

FRAÇÃO MINERALIZÁVEL DE NITROGÊNIO EM SOLO TRATADO SUCESSIVAMENTE COM LODO DE ESGOTO

NITROGEN MINERALIZATION RATE IN A SOIL SUCCESSIVELY TREATED WITH SEWAGE SLUDGE

PIRES, A.M.M.¹; LIGO, M.A.V.¹, SILVA, V.A.¹; VASCONCELLOS, E.B.C.¹; PASTRELLO, B.M.C.¹;

¹ Embrapa Meio Ambiente, Caixa Postal 69, 13820-000, Jaguariúna, SP
e-mail: adriana@cnpma.embrapa.br.

Resumo

A taxa de mineralização de nitrogênio oriundo de lodo de esgoto é utilizada para calcular a dose adequada de resíduo a ser aplicada ao solo. A Resolução CONAMA optou por utilizar porcentagens fixas de N mineralizável, dependendo do tipo de lodo de esgoto. Entretanto, a maioria das informações sobre a porcentagem de N mineralizável foi obtida a partir de solos que nunca receberam o resíduo anteriormente. O presente estudo avaliou a mineralização de N de solos que receberam por 5 anos doses diferentes de lodo de esgoto. Os resultados mostraram que a FMN e o modelo de cinética de primeira ordem não foram adequados para a avaliação de solos que já haviam recebido o resíduo anteriormente.

Abstract

The mineralization rate of nitrogen from sewage sludge is used to calculate the adequate doses of the waste to be added to the soil. The CONAMA regulation decided to utilize fixed percentages of mineralizable N, depending on the type of the sewage sludge. However, the majority of the information about mineralizable N percentages was obtained using soils that never received the residue. This study evaluated N mineralization of soils that were treated with different doses of sewage sludge for 5 years. The results showed that both nitrogen mineralization rate and the first order kinetics model were not adequate to evaluate soils that have already received the residue.

Introdução

A utilização de lodo de esgoto na agricultura é uma prática interessante tanto sob o ponto de vista econômico como ambiental, contanto que seja realizada de maneira adequada. Embora seja reconhecido que o uso desse resíduo como condicionador do solo e fontes de nutrientes, Page & Chang (1994) citam que ainda são necessárias informações sobre os riscos de uso por longo período, associado com a aplicação no solo, principalmente o potencial de lixiviação de nitrato, transferência de elementos tóxicos e fitotoxicidade.

O uso agrícola de lodo de esgoto sanitário é regulamentado no Brasil pela Resolução 375 do CONAMA, aprovada em julho de 2006 (MMA, 2006). Durante a elaboração dessa resolução, ficou clara a falta de estudos sobre o efeito residual e em longo prazo da aplicação de lodo de esgoto aos solos agrícolas no Brasil. Para evitar a possibilidade de contaminação do lençol freático por nitrato, recomenda-se realizar o cálculo da dose de lodo a ser adicionada com base na fração mineralizável de N oriundo do resíduo. A Resolução CONAMA optou por utilizar porcentagens fixas de N mineralizável, dependendo do tipo de lodo de esgoto, assim como foi determinado na norma dos EUA (USEPA, 1993). O principal problema nesse caso refere-se ao fato de que a maioria das informações sobre a porcentagem de N mineralizável foi obtida a partir de solos que nunca receberam o resíduo anteriormente. Com isso, não se sabe ao certo se a porcentagem fixa adotada é adequada para solos sucessivamente tratados com lodo de esgoto, o que pode resultar em aplicações maiores do que as consideradas ambientalmente seguras. Portanto, a recomendação da dose de lodo a ser aplicada diz respeito à sua utilização apenas no primeiro ano de aplicação do composto, não existindo relatos metodológicos de como se deve proceder em áreas onde se pretende utilizá-lo de forma mais sistemática.

Material e Métodos

Para as avaliações desse estudo foi utilizado o experimento que já vem sendo desenvolvido no campo experimental da Embrapa Meio Ambiente, no município de Jaguariúna,

SP, numa área de Latossolo Vermelho distroférico, textura argila arenosa. Os tratamentos são: 1) testemunha absoluta (Controle); 2) solo + lodo de esgoto adicionado na dose calculada de acordo com o recomendado por Cetesb (1999) (1N); 3) solo + lodo de esgoto adicionado na dose duas vezes maior que o recomendado (2N); 4) solo + lodo de esgoto adicionado na dose quatro vezes maior que o recomendado (4N). O lodo de esgoto foi aplicado anualmente, nos doses descritas nos tratamentos, por 5 anos.

Como o objetivo do trabalho é avaliar a mineralização de N em solos que já recebem o resíduo, foram coletadas amostras de solo de cada um desses tratamentos, de maneira que para cada tratamento foi realizado o ensaio de mineralização de N. As amostras após a coleta foram secas ao ar e moídas (peneira com 2 mm de malha). Aplicou-se o delineamento inteiramente ao acaso com 16 tratamentos (4 solos e 4 doses) e duas repetições.

O lodo de esgoto utilizado era proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto de Jundiaí, que possui o sistema de tratamento secundário biológico, por lagoas aeradas seguidas de lagoas de decantação. O lodo obtido é prensado, centrifugado e compostado antes de ser destinado à agricultura. O teor total de nitrogênio no lodo de esgoto era de 28,04 g kg⁻¹.

As doses de lodo adicionadas às amostras de cada tratamento (Controle, 1N, 2N e 4N) foram determinadas considerando-se a necessidade de nitrogênio da cultura do milho, de 90 kg ha⁻¹, indicada no Boletim 100 (Cantarella et al., 1997) e que a FMN de do lodo seria de 25, 50 e 100%.

O ensaio para determinação da fração de mineralização do nitrogênio (FMN) foi realizado segundo metodologia descrita em Cetesb (1999) e procedeu-se a incubação por 11 semanas a uma temperatura de 28 ± 2°C. No intervalo de zero a 127 dias de incubação, as amostras foram analisadas quanto à umidade e ao teor de nitrogênio inorgânico (Tedesco et al., 1995). Os dados obtidos foram ajustados ao modelo de cinética de primeira ordem, $N_{min} = N_0(1 - e^{-kt})$, em que N_0 é o N potencialmente mineralizável, k é a constante de velocidade da reação e t é o tempo de incubação. O software CurveExpert versão 1.3 foi utilizado para fazer os ajustes.

Resultados e Discussão

Os resultados referentes à porcentagem de N mineralizado após o período de incubação do lodo de esgoto nos solos provenientes dos diferentes tratamentos (Tabela 1) indicam que, de maneira geral, a fração mineralizada variou entre 4 e 140% em função da dose e tratamento.

O efeito das adições anteriores de lodo de esgoto fica claro quando se observa o Controle, no qual não ocorreu nenhuma adição do resíduo, apenas a do ensaio de mineralização desse estudo. As quantidades de N mineralizadas e as frações de mineralização de nitrogênio da testemunha são baixas, uma vez que o solo não apresenta N residual de outras adições de resíduo. Para as doses de lodo, ainda no tratamento Controle, as FMNs encontradas se inserem dentro dos intervalos geralmente observados e próximas da média adotada pela resolução Conama, de 30%, indicando que o método é adequado para solos que não receberam resíduos anteriormente ao teste.

Já os problemas ao se utilizar esse teste para a avaliação de solos já tratados com o resíduo se destacam no tratamento 4N (solo que recebeu nos últimos 5 anos 4 vezes mais resíduo do que o recomendado). As frações de mineralização obtidas variam entre extremos, desde um valor negativo para a Dose 1 até uma FMN de aproximadamente 140% para a Dose 3, o que indicaria que todo o N do lodo de esgoto adicionado foi mineralizado, além da mineralização de nitrogênio que já estava presente no solo.

Pode-se observar, ainda, que a quantidade de N mineralizada nas testemunhas dos tratamentos que haviam recebido lodo de esgoto (1N, 2N e 4N) é alta, indicando que o processo de mineralização de N proveniente das adições anteriores de lodo continua ocorrendo de maneira significativa no solo.

Uma opção para esses casos seria de avaliar os dados da mistura solo+lodo de esgoto, ou seja, não realizar os cálculos para avaliar a quantidade de N do resíduo que mineralizem, mas trabalhar com os resultados da mistura solo+lodo.

Tabela 1. Fração mineralizada de Nitrogênio em um solo tratado com diferentes doses de lodo de esgoto.

Tratamentos	N total aplicado	N inorgânico extraído inicialmente	N inorgânico extraído após incubação	N mineralizado após incubação	N mineralizado devido ao resíduo	Fração mineralizada do N após incubação
						mg kg ⁻¹
Controle						
Testemunha	---	1,03	5,68	4,65	---	---
Dose 1	180	10,66	30,20	19,54	14,54	8,1
Dose 2	90	10,25	35,02	24,77	19,77	22,0
Dose 3	45	17,67	44,88	27,21	22,21	49,4
1N						
Testemunha	---	7,43	67,31	59,88	---	---
Dose 1	180	17,44	84,78	67,34	7,46	4,1
Dose 2	90	13,76	97,64	83,88	24	26,7
Dose 3	45	25,81	95,64	69,83	9,95	22,1
2N						
Testemunha	---	13,03	70,27	57,24	---	---
Dose 1	180	19,56	113,84	94,28	37,04	20,6
Dose 2	90	24,87	141,8	116,93	59,69	66,3
Dose 3	45	31,21	101,3	70,09	12,85	28,6
4N						
Testemunha	---	14,52	64,95	50,43	---	---
Dose 1	180	20,42	37,93	17,51	-32,92	-18,3
Dose 2	90	23,93	102,85	78,92	28,49	31,7
Dose 3	45	24,16	137,38	113,22	62,79	139,5

Controle: Solo sem adição de lodo de esgoto, 1N: solo + lodo de esgoto aplicado por 5 anos na dose recomendada, 2N: solo + lodo de esgoto aplicado por 5 anos na dose 2 vezes maior que a recomendada e 4N: solo + lodo de esgoto aplicado por 5 anos na dose 4 vezes maior que a recomendada. Testemunha: Solo sem adição de lodo de esgoto, Dose 1: solo + lodo de esgoto em dose calculada considerando-se FMN=25%, Dose 2: solo + lodo de esgoto em dose calculada considerando-se FMN=50%, Dose3: solo + lodo de esgoto em dose calculada considerando-se FMN=100%.

Os valores de N potencialmente mineralizável, constante de velocidade da reação e coeficiente de determinação dos dados ajustados à equação de cinética de primeira ordem são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros da equação de cinética do primeiro grau ($N_{min} = N_0 \times (1 - e^{-kt})$) ajustada aos dados de mineralização de N em solo tratado com diferentes doses de lodo de esgoto.

Tratamento	N ₀	K	R ²	N ₀	K	R ²
Controle			1N			
Testemunha	5,24	0,070	0,86	870,91	0,000	0,88
Dose 1	16,66	0,318	0,44	998,31	0,001	0,69
Dose 2	24,77	0,035	0,70	106,87	0,010	0,81
Dose 3	22,73	0,050	0,74	59,03	0,013	0,94
2N			4N			
Testemunha	779,76	0,001	0,93	1432,3	0,000	0,77
Dose 1	436,17	0,002	0,89	464	0,002	0,87
Dose 2	1291,65	0,001	0,93	86,16	0,017	0,89
Dose 3	1487,66	0,000	0,74	158,55	0,014	0,46

Controle: Solo sem adição de lodo de esgoto, 1N: solo + lodo aplicado na dose recomendada, 2N: solo + lodo aplicado na dose 2 vezes maior que a recomendada e 4N: solo + lodo na dose 4 vezes maior que a recomendada. Testemunha: Solo sem adição de lodo de esgoto, Dose 1: solo + lodo em dose calculada considerando-se FMN=25%, Dose 2: solo + lodo de esgoto em dose calculada considerando-se FMN=50%, Dose3: solo + lodo de esgoto em dose calculada considerando-se FMN=100%. *N₀: N potencialmente mineralizável (mg kg⁻¹) ao final do período total de avaliação; K: constante de velocidade de reação.

Os coeficientes de determinação (R^2) do ajuste dos dados obtidos à equação de cinética de primeira ordem podem ser considerados satisfatórios, variando entre 0,44 e 0,94. Entretanto, apenas para o tratamento Controle o ajuste foi adequado. Isso devido ao fato de que, embora o coeficiente indique um bom ajuste, a estimativa de N_0 (N potencialmente mineralizável) para os tratamentos em que o solo já havia recebido lodo de esgoto (1N, 2N e 4N) corresponde a uma quantidade de N mineralizável de até 10 vezes maior do que a adicionada via o resíduo. Esse resultado indica que o modelo de cinética de primeira ordem pode não ser o mais adequado para a avaliação da mineralização de nitrogênio em solos que já haviam recebido o resíduo. Isso porque a dinâmica das reações é muito intensa, e as fases que geralmente ocorrem quando se adiciona um resíduo ao solo se misturam com as fases que ainda estão ocorrendo com o N adicionado anteriormente, não se ajustando ao modelo.

Conclusões

Os resultados mostraram que a FMN e o modelo de cinética de primeira ordem não foram adequados para a avaliação da mineralização de N em solos que já haviam recebido lodo de esgoto anteriormente.

Referências

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ B. VAN, CANTARELLA, H. QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.G. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo (Boletim 100)**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. p.45-71.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Aplicação de biossólido em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999. 35p. (Manual Técnico).

MMA - Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), **Resolução No. 375** de 30 de agosto de 2006; (Critérios e Procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário).

PAGE, A.L. & CHANG, A.C. Overview of the past 25 years: technical & perspective. In. Clapp, C.E.; Larson, W.E.; Dowdy, R.H. **Sewage sludge: Land utilization and the environmental**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p.3-5.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 1993. 40 CFR Parts 257, 403 and 503. **Final rules: Standards for the use of sewage sludge**. Fed. Reg. v.58, n.32, p.9248-9415.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995, 174 p.