

Implicações do uso de lodo de esgoto como fertilizante em culturas anuais: acidez do solo

R.C. BOEIRA¹ & M.A.V. LIGO¹

¹ Embrapa Meio Ambiente, Caixa Postal 69 – Jaguariúna/SP – CEP 13820-000; rcboeira@cnpma.embrapa.br

RESUMO – A utilização de lodo de esgoto na agricultura traz o benefício da reciclagem da energia (representada pela matéria orgânica) e dos nutrientes nele contidos, em especial o nitrogênio, pelo seu valor econômico. E traz como riscos a possibilidade de contaminação ambiental com nitrato, metais pesados e, ou produtos orgânicos tóxicos. Em solos com pH próximos à neutralidade a solubilidade de elementos tóxicos às plantas ou aos animais é baixa, e ocorrem condições biológicas favoráveis à decomposição do resíduo. No entanto, a mineralização dos lodos de esgoto induz à acidificação do solo, devido principalmente à formação de ácidos orgânicos e à ocorrência de reações de nitrificação. Por estas razões a acidez deve ser monitorada, com o objetivo de verificar quando é necessária a calagem. Considerando-se estes aspectos, apresentam-se neste trabalho dados de pH de experimento conduzido em campo, com duas aplicações sucessivas de lodo de esgoto, em dois cultivos de milho. Avaliaram-se duas doses do resíduo, um de origem urbana e outro de origem urbano-industrial. A quantidade de lodo a aplicar foi calculada em função do N potencialmente disponível às plantas e da recomendação agrônômica de adubação nitrogenada para milho, critério utilizado por órgãos ambientais para evitar lixiviação de nitrato no perfil do solo; estudando-se também o dobro dessa dose. Os resultados evidenciaram diferentes potenciais de acidificação para os dois lodos de esgoto. Na primeira aplicação, o lodo de esgoto urbano acidificou o solo na dose recomendada (1N) e na dose 2N; o lodo de esgoto urbano-industrial acidificou o solo somente na dose 2N. A reaplicação dos dois lodos acidificou o solo, tanto na dose recomendada quanto no dobro da mesma. Verificou-se, assim, que o potencial acidificante do lodo de Franca pode ser um fator mais restritivo que o teor de N quando se calculam doses ambientalmente seguras a aplicar em solos.

Introdução

No Brasil, intensifica-se dia-a-dia o desequilíbrio de vários agroecossistemas em função principalmente da água, cada vez mais poluída e escassa. Estações de tratamento de esgotos têm sido construídas visando aliviar esta situação. No entanto, a gestão ideal dos resíduos aí gerados tem-se mostrado uma questão de difícil solução.

O reaproveitamento de lodos de esgoto na agricultura traz como grandes benefícios a reciclagem da energia (representada pela matéria orgânica) e dos

nutrientes neles contidos, em especial o nitrogênio, em geral deficiente em nossos solos, e de grande valor econômico. Mas traz também riscos, em especial a alta potencialidade de contaminação ambiental com nitrato, além da poluição do solo com metais pesados ou com produtos orgânicos tóxicos persistentes ou ainda com patógenos humanos e, ou animais. Estes riscos devem ser eliminados ou reduzidos ao máximo, estabelecendo-se experimentalmente quantidades seguras a aplicar e manejos apropriados do lodo de esgoto na propriedade, após adequada produção na empresa de saneamento. As instituições regulatórias e fiscalizatórias governamentais devem assegurar a manutenção da qualidade do solo, dos alimentos nele produzidos e o respeito ao meio ambiente.

Dentre os indicadores de qualidade do solo, o pH tem especial importância, pois afeta a reatividade dos componentes de lodos de esgoto no solo, e simultaneamente é afetado pelo resíduo. Em solos com pH próximos à neutralidade a solubilidade de elementos tóxicos às plantas ou aos animais é baixa, e ocorrem condições biológicas favoráveis à decomposição de resíduos. Por outro lado, a mineralização dos lodos de esgoto induz à acidificação do solo, devido principalmente à formação de ácidos orgânicos e à ocorrência de reações de nitrificação.

Assim, recomendações de quantidades de lodo de esgoto a aplicar a solos agrícolas de clima tropical, em geral ácidos, devem considerar o abaixamento de pH provocado por lodos que não sejam tratados com cal no seu processo de produção. Com este objetivo, avaliou-se a acidificação ocorrida em latossolo tratado com dois tipos de lodo de esgoto e com duas aplicações sucessivas, em experimento em campo cultivado com milho.

Palavras-chave: pH, milho, uso agrícola de lodo de esgoto.

Material e métodos

O experimento localiza-se em Latossolo Vermelho distroférico textura argilo-arenosa. Os lodos utilizados, não tratados com cal, são provenientes das estações de tratamento de esgotos sanitários das cidades de Franca (SP) (de origem doméstica) e de Barueri (SP) (de origem urbano-industrial); ambas com digestão anaeróbia dos lodos ativados.

Os tratamentos avaliados foram as doses 0N, 1N e 2N de cada lodo de esgoto, e um tratamento com adubação mineral (NPK), aplicadas no cultivo de milho-safrinha e reaplicadas para cultivo de milho-safrã. No tratamento 0N (zero de nitrogênio, ou testemunha) não foi aplicado lodo; a dose 1N foi calculada em função do

inorgânico que o resíduo poderá gerar. Essa quantidade pode ser calculada utilizando-se a estimativa da fração de mineralização de N orgânico contido no resíduo, utilizando-se incubação aeróbia, sem lixiviação, em solo agrícola. Esta avaliação é feita, em geral, em ensaio de laboratório, onde devem ser considerados diversos aspectos metodológicos [3].

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.

A. 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 [4]. 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. [4]. (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.

B. 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.

C. 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 [2]. 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 resíduo 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 [5,4].
- 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.

D. Cálculos

Para cada repetição e para cada época estudada, calcula-se a quantidade total de N mineralizada desde o início da incubação (nitrogênio acumulado), somando-se as quantidades de nitrogênio nas formas NH_4^+ , NO_3^- , e NO_2^- , determinadas no solo na época considerada e descontando-se os teores encontrados no tempo zero (item *d acima*). Estes resultados representam o total mineralizado pela mistura [lodo de esgoto + solo] desde o início da incubação até aquele momento.

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

Resultados e discussão

A. Estimativa de N orgânico potencialmente mineralizável de lodo de esgoto

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 [6] estimado por análise de regressão não-linear [7], baseado em uma equação de regressão exponencial simples dada por $N_m = N_o \cdot e^{-kt}$, em que N_m é o N total que foi mineralizado no tempo t , N_o é o N potencialmente mineralizável num ciclo de cultivo e k é a constante da taxa de mineralização. N_o 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 [8].

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, 8.000, 16.000 e 32.000 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}).

B. 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_o (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_o no exemplo da Figura 1. Com esses dados, estima-se em 39 % a fração de mineralização potencial do N orgânico desse lodo de esgoto, conforme equação apresentada nessa figura.

Conclusões

O estabelecimento de um protocolo para avaliação de ensaios, em laboratório, da fração de mineralização de compostos nitrogenados presentes em lodos de esgoto, é fundamental para o estudo das taxas de mineralização de N em condições de solos e de clima tropicais, utilizando-se ensaios similares nos diversos Estados brasileiros. A uniformização dos ensaios em todo o Brasil é importante e necessária para o estabelecimento de sistemas de uso agrônomo de lodo como fertilizante nitrogenado, visando-se minimizar riscos por contaminação de mananciais de água com nitrato. E os estudos no Brasil devem ser intensificados, para que minimizem-se os riscos ambientais, considerando-se que o valor atualmente sugerido pela norma brasileira para lodos com digestão anaeróbia é de 20%, bastante inferior aos valores já publicados em diversos trabalhos científicos, obtidos em incubações com solos tropicais.

Referências

- [1] Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2006. Resolução n. 375 de 29 de agosto de 2006. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- [2] Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. 1999. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação. São Paulo. 32 p. (Manual Técnico, P.4.230).
- [3] BOEIRA, R.C. 2005. Aspectos experimentais na avaliação da mineralização de nitrogênio de lodos de esgoto incubados com solos. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. (Comunicado Técnico, 27). 5p.
- [4] TEDESCO, M.J., GIANELLO, C., BISSANI, C.A., BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. 1995. Análise de solo, plantas e outros materiais, Departamento de Solos, UFRGS (Boletim Técnico, 5) 2a. edição, Porto Alegre.
- [5] BREMNER, J.M. & KEENEY, D.R. 1966. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3 - Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. Soil Science Society American Proceedings, 30:577-582.
- [6] STANFORD, G. & SMITH, S.J. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Science Society American Journal 36(2): 465-471.
- [7] SMITH, J. L., SCHNABEL, R.R.; MCNEAL, B.L. & CAMPBELL, G.S. 1980. Potential errors in the first-order

model for estimating soil nitrogen mineralization potentials.

Soil Science Society American Journal, **44**(5): 996-1000.

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

- [9] 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, **37**(11): 1639-1647. 2002.

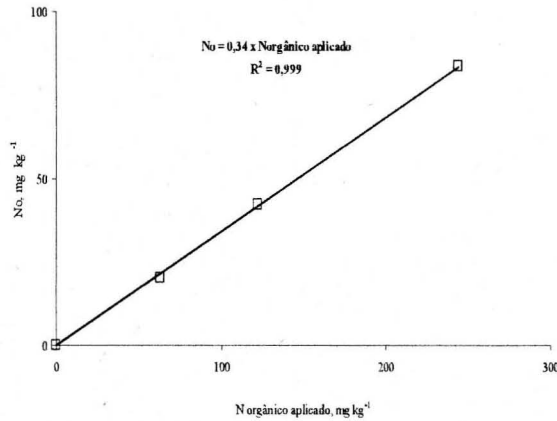


Figura 1. N potencialmente mineralizável (No) de lodo de esgoto de Franca aplicado em Latossolo, estimado por incubação sem lixiviação. Dados obtidos em Boeira et al. (2002).

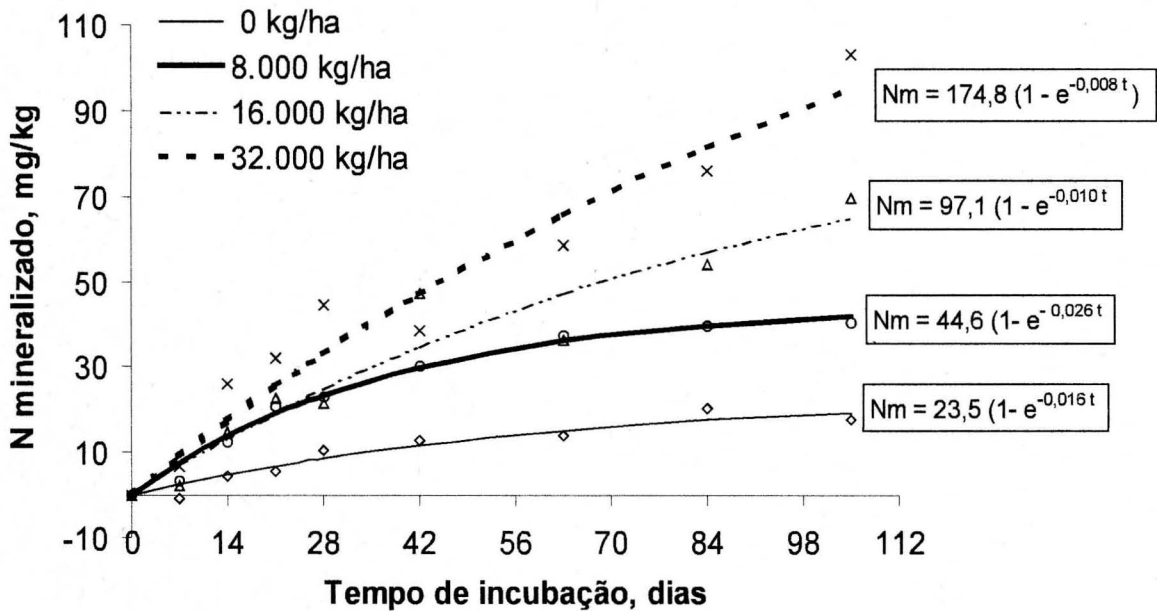


Figura 2. Ajuste dos teores de N mineral gerados em Latossolo durante incubação com doses de lodo de esgoto de Barueri/SP ao modelo exponencial simples: $N_m = N_o(1 - e^{-k t})$. Dados obtidos em Boeira et al. (2002).