

FRAÇÃO DE MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO OBTIDA POR INCUBAÇÃO ANAERÓBIA DE LODOS DE ESGOTO EM SOLO ARGILOSO

Rita Carla Boeira¹; Viviane Cristina Bettanin Maximiliano²

¹Engenheira agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente; Caixa Postal 69, CEP 13.820-000, Jaguariúna, SP. e-mail: rcboeira@cnpmembrapa.br; ²Química, assistente da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

RESUMO: A regulamentação ambiental que rege a reciclagem agrícola de lodos de esgoto urbanos gerados em estações de tratamento devem determinar doses máximas a serem aplicadas a solos, com o objetivo de evitar a formação de nitrato em quantidades superiores à capacidade de absorção das plantas. Para a recomendação de doses seguras de uso de lodos de esgoto na agricultura, tendo como critério o teor de N, deve-se previamente estimar a quantidade de nitrogênio potencialmente mineralizável (N_o) nos resíduos quando este for incorporado ao solo. A estimativa de N_o é obtida medindo-se, ao longo de um certo período de tempo, as quantidades mineralizadas do nitrogênio orgânico presente nos resíduos. Para isso, são conduzidos experimentos laboratoriais de incubação desses resíduos em solo. Neste trabalho, teve-se como objetivo avaliar as estimativas de N_o obtidas pela metodologia de incubação anaeróbia durante sete dias, em um Latossolo. Estimou-se N_o em amostras de solo coletadas nos tempos 0, 7, 14, 21, 28 e 42 dias após a incorporação dos lodos. Utilizaram-se cinco doses de dois lodos de esgoto, um de origem estritamente urbana e outro contendo também rejeitos industriais. Os resultados indicaram a possibilidade de se estimar a fração de mineralização dos lodos de esgoto com dados obtidos na incubação anaeróbia de sete dias em solo argiloso.

Palavras-chave: biossólido; mineralização

MINERALIZATION FRACTION OF SEWAGE SLUDGE NITROGEN ESTIMATED BY ANAEROBIC INCUBATION

ABSTRACT: In order to adequately recycle in agriculture the sludge generated in sewage treatment plants, environment control agencies determine the maximum dosages to be applied to soils, aiming at avoiding nitrate formation in quantities above the absorption capacity of vegetation. A requisite to determine this safe dosage, having N content as a basic criterion, is the estimate of nitrogen content available to mineralization (N_o) in the residue. The N_o estimate is obtained by measuring, during a given time period, the quantities of organic N mineralized in the residues. To do so, laboratory experiments are carried out with soil + sewage sludge mixtures. In the present study we estimated the N_o according with the anaerobic incubation method, following the mineralization dynamics during 7 days in an

Oxisol. For doing it, soil samples were collected at 0, 7, 14, 21, 28 and 42 days after the incorporation of the sewage sludge in the soil. Five different dosages and two sewage sludge types (one strictly urban and the other containing industrial residues) were tested. The results imply the possibility of performing the estimate of N_0 in sewage sludge by employing data from the 7-day anaerobic incubation method, in the soil studied.

Keywords: biosolid; mineralization.

INTRODUÇÃO

Uma das características das sociedades modernas é a produção em grande escala de resíduos, das mais variadas naturezas. Alguns deles são recicláveis na agricultura, por possuírem elevada carga orgânica e teor de nutrientes adequados à melhoria da qualidade de solos. Por outro lado, a preocupação ambiental crescente originou nos países desenvolvidos a necessidade de estabelecimento de critérios de uso, como por exemplo aqueles explicitados na norma americana para uso de lodo de esgoto (USEPA, 1996), em função do potencial poluidor de certos resíduos. Os lodos de esgoto são potencialmente poluentes ambientais, seja devido à presença de organismos patogênicos, ao seu potencial de acidificação de solos agrícolas, ou à presença de compostos inorgânicos (metais pesados potencialmente tóxicos, teores elevados de fósforo e de nitrogênio) e de compostos orgânicos (TSUTIYA, 2001).

Quando o resíduo não possuir em sua composição outros fatores mais limitantes à sua aplicação em solos, o cálculo de dosagens agronômicas ambientalmente seguras deve ser baseado na quantidade de N que é transformada em formas inorgânicas disponíveis às plantas, ou seja, na fração de mineralização de N do lodo de esgoto. Esta disponibilidade potencial de nitrogênio é um dos critérios adotados para aplicação de resíduos a solos, dada a grande diferença na liberação de nitrogênio mineral conforme o tipo de material, podendo ocorrer desde imobilização de N até excesso de nitrato na solução do solo (ROGERS et al., 2001). Como a capacidade de retenção de nitrato em solos tropicais é, geralmente, baixa, este íon pode ser lixiviado além da zona radicular, se não for absorvido pelas plantas, contaminando águas subsuperficiais, (PAWAR e SHAIKI, 1995). Valores superiores a 10mg L^{-1} de N-NO_3^- na água podem produzir metahemoglobinemia, doença que reduz a capacidade de transporte de oxigênio pelo sangue e que pode ser fatal nos primeiros anos de vida. Assim, as doses de lodo de esgoto aplicadas

ao solo devem ser estabelecidas levando-se em conta as necessidades de nitrogênio para as plantas, evitando-se a geração de nitrato em quantidade que exceda sua capacidade de absorção. Para isso, é necessário o conhecimento prévio da fração potencial de mineralização do N orgânico do material adicionado ao solo.

Parte do nitrogênio (N) encontra-se presente em lodos de esgoto em formas orgânicas, as quais têm que ser mineralizadas para que as plantas possam aproveitá-lo. A fração de mineralização de N pode ser estimada por várias metodologias, procedendo-se a incubações nas quais avalia-se a produção de N mineral versus tempo [t]. Em geral, utilizam-se incubações aeróbias de longa duração, como os 126 dias recomendados em São Paulo para determinação de taxas de uso agrícola de lodos de esgoto (CETESB, 1999), estimando-se a fração potencial líquida de mineralização por meio de um modelo matemático que indica a parcela do N-orgânico aplicado via lodo de esgoto que pode ser mineralizada num determinado tempo experimental, [t]. No entanto, por ser um método de alto custo e muito demorado, mais de três meses, é inviável ao agricultor aguardar os resultados laboratoriais, e laboratórios de análises básicas de solos não incluem em seus serviços as determinações necessárias para a estimativa do potencial de mineralização de N orgânico do solo ou de sistemas [lodo de esgoto + solo]. Neste trabalho, alternativamente, avaliou-se a metodologia de incubações anaeróbias durante sete dias para determinação da fração de mineralização de N orgânico de dois lodos de esgoto incorporados em solo argiloso.

MATERIAL E MÉTODOS

Os lodos de esgoto foram coletados em 1999 nas estações de tratamento de Franca (esgotos domésticos) e de Barueri, SP (recebe também esgotos industriais) (Tabela 1); ambas utilizaram como processo de tratamento a digestão anaeróbia do lodo ativado. Utilizaram-se amostras de Latossolo Vermelho distroférico com textura argilosa (teor de argila de 450g kg^{-1}), pH em água 5,8, P: $3,5\text{mg dm}^{-3}$; K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e CTC: 1,51; 27,5; 8,5; 1,0 e $73,5\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente, analisadas segundo métodos descritos por Camargo et al. (1986).

Tabela 1. Composição química de lodos de esgoto coletados em 1999 nas estações de tratamento de esgoto de Franca e Barueri, SP.

Lodo	pH ⁽¹⁾	Umidade (base seca)	N-total	C-orgânico ⁽²⁾	Ca	Mg	K	Ni	Cu	Cd	Pb
			----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----		
Franca	6,3	172	46,0	308	13,1	1,7	0,8	33,9	153	2,6	72,6
Barueri	6,5	96	26,8	206	21,5	2,3	1,4	289,3	738	8,8	160,5

⁽¹⁾ Relação lodo:água 1:2,5. ⁽²⁾ Walkley-Black.

Aplicaram-se quatro doses de N orgânico, na forma de lodo de esgoto (em base de matéria seca): 63, 122, 244 e 486Mg kg⁻¹ de solo (Franca), e 106, 201, 400 e 796Mg kg⁻¹ de solo (Barueri), além dos tratamentos sem aplicação de N orgânico ao solo (dose zero). Essas doses foram equivalentes à aplicação de 3, 6, 12 e 24⁻¹ de lodo de Franca, e 8, 16, 32 e 64⁻¹ de lodo de Barueri (em base de matéria seca).

Com esses tratamentos, Boeira et al. (2002) conduziram um experimento com a metodologia de incubação aeróbia, sem lixiviação, e obtiveram a mineralização líquida acumulada do N orgânico aplicado via lodos de esgoto aos 0, 7, 14, 21, 28, 42, 63, 84 e 105 dias após a incorporação dos lodos (dail), e o parâmetro No-aeróbia (N potencialmente mineralizável obtido na incubação aeróbia 105 dail), utilizando uma equação cinética de primeira ordem (STANFORD e SMITH, 1972).

Paralelamente, foi feita a presente avaliação experimental da metodologia de incubação anaeróbia, em 1999, com três repetições, em amostras coletadas nas parcelas do experimento acima, aos 0, 7, 14, 21, 28 e 42 dail. Em cada época de coleta, as amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas a 2mm, com posterior determinação da umidade para correção dos resultados analíticos. Para cada repetição experimental de cada tratamento, foram colocadas 10g de solo em um béquer e a seguir inundadas com 50ml de água fria previamente fervida durante cinco minutos, tampando-se o frasco com filme plástico logo em seguida, e mantendo-o bem vedado. Os frascos foram mantidos durante sete dias em estufa a 40°C (BUNDY e MEISINGER, 1994), fazendo-se rodízio diário dos mesmos dentro da estufa. O parâmetro **N_{o-anaeróbia}** (N potencialmente mineralizável obtido na incubação anaeróbia) foi calculado pela diferença entre os teores de N-NH₄⁺ determinados nos tratamentos com as misturas [solo + lodo] no início da incubação e na solução fi-

nal após cada incubação anaeróbia, segundo método de Tedesco et al. (1995). A fração de mineralização de N dos lodos foi estimada pelo coeficiente de regressão linear dos valores estimados de N_o -aeróbia e dos valores medidos de N_o -anaeróbia às doses aplicadas de N orgânico. Utilizou-se análise de regressão linear para verificar a relação funcional entre N_o (N_o -aeróbia ou N_o -anaeróbia) e doses aplicadas de N orgânico e análise de correlação para verificar o grau de associação entre os resultados obtidos pelos dois métodos, considerando-se os dois lodos de esgoto conjuntamente, ambas a 1% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os resultados obtidos, verificou-se que tanto na metodologia de incubação anaeróbia quanto na de incubação aeróbia, os teores totais recuperados de N mineral foram diretamente proporcionais às doses de N orgânico aplicadas ao solo via lodos de esgoto (Figura 1).

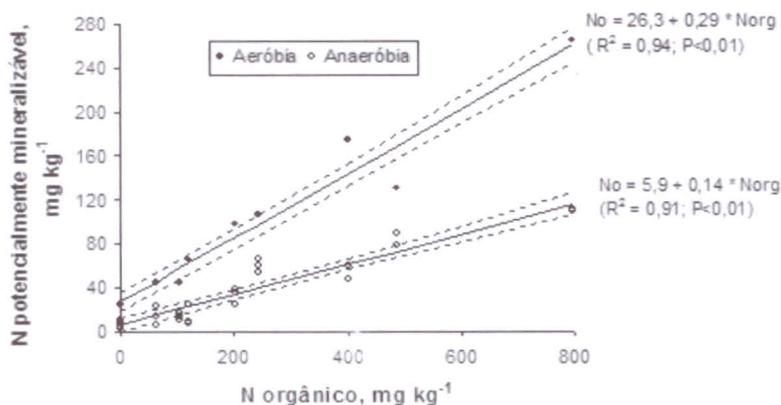


Figura 1. Doses de N orgânico aplicadas via lodo de esgoto e N potencialmente mineralizável (N_o), em 105 dias de incubação aeróbia e em sete dias de incubação anaeróbia, com ajuste dos dados ao modelo linear e respectivos intervalos de confiança (95%), em Latossolo Vermelho distroférico.

A partir dessa relação linear, a fração de mineralização líquida do N orgânico dos dois lodos estudados foi então estimada pelo coeficiente de regressão dos valores de N_o (N potencialmente mineralizável) às doses de N

orgânico aplicadas ao solo via lodos de esgoto. Os valores assim obtidos para a fração de mineralização de N, 14% no método com incubação anaeróbia e 29% no método com incubação aeróbia, refletiram a diversidade de processos que ocorrem nas duas técnicas de incubação. O menor valor para a metodologia anaeróbia era esperado em função das diminuições dos teores determinados de $N-NH_4^+$ pela ocorrência de reações de nitrificação-desnitrificação na interface solo-água, pois as condições experimentais proporcionam certa oxigenação nessa região. Na Figura 1, observa-se ainda que as duas fontes de resíduos, Franca e Barueri, representadas no eixo X pelas diferentes doses de N orgânico aplicadas ao solo, tiveram mineralização semelhante (não houve diferenças significativas), razão pela qual os dados dos dois resíduos foram avaliados em conjunto.

A fração de mineralização de N orgânico que deve ser considerada nos cálculos de taxas agronômicas de resíduos a serem aplicados ao solo é aquela obtida nas incubações aeróbias a longo prazo, em que são fornecidas condições ótimas à mineralização, tornando-se mais próxima da realidade que ocorre em campo do que em condições de anaerobiose. Assim, o valor médio a ser utilizado para a fração de mineralização dos dois lodos de esgoto nessa incubação aeróbia significa que cerca de 29% das quantidades de N orgânico aplicadas ao solo via lodos de esgoto são potencialmente mineralizáveis em um cultivo anual. Foi então avaliada a relação existente entre essa estimativa de mineralização de N orgânico de lodos de esgoto em solo (incubados aerobiamente durante 105 dias) com a metodologia mais simples e rápida da incubação anaeróbia dos resíduos em solo (durante sete dias). Os teores de N mineral determinados nos tratamentos após a incubação anaeróbia mostraram forte associação com aqueles obtidos após a incubação aeróbia, pois em todas as épocas de avaliação houve correlação significativa ($P < 0,01$) entre eles, obtendo-se os seguintes coeficientes de correlação (r) para as épocas 0, 7, 14, 21, 28 e 42 dias, respectivamente: 0,94, 0,89, 0,93, 0,79, 0,73 e 0,83. Com esses resultados, verificou-se que a metodologia de incubação anaeróbia foi eficiente em detectar as diferenças ocorridas no solo em função da dinâmica do N presente nos lodos de esgoto aplicados no início do experimento, pois a cada época avaliada o solo encontrava-se com um diferente potencial de mineralização de N orgânico. A seguir, avaliou-se o grau de associação entre os valores obtidos nas duas estimativas do potencial

de mineralização: N_0 -aeróbia (valores estimados por uma equação cinética de primeira ordem) e N_0 -anaeróbia (valores estimados pela diferença entre as medidas de $N-NH_4^+$ após a incubação anaeróbia e no início da mesma). Obteve-se correlação significativa ($P < 0,01$) entre essas estimativas para as épocas 0, 7, 14, 21, 28 e 42 dail, com os seguintes coeficientes de correlação (r) para cada época, respectivamente: 0,84, 0,86, 0,84, 0,72, 0,90, 0,49. Para os solos recém incubados (época 0 dail), a relação entre as duas metodologias foi expressa pela Equação 1:

$$N_0\text{-aeróbia} = 21,6 + 1,93 * N_0\text{-anaeróbia} \quad (R^2 = 0,84; P < 0,01) \\ \text{(Equação 1) .}$$

Considerando-se esses resultados, verifica-se que, com esses resíduos e no solo estudado, torna-se possível determinar as quantidades dos lodos de esgoto a serem aplicadas em solos agrícolas, a partir da metodologia de incubação anaeróbia de apenas sete dias, cujo resultado permite estimar o potencial de mineralização do N orgânico dos lodos de esgoto, no solo, através da Equação 1.

Com o objetivo de mostrar a aplicação prática dessa relação, exemplificaremos a seguir com alguns dados desse experimento. Se um produtor quiser aplicar lodo de esgoto em uma área agrícola, a legislação (CETESB, 1999) faculta que ele estime a fração de mineralização de N desse material, a qual é utilizada na fórmula de cálculo da quantidade máxima que poderá ser aplicada, que corresponda à dose de N requerida pela cultura. Então, faz-se uma incubação anaeróbia em laboratório durante sete dias, com três misturas de, digamos, 201, 244 e 400mg de N orgânico aplicado via resíduo por kg de solo, com repetições. Transcorrido o prazo da incubação, obteve-se para a dosagem de 201mg de N orgânico aplicado via lodo de esgoto a medida de N_0 -anaeróbia = 32,3Mg kg⁻¹ (teor de N obtido na incubação anaeróbia). Aplicando esse valor à Equação 1 obteremos: N_0 -aeróbia = 83,9Mg kg⁻¹, que é a estimativa da quantidade de N mineral gerada a partir das formas nitrogenadas orgânicas presentes na mistura [lodo + solo] durante a incubação aeróbia. Para estimarmos a quantidade gerada a partir do lodo, apenas, utilizamos a relação: N_0 -aeróbia = 26,3 + 0,29*Norg (Figura 1). Essa equação nos informa que, sob certas pressuposições teóricas, quando a dose de N orgânico aplicada é zero (ou seja, quando a mineralização é devida apenas

ao N orgânico originalmente presente no solo), N_0 -aeróbia = 26,3Mg kg⁻¹ (teor de N mineral obtido na incubação aeróbia do solo sem tratamento com lodo). Assim, por diferença, estimamos que o resíduo geraria 57,6Mg kg⁻¹ de N durante a incubação aeróbia. A fração de mineralização é então calculada dividindo-se essa estimativa pelo total de N orgânico aplicado ao solo: $57,6/201=0,29$, ou seja, estima-se que 29% do N orgânico que venha a ser aplicado ao solo será mineralizado no primeiro ano de cultivo. As frações de mineralização estimadas pela incubação anaeróbia das dosagens de 244 (N_0 -anaeróbia = 60,3Mg kg⁻¹) e de 400kg de N orgânico (N_0 -anaeróbia = 55Mg kg⁻¹), ficariam em 46 e 25%, respectivamente. Fazendo-se a média dos três valores, teríamos a estimativa de 33% para a fração de mineralização desse resíduo nesse solo. A variação observada na Figura 1 denota a necessidade de que seja ampliado o número de repetições e de doses na determinação de ambas as curvas aí representadas, visando maior precisão na calibração, especialmente na curva de mineralização anaeróbia e para as menores doses de resíduos.

Assim, utilizando-se o método alternativo aqui descrito de incubação anaeróbia durante sete dias, verificou-se a possibilidade de estimar a fração de mineralização de N de lodos de esgoto de Franca ou de Barueri no solo utilizado neste trabalho, com possibilidade de calibração do mesmo para lodos gerados em estações com outros tipos de tratamento do esgoto, bem como para outras classes de solos.

REFERÊNCIAS

- BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. (2002). Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.11, p.1639-1647.
- BUNDY, L. G.; MEISINGER, J. J. (1994). Nitrogen availability indices. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A., (Eds.). Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties. Soil Science Society of America. Madison, p.951-984.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; et al. (1986). Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Instituto Agronômico. Campinas, 94p. (IAC. Boletim Técnico, 106).

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

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. (1996). Standards for the use and disposal of sewage sludge. Washington. (Code of Federal Regulations 40 CFR Part 503). 25p.

PAWAR, N. J.; SHAIKI, I. J. (1995). Nitrate pollution of groundwaters from shallow basaltic aquifers of Deccan Trap Hydrologic Province. India Environmental Geology, v.25, n.3, p.197-204.

ROGERS, B. F.; KROGMANN, U.; BOYLES, L. S. (2001). Nitrogen mineralization rates of soils amended with nontraditional organic wastes. Soil Science, v.166, n.5, p.353-363.

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

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; et al. (1995). Análise de solo, plantas e outros materiais. Departamento de Solos-UFRGS. Porto Alegre, 174p. (Boletim Técnico, 5).

TSUTIYA, M.T. (2001). Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, A.P.; HESPANOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; et al. (Eds.). Biossólidos na agricultura. SABESP. São Paulo, cap.4, p.89-131.

REVISTA CIENTÍFICA RURAL

Revista Técnico-Científica

Volume 13 - Número 1
NOVEMBRO 2011

BAGÉ - RS
EDITORIA - EDIURCAMP

ISSN 1413-8263

Rev. Cient. Rural	BAGÉ - RS	v. 13 n. 1	NOVEMBRO 2011
-------------------	-----------	------------	---------------

REVISTA CIENTÍFICA RURAL

ISSN 1413-8263

Revista da Universidade da Região da Campanha (URCAMP), Bagé, RS, é uma publicação de divulgação de periodicidade regular, de divulgação técnico-científica, editada pela Editora da URCAMP – EDIURCAMP.

INDEXAÇÃO

Os artigos contidos nesta revista estão indexados nas bases:

- AGROBASE – AGRIS (Coordenadoria Geral de Informação Documental Agrícola – CENAGRI/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento)
- CAB INTERNACIONAL (International Centre For Agriculture and Biosciences)
- TROPAG & RURAL (Royal Tropical Institute [Koninklijk Instituut Voor De Tropen (KIT)])

URCAMP – Universidade da Região da Campanha

REITORA:

Lia Maria Herzer Quintana

VICE-REITOR E PRÓ - REITOR DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E EXTENSÃO:

Paulo Ricardo Ebert Siqueira

PRÓ-REITORIA ACADÊMICA:

Comissão Gestora Acadêmica:

1- Ana Maria Vieira dos Santos

2- Mirna Suzana Viera de Martinez

3- Marlisa Alagia de Oliveira Fico

PRÓ-REITORIA DE ADMINISTRAÇÃO:

Comissão Gestora de Administração:

1- Clóvis Waldy Belaunzaran de Quadros

2- Ricardo Ribeiro

3- Ronald Rolim de Moura

CAPA: Abner Guedes

REVISÃO: Fernando Pereira de Menezes

COMPOSIÇÃO E EDITORAÇÃO:

Abner Guedes

Tiragem: 300 exemplares.

Toda correspondência sobre assuntos ligados à Revista Científica Rural deverá ser enviada para:

Rua Flores da Cunha, 310 CEP: 96400-350 - Bagé - RS - Brasil

rcr@urcamp.tche.br

É permitida a reprodução com menção da fonte de artigos sem reserva de direitos autorais (aceita-se permuta).

REVISTA CIENTÍFICA RURAL / Universidade da Região da Campanha. v.1 n.1 (jan.-jul. 1996).

- Bagé: URCAMP.

Semestral

2011. n. 1

ISSN 1413-8263

1. Agronomia - Periódicos. 2. Veterinária - Periódicos. 3. Meio Ambiente - Periódicos.

Catálogo Sistema de Bibliotecas/URCAMP

Maria Bartira N. Costa Taborda – CRB 10/782