



ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO NO SOLO POR MEIO DO MÉTODO AERÓBIO COM E SEM LIXIVIAÇÃO

Valéria Pimentel **Barbosa**¹; Francini de Cássia **Rodrigues**²; Gustavo **Furlan**³; Cristiano Alberto de **Andrade**⁴; Adriana M. M. **Pires**⁵

Nº 15411

RESUMO – O lodo de esgoto é um resíduo orgânico gerado no tratamento de águas residuárias que pode ser utilizado como fertilizante agrícola. O cálculo da dose de lodo de esgoto a ser aplicada no campo pode ser realizado com base na taxa de mineralização de nitrogênio (TMN), pré-estabelecida conforme o tipo de lodo de esgoto ou determinada em laboratório. Ainda existem dúvidas quanto à adequabilidade dos métodos padrão de determinação da TMN (incubação aeróbia com ou sem lixiviação) para lodo de esgoto adicionado a solos tratados em longo prazo com o resíduo. O objetivo deste estudo foi averiguar se existe diferença entre a TMN obtida via os dois métodos padrão. Amostras de solo tratadas sucessivamente com lodo de esgoto foram utilizadas neste estudo. Em ambos os métodos, doses de lodo de esgoto foram adicionadas às amostras do solo e a liberação de N na forma inorgânica em função do tempo foi analisada. O comportamento da mineralização do nitrogênio adicionado via lodo de esgoto a solo tratado sucessivamente com o resíduo foi diferente na incubação aeróbia com lixiviação em relação à incubação sem lixiviação, entretanto não houve diferença entre os valores de TMN obtidos.

Palavras-chaves: Lodo de esgoto, mineralização, nitrato.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental, IFSULDEMINAS, Inconfidentes-MG; valpbarbosa@gmail.com

2 Colaborador: Bolsista Embrapa Meio Ambiente: Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, PUCC, Campinas-SP.

3 Colaborador: Bolsista Embrapa: Graduação em Engenharia Química, PUCC, Campinas-SP.

4 Colaborador: Pesquisador Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP.

5 Orientadora: Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; adriana.pires@embrapa.br



ABSTRACT- Sewage sludge is a waste produced during sewer treatment which could be used as a fertilizer. Dosage of sewage sludge applied to soil could be based on nitrogen mineralization rate (NMR), pre-established according to the sludge type or determined by laboratory analyses. Many doubts still remain about the suitability of the standard methods (aerobic incubation with or without lixiviation) used to estimate NMR for sewage sludge added to soils treated with the waste for a long time. The objective was to investigate if there were differences among NMR values obtained using the two standard methods. Samples of a soil treated with the residue in the long term were used in this study. For both methods, doses of sewage sludge were added to the soil samples and inorganic N release was analyzed in function of time. The behavior of nitrogen mineralization from sewage sludge added to soil treated in long term with the waste was different for aerobic incubation with lixiviation compared to incubation without lixiviation, although there was no difference among NMR values.

Key-words: Sewage sludge, mineralization, nitrate.

1 INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto sanitário resulta na geração de lodo de esgoto, cuja disposição é uma etapa problemática sob o ponto de vista econômico e ambiental (BETTIOL & CAMARGO, 2000). Este resíduo geralmente é destinado aos aterros sanitários, incineração ou reaproveitado na agricultura.

O lodo de esgoto é rico em matéria orgânica e nutrientes, o que faz com que seu reaproveitamento na agricultura seja uma alternativa interessante. Além da adição de matéria orgânica ao solo, prática importante em solos tropicais, a aplicação do resíduo ainda fornece alguns nutrientes essenciais para o desenvolvimento da cultura, reduzindo ou substituindo o uso de fertilizantes minerais.

Entre os nutrientes presentes no lodo de esgoto, destaca-se o nitrogênio. Este nutriente ocorre no resíduo predominantemente na forma orgânica. Como as plantas só absorvem as formas inorgânicas é necessário que ocorra a mineralização do N para que este nutriente fique fitodisponível (ANDRADE et al., 2010). Parte do nitrogênio orgânico adicionado ao solo via lodo de



**9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015
10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo**

esgoto vai sendo mineralizado durante o ciclo da cultura, tornando o nutriente passível de ser absorvido pelas plantas.

O uso agrícola de lodo de esgoto no Brasil é regulamentado pela Resolução Conama nº 375 (CONAMA, 2006). Esta resolução indica que os cálculos da dose de resíduo a ser adicionada ao solo devem ser realizados com base nos seguintes parâmetros: poder de alcalinização, teor e carga acumulada de metais pesados e fornecimento de N para as plantas. Após calcular as doses, deve-se adotar aquela que apresenta menor quantidade de resíduo a ser aplicado. Para a maioria dos casos, a dose calculada mais restritiva é aquela cuja base foi a disponibilidade de N. A exceção consiste nos lodos calados, quando a maior restrição geralmente se dá para a dose calculada com base no poder alcalinizante do resíduo.

O cálculo da dose considerando-se o nitrogênio disponível baseia-se na taxa de mineralização de nitrogênio (TMN), que representa a porcentagem deste nutriente presente no lodo que vai ser mineralizada/disponibilizada em relação ao total presente no resíduo. Sabendo-se a necessidade da cultura, faz-se o cálculo da dose a ser aplicada. A Resolução Conama indica valores fixos de TMN conforme o tipo de lodo de esgoto (CONAMA, 2006), devido à falta de operacionalidade dos métodos que estimam esta taxa, cuja duração é de 120 dias.

Entretanto, ainda existem dúvidas quanto à adequabilidade dos métodos de determinação da TMN para lodo de esgoto adicionado a solos tratados em longo prazo com o resíduo e, conseqüentemente, quanto ao uso dos valores fixos.

Os métodos indicados para estimar a taxa de mineralização de N consistem em incubações aeróbias em condições controladas, podendo ser com ou sem lixiviação. No método de incubação com lixiviação, periodicamente lixivia-se uma mistura solo+lodo e determina-se o N mineralizado no lixiviado. A incubação sem lixiviação consiste na coleta periódica de amostras de uma mistura solo+lodo para extração e determinação de N mineralizado no extrato (CETESB, 1999).

A primeira fase da avaliação da adequabilidade dos métodos em estimar a TMN em solos tratados sucessivamente com lodo de esgoto é averiguar as possíveis variações nas taxas obtidas em função do tipo de incubação escolhida. Assim, este estudo foi realizado com o objetivo de comparar os valores de TMN de lodo de esgoto estimados utilizando os métodos de incubação aeróbia com e sem lixiviação para solo onde o lodo de esgoto foi adicionado em longo prazo.



2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foram coletadas amostras de um experimento localizado na fazenda Santa Elisa do Instituto Agrônomo de Campinas, onde lodo de esgoto é adicionado ao solo agrícola há mais de sete anos. O solo é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (EMBRAPA, 2006) e o lodo de esgoto adicionado foi gerado na Estação de Tratamento de Esgotos de Jundiaí, SP. O tratamento amostrado para este estudo corresponde àquele em que a dose recomendada de lodo de esgoto foi adicionada anualmente entre 2001 e 2007, sendo que a amostragem foi realizada em 2012.

As incubações com e sem lixiviação em laboratório foram realizadas com base no indicado pela Cetesb (1999) e consistiram na adição de novas doses de lodo de esgoto ao solo, que corresponderam a 0,1/2, 1, 2 e 4 vezes o recomendado para a cultura do milho (120 kg ha^{-1}) (0N, 1/2N, 1N, 2N e 4N, respectivamente), considerando-se para o cálculo valor de TMN igual a 30% e que o lodo apresenta 2% de N total. Para o método de incubação com lixiviação foram montadas colunas contendo mistura de 20 g de solo, 10 g de areia calcinada e as diferentes doses de lodo, sendo que na base de cada coluna foram adicionadas lã de vidro e areia calcinada para evitar perda de material. As colunas foram tampadas com papel alumínio com furos. Para lixiviar foram acrescentados nas colunas 100 ml de KCl $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ em incrementos de 20 ml nos períodos de 0, 15, 30, 60, 90 e 120 dias. Após cada lixiviação foram adicionados 25 ml de uma solução nutritiva isenta de N. Para o método de incubação sem lixiviação utilizaram-se 100 g de amostras de solo e as mesmas doses de lodo que foram acondicionados em potes plásticos de 250 ml. Os teores de N inorgânico na mistura solo+lodo foram determinados nos períodos de 0, 15, 30, 60, 90 e 120 dias. A extração do N inorgânico das amostras foi feita utilizando-se solução de KCl 2 mol L^{-1} .

A determinação do teor de N inorgânico nos lixiviados ou nos extratos obtidos segundo cada método foi por destilação a vapor com adição de MgO e liga de Devarda. Ao material destilado foram adicionados 5 ml de solução 2% de H_3BO_3 e procedeu-se a titulação com solução padronizada de H_2SO_4 $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ (CANTARELLA & TRIVELIN, 2001).

A partir dos dados obtidos, foi realizada análise de variância e análise de regressão linear e quadrática para o fator dose e linear, quadrática e de cinética de primeira ordem (Stanford & Smith, 1972) para o fator tempo, separadamente para cada método, com o objetivo de avaliar o comportamento da mineralização. Como apenas parte dos dados se ajustou à equação de cinética de primeira ordem, optou-se por avaliar o nitrogênio disponibilizado e a TMN a partir dos dados



obtidos no final do período de incubação (120 dias). Foi realizado o teste Tukey (5%) de comparação de médias para o fator métodos e análise de regressão para o fator dose.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre os fatores dose e tempo para a variável nitrogênio mineralizado nos dois métodos testados. No desdobramento de dose dentro de cada nível de tempo, tem-se que para todos os tempos houve um aumento de N mineralizado em função do incremento de dose. Este resultado era esperado, uma vez que com o aumento da dose, aumenta-se a quantidade de nitrogênio total adicionado.

Os resultados do desdobramento de tempo dentro de cada nível de dose são apresentados na Tabela 1 para a incubação sem lixiviação e na Figura 1 para o método com lixiviação.

Para a incubação aeróbia sem lixiviação, houve ajuste dos dados à equação de cinética de primeira ordem, com exceção da dose recomendada (1N), na qual o ajuste foi linear (Tabela 1).

Tabela 1. Nitrogênio potencialmente mineralizável (N_0) e constante de velocidade (k) da mineralização de solo tratado com 0, 1/2, 2 e 4 vezes a dose recomendada (N) de lodo de esgoto e equação de ajuste linear para teores de N mineralizado em função do tempo no tratamento com a dose recomendada (1N). Dados obtidos em incubação aeróbia sem lixiviação.

Dose	Ajuste	N_0 (mg kg ⁻¹)	K	N_0 do Lodo (mg kg ⁻¹)
0N	Cinética 1ª ordem	81,7	0,015	-
1/2N	Cinética 1ª ordem	100,0	0,019	18,3
2N	Cinética 1ª ordem	148,5	0,024	66,8
4N	Cinética 1ª ordem	162,8	0,036	81,1
		Equação		r
1N	Linear	$Y = 1,2935x + 5,631$		0,90

O modelo de cinética tem sido utilizado neste tipo de estudo, pois o referido modelo estima o nitrogênio potencialmente mineralizável e a constante de velocidade da reação. O modelo pode ser representado por: $N \text{ mineralizado} = N_0 \times (1 - e^{-kt})$, em que N mineralizado é a quantidade (mg kg⁻¹) de nitrogênio mineralizado no tempo t, N_0 é a quantidade (mg kg⁻¹) de nitrogênio (N_0) potencialmente mineralizável, k é a constante de velocidade da reação de mineralização do nitrogênio e t é o tempo de incubação (dias). A taxa de mineralização de nitrogênio é dada pela



9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015
10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

porcentagem que o N_0 do lodo representa em relação ao total de N na forma orgânica adicionado via resíduo. A TMN final é dada pela média dos valores obtidos para todas as doses de lodo, descontando-se a dose zero.

Para a incubação aeróbia com lixiviação, não houve ajuste dos dados à equação de cinética de primeira ordem. Neste caso, o modelo linear foi o que melhor representou a variação dos dados de N mineralizado em função do tempo (Figura 1).

O modelo de cinética de primeira ordem considera a ocorrência de uma fase inicial em que o processo de mineralização ocorre de forma mais intensa, seguida da estabilização em que os incrementos em função do tempo passam a ser muito menores. Portanto, pode-se inferir que para as amostras analisadas por meio do método de incubação aeróbia sem lixiviação ocorreu esta tendência à estabilização. Por outro lado, para a incubação com lixiviação, o ajuste linear indica que a fase mais intensa de mineralização de nitrogênio ainda está ocorrendo. Assim, o tempo recomendado de avaliação de 120 dias pode ter sido insuficiente para que fosse atingida a estabilização no caso da incubação com lixiviação.

No método sem lixiviação foram montados potes para cada tempo de avaliação, de maneira que o N e outros elementos mineralizados não eram removidos do meio. Com isso, o aumento da concentração de sais pode ter resultado em algum tipo de inibição do processo de mineralização do nitrogênio. Destaca-se, ainda, que as amostras utilizadas no estudo foram de um solo que recebeu lodo de esgoto por vários anos, o que pode ter potencializado o efeito de concentração de sais. Na incubação com lixiviação, as mesmas colunas são lixiviadas em cada tempo, logo, formas inorgânicas livres ou fracamente retidas são removidas.

Dada a impossibilidade de se obter N_0 para todos os tratamentos, utilizou-se outra opção de cálculo da TMN, na qual são utilizados os valores de nitrogênio mineralizado aos 120 dias para calcular a taxa (CETESB, 1999). Os resultados de comparação dos dois métodos a partir dos dados ao final do período de incubação são apresentados na Tabela 2. Pode-se observar que não houve diferença entre os métodos tanto no que se refere ao total mineralizado como à TMN. Entretanto, a diferença entre os dois métodos no que se refere ao comportamento da liberação de nitrogênio inorgânico em função do tempo indica que outras avaliações devam ser realizadas. Para os estudos subsequentes, sugere-se que sejam adotados: maior tempo de avaliação para a incubação com lixiviação e monitoramento da condutividade elétrica da mistura solo+lodo na incubação sem lixiviação.

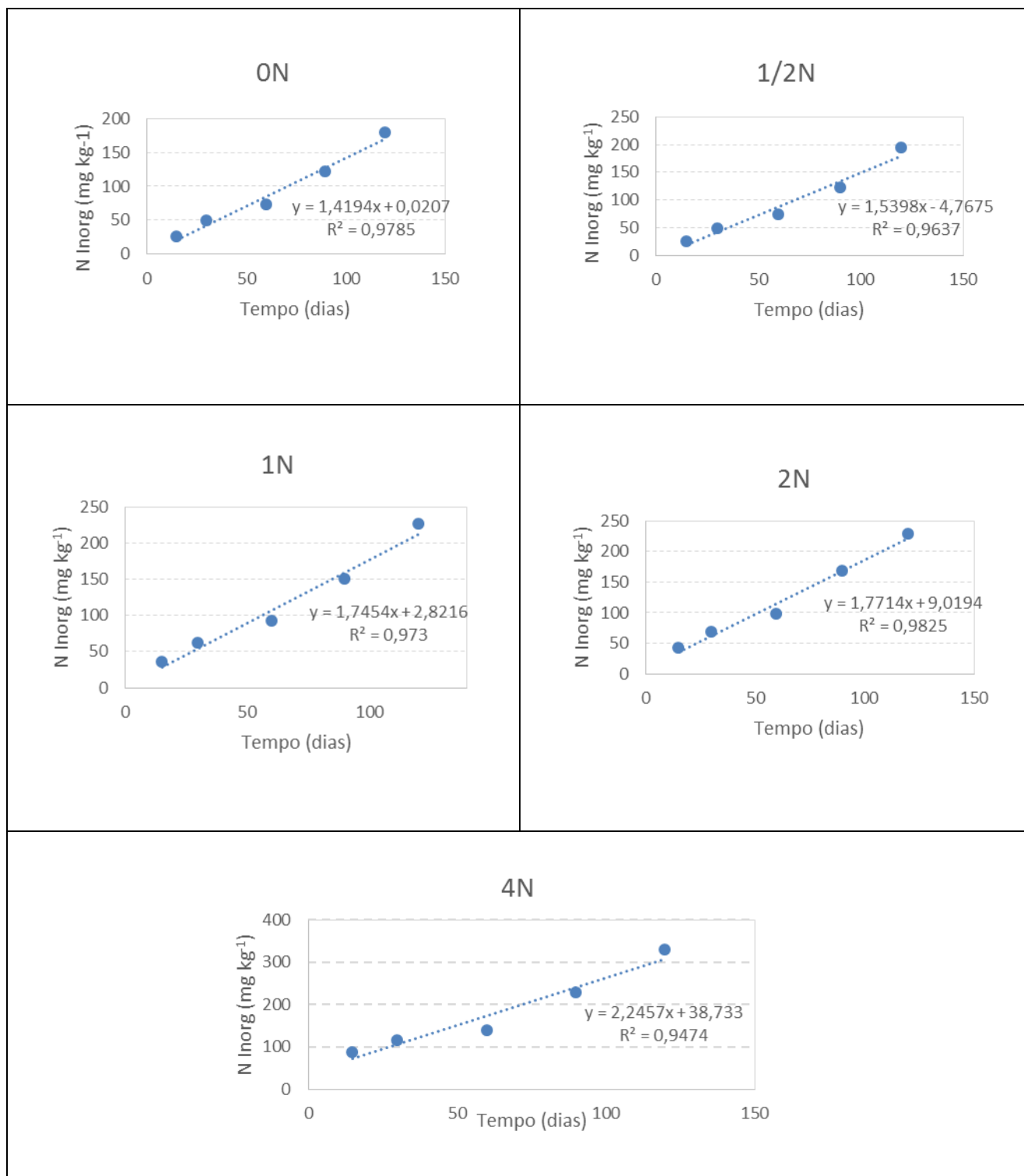


Figura 1. Teores de N inorgânico, obtidos em incubação aeróbia com lixiviação, de solo tratado com diferentes doses de lodo de esgoto (testemunha – 0N, dose recomendada – 1N, 1/2, 2 e 4 vezes a dose recomendada) em função do tempo.



Tabela 2. Nitrogênio mineralizado e taxa de mineralização de nitrogênio de solo tratado com diferentes doses de lodo de esgoto. Dados obtidos em incubação aeróbia com e sem lixiviação*.

Incubação Aeróbia	N mineralizado (mg kg ⁻¹)	TMN (%)
Com Lixiviação	65,5 a	17 a
Sem Lixiviação	70,9 a	24 a

* Letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa.

4 CONCLUSÃO

O comportamento da mineralização do nitrogênio adicionado via lodo de esgoto a solo tratado sucessivamente com o resíduo foi diferente na incubação aeróbia com lixiviação em relação à incubação sem lixiviação, entretanto não houve diferença entre os valores de TMN obtidos.

5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq – PIBIC, pela bolsa concedida. Ao CNPq pelo apoio financeiro. À Embrapa Meio Ambiente, pela oportunidade de estágio.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, C. A.; BOEIRA, R. C.; PIRES, A. M. M. **Nitrogênio presente em lodo de esgoto e a resolução nº 375 do CONAMA.** Uso agrícola do lodo de esgoto: avaliação após resolução nº 375 do CONAMA. Aline R. Coscione, Thiago A.R. Nogueira, Adriana M.M. Pires. - Botucatu: FEPAF, 2010. p.157-170.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: IAC, 2001. p.270-276.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Norma P4.230 - Critérios para aplicação de **biossólidos em áreas agrícolas: Critérios para projeto e operação.** São Paulo, 1999. 32p. (Manual Técnico).
- CONAMA. (2006) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Definir critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dar outras providências. **Resolução n.º 375**, de 29 de agosto de 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- STANFORD, F. & SMITH, S.J. **Nitrogen mineralization potentials of soil.** Proc. Soil Sci. Soc. Am., 36:465-472, 1972.