

5

Nitrato no Perfil de um Latossolo Vermelho Distroférico Cultivado com Milho sob Aplicações Seqüências de Lodo de Esgoto

José Flávio Dynia; Rita Carla Boeira e Manoel Dornelas de Souza

Introdução

O lodo de esgoto apresenta potencial fertilizante comparável ao de outros resíduos orgânicos utilizados rotineiramente na adubação do solo e, por essa razão, o uso agrícola é visto como uma forma adequada de sua disposição no ambiente. Às vantagens agronômicas da aplicação desse resíduo nas lavouras somam-se dois importantes aspectos da sustentabilidade ambiental, o primeiro representado pela reciclagem dos nutrientes e da energia (matéria orgânica) nele contidos; e o segundo pela contribuição dessa reciclagem para a preservação das jazidas que fornecem os minérios utilizados na fabricação dos adubos comerciais.

No Brasil, o uso agrícola de lodo de esgoto é uma prática ainda incipiente, apesar de diversos trabalhos experimentais já terem demonstrado seu efeito no aumento de produtividade das culturas (Bettiol et al., 1983; Defelipo et al., 1991; Ros et al., 1993; Berton et al., 1997). Um dos motivos limitantes à expansão de seu uso é a escassez de informações científicas sobre os efeitos nas características físicas, químicas e biológicas do sistema solo-água nas condições tropicais. Tais informações são necessárias para orientar as recomendações de aplicação sob nossas condições edafo-climáticas, pois as normas de utilização do produto adotadas atualmente no país derivam, basicamente, de normas estabelecidas para condições de clima temperado (CETESB, 1999).

Um dos riscos inerentes ao uso inadequado do lodo de esgoto refere-se à possibilidade de contaminação de lençóis freáticos e cursos de

água com nitrato, que presente em excesso na água destinada ao uso doméstico pode causar problemas de saúde no homem e nos animais que a consomem.

O nitrato, uma das formas de nitrogênio aproveitadas pelas plantas, resulta da mineralização do nitrogênio orgânico contido no solo, seja ele original ou adicionado por meio de resíduos orgânicos, como o lodo esgoto. Em virtude do fato de não ser retido pelas partículas do solo – que em geral apresentam carga elétrica predominantemente negativa – esse ânion permanece livre em solução. Assim, quando a quantidade presente no solo excede a capacidade de absorção das raízes das plantas há a possibilidade de lixiviação no perfil do solo, podendo, ao longo do tempo, atingir o lençol freático e os corpos de água por ele alimentados. Trabalhos sobre o tema, desenvolvidos no país, indicam que dependendo das doses de lodo aplicadas e da frequência de aplicação, quantidades expressivas de nitrato podem ser lixiviadas da camada arável dos solos, trazendo o risco de contaminação das águas subterrâneas (Oliveira, 1995; Anjos & Mattiazzo, 2000; Mattiazzo & Andrade, 2000).

Um dos critérios utilizados no cálculo da dose de lodo de esgoto a ser aplicada em determinado cultivo considera a quantidade de nitrogênio disponível no resíduo. Essa quantidade é definida como a soma do nitrogênio na forma mineral (amônio + nitrato) originalmente contida no lodo, com a fração do nitrogênio orgânico do mesmo que será mineralizada durante o ciclo da cultura (CETESB, 1999). Dados da literatura indicam que tal fração varia entre 20 e 30%, quando o lodo é originado de processos de digestão anaeróbia ou aeróbia, respectivamente (Tsujiya, 2001). Isso significa que num sistema de culturas anuais adubadas com lodo de esgoto, entre 70 e 80% do nitrogênio orgânico adicionado a cada aplicação permanece no solo após cada safra. Embora o nitrogênio orgânico remanescente continue sendo mineralizado na ausência da cultura, uma quantidade considerável pode persistir sob esta forma, somando-se à adicionada na safra seguinte. Portanto, aplicações sucessivas de lodo numa mesma área causam um acúmulo de nitrogênio orgânico no solo, cujos efeitos sobre a formação e lixiviação de nitrato em solos tropicais são ainda pouco estudados, principalmente em condições de campo. Neste capítulo são

Nitrato no Perfil de um Latossolo Vermelho Distroférico Cultivado com Milho sob Aplicações Seqüenciais de Lodo de Esgoto

apresentados alguns resultados experimentais que refletem as consequências de aplicações repetidas de lodo de esgoto, em cultivos sucessivos de milho, sobre o movimento do nitrato no perfil de um latossolo de textura argilosa.

Material e Métodos

O trabalho baseou-se na análise de amostras de solo coletadas após três cultivos de milho, em um experimento que visa a avaliação dos impactos ambientais de curto, médio e longo prazos, decorrentes do uso agrícola de lodo de esgoto e da solução do solo no quarto cultivo. O experimento foi iniciado no ano de 1999 no campo experimental da Embrapa Meio Ambiente (Jaguariúna, SP), numa área de Latossolo Vermelho distroférico com declividade menor que 5%. As características do solo na camada de 0,0-0,2 m no início do experimento eram: pH em água = 5,8; MO = 2,6 g kg⁻¹; P = 3,5 mg dm⁻³; K = 1,51 mmol_c dm⁻³, Ca = 27,5 mmol_c dm⁻³, Mg = 8,5 mmol_c dm⁻³, Al = 1 mmol_c dm⁻³, H = 35 mmol_c dm⁻³ e CTC = 73,5 mmol_c dm⁻³; V = 52%; argila = 450 g kg⁻¹.

Utilizaram-se lodos provenientes das estações de tratamento de esgotos (ETE) das cidades de Franca e de Barueri (SP). As características das partidas dos lodos utilizadas nos cultivos são parcialmente mostradas na Tabela 1 e os detalhes no capítulo 1.

Tabela 1. Características químicas das partidas dos lodos das ETE de Franca (LF) e Barueri (LB) utilizadas nos três cultivos de milho.

Atributo	Unidade	Cultivo					
		1999 (safrinha)		1999/2000		2000/2001	
		LF	LB	LF	LB	LF	LB
pH água (1:2,5)	-	6,9	7,2	7,8	8,2	8,2	8,2
C orgânico	gkg ⁻¹	356	230	374	271	530	384
N Kjeldahl ⁽¹⁾	gkg ⁻¹	56,4	21,0	67,5	43,7	68,2	42,1
N- amoniacal	mgkg ⁻¹	4656	1403	9304	9562	10253	7734
N nitrato + nitrito	mgkg ⁻¹	37	312	122	177	101	97
FM ⁽²⁾	%	24	24	28	32	28	32

⁽¹⁾ N orgânico + N amoniacal

⁽²⁾ Fração de mineralização, determinada conforme as normas da CETESB (1999).

Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais da Agricultura

Foram avaliados seis tratamentos, aplicados a cada cultivo: 1) adubação mineral recomendada - AM; 2) dose zero dos lodos - LON; 3) dose 1 dos lodos - L1N; dose 2 dos lodos - L2N; dose 4 dos lodos - L4N; dose 8 dos lodos - L8N. As doses dos lodos foram calculadas para fornecer ao milho nitrogênio disponível em quantidades equivalentes a zero (LON), uma (L1N), duas (L2N), quatro (L4N) e oito (L8N) vezes a quantidade de N aplicada na adubação mineral. O nitrogênio disponível (N_{disp}) foi calculado pela fórmula (CETESB, 1999):

$$N_{\text{disp}} \text{ (kg t}^{-1}\text{)} = 0,01 \times \text{FM} \times (N_{\text{Kj}} - N_{\text{NH}_3}) + N_{\text{NH}_3} + (N_{\text{NO}_3} + N_{\text{NO}_2}), \text{ sendo}$$

FM = Fração de mineralização do nitrogênio do lodo (%)

N_{Kj} = nitrogênio Kjeldahl (nitrogênio orgânico total + nitrogênio amoniacal) (mg kg⁻¹)

N_{NH_3} = nitrogênio sob forma amoniacal (mg kg⁻¹)

N_{NO_3} = nitrogênio sob forma de nitrato (mg kg⁻¹)

N_{NO_2} = nitrogênio sob forma de nitrito (mg kg⁻¹)

As doses dos lodos, as correspondentes doses de N total (mineral + orgânico) e as quantidades totais de N aplicadas nos tratamentos constam na Tabela 2.

Tabela 2. Doses dos lodos de esgoto (LE) das ETEs de Franca e Barueri, correspondentes doses de nitrogênio total (Nt) por cultivo e total de nitrogênio aplicado por tratamento (TNA) nos três cultivos.

Tratamento ¹	Cultivo						TNA kg ha ⁻¹
	1999 (safrinha)		1999/2000		2000/2001		
	LE t ha ⁻¹ ; base seca	Nt kg ha ⁻¹	LE t ha ⁻¹ ; base seca	Nt kg ha ⁻¹	LE t ha ⁻¹ ; base seca	Nt kg ha ⁻¹	
Lodo de Franca							
AM	-	51	-	90	-	100	241
LON	-	-	-	-	-	-	-
L1N	3,0	170	3,5	237	3,8	257	664
L2N	6,0	340	7,0	474	7,6	514	1328
L4N	12,0	680	14,0	948	15,2	1028	2656
L8N	24,0	1360	28,0	1896	30,4	2056	5312
Lodo de Barueri							
AM	-	51	-	90	-	100	241
LON	-	-	-	-	-	-	-
L1N	8.1	173	4.0	199	5.3	224	596
L2N	16.2	346	8.0	398	10.6	448	1192
L4N	32.4	692	16.0	796	21.2	896	2384
L8N	64.8	1384	32.0	1592	42.4	1792	4768

¹ AM: adubação mineral; LON: testemunha; L1N, L2N, L4N, L8N: doses dos lodos equivalentes à aplicação de uma, duas, quatro e oito vezes a dose de N da adubação mineral.

Nitrato no Perfil de um Latossolo Vermelho Distroférico Cultivado com Milho sob Aplicações Seqüenciais de Lodo de Esgoto

No tratamento AM a dose de nitrogênio nos três cultivos foi parcelada, aplicando-se 16, 18, 18 kg ha⁻¹ no plantio e o restante em cobertura e incorporado com cultivador, aproximadamente 45 dias após o plantio. Na adubação de plantio utilizou-se a fórmula NPK 4-20-16, e na de cobertura foi utilizada uréia (45% de N).

Em todos os cultivos, os lodos foram aplicados a lanço nas parcelas e incorporados à camada arável do solo (0-0,2 m) com enxada rotativa, três a quatro dias antes do plantio. Os restos culturais foram retirados das parcelas antes da aplicação dos lodos. Entre o segundo e o terceiro cultivos, a acidez do solo das parcelas foi corrigida para pH próximo de 5,7, utilizando-se calcário dolomítico, com base em curvas de neutralização estabelecidas para cada uma delas.

Antes da instalação do experimento (início de 1999) e logo após a colheita do milho do segundo e do terceiro cultivos (1999/2000 e 2000/2001) foram coletadas amostras do perfil do solo para análise de nitrato. Não foram coletadas amostras após o primeiro cultivo, pois o mesmo foi realizado na época das secas (safrinha), sendo praticamente nula a possibilidade de ocorrer lixiviação do ânion. As camadas amostradas antes do início do experimento e após o segundo cultivo foram: 0-0,2; 0,2-0,6; 0,6-1,0; 1,0-1,4; 1,4-1,8 e 1,8-2,2 m. Nas amostragens realizadas após o terceiro cultivo foram incluídas as camadas 2,2-2,6 e 2,6-3,0 m. O nitrato foi extraído das amostras de solo com solução de sulfato de sódio 0,5 mol L⁻¹ (Camargo et al., 1986) e determinado pelo método colorimétrico da brucina (Baker, 1969).

Durante o quarto cultivo, no período compreendido entre 20/11/2001 e 09/04/2002, foram realizadas coletas semanais de amostras da solução do solo nas parcelas de um dos blocos experimentais, para determinação de nitrato. As coletas foram feitas a um metro de profundidade, por meio de cápsulas porosas, conforme sistema descrito por Reichardt et al. (1977). As extrações foram efetuadas sob sucção de 60 kPa, aplicada com bomba manual de vácuo dotada de manômetro. No momento da aplicação do vácuo era adicionada uma gota de tolueno aos frascos de coleta, com o objetivo de impedir atividade microbiana que pudesse resultar em denitrificação na solução recolhida. O intervalo entre a aplicação do vácuo e o recolhimento das soluções

foi de um dia. A metodologia utilizada na determinação do nitrato da solução do solo foi mesma utilizada para o solo.

Resultados e Discussão

Nos tratamentos L2N, L4N e L8N - com aplicação dos lodos em doses correspondentes a duas, quatro e oito vezes a do tratamento L1N (esta calculada com base na necessidade de nitrogênio da cultura) – ocorreu expressiva lixiviação de nitrato já a partir do segundo cultivo de milho (Figura 1). A lixiviação aumentou progressivamente com o número de doses aplicadas e com o aumento das doses dos lodos, e foi mais intensa nos tratamentos L4N e L8N. Nota-se que o nitrato lixiviado se concentrou, notadamente, na camada de solo localizada entre 0,6 e 2,2 metros de profundidade, registrando-se picos de concentração entre 1,0 e 1,4 metros. As quantidades do ânion contidas nessa camada em cada tratamento estão indicadas na Figura 2.

No tratamento L8N do lodo de Franca, as quantidades de N-NO_3^- acumuladas na camada 0,6-2,2 m ficaram próximas de 1000 e 1300 kg ha^{-1} (descontados os valores da testemunha), no segundo e no terceiro cultivos, respectivamente (Figura 2). No caso do lodo de Barueri esses valores ficaram em torno de 400 e 900 kg ha^{-1} . Considerando-se a proporção entre as quantidades de nitrato acumuladas nessa camada e as quantidades totais de nitrogênio aplicadas via lodos nesse tratamento, nos três cultivos (5312 e 4768 kg ha^{-1} , para os lodos de Franca e de Barueri, respectivamente - Tabela 2), constata-se que no espaço de tempo de apenas três safras cerca de 24% do nitrogênio aplicado via lodo de Franca e 19% do nitrogênio aplicado via lodo de Barueri foram lixiviados para a camada 0,6-2,2 m. Como o nitrato nessa profundidade está praticamente fora do alcance das raízes das plantas anuais e, por outro lado, tem grande possibilidade de ser lixiviado para o lençol freático, os números acima demonstram que a aplicação de doses excessivas de lodo resulta, concomitantemente, em desperdício de nitrogênio e em aumento do risco de contaminação das águas subterrâneas com nitrato. O pulso de nitrato vai descendo para camadas mais profundas com o passar do tempo e se não encontrar camadas com predominância de cargas positivas, continuará a se mover no perfil.

Nitrato no Perfil de um Latossolo Vermelho Distroférrico Cultivado com Milho sob Aplicações Sequênciais de Lodo de Esgoto

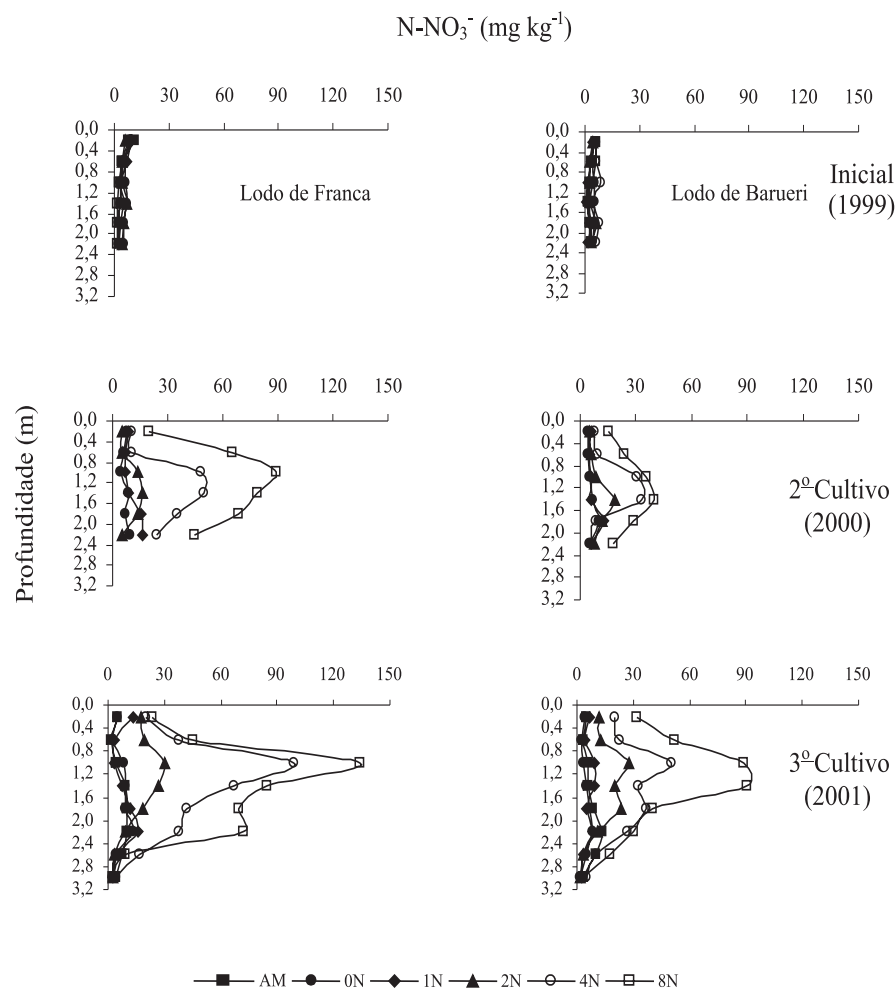


Fig. 1. Teores de $N-NO_3^-$ no perfil do solo no início do experimento (A) e após o segundo e o terceiro cultivos de milho [safras 1999/2000 (B) e 2000/2001 (C)] nos diversos tratamentos (médias de três repetições). AM: adubação mineral; LON: testemunha; L1N, L2N, L4N, L8N: doses dos lodos equivalentes à aplicação de uma, duas, quatro e oito vezes a dose de N da adubação mineral. Nota: No segundo cultivo (1999/2000) não foram analisadas amostras do solo do tratamento AM.

Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais da Agricultura

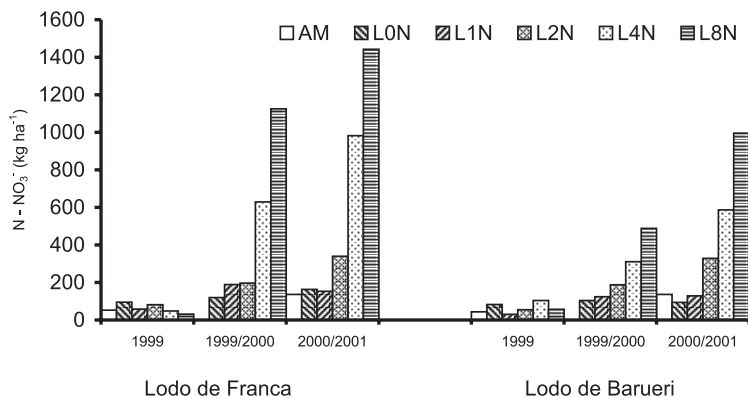


Fig. 2. Conteúdo de nitrato no solo na camada 0,6-2,2m no início do experimento (1999) e após o segundo (1999/2000) e o terceiro (2000/2001) cultivos de milho, nos diversos tratamentos (médias de três repetições). AM: adubação mineral; LON: testemunha; L1N, L2N, L4N, L8N: doses dos lodos equivalentes à aplicação de uma, duas, quatro e oito vezes a dose de N da adubação mineral. Notas: 1) Cálculos feitos considerando-se a densidade do solo igual a 1 kgdm⁻³. 2) No cultivo 1999/2000 não foram analisadas amostras do solo do tratamento AM.

Nos tratamentos LON e L1N, as quantidades de nitrato acumuladas na camada 0,6-2,2m aumentaram no segundo cultivo (1999/2000), em relação aos valores iniciais (1999) e mantiveram-se praticamente estáveis no terceiro cultivo (2000/2001) (Fig. 2). Embora não tenham sido analisadas amostras de solo do tratamento AM no segundo cultivo, os dados do terceiro cultivo mostram que também nesse tratamento houve aumento do nitrato acumulado na mesma camada. As quantidades acumuladas nos três tratamentos foram semelhantes, indicando que o efeito das três aplicações dos lodos no tratamento L1N na lixiviação do ânion foi similar ao dos tratamentos sem adubação (LON) e com adubação mineral (AM).

Entretanto, resultados da análise da solução do solo coletada a um metro de profundidade durante o período mais chuvoso do quarto cultivo de milho (safra 2001/2002), entre o final de janeiro e meados de março de 2002 (Figura 3), indicam que a concentração de nitrato na solução no tratamento L1N foi maior do que nos tratamentos AM e LON. Naquele período os teores médios de N-NO₃⁻ na solução do solo no tratamento com lodo (L1N) variaram

Nitrato no Perfil de um Latossolo Vermelho Distroférico Cultivado com Milho sob Aplicações Seqüenciais de Lodo de Esgoto

entre 34 e 68 mg L⁻¹, valores muito superiores aos dos tratamentos LON e AM, que variaram entre 19 e 36 mg L⁻¹ e 5 e 9 mg L⁻¹, respectivamente. O fato do tratamento LON apresentar maior perda de N-NO₃⁻ em relação ao tratamento AM se deve ao pouco desenvolvimento da cultura do milho neste tratamento, ocorrendo pouco desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, à baixa absorção de N pela cultura.

No mesmo período e na mesma profundidade de amostragem da solução, o fluxo de água no solo apresentava sentido descendente (dados não apresentados), evidenciando a ocorrência de lixiviação de nitrato nos três tratamentos – porém, em taxas mais elevadas no tratamento L1N em razão das maiores concentrações de nitrato na solução. Esses resultados indicam que, em termos do risco de contaminação do lençol freático com nitrato, o solo tratado com lodo, com N na mesma proporção do N da adubação mineral, apresenta risco de contaminação muito maior do que o solo tratado com adubação mineral.

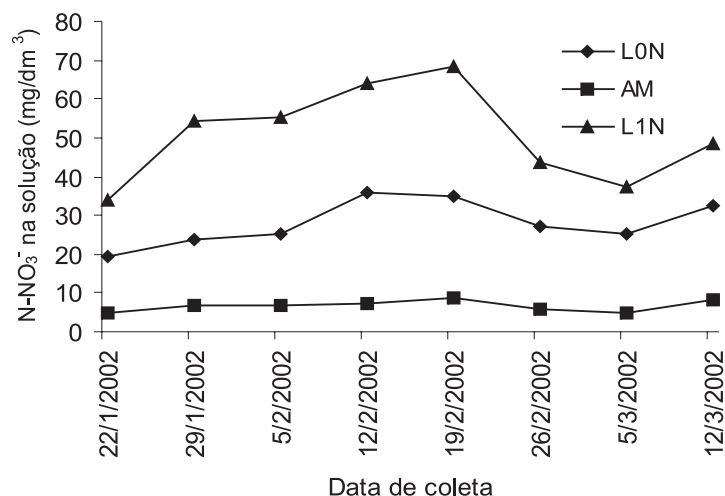


Fig. 3. Variação semanal dos teores de nitrato na solução do solo coletada a um metro de profundidade no período 22/01/02 - 12/03/02 durante o quarto cultivo de milho, nos tratamentos testemunha (LON), com adubação mineral (AM) e com a dose de lodo recomendada (L1N). Médias de duas repetições (inclusive dos tratamentos L1N com os dois lodos, nos quais os teores de nitrato em solução foram semelhantes).

Conclusões

1. A lixiviação de nitrato ocorre em todos os tratamentos. A intensidade da lixiviação obedece à ordem: adubação mineral < testemunha < adubação com os lodos. Nos tratamentos com os lodos a lixiviação aumentou com as doses e com o número de aplicações.
2. A aplicação dos lodos em doses correspondentes ao fornecimento de quatro e oito vezes o N disponível aplicado na adubação mineral recomendada para a cultura resulta em intensa lixiviação do ânion a partir dos primeiros cultivos. Após cinco aplicações destas doses, grande parte do nitrato lixiviado alcança a profundidade de três metros.
3. As perdas médias de N com a aplicação dos lodos em doses equivalentes ao fornecimento de uma, duas, quatro e oito vezes o N disponível aplicado via adubação mineral foram de 430, 1020, 2400 e 3970 kg ha⁻¹, respectivamente, correspondendo a cerca de 28, 42, 54 e 45% do N total aplicado em cada tratamento.

Referências

- ANJOS, A.R.M.; MATTIAZZO, M.E. Lixiviação de íons inorgânicos em solos repetidamente tratados com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.927-938, 2000.
- BAKER, A.S. Colorimetric determination of nitrate in soil and plant extracts with brucine. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.17, p.802, 1969.
- BERTON, R.S.; VALADARES, J.M.A.S.; CAMARGO, O.A.; BATAGLIA, O.C. Peletização de biossólido e adição de CaCO₃ na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu e Ni pelo milho em três latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.685-691, 1997.
- BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T., FRANCO, B.J.D. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. **O Solo**, v. 75, p.44-54, 1983.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. (IAC. Boletim Técnico, 106).

Nitrato no Perfil de um Latossolo Vermelho Distroférico Cultivado com Milho sob Aplicações Seqüenciais de Lodo de Esgoto

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

DEFELIPO, B.V.; NOGUEIRA, A.V.; LOURES, E.G.; ALVARES, Z.V.H. Eficiência agronômica do bio sólido proveniente de uma siderúrgica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.389-393, 1991.

MATTIAZZO, M.E.; ANDRADE, C.A. Aplicabilidade do bio sólido em plantações florestais: IV. Lixiviação de N inorgânico e toxicidade de metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.

OLIVEIRA, F.C. **Metais pesados e formas nitrogenadas em solos tratados com lodo de esgoto**. 1995. 90p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ROS, C.O. da; AITA, C.; CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Bio sólido: efeito imediato no milho e residual na associação aveia preta-ervilhaca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.257-261, 1993.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia da UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de bio sólidos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Ed.) **Bio sólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. 468p.