

Perdas de amônia em solo e de resíduos orgânicos autoclavados e tratados com uréia

Erico Sengik^{1*}, Jorge de Castro Kiehl², Maria Anita Gonçalves da Silva¹, Denis Campaner Palangana¹ e Marcus Rodrigo Lawder¹

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

²Departamento de Ciência do Solo, C.P. 9, 13418. Piracicaba, São Paulo, Brasil. *Author for correspondence.

e-mail: esengik@uem.br

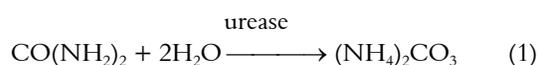
RESUMO. O experimento objetivou avaliar o efeito da adição ao solo de resíduos orgânicos nas perdas de amônia por volatilização decorrentes da aplicação de uréia à superfície da terra e o efeito da autoclavagem a 120°C, a 1 atm., durante duas horas, e dos resíduos orgânicos. Foram utilizadas amostras do horizonte Ap de uma Terra Roxa estruturada eutrófica (Rhodic Kanhapludalf, classe textural argila) do município de Piracicaba, Estado de São Paulo. A autoclavagem retardou o pico de perdas e aumentou as perdas de amônia em até 56%. A autoclavagem não eliminou o efeito estimulante dos resíduos orgânicos sobre a volatilização de amônia (NH₃); para a turfa, a autoclavagem apenas reduziu parcialmente esse efeito, enquanto que para o esterco de curral e para o composto de lixo, a autoclavagem estimulou ainda mais as perdas de amônia. A autoclavagem elevou o pH da terra e do esterco de curral, ocasionando alterações pequenas no pH dos demais resíduos.

Palavras-chave: volatilização, composto de lixo, turfa, esterco de curral, vinhaça.

ABSTRACT. Loss of ammonia in soil and of urea-autoclaved and treated organic residues. Effect of adding organic residues to soil in ammonia losses by volatilization due to urea application is evaluated, together with autoclaving at 120°C, at 1 atm, during two hours. Samples of Ap surface of structured eutrophic dark red latisol (Rhodic Kanhapludalf, clay texture) from the municipality of Piracicaba SP Brazil, were used. Autoclaving delayed the peak of losses and increased loss of ammonia up to 56%. Autoclaving did not delete the stimulating effect of organic residues on the volatilization of ammonia (NH₃). Autoclaving partially decreased the effect on peat and enhanced ammonia loss in cattle manure and house garbage. Autoclaving increased pH of soil and of cattle manure; slight changes in pH also occurred in other residues.

Key words: volatilization, house garbage, peat, cattle manure, urea.

A volatilização da amônia ocorre em razão da uréia, que com a ação da urease, é hidrolisada no solo a carbonato de amônio, e esse composto, em seguida, desdobra-se em gases NH₃ (amônia) e CO₂, além de água:



A presença e a atividade da urease são fatores determinantes na intensidade da hidrólise da uréia aplicada ao solo, pois, quanto mais intensa a hidrólise, maior será o potencial de perdas de amônia, uma vez que os valores de pH e as concentrações de amônia em solução serão mais

elevados. Fatores climáticos, como a temperatura, e fatores do solo, como o pH, potencial de água, aeração, textura e quantidade de carbono orgânico, são determinantes da atividade da urease.

A atividade da urease está intimamente relacionada à presença de matéria orgânica do solo (Myers e McGarity, 1968; Dick, 1984). A adição de resíduos orgânicos ao solo, promovendo a atividade microbiológica e a produção de urease, acelera a hidrólise da uréia (Ching e Kroontje, 1963; Moe, 1967; Hargrove *et al.*, 1987; Beyrouy *et al.*, 1988). A maior atividade da urease encontra-se nas camadas mais superficiais do solo onde há maior quantidade de matéria orgânica, principalmente com aplicações recentes desse material (Conrad, 1940; Myers e McGarity, 1968; Barreto e Westerman, 1989). Mc Innes *et al.* (1986) verificaram que a atividade da

urease nos resíduos de palha de trigo foi vinte vezes maior do que na camada de 0,0 a 10,0 mm do solo (Muir Silt Moan). Santos *et al.* (1991) verificaram, em um Latossolo Roxo sob diferentes vegetações, que a velocidade da hidrólise da uréia foi influenciada pelo tipo de vegetação, sendo maior sob mata e menor sob Pinus.

A intensidade do efeito da matéria orgânica na atividade da urease dependerá da sua disponibilidade como fonte energética para os microrganismos. A facilidade de decomposição microbiológica da matéria orgânica, bem como a quantidade aplicada, levam a maiores perdas de amônia. Elevadas taxas de perdas de amônia por volatilização são indicações de grande população microbiana, que levam a maior produção de urease (Fenn *et al.*, 1987).

A atividade da urease no solo mostra dependência significativa do fator temperatura do solo (Zantua e Bremner, 1975; Dalal, 1975; Moyo *et al.*, 1989; Kissel, 1989). Gould *et al.* (1973) verificaram que a atividade da urease na faixa de 2°C a 45°C pode ser descrita adequadamente como uma função linear da temperatura. O'Connor e Hendrickson (1987) verificaram que a hidrólise da uréia foi completa com 1, 4, 6, 7 e 8 dias para as temperaturas de 35°C, 25°C, 15°C, 10°C e 5°C, respectivamente. A perda mais rápida ocorreu a 35°C, onde 70% do nitrogênio aplicado foram volatilizados em de sete dias. Zantua e Bremner (1977) mostraram que a inativação da urease em muitos solos começa com temperaturas acima de 60°C, promovendo as perdas mais reduzidas quando as amostras de solo foram secas a 105°C durante 24 h, ou autoclavadas a 120°C, por 2 h.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da autoclavagem do solo, com incorporação de resíduos orgânicos (vinhaça, esterco de curral, composto de lixo e turfa) e aplicação de uréia na superfície do solo, nas perdas de amônia por volatilização.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido no laboratório do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz), Universidade de São Paulo, em Piracicaba. Foram utilizadas amostras secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm, coletadas do horizonte Ap de uma Terra Roxa estruturada eutrófica (Rhodic Kanhapludalf), classe textural argila, com as seguintes características físicas: 270 g.kg⁻¹ de areia fina; 80 g.kg⁻¹ de areia grossa; 180 g.kg⁻¹ de silte; 470 g.kg⁻¹ de argila. As características químicas foram pH CaCl₂ 4,9; 30 g.kg⁻¹ de matéria

orgânica; 22 µg.cm⁻³ de P-resina; 1,5 mmol_c dm⁻³ de K⁺; 45,1 mmol_c dm⁻³ de Ca⁺²; 14,7 mmol_c dm⁻³ de Mg⁺²; 0,00 mmol_c dm⁻³ de Al⁺³ e 52,0 mmol_c dm⁻³ de H + Al (acidez potencial a pH 7,0).

O experimento constou de um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (4x2x2), com três repetições. Os tratamentos foram de quatro resíduos orgânicos (vinhaça, esterco de curral, turfa e lixo urbano) submetidos ou não à autoclavagem (120 graus celsius, a 1 atm. por 2 horas) e misturados a terra igualmente autoclavada ou não. Foram acrescentados dois tratamentos contendo terra autoclavada e terra não autoclavada, tratadas somente com uréia (testemunhas). As principais características dos resíduos são apresentadas na Tabela 1 e determinadas segundo Kiehl e Porta (1980).

Tabela 1. As principais características físicas e químicas dos resíduos orgânicos

Resíduos	Vinhaça	Esterco	Turfa	Composto
Valor de pH	4,49	8,11	7,95	7,88
Matéria orgânica compostável g.kg ⁻¹		363,8	286,6	429,8
Matéria orgânica resistente, g.kg ⁻¹		54,3	107,3	146,5
Matéria orgânica total, g.L ⁻¹	6,53			
Carbono total, g.L ⁻¹	3,63	202,1	159,2	233,8
Resíduo mineral, g.L ⁻¹	9,26	423,4	550,3	354,00
Nitrogênio, g.L ⁻¹	0,12	26,8	17,8	24,2
Fósforo, g.L ⁻¹	0,06	1,0	11,7	24,2
Potássio, g.L ⁻¹	3,9	2,9	6,2	14,7
Cálcio, g.L ⁻¹	1,02	1,0	41,7	18,2
Magnésio, g.L ⁻¹	0,29	0,9	4,7	6,5
Enxofre, g.L ⁻¹	0,92	0,2	3,2	4,2
Relação C/N	30:1			
Umidade total a 100-110°C, kg.kg ⁻¹		0,16	0,05	0,07

A vinhaça foi originária da Usina Santa Helena, Piracicaba; a turfa (produto comercial acabado de São José dos Campos, cedida pela CESP; o esterco de curral foi coletado das mangueiras do Departamento de Zootecnia da ESALQ; o composto de lixo, da usina de compostagem da Prefeitura de São Paulo.

Água destilada foi aplicada para umedecer as amostras a 50% da capacidade de retenção de água, permanecendo o sistema fechado e em repouso por três dias antes da aplicação dos adubos.

Uma quantidade de 113 cm³ de vinhaça, equivalente a 100 m³.ha⁻¹, foi distribuída uniformemente sobre a superfície da terra, acrescentando-se água para completar o umedecimento da amostra. Os resíduos orgânicos sólidos (turfa, esterco de curral e composto de lixo), em uma quantidade de 11,3 g, equivalente a 10 t.ha⁻¹, foram previamente misturados à camada superficial de terra seca de um cm de espessura. A uréia, numa dose de 180,9 mg de uréia e 81,38 mg de N por frasco, equivalente a 72 kg.ha⁻¹ de nitrogênio (com

base em área), foi distribuída superficialmente na forma de 3 mL de solução.

A volatilização de amônia foi avaliada empregando-se sistema estático de captação de NH_3 (Kiehl, 1989). Em frascos cilíndricos de vidro, de 1600 mL de capacidade, com 12,0 cm de diâmetro interno e 17,0 cm de altura, dotados de tampa com rosca, foram colocados 570 mL de terra fina seca ao ar, resultando em uma coluna de aproximadamente 6 cm de altura.

A amônia volatilizada foi captada aplicando-se 1 mL de solução de H_2SO_4 de concentração variando de 0,1 a 0,5 mol.L⁻¹, em um disco de papel-filtro de 110 mm de diâmetro (coletor). O disco estava apoiado horizontalmente sobre as sete pontas de um suporte plástico em forma de coroa, de 5 cm de altura, colocado sobre a terra. Os coletores eram substituídos a cada 24 h. A amônia perdida no período foi quantificada, titulando-se o ácido remanescente no coletor com solução de NaOH 0,02 mol.L⁻¹ e empregando-se como indicador solução alcoólica de bromocresol verde. Provas em branco (coletores contendo ácido, titulados diariamente, antes da amônia) serviam como referência na quantificação do ácido consumido pela amônia. A partir das perdas diárias, foram calculadas as perdas percentuais acumuladas em cada período e as perdas totais absolutas.

O pH em água da camada de 0-5 cm de outra série de amostras, igual e concomitantemente autoclavadas e tratadas com uréia, foi determinado após 0, 3, 8, 11 e 18 dias.

Os dados obtidos do efeito da autoclavagem sobre as perdas totais absolutas de amônia foram avaliados mediante análise da variância (teste F) e as médias, comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Resultados e discussão

As perdas diárias de amônia observadas encontram-se nas Figuras 1 e 2 e os valores de pH nas Figuras 3 e 4. O efeito da autoclavagem das amostras de solo na distribuição das perdas de amônia durante o período experimental foi o de diminuir o ponto de perda máxima em um ou mais dias em todos os tratamentos, provavelmente devido à eliminação de parte da urease do solo pela alta temperatura (Zantua e Bremner, 1977), retardando a reação de hidrólise da uréia (Figuras 1 e 2).

Na testemunha (Figura 1), o pico de perda passou do terceiro para o sétimo dia. A autoclavagem do solo elimina, possivelmente, todos os microorganismos indistintamente e favorece, na fase inicial de recolonização, os microorganismos

relacionados à urease e, portanto, à hidrólise da uréia. É possível que a população de microorganismos ureolíticos demore mais a se recuperar da ação da autoclavagem.

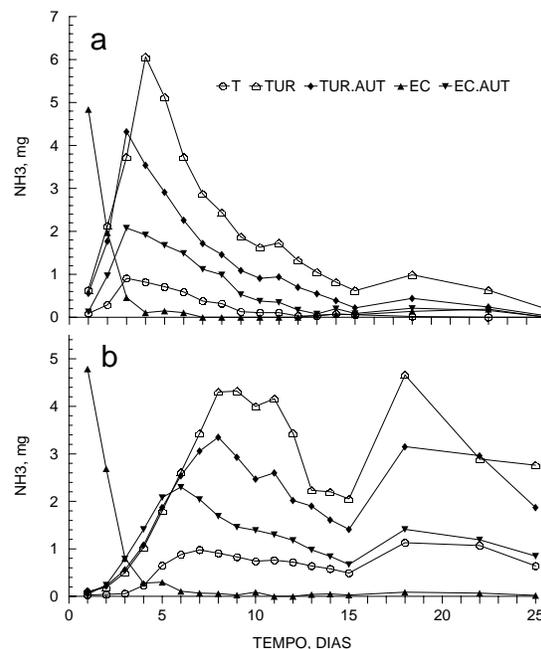


Figura 1. Perdas diárias de amônia por volatilização em amostras de Terra Roxa estruturada eutrófica, tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e da adição de turfa (TUR) e esterco de curral (EC) autoclavados ou não. (a) solo autoclavado (b) solo não autoclavado

Nas condições estudadas, o efeito da autoclavagem dos resíduos orgânicos variou entre resíduos tanto na terra autoclavada quanto na não autoclavada. A autoclavagem da turfa diminuiu a volatilização, em média, de 42,0 para 30,0 mg de N-NH₃; para o esterco de curral e o composto de lixo, a autoclavagem aumentou a perda, em média, de 8,8 para 17,3 e 9,3 para 19,2 mg de N-NH₃, respectivamente; para a vinhaça, o efeito da autoclavagem não foi significativo.

A autoclavagem da turfa adiantou em um dia o pico de perda na terra não autoclavada, enquanto na terra autoclavada ocorreu redução do início das perdas e atraso do pico do terceiro e quarto dias para o oitavo. Embora a autoclavagem da terra tenha reduzido o tempo de volatilização máxima, as perdas na terra autoclavada prosseguiram elevadas até o final do experimento. Os maiores valores de pH coincidiram com os picos de perda de amônia (Figura 3). Quando se adicionou turfa na terra autoclavada, por diversas vezes os valores de pH ultrapassaram 8,0, chegando a atingir 9,0 no terceiro

dia. Segundo alguns autores (Overrein e Moe, 1967; Koelliker e Kissel, 1988), sob valores acima de pH 7,5, as perdas de amônia são grandes, e em pH 8,8, quando a concentração de íons NH_3 em solução pode chegar a 25%, a possibilidade de perdas de amônia por volatilização é ainda maior. Portanto, a turfa, como foi o resíduo que manteve o valor de pH acima de 8,0 por um período mais longo, foi também a que apresentou a maior tendência para estimular as perdas de amônia se aplicada junto com a uréia.

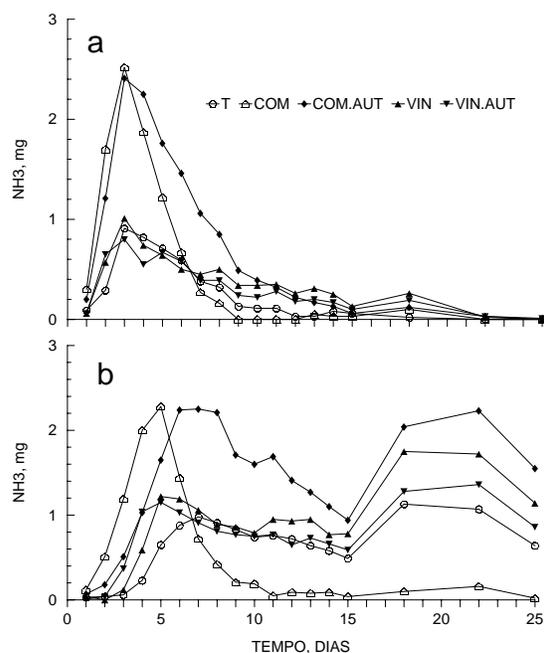


Figura 2. Perdas diárias de amônia por volatilização em amostras de Terra Roxa estruturada eutrófica, tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e da adição do composto (COM) e da vinhaça (VIN) autoclavados ou não. (a) solo autoclavado (b) solo não autoclavado

A autoclavagem do esterco de curral fez com que o pico de perda se atrasasse do primeiro para o terceiro dia na terra não autoclavada, e do primeiro para o sexto dia na terra autoclavada (Figura 1). O fato de a adição de esterco não autoclavado produzir um pico de perda no primeiro dia e da autoclavagem do esterco ter atrasado esse pico em alguns dias mostra que esse resíduo animal é rico em urease. Esta foi destruída ou perdeu atividade no processo de autoclavagem, mas se restituiu facilmente em alguns dias. Com a autoclavagem, o esterco de curral passou a se comportar como os demais resíduos, com perdas mínimas nos primeiros dias e com picos de máxima a partir do terceiro dia.

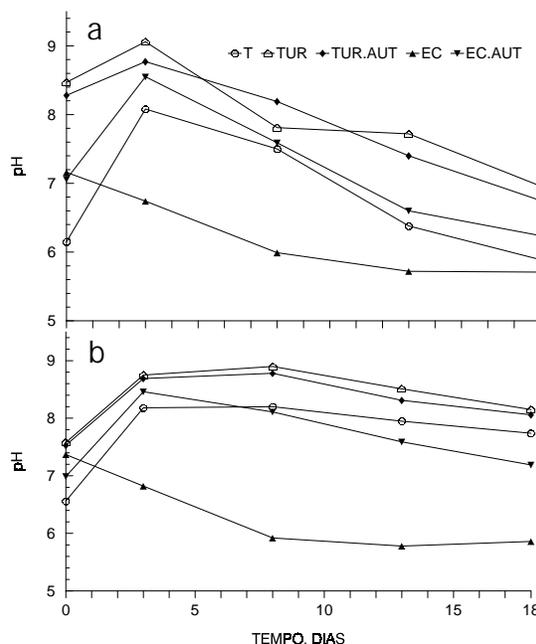


Figura 3. Valores de pH, em amostras de Terra Roxa estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e da adição da turfa (TUR) e do esterco de curral (EC) autoclavados ou não. (a) solo autoclavado (b) solo não autoclavado

Na terra não autoclavada, o esterco de curral aumentou a perda total de amônia em até 2,7 vezes. Já na terra autoclavada, o esterco autoclavado resultou em um aumento da volatilização de 1,9 vezes, enquanto o não autoclavado não alterou suas perdas de amônia.

Os elevados valores de pH observados no transcorrer do experimento (Figura 3) justificam as maiores perdas de amônia diárias, ocorridas a partir do segundo e terceiro dias, quando se aplicou o esterco autoclavado. Nota-se que nesse tratamento, a partir desse período, o pH ultrapassou o valor de 8,0 e manteve-se elevado por um período maior de tempo, justificando a maior volatilização de amônia, enquanto o esterco não autoclavado teve efeito acidificante, reduzindo as perdas diárias.

Os picos de perda de amônia na presença do composto de lixo foram retardados pela ação da autoclavagem do resíduo, passando do terceiro para o quarto dia na terra não autoclavada e do quinto para o sexto e sétimo dias na terra autoclavada (Figura 2). A autoclavagem do composto, retardando a hidrólise, mas mantendo a volatilização diária por um período maior de tempo, demonstra o efeito de altas temperaturas na atividade da urease. Os valores de pH acompanharam as perdas, situando-se acima de 7, quando as perdas diárias foram maiores que 1,0 mg N-NH_3 /dia (Figura 4).

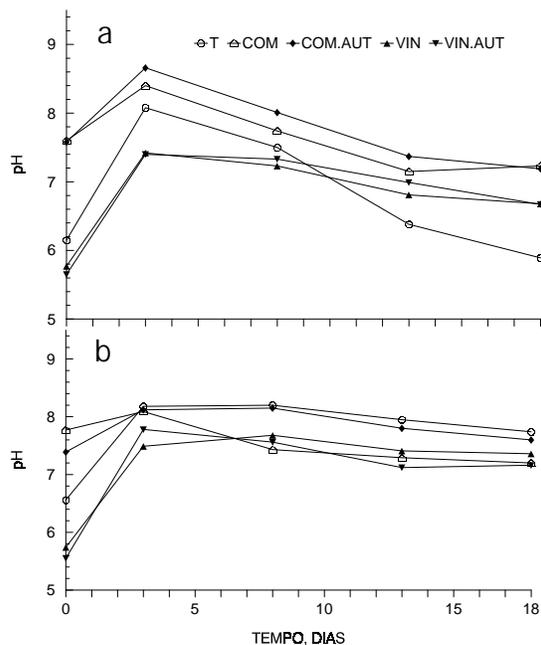


Figura 4. Valores de pH em amostras de Terra Roxa estruturada eutrófica, tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e da adição do composto (COM) e da vinhaça (VIN) autoclavados ou não. (a) solo autoclavado (b) solo não autoclavado

No tratamento com vinhaça, praticamente não houve efeito da autoclavagem desse resíduo sobre o pico de perda e sobre as perdas diárias de amônia (Figura 2), bem como sobre o pH (Figura 4). Como a vinhaça passa por temperaturas bastante elevadas na usina (80-100°C), é possível que já estivesse originalmente “esterilizada” ao ser adquirida, visto que a inativação da urease pode ocorrer com temperaturas acima de 60°C (Zantua e Bremner, 1977). Na presença da vinhaça, as perdas diárias foram iguais ou superiores às da testemunha durante todo o período de avaliação, o que deve ser atribuído à sua propriedade, como resíduo orgânico, de promover a atividade microbiana do solo.

A vinhaça foi o resíduo que menos alterou a perda de amônia. Na terra não autoclavada, seu efeito não foi significativo, enquanto na terra autoclavada aumentou a volatilização em 1,2 vezes, respectivamente, quando não havia e quando havia sido previamente autoclavada. O efeito favorável da vinhaça nas perdas de amônia pode ser explicado pelo fato de esse resíduo ser rico em nutrientes e possuir matéria orgânica de constituição coloidal, facilmente decomponível (Almeida 1952). Além disso, é um meio adequado ao desenvolvimento de microorganismos (Camargo, 1953; Caldas, 1960;

Neves *et al.*, 1983), que podem promover a volatilização da amônia.

A turfa, em quaisquer das condições de autoclavagem, dela própria ou da terra, foi o resíduo orgânico que mais estimulou a volatilização de amônia. Esse efeito certamente foi favorecido com a elevação do pH causado pela turfa (Tabela 2). Os aumentos da volatilização causados pela turfa não autoclavada e autoclavada foram oito vezes e cinco vezes, respectivamente, na terra autoclavada, enquanto na terra não autoclavada os aumentos foram menores.

Era de se esperar que o atraso da hidrólise, observado pelas perdas diárias (Figuras 1 e 2), favorecesse a difusão da uréia para o interior do solo, contribuindo para a redução das perdas totais de amônia. Contudo, as perdas totais foram mais elevadas na terra autoclavada (Tabela 2), pois, após o período de atraso, houve intensa aceleração do fenômeno. É possível que a recolonização microbiana do solo não tenha ocorrido de modo favorável com os microorganismos relacionados ao aproveitamento e transformação do nitrogênio amoniacal, como os nitrificadores. A permanência da ação da urease por um período maior de tempo mostra que a possível ação de microorganismos proteolíticos de uréia, decompondo e inativando a urease (Zantua e Bremner, 1976), pode ter sido prejudicada.

Tabela 2. Perdas totais e percentuais de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e dos resíduos orgânicos, vinte e cinco dias após a adição de uréia.

Tratamentos	Perdas totais ¹	Perdas percentuais ¹
	MgN-NH ₃	%
Terra não autoclavada		
Testemunha	4,68cB	5,75cB
Testemunha autoclavada	11,26bA	13,84bA
Turfa	37,57aA	46,19aA
Turfa autoclavada	24,06aB	29,56aB
Esterco	8,15bcB	10,02bcB
Esterco autoclavado	12,54bA	15,41bA
Composto de lixo	8,91bB	10,95bA
Composto de lixo autoclavado	13,12bA	16,12bA
Vinhaça	6,61bcA	8,12bA
Vinhaça autoclavada	5,73cA	7,04cA
CV%	32,03	8,27
Terra autoclavada		
Testemunha	4,68dB	5,75dB
Testemunha não autoclavada	11,26dB	13,84cA
Turfa	46,46aA	53,82aA
Turfa autoclavada	36,02aA	44,26abB
Esterco	9,51cB	11,69cB
Esterco autoclavado	21,81bA	27,51bA
Composto de lixo	25,22bA	11,94cB
Composto de lixo autoclavado	9,71cB	30,99bcA
Vinhaça	15,38bA	19,31bA
Vinhaça autoclavada	13,73cA	16,95cA
CV%	23,72	13,19

¹ Em cada coluna, em cada terra, autoclavada ou não, letras maiúsculas comparam efeito da autoclavagem e minúsculas efeito do resíduo, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Observando-se as perdas totais (Tabela 2) e os valores de pH constatados durante o período

experimental (Figuras 3 e 4), observa-se uma íntima relação entre essas variáveis: para as maiores perdas, têm-se os maiores valores de pH, sendo que estes diminuem à medida que as perdas diminuem. Os resultados sugerem que, para uma avaliação das perdas de amônia de um solo, os valores de pH observados durante o período de ocorrência dessas perdas podem ser mais importantes do que o valor de pH inicial ou final.

A autoclavagem da terra retardou o pico de perdas e aumentou as de amônia em até 56%. A autoclavagem não eliminou o efeito estimulante dos resíduos orgânicos sobre a volatilização de amônia; para a turfa, a autoclavagem apenas reduziu parcialmente esse efeito, enquanto que para o esterco de curral e para o composto de lixo, a autoclavagem estimulou ainda mais as perdas de amônia. A autoclavagem elevou o pH da terra e do esterco de curral, mas causou alterações pequenas no pH dos demais resíduos. A turfa foi o resíduo orgânico que mais favoreceu a perda de amônia.

Agradecimentos

À minha esposa Graça, aos filhos Rodrigo e Kenza agradeço o auxílio indispensável na coleta dos dados experimentais para a confecção desse trabalho.

Referências

- ALMEIDA, J.R. *O problema da vinhaça em São Paulo*. Piracicaba: Instituto Zimotécnico da ESALQ, 1952. (Boletim nº 3).
- BARRETO, J.J.; WESTERMAN, R.L. Soil urease activity in winter wheat residue management systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 53, p. 1455-1458, 1989.
- BEYROUTY, C.A. *et al.* Ammonia volatilization from surface-applied urea as affected by several phosphoroamide compounds. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 52, p. 1173-1178, 1988.
- CALDAS, H.E. *Calda de destilaria como fertilizante*. Recife: Instituto Agrônomo do Nordeste, 1960. (Boletim nº 10).
- CAMARGO, R. *O desenvolvimento da flora microbiana nos solos tratados com vinhaça. Análise Quantitativa*. 1953. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1953.
- CHING, W.T.; KROONTJE, W. Urea hydrolysis and subsequent loss of ammonia. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 27, p. 316-318, 1963.
- CONRAD, J.P. Catalytic activity causing the hydrolysis of urea in soils as influenced by several agronomic factors. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v. 5, p. 238-241, 1940.
- DALAL, R.C. Urease activity in some trinidad soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Oxford, v. 7, p. 5-8, 1975.
- DICK, W.A. Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 48, p. 569-574, 1984.
- FENN, L.B. *et al.* Ammonia losses from surface-applied urea as related to urea application rates, plant residue and calcium chloride addition. *Fert. Res.*, The Hague, v. 12, p. 219-227, 1987.
- GOULD, W.D. *et al.* Factors affecting urea hydrolysis in several Alberta soils. *Plant Soil*, The Hague, p. 38, p. 393-401, 1973.
- HARGROVE, W.L. *et al.* Comparison of a forced-draft technique to nitrogen-15-recovery for measuring ammonia volatilization under field conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 51, p. 124-128, 1987.
- KISSEL, D.E. Management of urea fertilizers. North Central Regional, Extension Publication, v. 326, 1989.
- KIEHL, J.C. *Emprego de sais inorgânicos no controle de volatilização de amônia decorrente da aplicação de uréia no solo*. 1989. Tese (Livre Docência) -Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.
- KIEHL, E.J.; PORTA, A. *Análises de lixo e composto*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, 1980.
- KOELLIKER, J.K.; KISSEL, D.E. Chemical equilibria affecting ammonia volatilization. In: BOCK, B.R.; KISSEL, D.E. (Ed.). *Ammonia volatilization from urea fertilizers*. Alabama: National Fertilizer Development Center, 1988. cap. 3, p. 37-52.
- MCINNES, K.J. *et al.* Ammonia loss from applications of urea-ammonium nitrate solution to straw residue. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 50, p. 969-974, 1986.
- MOE, P.G. Nitrogen losses from urea as affected by altering soil urease activity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v. 31, p. 380-382, 1967.
- MOYO, C.C. *et al.* Temperature effects on soil urease activity. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, v. 21, p. 935-938, 1989.
- MYERS, M.G.; MCGARITY, J.W. The urease activity in profiles of five great soil groups from northern new south wales. *Plant Soil*, The Hague, v. 28, p. 25-37, 1968.
- NEVES, M.C.P. *et al.* Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, p. 7, p. 131-136, 1983.
- O'CONNOR, M-J.; HENDRICKSON, L.L. Effect of phenylphosphorodiamidate on ammonia volatilization as affected by soil temperature and rates and distribution of urea. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 51, p. 1062-1066, 1987.
- OVERREIN, L.N.; MOE, P.G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonium volatilization in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v. 31, p. 57-61, 1967.
- SANTOS, A.R. *et al.* Avaliação de parâmetros cinéticos da hidrólise da uréia em solos do sul de Minas Gerais. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v. 15, p. 309-313, 1991.

ZANTUA, M.I.; BREMNER, J.M. Preservation of soil samples for assay of uréase activity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Oxford, v. 7, p. 297-299, 1975.

ZANTUA, M.I.; BREMNER, J.M. Production and persistence of uréase activity in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Oxford, v. 8, p. 369-374, 1976.

ZANTUA, M.I.; BREMNER, J. M. Stability of urease in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Oxford, v. 9, p.135-140, 1977.

Received on November 03, 2000.

Accepted on May 01, 2001.