. (Boletim Técnico, 5).

Circular Técnica, 20

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Meio Ambiente
Endereço: Rodovia SP 340 km 127,5
Caixa Postal 69, Tanquinho Velho
13.820-000 Jaguariúna/SP
Fone: (19) 3311-2700
Fax: (19) 3311-2640
E-mail: sac@cnpma.embrapa.br

1ª edição eletrônica (2009)

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



Comitê de publicações

Presidente: Ariovaldo Luchiarini Júnior.
Secretário-Executivo: Luiz Antônio S. Melo.
Secretário: Sandro Freitas Nunes
Bibliotecária: Maria Amélia de Toledo Leme
Membros: Heloisa Ferreira Filizola, Ladislau Araújo Skorupa, Adriana M. M. Pires, Emília Hamada e Cláudio M. Jonsson

Expediente

Tratamento das ilustrações: Alexandre R. da Conceição
Editoração eletrônica: Alexandre R. da Conceição