**EFEITO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS E DE SAIS INORGÂNICOS NA
VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM SOLO TRATADO COM URÉIA**

ERICO SENGIK
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. JORGE DE CASTRO KIEHL

Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz", da
Universidade de São Paulo, para
Obtenção do Título de Doutor em
Agronomia - Área de Concentração:
Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro - 1993

S476e

Sengik, Erico

Efeito de Resíduos orgânicos e de sais inorgânicos na volatilização de amônia em solo tratado com uréia/

E. Sengik. -- Piracicaba : ESALQ, 1993.

133 p. il.

Tese (doutorado) - ESALQ, 1993.

1. Volatilização de amônia. 2. Uréia. 3. Matéria orgânica. 4. Autoclavagem. I. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

CDD : 631.42

Ficha catalográfica preparada pela
Biblioteca Central UEM. Divisão de
Processamento Técnico.

**EFEITO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS E DE SAIS INORGÂNICOS NA
VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM SOLO TRATADO COM URÉIA**

ERICO SENGIX

Aprovada em: 08.03.93

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Jorge de Castro Kiehl	ESALQ/USP
Prof. Dr. Nadir Almeida da Glória	ESALQ/USP
Prof. Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin	ESALQ/USP
Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini	FCA/UNESP
Prof. Dr. Heitor Cantarella	IAC

Prof. Dr. JORGE DE CASTRO KIEHL
Orientador

A Deus.

À Graça.

Ao Rodrigo.

À Kenza.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Universidade Estadual de Maringá,
Paraná, pela oportunidade e pelo suporte financeiro;

Ao Convênio PICD-CAPES/FUEM, pela concessão
da bolsa de estudos;

Ao Professor Doutor Jorge de Castro Kiehl,
pelas orientações e amizade;

Aos funcionários do Departamento de Ciência
do Solo da ESALQ-USP, Vanda Maria Zancheta e Dorival
Grisotto, pelo auxílio na instalação dos experimentos;

À Agnes Munhoz Rubira Babata, supervisora do
laboratório do Núcleo de Processamento de Dados da
Universidade Estadual de Maringá, e sua equipe, pela
assessoria na área de computação;

Finalmente, a todas as pessoas que, direta ou
indiretamente, contribuíram para a realização deste
trabalho.

"CURRICULUM VITAE"

Erico Sengik nasceu em Pelotas, Rio Grande do Sul, em 23 de maio de 1948. Coursou o Ginásio e o Científico no Colégio Municipal Pelotense, onde, por seu desempenho, recebeu o prêmio Mario Ebeling. Formou-se em Engenharia Agrônômica na Universidade Federal de Pelotas, obtendo o primeiro lugar na turma. Iniciou a carreira profissional em 1976, ingressando na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. No mesmo ano, transferiu-se para a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Paraná, onde atuou por mais de três anos. Em julho de 1979 ingressou no Departamento de Ciências Agrárias da Fundação Universidade Estadual de Maringá, Paraná, onde foi coordenador do curso de Agronomia e ministrou as disciplinas de Adubos e Adubação, Ecologia, Fertilidade do Solo e Edafologia para os cursos de Agronomia e Zootecnia.

Em dezembro de 1983 finalizou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, onde estudou os efeitos da vinhaça em amostras de solos e suas conseqüências sobre o crescimento de sorgo granífero. Atualmente, é professor adjunto da disciplina de Edafologia na Universidade Estadual de Maringá.

SUMÁRIO

Página

RESUMO	vi
SUMMARY	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. A hidrólise da uréia	4
2.2. A volatilização da amônia	6
2.3. Alguns fatores do solo que influem a volatilização	9
2.4. O uso de aditivos no controle da volatilização	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. Primeiro experimento	35
4.2. Segundo experimento	47
4.3. Terceiro experimento	63
5. CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
APÊNDICE	97

**EFEITO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS E DE SAIS INORGÂNICOS NA
VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM SOLO TRATADO COM URÉIA**

Autor: ERICO SENGIK

Orientador: PROF. DR. JORGE DE CASTRO KIEHL

RESUMO

Três experimentos foram realizados com o objetivo de estudar o efeito da adição ao solo de sais inorgânicos e de resíduos orgânicos, nas perdas de amônia por volatilização decorrentes da aplicação de uréia à superfície da terra; o efeito da autoclavagem da terra e dos resíduos orgânicos também foi avaliado. Foram utilizadas amostras do horizonte Ap de uma Terra Roxa Estruturada eutrófica (Rhodic Kanhapludalf, classe textural argila) do Município de Piracicaba (SP).

No primeiro experimento avaliou-se o efeito da adição à terra de quatro resíduos orgânicos (vinhaça, esterco de curral, composto de lixo e turfa) e da adição de fosfato monocálcico à uréia na relação 1:1 (massa/massa). A vinhaça aumentou as perdas de amônia em 105%, o esterco de curral em 163%, o composto de lixo em 187% e a turfa em 843%. A adição de fosfato monocálcico à uréia reduziu as perdas em 21%.

No segundo experimento, estudou-se o efeito da autoclavagem (120°C a 1 atm por 2 horas) da terra e dos resíduos orgânicos. A autoclavagem da terra 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 NH_3 ; para a turfa, a autoclavagem apenas reduziu parcialmente esse efeito, enquanto para o esterco de curral, vinhaça (na terra autoclavada) 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.

No terceiro experimento, cinco sais inorgânicos foram aplicados junto com a uréia, em amostras de terra tratadas com turfa, para verificar seu efeito nas perdas de amônia; os sais superfosfato simples (SS); superfosfato triplo (ST); monofosfato de amônio (MAP); sulfato ferroso (SF) e o cloreto férrico (CF) foram aplicados em três relações sal:uréia (massa/massa) - 1:1; 2:1 e 3:1. Na relação 1:1 o ST e o MAP não reduziram as perdas de amônia, enquanto o SS, o SF e o CF reduziram-nas em 14%, 16% e 23%, respectivamente. Na relação 2:1, o ST e o MAP não reduziram as perdas de amônia, mas o SS, o SF e o CF reduziram-nas em 17%, 46% e 52%, respectivamente. Na relação 3:1, a eficiência dos aditivos foi ainda maior, sendo que todos contribuíram para a reduzir as perdas de amônia. O MAP

reduziu a volatilização em 11%, o SS em 19%, o ST em 25%, o SF em 49% e o CF em 70%.

Os aditivos que melhor controlaram as perdas de amônia foram os que causaram reduções mais acentuadas no pH do meio. Os períodos de máxima intensidade de perda de amônia por volatilização coincidiram com aqueles nos quais ocorreram os maiores valores de pH.

EFFECT OF ORGANIC MATERIALS AND INORGANIC SALTS ON AMMONIA
VOLATILIZATION FROM UREA APPLICATION TO THE SOIL

Author: ERICO SENGIK

Adviser: PROF. DR. JORGE DE CASTRO KIEHL

SUMMARY

Three laboratory experiments were carried out to study the effect of adding inorganic salts and organic materials to the soil, on the losses of ammonia by volatilization after surface application of urea; the effect of autoclaving the soil and the organic amendments was also studied. Samples of a Terra Roxa Estruturada (Rhodic Kanhapludalf), clay, located in the State of São Paulo, Brazil, were collected from the Ap horizon for the study.

In the first experiment, the effect of adding four organic materials (vinasse, a liquid, acid effluent from sugarcane alcohol distillery; composted cattle manure; composted city refuse; and peat) to the soil, and of adding monocalcium phosphate to urea in a 1:1 ratio (w/w) was evaluated. Vinasse increased ammonia loss by 104%, cattle

manure by 163%, city refuse by 186% and peat by 842%. Mixing monocalcium phosphate to urea reduced the loss by 21%.

In the second experiment, the effect of autoclaving (120°C at 1 atm for two hours) the soil and organic materials was studied. Autoclaving the soil delayed the peak of loss and increased ammonia volatilization up to 141%. The stimulating effect of the organic amendments on ammonia loss was not eliminated by autoclaving these materials; for the autoclaved peat, stimulation was only partially reduced, whereas for the cattle manure and city refuse autoclavation increased even more the losses of ammonia. Autoclavation increased the pH of soil and cattle manure, but caused only small changes in the pH of other organic materials.

In the third experiment, five inorganic salts were added to soil samples amended with peat to evaluate its effect on ammonia losses; the salts—simple superphosphate (SS), triple superphosphate (TS), monoammonium phosphate (MAP), ferrous sulphate (FS) and ferric chloride (FC) — were applied in three ratios (w/w) of salt:urea — 1:1, 2:1 and 3:1. When applied in the 1:1 ratio, TS and MAP did not control ammonia volatilization, but SS, FS and FC reduced the losses by 14%, 16% and 23%, respectively. In the 2:1 ratios, TS and MAP were not effective, but SS, FS, and FC reduced volatilization by 17%, 46% and 52%, respectively. When the 3:1 ratio was used, the

efficiency of the additives was additionally increased, in a form that all the tested salts contributed for reducing ammonia loss. MAP lowered volatilization by 11%, SS by 19%, TS by 25%, FS by 49%, and FC by 70%.

The salts that best controlled ammonia losses also depressed most severely the pH of the soil. Periods of maximum volatilization were closely coincident to those of highest pH values.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os nutrientes vegetais oriundos do solo, o nitrogênio destaca-se como um dos mais limitantes ao crescimento vegetal. A aplicação de fertilizantes nitrogenados pode ser responsável por 40 a 50% da produção mundial de grãos (HOEFT, 1990). Até o ano 2000, há previsões de que as necessidades mundiais de nitrogênio irão ultrapassar as duzentas e setenta e cinco milhões de toneladas. Estima-se que cerca de 50% dessa necessidade serão supridos pelos fertilizantes, dentre os quais se destaca a uréia, tanto pela sua elevada concentração em nitrogênio (45%), como pela relativa facilidade de produção, menor gasto com transporte e utilidade na obtenção de misturas de fertilizantes.

No Brasil, a uréia é o fertilizante sintético nitrogenado produzido em maior quantidade. Em 10 anos sua produção aumentou consideravelmente, passando de 1,0 mil toneladas/dia para 3,65 mil toneladas/dia (PETROBRÁS, 1985), mantendo-se atualmente em torno de 4,0 mil toneladas/dia. As

estatísticas mostram que mais de 80% do consumo de fertilizantes nitrogenados são supridos pela uréia.

A uréia, sempre que possível, deve ser incorporada ao solo para evitar perdas de nitrogênio por volatilização de amônia, mas há diversas situações, como em culturas já instaladas, em que esse fertilizante precisa ser aplicado na superfície do solo sem nenhuma incorporação; neste caso, as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia podem tornar-se bastante significativas.

Os fatores que afetam as perdas de amônia por volatilização quando se aplica a uréia na superfície do solo são os mais diversos e estão relacionados às características e condições do solo e do clima, assim como do manejo da própria uréia. Todos interagem e dificultam a previsão das perdas, especialmente em condições de campo extremamente variáveis.

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação dos efeitos de resíduos orgânicos, da autoclavagem e de sais inorgânicos nas perdas de amônia por volatilização decorrentes da aplicação de uréia na superfície do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

As perdas de nitrogênio por volatilização de amônia são próprias de fertilizantes que contenham o nitrogênio na forma amoniacal, como o sulfato de amônio, ou que o formam, como é o caso da uréia. As quantidades de amônia (NH_3) perdidas por volatilização estão relacionadas à localização do adubo no solo. Aplicações de fertilizantes nitrogenados, como a uréia, na superfície dos solos, onde é constante a movimentação e renovação do ar, elevam as perdas (VLEK & STUMPE, 1978).

Há situações em que a uréia precisa ser aplicada em cobertura sem a devida incorporação ao solo, como é o caso de adubações nitrogenadas em pastagens, pomares, café, etc. Nestes casos, a concentração de amônia na solução do solo irá depender da quantidade de fertilizante aplicada e do valor do pH, imediatamente ao redor do ponto de aplicação (GASSER, 1964; AVNIMELECH & LAHER, 1977 e RACHHPAL-SINGH & NYE, 1984). No caso da uréia, a concentração de amônia irá depender também da velocidade de hidrólise (KISSEL, 1989).

Quando da aplicação de uréia à superfície dos solos, nos mais variados sistemas de manejo de solo e dos resíduos orgânicos, o entendimento das condições de equilíbrio químico e de como elas interagem, afetando as forças que promovem a volatilização da amônia, possibilita compreender melhor os mecanismos da volatilização e permite que se façam previsões das perdas de nitrogênio por volatilização (AVNIMELECH & LAHER, 1977).

2.1. A hidrólise da uréia

Tradicionalmente tem-se considerado que a uréia, após ser aplicada ao solo, é rapidamente hidrolisada pela urease presente nesse meio (SLYKE & ZACHARIAS, 1914; Terman & HUNT, 1964; BREMNER & DOUGLAS, 1971b; FENN & HOSSNER, 1985 e SAVANT et alii, 1987) produzindo carbonato de amônio, como se segue:

O acúmulo de carbonato de amônio provoca um aumento do valor de pH e das perdas de NH_3 (ERNST & MASSEY, 1960 e FENN et alii, 1981a, 1981b). Para explicar as perdas de amônia postulou-se uma reação (JEWITT, 1942) própria para soluções diluídas em equilíbrio (Reação 2), que explica a

elevação do valor de pH, por exemplo de 4,5 para 7,1 (PLESSIS & KROONTJE, 1964), durante a hidrólise da uréia:

Observa-se pela Reação 2, que se as condições do solo forem alcalinas, o equilíbrio irá deslocar-se para a direita, consumindo íons OH^- e elevando a concentração de gas NH_3 na solução do solo, onde o mesmo ficará dissolvido para, depois, ser volatilizado. Se as condições do solo forem ácidas, o equilíbrio tenderá para a esquerda e, na passagem de NH_3 para NH_4^+ , a amônia irá consumir íons hidrogênios da solução do solo, alcalinizando o meio.

Baseando-se no equilíbrio químico das formas inorgânicas de carbono em solução, FERGUSON et alii (1984) e KISSEL & CABRERA (1988) concluíram que os valores de pH do meio durante a hidrólise não são suficientemente altos para permitir a formação de carbonato. As constantes de equilíbrio químico mostram que a espécie H_2CO_3^* (ácido carbônico + CO_2 aquoso) predomina em valores de pH menores que 6,4, enquanto a forma HCO_3^- prevalece entre pH 6,4 e 10,3 e a forma CO_3^{2-} somente irá dominar as demais quando o pH for superior a 10,3. Dessa forma, esses autores sugerem que em solos ácidos ($\text{pH} < 6,3$) e durante a fase inicial da hidrólise, a seguinte reação deva ocorrer:

O H_2CO_3^* produzido irá decompor-se rapidamente em água e CO_2 . O nitrogênio nessa fase encontra-se numa forma estável (NH_4^+) e não sujeita a perder-se por volatilização. O consumo de dois hidrogênios do meio por mol de uréia nessa reação, contudo, causará elevação do pH. Na faixa de pH de 7,0 a 9,0 a hidrólise da uréia passará a consumir menos hidrogênio, e a espécie de carbono produzida será o ânion bicarbonato:

Como nessa fase o pH já estará acima de 7,0, a forma NH_4^+ tenderá a transformar-se em NH_3 (gás), de acordo com o equilíbrio representado na Reação 2, tendo início a volatilização.

2.2. A volatilização da amônia

A volatilização da amônia é uma transferência de massa do gás amônia da solução do solo para o ar acima dele, governada por uma diferença de pressão parcial de gás amônia entre a solução do solo da superfície e a atmosfera. Segundo KOELLIKER & KISSEL (1988), ao pH 9,3 metade da quantidade de nitrogênio amoniacal é NH_3 e metade é NH_4^+ , o que é suficiente para suprir todo o H^+ necessário à reação de hidrólise (Reação 3 ou 4). Em outras palavras, cada molécula de uréia produz duas moléculas de NH_4^+ , uma das

quais converte-se em NH_3 e libera um H^+ .

Quanto ao carbono inorgânico, em condições de alcalinidade, a maior parte será liberada na forma de ânion bicarbonato HCO_3^- , o qual tende a reagir com hidrogênio produzindo CO_2 e H_2O (FERGUSON et alii, 1984):

A fundamentação teórica para explicar o fenômeno da volatilização de amônia pode ser feita pela equação de KOELLIKER & MINER (1973):

$$d(\text{NH}_3)/dt = AK (P_1 - P_g) \quad (7)$$

onde:

NH_3 = massa de amônia transferida, em kg;

t = tempo, em horas;

A = área da interface, entre a solução do solo e o ar da superfície, em m^2 ;

K = coeficiente de transferência de massa, em $\text{kg h}^{-1} \text{m}^{-2}$;

P_l = pressão parcial do gás amônia na solução do solo, em atm;

P_g = pressão parcial do gás amônia na atmosfera, acima do solo, em atm.

A área da interface é considerada como sendo a superfície de um vaso ou terreno onde a uréia foi aplicada.

O valor de K foi estimado por HASLAN et alii (1924) como sendo $1,79 \times 10^7 V^{0,4} T^{-1,4}$ onde;

V = velocidade do ar, $m s^{-1}$;

T = temperatura, em graus kelvin.

A movimentação do ar aumenta o valor de K e a capacidade de volatilizar amônia. Temperaturas mais elevadas irão diminuir o valor de K, mas elevarão as perdas pelo fato da temperatura aumentar a pressão parcial do gás amônia na solução do solo, a qual está diretamente relacionada à concentração total de nitrogênio amoniacal e ao pH da solução. A pressão do gás amônia na atmosfera, em geral, é muito baixa, podendo ser desconsiderada em muitas ocasiões (KOELLIKER & KISSEL, 1988); esse fato favorece a transferência do gás amônia da solução do solo próximo à superfície, para a atmosfera.

À medida que a amônia escapa do solo para a atmosfera, os íons amônio da solução irão se dissociar para

manter a pressão parcial de amônia em solução, como visto na Reação 5. Como o H^+ liberado junto com a amônia permanece no solo, constata-se que a volatilização de NH_3 tende a decrescer o pH e a reduzir a taxa de perda.

A volatilização de amônia pode ser triplicada se, num dado pH, a temperatura da solução do solo passar de $10^{\circ}C$ para $30^{\circ}C$. Tal efeito é atribuído ao maior grau de dissociação do NH_4^+ passando para NH_3 , devido ao aumento de temperatura (KOELLIKER & KISSEL, 1988) .

2.3. Alguns fatores do solo que influem na volatilização

a) pH e poder tampão

O valor pH ou atividade dos íons hidrogênio, pode determinar a intensidade com que o NH_3 passa para NH_4^+ na solução do solo; desse modo, o pH se torna o fator de maior importância na magnitude da volatilização da amônia (RACHHPAL-SINGH & NYE, 1986a, 1986b, 1986c e HARGROVE, 1988). A hidrólise da uréia provoca elevações rápidas do pH do solo e concentrações de nitrogênio amoniacal, associadas a alterações de equilíbrios químicos, de processos microbiológicos como a nitrificação, e outras alterações do meio que são ligadas ao processo de perdas da amônia, formando condições ideais para a volatilização da amônia (RACHHPAL-SINGH & NYE, 1986c). A zona de aplicação da uréia tende a atingir valores de pH tão elevados como 8,8. Neste valor de pH, cerca de 25% do nitrogênio amoniacal estarão na

forma de moléculas de NH_3 (OVERREIN & MOE, 1967 e KOELLIKER & KISSEL, 1988) e 75% na forma de NH_4^+ .

As condições que irão promover a volatilização da amônia para soluções diluídas é definida como 1 para pH 7,0 a 25°C (KOELLIKER & KISSEL, 1988). Se o pH e a temperatura forem inferiores a estes valores, haverá pouco potencial para a volatilização de amônia, o que poderia explicar porque as perdas de amônia não são importantes se o pH do solo não ultrapassar o valor de 7,5. Para valores de pH inferiores a 7,5, menos de 7% do nitrogênio amoniacal estarão na forma de NH_3 (KOELLIKER & KISSEL, 1988); conseqüentemente, grande parte do nitrogênio amoniacal estará na forma de íon NH_4^+ . Ao pH 8,5 cerca de 17% do nitrogênio estará como NH_3 , e a pH 9,3 metade do nitrogênio amoniacal estará como NH_3 e metade como NH_4^+ .

Outra característica do solo, tão ou mais importante do que o pH para a volatilização da amônia, é o poder de tamponamento. O tamponamento do solo é a capacidade do mesmo em resistir a alterações do seu valor de pH por fornecer ou remover íons hidrogênios da solução do solo.

O poder tampão do solo, reduzindo os aumentos de pH durante a hidrólise da uréia, reduz a volatilização da amônia. FERGUSON et alii (1984) verificaram que, quando a uréia é aplicada na superfície de um solo, a não ser que o valor de pH ultrapasse 7,5, as perdas de amônia não serão significativas. Para que o pH se eleve a valores acima de

7,5 a capacidade tampão do solo deve ser baixa ou a dose de uréia alta. Um poder tampão elevado significa mais íons H^+ disponíveis para as Reações 3 e 4 e para a reação do HCO_3^- com o H^+ (Reação 6). Como resultado, haverá menor aumento do valor de pH e menor dissociação do NH_4^+ em NH_3 e H^+ e, conseqüentemente, irá ocorrer menor perda de amônia por volatilização. Estes resultados foram comprovados por outros pesquisadores (RACHHPAL SINGH & NYE, 1986c; REYNOLDS & WOLF, 1987a e KOELLIKER & KISSEL, 1988).

b) Capacidade de troca de cátions (CTC)

A capacidade de troca de cátions do solo exerce acentuada influência sobre as perdas de amônia. Inúmeros trabalhos mostram que as perdas tendem a ser menores à medida que a CTC aumenta (JEWITT, 1942; MARTIN & CHAPMAN, 1951; DALAL, 1975; FENN & KISSEL, 1976; FENN et alii, 1982a, 1982b; KELLER & MENGEL, 1986 e MARTENS & BREMNER, 1989). Uma das causas é que as cargas negativas do solo irão remover parte dos NH_4^+ da solução para a forma trocável, reduzindo a possibilidade de volatilização.

Isoladamente, em solos calcários, valores consideravelmente altos de CTC não impedem a volatilização de amônia. FENN & KISSEL (1976) mostraram que as perdas de amônia a partir da aplicação de $(NH_4)_2SO_4$ em um solo argiloso (Houston Black Clay), cuja CTC era de 58 meq/100 gramas de solo), alcançavam 50% do nitrogênio aplicado. No mesmo

estudo, verificaram que as perdas num solo arenoso atingiam 90%.

A "troca" de cátions associada ao complexo coloidal pelo NH_4^+ da solução é um fenômeno que, junto com a CTC, pode contribuir para diminuir a volatilização de NH_3 . Se o solo for ácido, o NH_4^+ inicialmente irá trocar com os íons H^+ resultantes da hidrólise dos compostos de alumínio e ferro e da matéria orgânica (KOELLIKER & KISSEL, 1988) e, desse modo, o solo resiste às alterações de pH devido à hidrólise da uréia. Como resultado, tem-se menores perdas de nitrogênio por volatilização da amônia.

O mesmo fenômeno pode ocorrer com outros cátions adsorvidos. O cálcio pode trocar com os íons NH_4^+ , com efeito similar à substituição do H^+ , desde que o pH seja suficientemente elevado (pH 7,0-7,5) para que ocorra a precipitação de CaCO_3 , (Reação 8). Tem sido verificado que o potencial de volatilização de um solo diminui consideravelmente com a precipitação do cálcio (FENN & HOSSNER, 1985):

As trocas de NH_4^+ com íons adsorvidos como o potássio e magnésio, por não terem efeito semelhante ao cálcio no deslocamento dos íons hidrogênios, tem menor

efeito na redução de perdas de amônia por volatilização (FENN & HOSSNER, 1985).

c) Temperatura

Inúmeros experimentos mostram que as perdas de amônia por volatilização aumentam com a elevação da temperatura (WAHHAB et alii, 1957; ERNST & MASSEY, 1960; FENN & KISSEL, 1974; FENN & KISSEL, 1975; FRENEY et alii, 1981; HARPER et alii, 1983; CLAY et alii, 1990 e WHITEHEAD & RAISTRICK, 1991).

O efeito da temperatura foi relacionado por VLEK & STUMPE (1978) com as perdas de amônia por volatilização em solo inundado. Quando a temperatura média passou de 20°C para 30°C, as perdas de amônia de uma solução de 100ppm de N, num período de 24 horas, aumentaram de 22% para 28% do total do N aplicado como $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Altas temperaturas da superfície do solo podem não resultar em maiores perdas de amônia por volatilização. Geralmente, as temperaturas elevadas são acompanhadas pela redução de umidade da superfície do solo e, caso a uréia ainda não tenha sido totalmente hidrolisada, as perdas de amônia por volatilização poderão diminuir (McINNES et alii, 1986b). Ao contrário, se a temperatura for baixa, o solo levará mais tempo para secar, favorecendo a hidrólise da uréia e a volatilização do NH_3 (WAGNER & SMITH, 1958).

d) Teor de água e taxa de evaporação

A água do solo é um dos fatores mais relevantes no fenômeno da volatilização da amônia quando se aplica uréia na superfície do terreno. O movimento e a evaporação da água, assim como a formação de orvalho, são fenômenos que tornam o estudo do efeito desse fluído na volatilização da amônia bastante complexo, principalmente em condições dinâmicas de campo (BOUWMEESTER et alii, 1985).

Quando um solo estiver seco, a dissolução da uréia será retardada, assim como as reações químicas de hidrólise serão muito lentas ou podem até não ocorrer (BOUWMEESTER et alii, 1985; FERGUSON & KISSEL, 1986; McINNES et alii, 1986a e LARA CABEZAS et alii, 1992). Para que ocorram elevadas perdas de amônia, no momento da aplicação da uréia o conteúdo de água da superfície do solo precisa estar na capacidade de campo ou próximo a esta (BOUWMEESTER et alii, 1985; RACHHPAL-SINGH & NYE, 1986b e RACHHPAL-SINGH, 1987), devendo também ser baixa a umidade relativa do ar (CONNEL et alii, 1979; BOUWMEESTER et alii, 1985; REYNOLDS & WOLF, 1987a e WHITEHEAD & RAISTRICH, 1991).

Se a superfície do solo estiver seca, o conteúdo total de água do solo não é determinante para as perdas de amônia no solo. Uma camada de poucos milímetros de solo seco é capaz de reduzir ou mesmo inibir a hidrólise (McINNES et alii, 1986a). É recomendável, portanto, para a redução de perdas de amônia por volatilização, a aplicação

de uréia quando a superfície do solo estiver mais seca possível (FENN & ESCARZAGA, 1977; VLEK & CARTER, 1983 e KISSEL, 1989). Nestas condições, chuvas de baixa intensidade poderão promover as perdas, mas se ocorrer uma chuva acima de 5mm nos dois dias após a aplicação de uréia as perdas de amônia por volatilização podem ser evitadas (VLEK & CARTER, 1983 e STEVENS et alii, 1989) devido ao transporte da uréia para o interior do solo.

e) Atividade da urease e teor de matéria orgânica

A urease é uma enzima que cataliza a hidrólise da uréia para dióxido de carbono e amônia. É produzida por fungos, bactérias (particularmente bactérias) e plantas. Na sua quase totalidade, a urease é de origem microbiana, acreditando-se que possa ser originada da morte e desintegração de células microbianas. Uma vez liberada das células, age livremente, talvez protegida pelos colóides (húmus e argila) do solo (CONRAD, 1940; PAULSON & KURTZ, 1969 e BURNS et alii, 1972). Dados de FRANKENBERGER & DICK (1983) mostram que a atividade da urease está altamente correlacionada com a biomassa microbiana, mas não com a respiração, indicando a possibilidade da sua atividade não estar associada à atividade da população microbiana do solo, o que reforça a tese de que a urease possa existir no solo como uma enzima extracelular semelhante a um complexo organo-mineral.

A urease é encontrada em esterco, na poeira, na água (JONES, 1932) e na mucosa gástrica de seres humanos e de animais (BREMNER & MULVANEY, 1978). Sua atividade é um fator determinante da intensidade da hidrólise da uréia aplicada ao solo e, quanto mais intensa a hidrólise, maior será o potencial de perdas de amônia, pois os valores de pH e as concentrações de amônia em solução serão maiores. Fatores climáticos e do solo como temperatura, valores de pH, potencial de água, aeração, textura e quantidade de carbono orgânico, são determinantes da atividade da urease.

Valores máximos da atividade da urease foram observados com o valor de pH em torno de 6,5 a 7,0 (PETIT et alii, 1976 e RACHHPAL-SINGH & NYE, 1984), enquanto que TABATABAI & BREMNER (1972) encontraram um máximo de atividade da urease ao redor de 9,0 para uma concentração de uréia de 0,02M. Tem sido demonstrado que o efeito do pH na atividade da urease não é um efeito isolado. O efeito do pH depende da concentração da uréia. RACHHPAL-SINGH & NYE (1984) observaram as maiores taxas de hidrólise a um pH 7,8, enquanto que para altas concentrações de uréia o valor de pH foi 4,9.

A atividade da urease no solo mostra dependência significativa do fator temperatura do solo (ZANTUA & BREMNER, 1975; DALAL, 1975; MOYO et alii, 1989 e KISSEL, 1989). GOULD et alii (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 & HENDRICKSON (1987) verificaram que a hidrólise da uréia foi completa com 1, 4, 6, 7 e 8 dias para 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 foi volatilizado dentro de 7 dias. ZANTUA & BREMNER (1977) mostraram que a inativação da urease em muitos solos começa com temperaturas acima de 60°C, atingindo perdas mais elevadas quando as amostras de solo foram secas a 105°C após 24 horas ou autoclavadas a 120°C por 2 horas.

A presença e a atividade da urease está intimamente relacionada à presença de matéria orgânica do solo (MYERS & MCGARITY, 1968 e DICK, 1984). A adição de resíduos orgânicos ao solo, promovendo a atividade microbiológica, e a produção de urease, aceleram a hidrólise da uréia (CHING & KROONTJE, 1963; MOE, 1967; HARGROVE et alii, 1987 e BEYROUTY et alii, 1988). O tratamento de amostras de solos com glucose ou resíduos orgânicos eleva a atividade microbiana do solo (ZANTUA & BREMNER, 1976; 1977 e McCARTY & BREMNER, 1991), aumentando temporariamente a atividade da urease; posteriormente, o nível de atividade da urease diminui, estabilizando-se num nível igual ao inicial. A maior atividade da urease se encontra nas camadas menos profundas do solo onde há maiores teores de matéria orgânica, principalmente com aplicações mais recentes desse material (CONRAD, 1940; MYERS & MCGARITY, 1968 e BARRETO & WESTERMAN, 1989).

A intensidade do efeito da matéria orgânica na atividade da urease dependerá da sua disponibilidade como fonte energética para os microorganismos. O estado e facilidade de decomposição microbiológica da matéria orgânica, bem como a quantidade aplicada, levam a maiores perdas de amônia. Elevadas taxas de perdas são indicações de grande população microbiana, o que leva à maior produção de urease (FENN et alii, 1987).

Estudos de correlação da atividade da urease com propriedades do solo mostraram que os coeficientes mais altos foram para o carbono orgânico e o teor de nitrogênio total (TABATABAI, 1973; ZANTUA et alii, 1977; FRANKENBERG & DICK, 1983 e REYNOLDS & WOLF, 1987b). Em solos não cultivados, a atividade da urease apresentou menor correlação com os teores do carbono orgânico e nitrogênio total do que em solos cultivados (REYNOLDS & WOLF, 1987b). A atividade da urease onde há resíduos de palha pode ser de 18 a 25 vezes maior do que a de locais sem resíduos (BARRETO & WESTERMAN, 1989). McINNES et alii (1986b) verificaram que a atividade da urease nos resíduos de palha de trigo foi vinte vezes maior do que na camada de 0,0 a 10,0mm do solo (Muir Silt Moan). SANTOS et alii (1991) avaliaram a hidrólise da uréia, em função da atividade da urease, em onze amostras de solos, concluindo que a capacidade máxima de hidrólise da uréia correlacionou-se apenas com a CTC em pH 7,0, indicando a baixa eficiência dos colóides do solo (minerais e orgânicos) em proteger a urease e que nos latossolos roxo, a

velocidade de hidrólise foi grandemente afetada pelo tipo de vegetação; observando-se maior velocidade de hidrólise sob vegetação de mata e menor sob de pinus.

2.4. O uso de aditivos no controle da volatilização

a) Aditivos ácidos

Conforme visto em 2.1. e 2.2. a aplicação da uréia no solo origina uma região de reação alcalina que favorece a conversão de NH_4^+ para NH_3 e a volatilização desta para a atmosfera. A redução das perdas pressupõe a redução do valor de pH, e é este o princípio em que se baseia o uso de aditivos ácidos. A efetividade de um aditivo ácido no controle das perdas de NH_3 , quando aplicado com a uréia na superfície do solo, irá depender do tipo e quantidade do ácido usado e do poder tampão do solo (FERGUSON et alii, 1984).

Ácidos sulfúrico e fosfórico têm sido utilizados em solos calcários (FENN & RICHARDS, 1986; FENN & KISSEL, 1973 e FENN et alii, 1981c), porém, a redução das perdas de amônia pode não ocorrer, pois os ácidos são neutralizados rapidamente pelo CaCO_3 ou outro sistema alcalino, tornando os sais neutros ou pouco ácidos (FENN & KISSEL, 1973). FENN & RICHARDS (1986), utilizando H_3PO_4 como fonte de fósforo, mostraram que as perdas de nitrogênio da fórmula 17-19-0 foram menores que as da uréia sozinha em solos com baixos teores de CaCO_3 . Formulações semelhantes a

28-12-0 e 35-17-0 não foram efetivas para o controle das perdas. FENN & RICHARDS (1986) sugerem relações molares de ácido fosfórico com uréia maiores que 1:1 para ocorrer uma redução de perdas de NH_3 em solos ácidos e neutros, pois desse modo o ácido fosfórico reduziria e evitaria o aumento do valor de pH a um nível onde a uréia seria hidrolizada, reduzindo as perdas de amônia (BREMNER & DOUGLAS, 1971b e FENN & RICHARDS, 1986). Desse modo, o nitrogênio é conservado na forma de uréia até que a chuva ou irrigação a transporte do local acidificado (FENN & HOOSNER, 1985).

O uso de ácidos nítrico e clorídrico mostra-se mais efetivo na redução de perdas de amônia por volatilização do que o dos ácidos sulfúrico e fosfórico. A justificativa é que a formação de fosfatos e de sulfatos de cálcio reduzem o teor de cálcio trocável (FENN & RICHARDS, 1986), enquanto que os ácidos clorídrico e nítrico produzem sais neutros em solos calcários e aumentam a acidez de solos ácidos. A natureza explosiva do HNO_3 com a uréia torna o uso dessa mistura proibitivo na forma seca como fertilizante, enquanto que o HCl , além de caro, tem suas limitações químicas (FENN & RICHARDS, 1986).

b) Aditivos salinos

A eficiência de sais minerais e o modo como atuam na redução das perdas de NH_3 por volatilização tem sido relatados em vários trabalhos de pesquisa (FENN, 1975; FENN & KISSEL, 1975; FEAGLEY & HOOSNER, 1978; FENN et alii,

1981a, 1981b, 1981c; FENN & MIYAMOTO, 1981; FENN et alii, 1982a, 1982b; RAPPAPORT & AXLEY, 1984; FENN & RICHARDS, 1986; FENN et alii, 1987; FENN, 1988; KIEHL, 1989 e GAMED et alii, 1990), dentre os quais destaca-se o pioneirismo dos trabalhos de FENN e colaboradores.

Segundo FENN (1988), o carbonato de amônio, produto da reação de hidrólise da uréia, irá reagir com o cálcio solúvel, reduzindo o potencial de volatilização. São sugeridas três reações, como se segue (X representa um colóide com cargas negativas):

À medida que o poder tampão ácido for se esaurindo (Reação 9), o pH aumentará e o cálcio começará a ser precipitado como $CaCO_3$ (Reação 10). Como o carbonato de amônio é instável, da sua decomposição resultará NH_3 , CO_2 e água (Reação 11). Após a precipitação do cálcio, o valor de pH continuará a aumentar devido ao acúmulo de NH_3 (Reação 11), podendo atingir valores acima de 9,0 e tornando o ambiente propício a perdas significativas de NH_3 . Como a decomposição da uréia ocorre em microregiões do solo, esta

seqüência de reações pode ocorrer em qualquer solo, seja ele alcalino ou ácido (FENN, 1988).

Em solos calcários, com a precipitação do cálcio (Reação 10), cargas negativas dos colóides serão liberadas para a adsorção do NH_4^+ , contribuindo para diminuir as perdas de NH_3 . FENN & MIYAMOTO (1981) verificaram que a precipitação de cálcio e magnésio foi acompanhada de decréscimo de perdas de NH_3 quando a uréia foi aplicada à superfície de um solo calcário. A adsorção do NH_4^+ também possibilita maior nitrificação (FENN & WU, 1987), onde cada mol de NH_4^+ produz 2 moles de 2H^+ ; com a acidificação, as perdas de NH_3 são reduzidas e o cálcio precipitado se dissolve (FENN & HOSSNER, 1985). Posteriormente, a desorção dos íons NH_4^+ adsorvidos irá ocorrer quando o cálcio e o magnésio forem solubilizados ou quando o NH_4^+ for nitrificado (FENN et alii, 1981a).

A formação de sais duplos de cálcio com a uréia (FENN, 1988) também contribui para a redução das perdas de NH_3 . O sal duplo (Reação 12) reduz a taxa de hidrólise da uréia, resultando em menores valores de pH e maior redução das perdas de NH_3 .

A efetividade do cálcio em reduzir as perdas de NH_3 depende da relação entre o equivalente químico de

cálcio e o equivalente químico de nitrogênio aplicado (FENN et alii, 1982a). Se o número de equivalentes de cálcio for menor que o de nitrogênio da uréia, o cálcio pode ser totalmente precipitado como CaCO_3 . Mas quando o equivalente de cálcio for superior ou igualar a concentração do nitrogênio, somente uma pequena quantidade de cálcio será precipitada como CaCO_3 , e o cálcio não precipitado irá contribuir para a redução do pH e da taxa de hidrólise pela formação de um complexo cálcio-uréia (FENN et alii, 1981b). Esse fato indica a necessidade dos materiais estarem no mesmo grânulo ou muito próximos para que o mecanismo seja efetivo.

FENN et alii (1981c) mostraram que relações molares Ca/N de 0,25 e 0,50, mantiveram cerca de 50% da uréia adicionada ainda no solo após 9 dias e que, sem cálcio, após três dias não havia resíduos de uréia. Esse fato comprova o efeito do cálcio na redução da taxa de hidrólise da uréia.

A eficiência de ácidos fosfóricos pelo uso de fosfatos no controle das perdas de amônia foi comprovada há muito tempo (SLYKE & ZACHARIAS, 1914 e TERMAN & HUNT, 1964). A uréia associada ao fosfato aumenta o tempo de hidrólise (BREMNER & DOUGLAS, 1971a, 1971b), diminuindo as perdas de amônia. Atribui-se ao ácido (H_3PO_4) presente na "uréia-fosfato" a redução da atividade da urease no solo. Em solos de floresta, parcelas tratadas com superfosfato triplo

reduziram em mais de 60% as perdas de amônia (MAHENDRAPPA & OGDEN, 1973), atribuindo-se a redução das perdas à possível acidificação do solo promovida pelo superfosfato triplo.

Para KIEHL (1989), além da redução do pH, o fosfato monocálcico pode, principalmente em solos ricos em óxidos de ferro e de alumínio, gerar cargas negativas, através da adsorção específica do ânion $H_2PO_4^-$, aumentando a CTC do solo e exercendo efeito depressivo nas perdas de amônia por volatilização. Esse autor, estudando o efeito de diferentes aditivos (fosfatos de cálcio, de sódio, de potássio e de amônio; sulfato de cálcio e nitrato de cálcio e de magnésio; sulfatos de potássio e magnésio; e cloreto de potássio), verificou que o aditivo mais eficiente foi o fosfato monocálcico, com o qual obteve 53% de redução de perdas; observou também que os sais de potássio, além de não serem efetivos, às vezes, aumentaram as perdas em até 33%.

Outros sais de cátions monovalentes, como o KCl, podem ser usados para a redução das perdas de amônia da uréia, com maiores vantagens econômicas devido à presença do potássio. Admite-se que sais de potássio, de sódio, ou de amônio, por ação de massa, podem deslocar o cálcio e o magnésio formando $CaCO_3$ e o $MgCO_3$ e diminuindo as perdas de NH_3 (FENN et alii, 1982b). Segundo FENN & HOSSNER (1985), esse mecanismo pode ser representado da seguinte forma (X simboliza um colóide com cargas negativas):

O cloreto de potássio e o nitrato de potássio são menos eficientes do que o $CaCl_2$ na redução das perdas de NH_3 , o que pode ser compensado pelo aumento da relação K/N. RAPPAPORT & AXLEY, 1984 e FENN & HOSSNER, 1985 verificaram que a mistura de KCl com uréia na forma sólida não foi efetiva no controle das perdas, enquanto que em solução a combinação de uma parte de uréia com uma de KCl reduziu as perdas de 42% para 4,6% ou menos. Por outro lado, KIEHL (1989), trabalhando com amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica e de Areias Quartzosas não verificou reduções das perdas no primeiro solo com a aplicação de KCl, mas verificou aumentos de 23% na volatilização de amônia nas Areia Quartzosas. Semelhantemente, FENN et alii (1982b) não encontraram resultados favoráveis com a aplicação de KCl em solos arenosos o que foi atribuído ao teor reduzido de cálcio trocável do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Três experimentos foram instalados em condições de laboratório, empregando-se amostras de um solo do Município de Piracicaba, São Paulo, classificado como Terra Roxa Estruturada eutrófica (TEe), Série Luiz de Queiróz (RANZANI et alii, 1966), Rhodic Kanhapludalf (SOIL SURVEY STAFF, 1987), com dominância de caulinita e óxidos de ferro e de alumínio, e pequena quantidade de mica hidratada na fração argila (KIEHL, 1989). As amostras de solo foram coletadas de uma camada de 0-20cm de profundidade, à margem esquerda da saída do Aeroporto Comendador Pedro Morganti, sendo em seguida secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com abertura de 2mm. Suas principais características físicas e químicas encontram-se na Tabela 1.

A volatilização da amônia foi avaliada empregando-se sistema estático de captação de amônia (KIEHL, 1989). Utilizaram-se frascos cilíndricos de vidro com 1600 mililitros de volume, com boca larga, medindo cerca de 12,0 centímetros de diâmetro interno e 17,0

Tabela 1. Principais características físicas e químicas do solo Terra Roxa Estruturada eutrófica utilizado nos experimentos^(*).

Características	Valor
Areia Fina	27%
Areia Grossa	8%
Silte	18%
Argila	47%
Classe Textural	argila
pH (CaCl ₂)	4,9
M.O.	3,0%
Fósforo	22ug/cm ²
Potássio	0,15meq/100cm ²
Cálcio	4,51meq/100cm ²
Magnésio	1,47meq/100cm ²
Alumínio	0,0meq/100cm ²
Hidrogênio+Alumínio	5,2meq/100cm ²
CTC	11,33meq/100cm ²
V	54%

^(*) Determinações feitas pelo Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ-USP-Piracicaba-SP. Análise física realizada pelo método da pipeta. Análises químicas realizadas segundo método de RAIJ & QUAGGIO (1983).

centímetros de altura, dotados de tampa plástica com rosca. No frasco colocaram-se 570 mililitros de TFSA (terra fina seca ao ar), resultando uma coluna de terra com cerca de 60 milímetros de altura. As colunas de terra (TFSA) receberam água destilada até atingirem 50% da capacidade de retenção de água e depois foram deixadas em repouso por três dias antes da aplicação dos adubos e aditivos.

A amônia volatilizada foi captada em um mililitro de soluções de ácido sulfúrico com normalidade variando de 0,1 a 0,5, colocado em um disco de papel de filtro (coletor) de 110mm de diâmetro. O coletor era apoiado sobre as sete pontas de um suporte plástico em forma de coroa, numa posição horizontal e a 5,0cm da superfície do solo, no interior do frasco fechado.

Cerca de seis gotas de água destilada eram aplicadas ao coletor para torná-lo mais úmido, e uma gota do indicador laranja de metila para indicar o momento em que cerca de 70% do ácido havia sido saturado pela amônia (KIEHL, 1989).

Os coletores eram substituídos por outro novo a intervalos de vinte e quatro horas, ou antes, se ocorresse a viragem do indicador laranja de metila. Em seguida, o coletor era dobrado uma vez e colocado em recipiente plástico com capacidade de 300ml e diâmetro de 100mm; neste,

se adicionavam cerca de 60ml de água destilada e três gotas de solução alcoólica de bromocresol verde (1,3 gramas em 200 ml de álcool etílico). O ácido remanescente no coletor era titulado com solução padrão de NaOH 0,02N até a viragem da cor da solução do amarelo para o azul.

A quantidade de nitrogênio volatilizada sob a forma de amônia foi calculada pela expressão:

$$\text{mg N-NH}_3 \text{ volatilizado} = (V' - V) \times 0,28 \text{ onde,}$$

V' = volume de NaOH 0,02N gasto na titulação do ácido contido na prova em branco, em mililitros;

V = volume gasto na titulação do ácido remanescente nas parcelas do experimento, em mililitros;

0,28 = constante obtida do relacionamento entre a concentração do NaOH e o miliequivalente de nitrogênio.

Com estes dados calcularam-se as perdas diárias, as perdas acumuladas em cada período, as perdas totais e as perdas percentuais.

O primeiro experimento foi conduzido segundo delineamento experimental inteiramente casualizado com três repetições, com tratamentos constituídos de arranjo fatorial formado por quatro resíduos de origem orgânica (turfa, composto de lixo,

esterco de curral e vinhaça), uma dose de uréia e duas doses de um aditivo fosfato monocálcico (sem fosfato e com fosfato, aplicado na relação massa de fosfato/massa de uréia de 1:1). Foram incluídos um tratamento testemunha com solo, uréia, sem aditivo e sem resíduo orgânico e outro somente com aditivo.

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 coletado das mangueiras do Departamento de Zootecnia da ESALQ-USP-Piracicaba, e o composto de lixo obtido da usina de compostagem da Prefeitura de São Paulo. Esses materiais tiveram suas principais características físicas e químicas determinadas, cujos resultados se encontram nas Tabelas 2 e 3. O esterco de curral, curtido por dois meses, e o composto de lixo, por seis meses, foram secos a 60 graus célsius, moídos e tamisados em peneira de 2mm de abertura.

Uma quantidade de 113ml de vinhaça, equivalente a $100\text{m}^3/\text{ha}$, 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), numa quantidade de 11,3 gramas, equivalente a 10 toneladas/hectare, foram previamente misturados à camada superficial de terra seca de um centímetro de espessura. A

Tabela 2. Principais características da vinhaça utilizada nos experimentos ⁽¹⁾.

Características	Valor
pH	4,39
Umidade perdida entre 65-110 °C	15,79g/litro
Matéria orgânica total (combustão)	6,53g/litro
Carbono total (orgânico e mineral)	3,63g/litro
Resíduo mineral insolúvel	0,26g/litro
Resíduo mineral solúvel	9,00g/litro
Nitrogênio total	0,12g/litro
Fósforo total (P_2O_5)	0,06g/litro
Potássio (K_2O)	3,90g/litro
Cálcio (Ca)	1,02g/litro
Magnésio (Mg)	0,29g/litro
Enxofre (S)	0,92g/litro
Relação C/N	30/1

⁽¹⁾ Determinações realizadas no Laboratório de Análises de Solos do Departamento Ciência do Solo, ESALQ-USP-Piracicaba-SP, segundo método de KIEHL & PORTA (1980).

Tabela 3. Principais características do esterco de curral, da turfa comercial tratada e do composto de lixo utilizados nos experimentos ⁽¹⁾.

Características	Esterco	Turfa	Composto
pH em CaCl ₂	7,72	8,12	7,99
pH em água (1:2,5)	8,11	7,95	7,88
% Umidade perdida a 60-65 °C	10,29	1,69	1,64
% Umidade perdida a 65-110 °C	5,56	3,89	5,33
% Umidade total a 100-110 °C	15,85	5,58	6,97
% Matéria orgânica total	41,81	39,39	57,63
% Carbono total	23,23	21,88	32,02
% Resíduo total	42,34	55,03	35,40
% Resíduo mineral insolúvel	39,20	38,97	24,11
% Resíduo mineral solúvel	3,14	16,06	11,29
% Carbono orgânico	20,21	15,92	23,88
% Matéria orgânica compostável	36,38	28,66	42,98
% Matéria orgânica resistente	5,43	10,73	14,65
% Nitrogênio total	2,68	1,78	2,42
% Fósforo total (P ₂ O ₅)	0,10	1,17	2,03
% Potássio (K ₂ O)	0,29	0,62	1,47
% Cálcio (Ca)	0,10	4,17	1,82
% Magnésio (Mg)	0,09	0,47	0,65
% Enxofre (S)	0,02	0,32	0,42
Relação C/N (C total e N total)	9/1	12/1	13/1
Relação C/N (C orgânico e N total)	7/1	9/1	10/1

⁽¹⁾ Determinações realizadas no Laboratório de Análises de solo do Departamento Ciência do Solo, ESALQ-USP-Piracicaba-SP, segundo método de KIEHL & PORTA (1980).

uréia, numa dosagem de 180,9mg de uréia, com base em área equivalente a 72 kg/ha de nitrogênio, foi distribuída superficialmente na forma de três mililitros de solução, a qual também continha igual quantidade de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (aditivo).

Num segundo experimento, estudou-se o efeito da autoclavagem a 120 graus célsius a 1 atm por 2 horas, da terra e dos adubos orgânicos. Amostras de terra autoclavadas ou não foram tratadas em triplicata com os mesmos quatro resíduos orgânicos utilizados no primeiro experimento, que também foram ou não submetidos à autoclavagem, resultando um fatorial $2 \times 4 \times 2$. Foram acrescentados dois tratamentos contendo terra autoclavada e terra não autoclavada, tratadas somente com uréia (testemunhas). As doses e os modos de aplicação dos resíduos orgânicos e da uréia foram iguais aos do primeiro estudo.

Um terceiro experimento foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de cinco sais inorgânicos (aditivos) na volatilização da amônia decorrente da aplicação de uréia na terra tratada com turfa. Os sais foram: superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfato monoamônico (MAP), sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e cloreto férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Os cinco aditivos foram aplicados nas relações 1:1, 2:1 e 3:1 (massa de aditivo/massa de uréia). O fosfato monoamônico, o superfosfato simples e o

superfosfato triplo (produtos comerciais) foram moídos e tamisados em peneira de 40 mesh (0,25mm de diâmetro). A uréia, numa dosagem de 180,9mg, equivalente a 72kg/ha de nitrogênio, foi colocada superficialmente na forma de três mililitros de solução. Os aditivos foram aplicados no mesmo líquido contendo a uréia, sendo que os pouco solúveis constituíram suspensões.

Os dados de perdas de amônia, em miligramas, foram avaliados através da análise de variância empregando-se o teste F, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A variação do pH das terras com o tempo, nos diversos tratamentos, foi avaliada concomitantemente em outra série de amostras colocadas em bandejas plásticas de 500ml com tampa, em número de três por tratamento, formando uma camada de 3,0cm de espessura. As amostras foram coletadas com um cachimbo volumétrico (10ml) dosador de solos na camada de 0,0-0,5cm de profundidade. As determinações de pH (em água, relação 1:2,5) foram feitas duas horas após a instalação dos experimentos e no terceiro, no oitavo, no décimo terceiro e no décimo oitavo dias.

Durante o período experimental foram registradas diariamente as temperaturas mínimas e máximas do ambiente em que se realizaram os experimentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados originais dos três experimentos encontram-se no APÊNDICE, assim como as tabelas de análise de variância. Os valores médios obtidos são apresentados através de figuras.

4.1. Primeiro experimento

Ensaio preliminares, nos quais se observou que a aplicação de resíduos orgânicos aumentava as perdas de amônia provenientes da uréia, motivaram a instalação deste primeiro experimento. A escolha do fosfato monocálcico (reagente p.a.) como aditivo para a redução das perdas foi devido aos trabalhos de KIEHL (1989), nos quais se demonstrou que o fosfato monocálcico, dentre todos os sais inorgânicos estudados, foi o que permitiu as maiores reduções na volatilização de NH_3 .

Os valores máximos e mínimos da temperatura ambiente, durante os vinte e três dias de observações, são apresentados na Figura 1. A maior temperatura, $26,5^\circ\text{C}$, foi observada no sétimo dia e a menor, $20,0^\circ\text{C}$, foi observada do décimo primeiro ao décimo terceiro dia. A maior diferença

de temperatura entre máximas e mínimas num mesmo dia foi de 3°C, ocorrida no sétimo, no décimo quarto e no décimo quinto dias. A temperatura média geral foi de 23,37°C. Relacionando-se a temperatura ambiente com as perdas diárias (Figuras 2 e 3) não se verifica qualquer relação de causa e efeito entre ambas, o que poderia se atribuir à pequena amplitude das variações da temperatura ambiente.

Figura 1. Temperaturas máximas e mínimas diárias do ambiente em que se realizou o primeiro experimento

a) Perdas diárias

O efeito do fosfato monocálcico nas perdas diárias de amônia pode ser apreciado pelos resultados

Figura 2. Perdas diárias de amônia por volatilização e valores de pH, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica, tratadas com vinhaça ou turfa, após a adição de uréia ou de uréia mais $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, numa relação de 1:1. Testemunha tratada com uréia.

Figura 3. Perdas diárias de amônia por volatilização e valores de pH, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica, tratadas com esterco de curral ou composto de lixo, após a adição de uréia ou de uréia mais $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, numa relação de 1:1. Testemunha tratada com uréia.

observados nos tratamentos com e sem aditivo (Figuras 2, 3 e Tabela 2 do APÊNDICE). Pelas testemunhas verifica-se que o aditivo retardou o ponto de máxima perda do terceiro para o quarto dia e diminuiu a intensidade de perda. O retardamento do ponto de máxima perda é benéfico por permitir maior tempo de difusão da uréia no solo (KIEHL, 1989), com reflexos na redução das perdas de amônia. Os valores mais elevados de pH coincidem com o ponto de máxima perda, e, à medida que o valor de pH se reduz abaixo de 7,0, as perdas declinam, enquanto a valores menores praticamente não ocorrem (Figuras 2 e 3). Valores de pH acima de 7,5 são bastante favoráveis à volatilização por aumentar a concentração de amônia na solução do solo (FERGUSON et alii, 1984). A ação principal do aditivo é a redução do valor de pH, a qual, além de diminuir a concentração de NH_3 na solução, possivelmente diminui a atividade da urease, e, conseqüentemente, a velocidade de transformação da uréia para formas amoniacaais, o que favorece a redução das perdas (KOELLIKER & KISSEL, 1988).

O uso de aditivo na terra com turfa não causou grandes alterações nas perdas diárias de amônia (Figura 2). No primeiro dia de observação as perdas não são consideráveis e atingem o pico no quarto dia, com uma intensidade máxima acima de $3\text{mg N-NH}_3/\text{dia}$. Nesse momento, os valores de pH são de 8,6 (sem aditivo) e 8,4 (com aditivo), favorecendo a intensa hidrólise da uréia. O período de volatilização para a turfa é o mais longo entre os

tratamentos testados, pois enquanto aos 10 dias as perdas nos demais resíduos praticamente paralizaram, na turfa continuaram elevadas durante os 15 dias de avaliação. Pode-se atribuir esse comportamento ao fato da turfa ter mantido o pH do meio a valores acima de 8,0 durante quase todo o período de avaliação, talvez auxiliada pela ação alcalina da amônia liberada na hidrólise. O menor efeito do aditivo na amostra com turfa, em relação aos demais tratamentos, pode ser atribuído à redução insuficiente dos valores de pH (Figura 2).

Para a vinhaça o ponto de máxima perda ocorreu no terceiro dia, com intensidade máxima inferior a $1\text{mg N-NH}_3/\text{dia}$ (Figura 2); a perda de amônia deu-se por um período superior a 10 dias. Era esperado que a acidez da vinhaça (pH 4,4) iria inicialmente reduzir o pH do solo e as perdas de amônia, o que não ocorreu. É possível que reduções de pH de solos já inicialmente ácidos não alterem as perdas de amônia (os valores iniciais de pH das testemunhas sem e com vinhaça foram 5,9 e 5,2, respectivamente). Para ser efetivo, o aditivo deve impedir que os valores de pH ultrapassem 7,5, condição considerada favorável à hidrólise da uréia e às perdas de amônia (RACHHPAL-SINGH & NYE, 1986c e REYNOLDS & WOLF, 1987b). No ponto de máxima perdas de amônia, com três dias, o valor de

pH da amostra com vinhaça chega a 7,6, valor esse que, por ser inferior ao da testemunha, revela algum efeito acidificante da vinhaça mas sem grandes reflexos na redução da intensidade máxima de perdas.

O efeito do esterco de curral foi atípico (Figura 3), pois o ponto de máxima perda ocorreu logo no primeiro dia de avaliação. O aditivo fez com que a intensidade máxima de perdas fosse reduzida de cerca de 6,5mg N-NH₃/dia para 3,8mg N-NH₃/dia, o que deve ser atribuído à queda do pH de 7,6 para 6,9 devido ao aditivo. Por outro lado, a partir do quinto dia as perdas de amônia praticamente cessaram. As intensas perdas iniciais podem ter sido causadas por uma quantidade elevada de urease no esterco de curral, pois sabe-se que esses resíduos em geral são bem supridos da enzima (BREMNER & MULVANEY, 1978). Após o quinto dia, a diminuição das perdas talvez tenha ocorrido devido ao esgotamento da uréia para hidrólise, além do que o pH foi reduzido a valores inferiores a sete.

Nas terras tratadas com composto de lixo as perdas foram mínimas no primeiro dia e atingiram o pico no terceiro dia (Figura 3). O fosfato monocálcico reduziu a intensidade das perdas, o que se atribui à redução do valor de pH. No ponto de máxima perdas o valor de pH alcançou 8,20 (Figura 3) quando o aditivo não foi adicionado e 7,90 quando foi, o que mostra o íntimo relacionamento do pH do solo com as perdas de amônia.

Em todos os tratamentos observa-se a tendência do fosfato monocálcico em reduzir as perdas diárias e o ponto de máxima perdas. Nas amostras de solo tratadas com resíduos orgânicos não houve alteração da época de ocorrência do ponto de máxima perda, possivelmente devido ao efeito dos resíduos de acelerar a hidrólise da uréia e aumentar o tamponamento do solo. Se, por um lado, a adição de certos sais inorgânicos retarda a hidrólise (BREMNER & DOUGLAS, 1971b; FENN et alii, 1981c; 1982b; FENN, 1988 e KIEHL, 1989), por outro, a adição de resíduos orgânicos a acelera (TORELLO & WEHMER, 1983 e McINNIS et alii, 1986b). Quando não se adicionaram resíduos orgânicos, o fosfato monocálcico retardou o ponto de máxima perda, como observado por KIEHL (1989). Contudo, o efeito benéfico do uso desse aditivo, retardando a hidrólise e favorecendo a difusão da uréia para o solo, foi neutralizado pela aplicação de resíduos orgânicos.

b). Perdas acumuladas

As perdas acumuladas, expressas em porcentagem (Figura 4), permitem melhor visualização do efeito dos tratamentos. A intensidade máxima de perdas, revelada pela maior inclinação dos segmentos de retas, ocorre no período inicial, primeira semana para a maioria dos resíduos orgânicos tratados ou não com aditivo, e primeiros quatro dias para o esterco de curral. Um comportamento atípico, em relação aos demais tratamentos, é

Figura 4. Perdas acumuladas de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica, por efeito de resíduos orgânicos, após a adição de uréia ou de uréia mais $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, numa relação de 1:1. Testemunha tratada com uréia.

o da amostra da turfa, que aos 22 dias continuou perdendo amônia até valores acima de 30%, cerca de 15-16 vezes superior às da testemunha com aditivo. Para os demais tratamentos, as perdas praticamente se estabilizaram ao décimo dia.

O efeito principal do aditivo foi o da redução do pH (Figura 2 e 3). A faixa em que se dá a redução do pH talvez seja mais importante do que a grandeza da redução. Por exemplo, o decréscimo de pH de 7,6 para 6,9, verificado no início do experimento para o esterco de curral (Figura 3), alterou o ambiente de alcalino para ácido, do que resultou menores perdas acumuladas. Com a turfa (Figura 2), por outro lado, o decréscimo de pH foi de 8,7 para 8,4 no terceiro dia e, no decorrer do período, mesmo com a redução do valor de pH, os valores continuaram acima de 8,0, resultando reduções não significativas das perdas (Figura 4). Esse fato também ocorreu com a testemunha e demais resíduos.

c) Perdas totais

Houve efeito significativo nas perdas totais para resíduos orgânicos e para o aditivo fosfato monocálcico, mas a interação entre esses fatores não foi significativa (Tabela 3 do APÊNDICE). Observa-se pela Figura 5 que todos os resíduos orgânicos aumentaram as perdas de amônia; esse efeito, já descrito anteriormente por outros pesquisadores (BARRETO & WESTERMAN, 1989 e McINNES, 1986b),

provavelmente se deva à elevação do pH do meio pelos resíduos, associado ao aumento da quantidade de urease, enzima usualmente presente com certa abundância nos resíduos orgânicos (ZANTUA & BREMNER, 1976; ZANTUA & BREMNER, 1977 e McCARTY & BREMNER, 1991).

Figura 5. Volatilização de amônia em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica, por efeito de resíduos orgânicos e de aditivo, após a adição de uréia ou de uréia mais $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, numa relação de 1:1. Testemunha tratada com uréia. Letras minúsculas para efeito de resíduo e maiúsculas para efeito do aditivo (Tukey 5%)

Embora a adição de vinhaça não tenha resultado perdas intensas de amônia, estas ocorreram por um período de tempo maior, o que refletiu em perda total maior

que a da testemunha (Figura 5). Tal efeito pode ser atribuído tanto à elevação do pH nas épocas finais do estudo, quanto à facilidade com que a vinhaça se decompõe no solo (ALMEIDA, 1952), preservando a atividade da urease. A adição de vinhaça no solo aumenta a população microbiana (CAMARGO, 1953), sendo que tais alterações são capazes de elevar os valores de pH do solo (NEVES et alii, 1983; LEAL et alii, 1983 e MATIAZZO & GLÓRIA, 1985).

O esterco de curral e o composto de lixo, juntamente com a vinhaça, causaram aumentos semelhantes na volatilização de NH_3 , possivelmente porque aumentaram o pH do solo nas épocas iniciais e finais do experimento.

Enquanto a vinhaça, o esterco de curral e o composto de lixo aumentaram a perda de amônia de 3,70 para 5,64, 7,24 para 7,90mg de N-NH_3 , respectivamente, a aplicação da turfa elevou a volatilização para 25,99mg de N-NH_3 . Esse efeito acentuado da turfa está coerente com a alteração de pH que causou: valores acima de pH 8,0 após o terceiro dia foram observados somente nas amostras tratadas com turfa.

O efeito geral do fosfato monocálcico foi o de reduzir as perdas de NH_3 de 11,09 para 8,72mg de N-NH_3 (Figura 5), ou seja, de 13,63% para 10,68% do total de nitrogênio aplicado. A diminuição das perdas certamente se deve ao efeito depressivo do fosfato monocálcico sobre o pH:

em média, esse índice baixou de 6,7 para 6,1 no início (2 horas) do período experimental.

4.2. Segundo experimento

A autoclavagem das amostras de solo e dos resíduos orgânicos teve como objetivo a inativação da urease e dos microrganismos contidos nesses materiais com a finalidade de verificar se o efeito favorável dos resíduos orgânicos nas perdas de amônia por volatilização era devido à ação dessa enzima.

As temperaturas máximas e mínimas observadas no interior do laboratório durante a realização do experimento encontram-se na Figura 6.

Figura 6. Temperaturas máximas e mínimas diárias do ambiente em que se realizou o segundo experimento

A temperatura mínima oscilou de 22°C no terceiro dia a 28,5°C no décimo segundo e décimo terceiro dias. A temperatura máxima mais elevada foi de 32°C no décimo terceiro, décimo quarto e décimo oitavo dias. A temperatura média geral foi de 26,48°C.

Um provável efeito da temperatura nas perdas de amônia pode ser a explicação para o aumento da intensidade da volatilização em todos os tratamentos no período compreendido entre o décimo quinto e o décimo oitavo dia, principalmente quando a terra foi autoclavada (Figuras 7 e 8); nesse período, a temperatura máxima elevou-se de 30°C para 32°C (Figura 6).

a) Perdas diárias

As perdas diárias observadas encontram-se nas Figuras 7 e 8 e os valores de pH nas Figuras 9 e 10. O efeito da autoclavagem das amostras de solo na distribuição das perdas de amônia durante o período experimental foi o de diminuir e atrasar em um ou mais dias o ponto de máxima perda de NH_3 em todos os tratamentos, provavelmente devido à eliminação de parte da urease do solo pela alta temperatura (ZANTUA & BREMNER, 1977), retardando a reação de hidrólise da uréia.

Na testemunha (Figura 7), o ponto de máxima perda passou do terceiro dia para o sétimo dia. A autoclavagem do solo, possivelmente, elimine todos os

Figura 7. 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 da turfa e esterco de curral autoclavados ou não.

Figura 8. 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 e vinhaça autoclavados ou não.

Figura 9. Valores de pH, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e da adição da turfa e esterco de curral autoclavados ou não.

Figura 10. Valores de pH, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e da adição do composto e vinhaça autoclavados ou não.

microorganismos indistintamente e favoreça, 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.

A autoclavagem da turfa adiantou em um dia o ponto de máxima perda na terra não autoclavada, enquanto na terra autoclavada ocorreu redução do início das perdas e atraso do ponto de máxima do terceiro e quarto dias para o oitavo dia. Embora a autoclavagem da terra tenha reduzido o ponto 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 9). 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 & MOE, 1967 e KOELLIKER & KISSEL, 1988), sob valores acima de pH 7,5 as perdas são intensas, e ao pH 8,8, quando a concentração de íons NH_3 em solução pode chegar a 25%, a possibilidade de perdas de amônia por volatilização são ainda maiores. Portanto, a turfa, como foi o resíduo que manteve o valor de pH acima de 8,0 por um período maior de tempo, é também o que apresenta a maior tendência para estimular as perdas de amônia se aplicado junto com a uréia.

A autoclavagem do esterco de curral (Figura 7) fez com que o ponto de máxima perda se atrasasse do primeiro para o terceiro dia na terra não autoclavada, e do primeiro para o sexto dia na terra autoclavada. O fato da adição de esterco não autoclavado produzir um ponto de máxima perda logo no primeiro dia, e da autoclavagem do esterco ter atrasado esse ponto em alguns dias, mostra que esse resíduo animal é rico em urease e que essa urease é destruída ou perde atividade no processo de autoclavagem, mas se restitui 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.

Os valores de pH observados no transcorrer do experimento (Figura 9) justificam as maiores perdas 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 8,0 e manteve-se elevado por um período maior de tempo, justificando a maior volatilização de NH_3 , enquanto o esterco não autoclavado teve efeito acidificante, reduzindo as perdas diárias.

Os picos de perda de NH_3 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 8). 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 e produção da urease. Os valores de pH (Figura 10) acompanharam as perdas, situando-se acima de 7,5 quando as perdas diárias eram maiores que 1,0mg N-NH₃/dia.

No tratamento com vinhaça praticamente não houve efeito da autoclavagem desse resíduo sobre o ponto de máxima perda e sobre as perdas diárias de amônia (Figura 8), bem como sobre o pH (Figura 10). 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 & 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.

b) Perdas acumuladas

As perdas acumuladas e expressas em porcentagem encontram-se nas Figuras 11 e 12. Esses dados também mostram que a autoclavagem da terra retardou o início das perdas, retardando também o ponto de cessamento das perdas: na testemunha não autoclavada as perdas ocorreram até o décimo quinto dia, enquanto na terra autoclavada estes

Figura 11. Perdas percentuais acumuladas de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e da adição da turfa e esterco de curral autoclavados ou não.

Figura 12. Perdas percentuais acumuladas 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 e vinhaça autoclavados ou não.

acúmulos continuaram mesmo com 25 dias, embora com menor intensidade; como consequência as perdas acumuladas finais foram superiores às da terra não autoclavada. Aparentemente, o efeito da autoclavagem da turfa, desintegrando e inativando microrganismos, não desapareceu até o final do experimento.

O comportamento do esterco de curral não autoclavado não diferiu em função da terra ser ou não autoclavada: em ambos os casos, em 4-5 dias as perdas acumuladas atingiram cerca de 10% e cessaram. Para o esterco de curral autoclavado, ao contrário, as perdas atingiram cerca de 15% no décimo dia e cessaram quando esse resíduo foi aplicado na terra não autoclavada, mas na terra autoclavada as perdas prosseguiram até o final, chegando a 27,5%.

O composto autoclavado apresentou intensidade de perdas acumuladas semelhante ao do não autoclavado até o quinto e sétimo dias nas terras não autoclavada e autoclavada, respectivamente (Figura 12). A partir dessas épocas, o composto não autoclavado praticamente não acumulou mais perdas, mas o composto autoclavado, na terra não autoclavada, continuou acumulando perdas até o décimo oitavo dia, enquanto que na terra autoclavada as perdas continuaram até o vigésimo quinto dia. É possível que o composto possua uma "carga microbiana" que na terra não autoclavada consegue um certo "controle das perdas", mas na terra autoclavada,

56mesmo 25 dias não foram suficientes para estabilizar as perdas de amônia, que neste ponto atingem mais de 30% do nitrogênio aplicado.

A vinhaça apresentou intensidades de perdas semelhantes nas terras autoclavadas e não autoclavadas. A diferença maior entre este e aquele caso está na época em que a volatilização cessa: na terra não autoclavada o acúmulo de perda cessa com 17 dias, enquanto na terra autoclavada continua mesmo com 25 dias, o que comprova o desequilíbrio da recolonização microbiológica, onde a volatilização continua bastante acentuada.

Observa-se que, em geral, os tratamentos cujos valores de pH final eram os mais altos (Figuras 9 e 10), foram os que apresentaram perdas de NH_3 até o último dia do período experimental. Nos tratamentos em que o pH final situou-se abaixo de 7,0, ao contrário, as perdas acumuladas cessaram antes da conclusão do estudo.

c) Perdas totais

Para dados de perdas totais na terra não autoclavada houve efeito significativo para os resíduos orgânicos e não significativo para autoclavagem dos resíduos (Tabela 10 do APÊNDICE); porém a interação resíduos orgânicos x autoclavagem dos resíduos foi significativa. Na terra autoclavada, os resíduos orgânicos, a autoclavagem dos

resíduos e a interação entre esses fatores foram todos significativos.

Observa-se pela Figura 13 que a turfa, em quaisquer das condições de autoclavagem, dela própria, ou da terra, foi o resíduo orgânico que mais estimulou a volatilização de amônia; conforme já discutido, esse efeito certamente foi favorecido com a elevação do pH causado pela turfa. Os aumentos da volatilização causados pelas turfas não autoclavada e autoclavada foram 8 vezes e 5 vezes, respectivamente, na terra autoclavada, enquanto na terra não autoclavada os aumentos foram menores.

Na terra não autoclavada o esterco de curral aumentou a perda de amônia em até 2,7 vezes. Na terra autoclavada o esterco autoclavado resultou aumento da volatilização de 1,9 vezes, enquanto o não autoclavado não alterou a perda de NH_3 .

O comportamento do composto de lixo foi similar ao do esterco de curral. Na terra não autoclavada o composto aumentou em até 2,8 vezes a volatilização, enquanto na terra autoclavada houve acréscimo de 1,9 vezes somente para o esterco autoclavado.

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 1,4 vezes e 1,2 vezes, respectivamente

Figura 13. Perdas acumuladas de amônia por volatilização, por vinte e cinco dias, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e da adição de resíduos orgânicos autoclavados ou não. Letras maiúsculas para efeito da autoclavagem do resíduo e minúsculas par efeito do resíduo (Tukey 5%).

quando não havia e quando havia sido previamente autoclavada. O efeito favorável da vinhaça nas perdas de NH_3 pode ser explicado pelo fato desse 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 e NEVES et alii, 1983) que podem promover a volatilização de amônia.

O efeito da autoclavagem dos resíduos orgânicos variou de um para outro resíduo. Tanto na terra autoclavada quanto na não autoclavada, a autoclavagem da turfa diminuiu a volatilização, em média, de 42,0 para 30,0mg de N-NH_3 ; para o esterco de curral e o composto de lixo, a autoclavagem aumentou a perda, em média, de 8,8 para 17,2 e de 9,3 para 19,2mg de N-NH_3 , respectivamente; para a vinhaça, o efeito da autoclavagem não foi significativo.

Era de se esperar que o atraso da hidrólise observado pelas perdas diárias (Figuras 7 e 8) favorecesse a difusão da uréia para o interior da terra, contribuindo para reduções das perdas totais de amônia; contudo, as perdas totais foram mais elevadas na terra autoclavada (Figura 13), porque, 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 microrganismos proteolíticos de uréia, decompondo e inativando a urease (ZANTUA & BREMNER, 1976) pode ter sido prejudicada.

Relacionando-se as perdas totais (Figura 13) com os valores de pH observados durante o período experimental (Figuras 9 e 10), observa-se haver íntima relação entre essas variáveis: para as maiores perdas tem-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, pode ser mais importante do que o valor de pH inicial ou final.

4.3. Terceiro experimento

O solo tratado com turfa, no primeiro experimento, foi o tratamento em que houve as maiores perdas totais (Figura 5), daí esse resíduo orgânico ter sido escolhido para este estudo de avaliação da eficiência de diferentes sais inorgânicos em controlar a volatilização de amônia.

Os valores máximos e mínimos da temperatura ambiente durante o período de realização do experimento são apresentados na Figura 14. No décimo dia foram verificados os menores valores de temperatura, cuja máxima foi de 26°C e

mínima de $24,5^{\circ}\text{C}$. As maiores temperaturas são verificadas no décimo sétimo dia com $30,0^{\circ}\text{C}$ de mínima e de $32,0^{\circ}\text{C}$ de máxima. A temperatura média geral no período foi de $28,66^{\circ}\text{C}$.

Figura 14. Temperaturas máximas e mínimas diárias do ambiente em que se realizou o terceiro experimento.

Comparando-se os resultados de perdas diárias (Figuras 15, 16 e 17) com as variações das temperaturas mínimas e máximas do ambiente, constata-se que essas variações não alteraram visivelmente as perdas de amônia na

Figura 15. Perdas diárias de amônia por volatilização e valores de pH, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos na relação 1:1.

Figura 16. Perdas diárias de amônia por volatilização e valores de pH, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos na relação 2:1.

Figura 17. Perdas diárias de amônia por volatilização e valores de pH, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos na relação 3:1.

fase inicial, mas o aumento da taxa de volatilização do décimo quinto para o décimo oitavo dia em todos os tratamentos parece ter sido resultado da elevação da temperatura nessa época.

a) Perdas diárias

As perdas diárias em miligramas de N-NH_3 e os valores de pH do solo tratado com turfa e com os aditivos superfosfato simples (SS), superfosfato triplo (ST), fosfato monoamônico (MAP), sulfato ferroso (SF) e cloreto férrico (CF), em três relações (1:1, 2:1 e 3:1) encontram-se nas Figuras 15, 16 e 17. Em todas as relações, o CF foi o sal inorgânico que mais reduziu as perdas diárias, mantendo valores de pH mais reduzidos durante a fase crítica (primeira semana); possivelmente, isso explique a ausência de um ponto de máxima perda de volatilização definido para o CF, principalmente nas relações 2:1 e 3:1.

Na relação 1:1 (Figura 15), observa-se que o pico de máxima intensidade de perdas diárias ocorreu no quarto dia com o CF e no terceiro dia com os demais sais. A intensidade máxima de perdas foi reduzida pelo SS e SF, mas o CF reduziu-a em maior grau; com este último sal, a volatilização máxima baixou de mais de $5,0\text{mg N-NH}_3/\text{dia}$ para menos de $3,0\text{mg N-NH}_3/\text{dia}$. Os demais sais, ST e MAP, praticamente não alteraram ponto de máxima perda de volatilização.

Os valores de pH no início do experimento (Figura 15) mostram que, com exceção do ST, os sais adicionados apresentaram efeito acidificante, notadamente o cloreto férrico. No ponto de máxima perda o valor de pH ultrapassou 8,2 em todos os tratamentos, o que é de se notar porque essas condições, favorecem a ação da urease e a hidrólise da uréia (KOELLIKER & KISSEL, 1988). A intensidade de perdas reduziu-se para menos de 1mg N-NH₃/dia somente quando o pH apresentou valores em torno de 7,5, no décimo terceiro dia; segundo FERGUSON et alii (1984), as perdas de amônia são significativas quando o valor de pH ultrapassa 7,5. Todos os aditivos a partir do terceiro dia mostraram valores de pH mais reduzidos, mas as reduções das perdas a partir do quinto dia não foram bem diferenciadas entre os tratamentos. As maiores diferenças de perdas devidas ao SS, ST e CF ocorreram do primeiro ao quinto dia, o que mostra o caráter temporário do efeito dos aditivos sobre o pH e na volatilização de NH₃.

O efeito da aplicação dos aditivos na relação 2:1 sobre as perdas de amônia e os valores de pH (Figura 16) foi mais acentuado que na relação 1:1. O ponto de máxima perda continuou ocorrendo no terceiro dia, inclusive para o CF, mas a intensidade de volatilização foi bastante reduzida pelo SF e pelo CF; este último reduziu a intensidade máxima de mais de 5 para 1mg N-NH₃/dia. Os demais sais inorgânicos (SS, ST e MAP) reduziram as perdas mas não com tanta intensidade como o SF e o CF. A hidrólise

da uréia, produzindo NH_3 , se reflete no pH do meio, pois mesmo em tratamentos com menor redução das perdas diárias, o valor de pH nos momentos de ponto de máxima perdas ultrapassa 8,0, com valores mais elevados naqueles que mais perdem amônia, como a testemunha e o ST.

Na relação 3:1 (Figura 17), o efeito dos aditivos em reduzir as perdas de amônia e os valores de pH foi mais acentuado que nas outras relações. O ponto de máxima perdas continuou ocorrendo no terceiro dia, com exceção do CF, cujas perdas foram mais elevadas entre o quarto e o oitavo dia. O SS, o MAP e o ST reduziram o ponto de máxima perda de 5,5mg N-NH_3 /dia para valores em torno de 4mg N-NH_3 /dia, mas as maiores reduções são observadas para o SF e o CF, cujas perdas máximas caíram para cerca de 1,5 e 0,5mg N-NH_3 /dia, respectivamente. Relacionando-se o comportamento das perdas com o pH das terras, observa-se que quase sempre o máximo de intensidade de perdas coincide com os maiores valores de pH, e à medida que as perdas se reduzem, o pH também se reduz, donde se deduz o íntimo relacionamento da hidrólise com o pH do meio.

c) Perdas acumuladas

As perdas acumuladas de amônia das terras tratadas com turfa e que receberam SS, ST, MAP, SF e CF nas relações 1:1, 2:1 e 3:1 encontram-se nas Figuras 18 e 19. Nos três primeiros dias, as curvas das perdas percentuais apresentam forte inclinação, revelando elevadas taxas

Figura 18. Perdas percentuais acumuladas de amônia por volatilização, em amostras de solo tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos nas relações 1:1 e 2:1.

Figura 19. Perdas percentuais acumuladas de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos na relação 3:1.

iniciais de perda de amônia. Somente com cerca de 15 dias é que as taxas ficaram bastante reduzidas.

Na relação 1:1 (Figura 18), desde o início o CF apresentou menores taxas de perdas acumuladas, resultando, no final, significativa redução das perdas em porcentagens. Embora em menor intensidade, o SF e o SS também contribuíram para reduzir a volatilização durante todo o período, enquanto o ST e o MAP apresentaram comportamento semelhante à testemunha.

Na relação 2:1 (Figura 18), o efeito do CF e SF foram mais acentuados do que na relação 1:1, sendo que os primeiros mostraram-se efetivos desde o início. Aqui, novamente o ST e o MAP apresentaram comportamento semelhante à testemunha.

Na relação 3:1 (Figura 19), os sais inorgânicos, apresentaram um efeito ainda mais pronunciado de redução das perdas. A eficiência desses compostos segue a ordem CF>SF>ST. Era esperado, em qualquer relação, que o ST, através do ácido fosfórico, tivesse comportamento superior ao SS na redução das perdas devido ao seu possível efeito acidificante mais elevado, o que não se verificou.

Durante todo o período de avaliação de perdas o CF foi o aditivo que mais reduziu as perdas em todas as relações. As perdas, que eram de 32,3% na testemunha, reduziram-se a 24,9%, 15,61% e 9,6% com a aplicação do CF nas relações 1:1, 2:1 e 3:1, respectivamente. Essas reduções ocorreram graças às alterações dos valores de pH, o qual mostrou-se sempre menor que a testemunha durante todo o período (Figuras 15, 16 e 17); apesar disso, não houve acidificação das terras ao final do processo. Esses fatos indicam que a redução do pH pelos aditivos foi um efeito temporário, diminuindo as taxas de perdas de amônia. Como a presença de matéria orgânica reduz a eficiência dos aditivos em controlar as perdas (FENN et alii, 1987), é possível que,

se o solo não fosse tratado com turfa, o efeito dos aditivos fosse ainda mais pronunciado.

c) Perdas totais

A análise de variância mostrou efeito significativo para aditivos, para relações e para interação entre esses fatores (Tabela 17 do APÊNDICE); nas interações, apenas o efeito de relações dentro de SS não foi significativo.

Observa-se, pela Figura 20, que alguns sais aplicados ao solo junto com a uréia tiveram o efeito de reduzir sensivelmente as perdas de NH_3 por volatilização. Na relação 1:1, o ST e o MAP não foram eficientes, mas o SS diminuiu as perdas de 26,30 para 22,61mg N- NH_3 (14,0%), o SF para 22,17mg N- NH_3 (15,7%) e o CF para 20,27mg N- NH_3 (22,9%). Na relação 2:1 a situação praticamente não mudou, exceto para o SF e o CF, cujas eficiências foram aumentadas: com o SF conseguiu-se uma redução de 46,0% nas perdas, e com o CF, de 52,2%. A máxima eficiência desses aditivos ocorreu na relação 3:1, com reduções de 54,1% e 73,8%, respectivamente. O aumento da dose do sal não melhorou a eficiência do SS, enquanto para o ST e o MAP as alterações foram pequenas.

Figura 20. Perdas acumuladas de amônia por volatilização, em amostras tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos em três relações, vinte e cinco dias após a adição de uréia mais aditivo. Letras maiúsculas para efeito de relações e minúsculas para efeito de aditivos (Tukey 5%).

Os dados mostraram que a eficiência dos aditivos no controle das perdas de amônia, com exceção do SS, aumentou com a dose ou relação aditivo/uréia utilizada. Segundo FENN et alii (1981b), para que haja adequado controle da volatilização, é necessário que a relação aditivo/uréia seja suficientemente alta para promover significativa redução do pH.

O efeito dos aditivos no controle da volatilização, conforme ficou demonstrado pelas

determinações do pH, já amplamente discutidas, deveu-se fundamentalmente ao efeito acidificante dos sais aplicados, não se descartando a possibilidade desses compostos atrasarem a hidrólise da uréia (SLYKE & ZACHARIAS, 1914; BREMNER & DOUGLAS, 1971a & FENN & RICHARDS, 1986). Para o caso dos fosfatos de cálcio, a acidificação deve-se à liberação de H^+ por ocasião da transformação do fosfato monocálcico em bicálcico:

Os íons $H_2PO_4^-$ e H^+ passarão a fazer parte do equilíbrio $H_3PO_4 \rightleftharpoons H_2PO_4^- + H^+$, o qual tenderá tanto mais para a esquerda quanto mais baixo for o pH. Além desse efeito, há que se considerar, também, a acidez inerente ao próprio fertilizante, oriunda do ácido residual empregado na solubilização da rocha fosfatada.

O efeito do ST em reduzir as perdas de amônia por volatilização já foi observada por outros autores (MAHENDRAPPA & OGDEN, 1973 e KIEHL, 1989); MAHENDRAPPA & OGDEN (1973) atribuíram o efeito do ST à presença de ácido fosfórico, havendo também, redução da atividade da urease (BREMNER & DOUGLAS, 1971a). Para KIEHL (1989), os compostos contendo fosfato solúvel podem, ainda, contribuir para a redução das perdas de NH_3 pela criação de cargas negativas devidas à adsorção específica do fosfato, principalmente em solos ricos em óxidos de ferro e alumínio; essas cargas

negativas contribuiriam para a adsorção dos íons NH_4^+ , reduzindo a volatilização.

O efeito acidificante do MAP pode ser atribuído ao H^+ proveniente da transformação do íon ortofosfato primário (H_2PO_4^-) em ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}), à semelhança do que foi descrito para os fosfatos de cálcio; por ser um sal amoniacal, deve-se considerar, também, a acidez gerada pela nitrificação do NH_4^+ .

A acidificação causada pelo SF provavelmente se deva ao fato desse composto possuir o ferro na forma reduzida (Fe^{2+}), o qual tende a oxidar-se no solo a Fe^{3+} e, em seguida, sofrer hidrólise com liberação de íons H^+ :

Da mesma forma, o cloreto férrico acidificaria o solo devido à hidrólise do metal, conforme as Reações 16, 17 e 18.

Os resultados mostraram que, em média, as perdas de amônia ocorridas nas amostras tratadas com SF (16,61mg N-NH_3) foram superiores às observadas para a aplicação de CF (13,55mg N-NH_3). Como a acidificação que esses sais promovem é causada pela hidrólise do ferro que

possuem, e como o teor de ferro no SF (20,1% Fe) é praticamente igual ao do CF (20,7% Fe), é possível que a menor eficiência daquele produto em relação a este se deva à não oxidação completa do SF durante o período experimental; no estado reduzido, cada íon Fe^{2+} produz, por hidrólise, somente dois íons H^+ . O fato das reduções de pH conseguidas com SF terem sido menos intensas que as obtidas com o CF apoia essa hipótese.

5. CONCLUSÕES

a) A aplicação de vinhaça aumentou as perdas de amônia da terra tratada com uréia em 105%, a de esterco de curral em 163%, a de composto de lixo em 187% e a de turfa em 843%. O fosfato monocálcico, aplicado juntamente com a uréia, reduziu as perdas de amônia por volatilização em 21%;

b) A autoclavagem da amostra de solo retardou o ponto de máxima perdas e aumentou as perdas de amônia em até 56%;

c) A autoclavagem não eliminou o efeito estimulante dos resíduos orgânicos sobre a volatilização de NH_3 ; para a turfa, a autoclavagem apenas reduziu parcialmente esse efeito, enquanto para o esterco de curral, vinhaça (na terra autoclavada) e para o composto de lixo, a autoclavagem estimulou ainda mais as perdas de amônia;

d) A autoclavagem da terra elevou o seu valor pH, enquanto que a autoclavagem dos resíduos orgânicos elevou o pH para o esterco de curral e causou alterações pequenas nos demais resíduos;

e) Na relação 1:1 o superfosfato triplo e o fosfato monoamônico não reduziram as perdas de amônia, enquanto o superfosfato simples, o sulfato ferroso e o cloreto férrico reduziram-nas em 14%, 16% e 23%, respectivamente;

f) Na relação 2:1 o superfosfato triplo e o fosfato monoamônico não reduziram as perdas de amônia, mas o superfosfato simples, o sulfato ferroso e o cloreto férrico reduziram-nas em 17%, 46% e 52%, respectivamente;

g) Na relação 3:1 a eficiência dos aditivos foi ainda maior, sendo que todos contribuíram para a redução das perdas de amônia. O fosfato monoamônico reduziu a volatilização em 11%, o superfosfato simples em 19%, o superfosfato triplo em 25%, o sulfato ferroso em 49% e o cloreto férrico em 70%;

h) Os aditivos que melhor controlaram as perdas de amônia foram os que causaram reduções mais acentuadas no pH do meio;

i) Os períodos de máxima intensidade de perda de amônia por volatilização coincidiram com aqueles nos quais ocorreram os maiores valores de pH.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J.R. O problema da vinhaça em São Paulo. Piracicaba, Instituto Zimotécnico da ESALQ, 1952. 24p. (Boletim nº 3).
- AVNIMELECH, Y. & LAHER, M. Ammonia volatilization from soils: Equilibrium considerations. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 41: 1080-1084, 1977.
- BARRETO, J.J. & WESTERMAN, R.L. Soil urease activity in winter wheat residue management systems. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 53: 1455-1458, 1989.
- BEYROUTY, C.A.; SOMMERS, E.; NELSON, D.W. Ammonia volatilization from surface-applied urea as affected by several phosphoroamide compounds. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 52: 1173-1178, 1988.
- BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 49: 376-381, 1985.

- BREMNER, J.M. & DOUGLAS, L.A. Inhibition of urease activity in soils. Soil Biol. Biochem., Oxford, 3: 297-307, 1971a.
- BREMNER, J.M. & DOUGLAS, L.A. Decomposition of urea phosphate in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 35: 575-578, 1971b.
- BREMNER, J.M. & MULVANEY, L. Urease activity in soils. In: Burns, R.G. Soil enzymes. London, Academic Press, 1978. Cap.5, p.149-196.
- BURNS, R.G.; EL-SAYED, M.H.; McLAREN, A.D. Extraction of an urease-active organo-complex from soil. Soil Biol. Biochem., Oxford, 4: 107-108, 1972.
- CALDAS, H.E. Calda de destilaria como fertilizante. Recife, Instituto Agronômico do Nordeste, 1960. 107p. (Boletim nº 10).
- CAMARGO, R. O desenvolvimento da flora microbiana nos solos tratados com vinhaca. Análise Quantitativa. Piracicaba, ESALQ, 1953. 41p. (Tese Doutorado).
- CHING, W.T. & KROONTJE, W. Urea hydrolysis and subsequent loss of ammonia. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 27: 316-318, 1963.
- CLAY, D.E.; MALZER, G.L.; ANDERSON, J.L. Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil water content, and nitrification and

- hydrolysis inhibitors. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 54: 263-266, 1990.
- CONNEL, J.H.; MEYER, R.D.; MEYER, J.L.; CARLSON, R.M. Gaseous ammonia losses following nitrogen fertilization. Calif. Agric., Berkeley, 33: 11-12, 1979.
- CONRAD, J.P. Catalytic activity causing the hydrolysis of urea in soils as influenced by several agronomic factors. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 5: 238-241, 1940.
- DALAL, R.C. Urease activity in some Trinidad soils. Soil Biol. Biochem., Oxford, 7: 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, 48: 569-574, 1984.
- ERNST, J.W. & MASSEY, H.F. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 24: 87-90, 1960.
- FEAGLEY, S.E. & HOSSNER, L.R. Ammonia volatilization reaction mechanism between ammonium sulfate and carbonate systems. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 42: 364-367, 1978.
- FENN, L.B. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils: III. Effects of mixing low and high loss ammonium

compounds. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 39: 366-368, 1975.

FENN, L.B. Effects of initial soil calcium content on ammonia losses from surface-applied urea and calcium-urea. Fert. Res., Hague, 16: 207-216, 1988.

FENN, L.B. & ESCARZAGA, R. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds to calcareous soils: VI. Effects of initial soil water content and quantity of applied water. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 41: 358-363, 1977.

FENN, L.B. & HOSSNER, L.R. Ammonia volatilization from ammonium or ammonium-forming nitrogen fertilizers. Adv. Soil Sci., New York, 1: 123-169, 1985.

FENN, L.B. & KISSEL, D.E. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils: I. General theory. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 37: 855-859, 1973.

FENN, L.B. & KISSEL, D.E. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compound on calcareous soils: II. Effects of temperature and rate of ammonium nitrogen application. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 38: 606-610, 1974.

FENN, L.B. & KISSEL, D.E. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous

soils: IV. Effects of calcium carbonate content. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 39: 631-633, 1975.

FENN, L.B. & KISSEL, D.E. The influence of cation exchange capacity and depth of incorporation on ammonia volatilization from ammonium compounds applied to calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 40: 394-398, 1976.

FENN, L.B.; MALSTROM, H.L.; WU, E. Ammonia losses from surface-applied urea as related to urea application rates, plant residue and calcium chloride addition. Fert. Res., Hague, 12: 219-227, 1987.

FENN, L.B.; MATOCHA, J.E.; WU, E. Ammonia losses from surface-applied urea and ammonium fertilizers as influenced by rate of soluble calcium. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 45: 883-886, 1981a.

FENN, L.B.; MATOCHA, J.E.; WU, E. A comparison of calcium carbonate precipitation and pH depression on calcium-reduced ammonia loss from surface-applied urea. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 45: 1128-1131, 1981b.

FENN, L.B.; MATOCHA, J.E.; WU, E. Soil cation exchange capacity effects on ammonia loss from surface-applied urea in the presence of soluble calcium. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 46: 78-81, 1982a.

FENN, L.B.; MATOCHA, J.E.; WU, E. Substitution of ammonium and potassium for added calcium in reduction of ammonia loss from surface-applied urea. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 46: 771-776, 1982b.

FENN, L.B. & MIYAMOTO, S. Ammonia loss and associated reactions of urea in calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 45: 537-540, 1981.

FENN, L.B.; TAYLOR, R.M.; MATOCHA, J.E. Ammonia losses from surface-applied nitrogen fertilizer as controlled by soluble calcium and magnesium: general theory. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 45: 777-781, 1981.

FENN, L.B. & RICHARDS, J. Ammonia loss from surface applied urea-acid products. Fert. Res., Hague, 9: 265-275, 1986.

FENN, L.B. & WU, E. Effect of ammonium fertilizer on NH_3 loss and Ca, Mg, ammonium and nitrate content in a calcareous soil solution. Biol. Fert. Soil, Berlin, 5: 171-174, 1987.

FERGUSON, N.B. & KISSEL, D.E. Effects of soil drying on ammonia volatilization from surface-applied urea. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 50: 485-490, 1986.

FERGUSON, R.B.; KISSEL, D.E.; KOELLIKER, J.K.; BASEL, W. Ammonia volatilization from surface-applied urea: effect of hydrogen ion buffering capacity. Soil Sci. Am. J., Madison, 48: 578-582, 1984.

- FRANKENBERGER, W.T. & DICK, W.A. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. Soil Sci. Am. J., Madison, 47: 945-951, 1983.
- FRENEY, J.R.; DENMEAD, D.T.; WATANABE, I.; CRASWELL, R.T. Ammonia and nitrous oxide losses following applications of ammonium sulfate to flooded rice. Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 32: 37-45, 1981.
- GAMED, M.A.; ANGLE, J.S.; AXLEY, J.H. Effects of urea-potassium chloride and nitrogen transformations on ammonia volatilization from urea. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 54: 1768-1772, 1990.
- GASSER, J.K.R. Some factors affecting losses of ammonia from urea and ammonium sulphate applied to soils. J. Soil Sci., Oxford, 15: 258-272, 1964.
- GOULD, W.D.; COOK, F.D.; WEBSTER, G.R. Factors affecting urea hydrolysis in several Alberta soils. Plant Soil, Hague, 38: 393-401, 1973.
- HARGROVE, W.L. Soil, environmental, and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In: BOCK, B.R. & KISSEL, D.E., ed. Ammonia volatilization from urea fertilizers. Alabama, National Fertilizer Development Center, 1988. Capit. 2, p. 17-36.

HARGROVE, W.L.; BOCK, B.R.; RAUNIKAR, R.A.; URBAN, W.J.
Comparison of a forced-draft technique to nitrogen-15-
recovery for measuring ammonia volatilization under field
conditions. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, **51**: 124-128,
1987.

HARPER, L.A.; CATCHPOOLE, V.R.; DAVIS, R.; WEIR, K.L.
Ammonia volatilization: soil, plant, and microclimat
effects on diurnal and seasonal fluctuations. Agron. J.,
Madison, **75**: 212-218, 1983.

HASLAM, R.T.; HERSHEY, R.L.; KEEN, R.H. Effect of gas
velocity and temperature on rate of absorption. Ind. Eng.
Chem., Washington, **16**: 1224-1230, 1924.

HOEFT, R.G. Fertilizer nitrogen: providing food and
protecting the environment. Better Crops, Atlanta, **74**: 4-
8, 1990.

JEWITT, T.N. Loss of ammonia from ammonium sulfate applied
to alkaline soils. Soil Sci., Baltimore, **54**: 401-409,
1942.

JONES, H.W. Some transformations of urea and their
resultant effects on the soil. Soil Sci., Baltimore, **34**:
281-299, 1932.

KELLER, G.D. & MENGEL, D.B. Ammonia volatilization from
nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn.
Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, **50**: 1060-1063, 1986.

KIEHL, E.J. & PORTA, A. Análises de lixo e composto. Piracicaba, ESALQ-Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, 1980. 43p. (Apostila).

KIEHL, J.C. Emprego de sais inorgânicos no controle de volatilização de amônia decorrente da aplicação de uréia no solo. Piracicaba, 1989. 108p. (Tese de Livre Docência-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

KISSEL, D.E. Management of urea fertilizers. Manhattan, North Central Regional, Extension Publication, ~~326~~, 1989.

KISSEL, D.E. & CABRERA, M.L. Factors affecting urea hydrolysis. In: BOCK, B.R. & KISSEL, D.E., ed. Ammonia volatilization from urea fertilizers. Alabama, National Fertilizer Development Center, 1988. Capit. 3, p. 53-66.

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. Capit. 3, p. 37-52.

KOELLIKER, J.K. & MINER, J.R. Desorption of ammonia from anaerobic lagoons. Trans. ASAE, St. Joseph, ~~16~~: 146-151, 1973.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. & BOARETTO, A.E. Efeito do tamanho de grânulo e relação N/S da uréia aplicada em superfície na volatilização de amônia sob

- diferentes umidades iniciais do solo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 16: 409-413, 1992.
- LEAL, J.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; ROSSIELO, R.O.P. Potencial redox e pH: variações em um solo tratado com vinhaça. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 7: 257-261, 1983.
- MAHENDRAPPA, M.K. & OGDEN, E.D. Patterns of ammonia volatilization from a forest soil. Plant Soil, Hague, 38: 257-265, 1973.
- MARTENS, D.A. & BREMNER, J.M. Soil properties affecting volatilization of ammonia from soils treated with urea. Commun. Soil Sci. Plant Anal., New York, 20: 1645-1657, 1989.
- MARTIN, J.P. & CHAPMAN, H.D. Volatilization of ammonia from surface-fertilized soils. Soil Sci, Baltimore, 71: 25-34, 1951.
- MATIAZZO, M.E. & GLÓRIA, N.A. da Efeito da vinhaça na acidez do solo. SIAB, Piracicaba, 4: 35-40, 1985.
- MCCARTY, G.W. & BREMNER, J.M. Production of urease by microbial activity in soils under aerobic and anaerobic conditions. Biol. Fert. Soils, Berlin, 11: 228-230, 1991.
- McINNES, K.J.; FERGUSON, R.B.; KISSEL, D.E.; KANEMASU, E.T. Field measurements of ammonia loss from surface

- applications of urea solution to bare soil. Agron. J., Madison, 78: 192-196, 1986a.
- McINNES, K.J.; FERGUSON, R.B.; KISSEL, D.E.; KANEMASU, E.T. Ammonia loss from applications of urea-ammonium nitrate solution to straw residue. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 50: 969-974, 1986b.
- MOE, P.G. Nitrogen losses from urea as affected by altering soil urease activity. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 31: 380-382, 1967.
- MOYO, C.C.; KISSEL, D.E.; CABRERA, M.L. Temperature effects on soil urease activity. Soil Biol. Biochem., Oxford, 21: 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, Hague, 28: 25-37, 1968.
- NEVES, M.C.P.; LIMA, I.T.; DOBEREINER, J. Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. R. bras. Ci. Solo, Piracicaba, 7: 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, 51: 1062-1066, 1987.

- OVERREIN, L.N. & MOE, P.G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonium volatilization in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, **31**: 57-61, 1967.
- PAULSON, K.N. & KURTS, L.T. Locus of urease activity in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, **33**: 897-901, 1969.
- PETIT, N.M.; SMITH, R.J.; FREEDMAN, R.B.; BURNS, R.G. Soil urease: activity, stability and kinetic properties. Soil Biol. Biochem., Oxford, **8**: 479-489, 1976.
- PETROBRÁS. Fertilizantes S.A.-Petrofértil. Anuário de informações. "s.l.", 1985. 127p.
- PLESSIS, M.C.F. Du & KROONTJE, W. The relationship between pH and ammonia equilibria in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, **28**: 751-754, 1964.
- RACHHPAL-SINGH Predicting the effect of soil-water-air dynamics on ammonia volatilization from applied urea with a mechanistic model. Fert. Res., Hague, **13**: 277-285, 1987.
- RACHHPAL-SINGH & NYE, P. H. The effect of soil pH and high urea concentrations on urease activity in soil. J. Soil Sci., Oxford, **35**: 519-527, 1984.
- RACHHPAL-SINGH & NYE, P.H. A model of ammonia volatilization from applied urea. I. Development of the model. J. Soil Sci., Oxford, **37**: 9-20, 1986a.

RACHHPAL-SINGH & NYE, P.H. A model of ammonia volatilization from applied urea. II. Experimental testing. J. Soil Sci., Oxford, **37**: 21-29, 1986b.

RACHHPAL-SINGH & NYE, P.H. A model of ammonia volatilization from applied urea. III. Sensitivity analysis, mechanisms, and applications. J. Soil Sci., Oxford, **37**: 31-40, 1986c.

RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Instituto Agronômico, Campinas, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81).

RANZANI, G.; FREIRE, O.; KINJO, T. Carta de solos do município de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ, Centro de Estudos de Solos, 1966. 85p.

RAPPAPORT, B.D. & AXLEY, J.H. Potassium chloride for improved urea fertilizer efficiency. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, **48**: 399-401, 1984.

REYNOLDS, C.M. & WOLF, D.C. Effect of soil moisture and air relative humidity on ammonia volatilization from surface-applied urea. Soil Sci., Baltimore, **143**: 144-152, 1987a.

REYNOLDS, C.M. & WOLF, D.C. Influence of urease activity and soil properties on ammonia volatilization from urea. Soil Sci., Baltimore, **143**: 418-425, 1987b.

- REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C.; ARMBRUSTER, J.A. Factors related to urea hydrolysis in soils. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 49: 104-108, 1985.
- SANTOS, A.R.; VALE, F.R.; SANTOS, J.A.G. Avaliação de parâmetros cinéticos da hidrólise da uréia em solos do sul de Minas Gerais. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 15: 309-303, 1991.
- SAVANT, N.K.; JAMES, A.F. & McCLELLAN, G.H. Effect of amounts and sequence of additions of urea and water on hydrolysis of surface-applied granular urea in unsaturated soils. Fert. Res., Hague, 11: 231-243, 1987.
- SLYKE, D.D. Van & ZACHARIAS, G. The effect of hydrogen ion concentration and of inhibiting substances on urease. J. Bio. Chem., Bethesda, 19: 181-210, 1914.
- STEVENS, R.J.; LAUGHLIN, R.J.; KILPATRICK, D.J. Soil properties related to the dynamics of ammonia volatilization from urea applied to the surface of acidic soils. Fert. Res., Hague, 20: 1-9, 1989.
- TABATABAI, M.A. Michaelis constants of urease in soil and soil, fractions. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 37: 707-710, 1973.
- TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Assay of urease activity in soils. Soil Biol. Biochem., Oxford, 4: 479-487, 1972.

TERMAN, G.L. & HUNT, C.M. Volatilization losses of nitrogen from surface-applied fertilizers, as measured by crop response. Soil Sci. Soc. Proc., Madison, 28: 667-672, 1964.

TORELLO, W.A.; WEHNER, D.J.; TURGEON, A.J. Ammonia volatilization from fertilized turfgrass stands. Agron. J., Madison, 75: 454-456, 1983.

VLEK, P.L.G. & CARTER, M.F. The effect of soil environment and fertilizer modifications on the rate of urea hydrolysis. Soil Sci., Baltimore, 136: 56-63, 1983.

VLEK, P.L.G. & STUMPE, J.M. Effects of solution chemistry and environmental conditions on ammonia volatilization losses from aqueous systems. Soil Sci. Soc. Proc., Madison, 42: 416-421, 1978.

WAGNER, G.H. & SMITH, G.E. Nitrogen losses from soils fertilized with different nitrogen carriers. Soil Sci., Baltimore, 85: 125-129, 1958.

WAHHABA, A.; RANDHAWA, M.S.; ALAM, S.Q. Loss of ammonia from ammonium sulphate under different conditions when applied to soils. Soil Sci., Baltimore, 84: 249-255, 1957.

WHITEHEAD, D.C. & RAISTRICK, N. Effects of some environmental factors on ammonia volatilization from

simulated livestock urine applied to soil. Biol. Fert. Soils, Berlin, 11: 279-284, 1991.

ZANTUA, M.I. & BREMNER, J. M. Stability of urease in soils. Soil Biol. Biochem., Oxford, 9: 135-140, 1977.

ZANTUA, M.I. & BREMNER, J.M. Preservation of soil samples for assay of urease activity. Soil Biol. Biochem., Oxford, 7: 297-299, 1975.

ZANTUA, M.I. & BREMNER, J.M. Production and persistence of urease activity in soils. Soil Biol. Biochem., Oxford, 8: 369-374, 1976.

ZANTUA, M.I.; DUMENIL, L.C.; BREMNER, J. M. Relationships between soil, urease activity and other soil properties. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 41: 350-352, 1977.

A P Ê N D I C E

Tabela 1. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de resíduos orgânicos, após a adição de uréia ou de uréia mais $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ numa relação de 1:1.

Dias	Testemunha			Testemunha + aditivo				
	1	2	3	Média	1	2	3	Média
mg de N-NH ₃								
1	0,08	0,11	0,08	0,09	0,06	0,11	0,14	0,10
2	0,22	0,30	0,25	0,26	0,08	0,14	0,08	0,10
3	0,81	0,90	0,64	0,78	0,17	0,25	0,22	0,21
4	0,59	0,56	0,70	0,62	0,22	0,28	0,39	0,30
5	0,36	0,31	0,59	0,42	0,22	0,08	0,06	0,12
6	0,44	0,34	0,36	0,37	0,20	0,20	0,25	0,22
7	0,36	0,34	0,36	0,35	0,20	0,22	0,20	0,21
8	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20	0,17	0,17	0,18
9	0,08	0,11	0,11	0,10	0,11	0,08	0,06	0,08
10	0,08	0,06	0,11	0,08	0,03	0,03	0,03	0,03
11	0,06	0,00	0,03	0,03	0,06	0,06	0,03	0,05
12	0,11	0,08	0,06	0,08	0,03	0,03	0,03	0,03
13	0,08	0,11	0,11	0,10	0,06	0,06	0,09	0,07
14	0,08	0,08	0,06	0,07	0,00	0,00	0,06	0,02
15	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,06	0,03	0,00	0,03	0,06	0,06	0,06	0,06
22	0,03	0,03	0,00	0,02	0,05	0,04	0,00	0,03
Total	3,72	3,64	3,74	3,70	1,75	1,81	1,87	1,81

(continua)

Tabela 1. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de resíduos orgânicos, após a adição de uréia ou de uréia mais $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ numa relação de 1:1. (continuação).

Dias	Vinhaça			Vinhaça + aditivo				
	1	2	3	Média	1	2	3	Média
	mg de N-NH ₃							
1	0,39	0,11	0,11	0,20	0,11	0,08	0,14	0,11
2	0,53	0,45	0,45	0,48	0,36	0,36	0,34	0,35
3	0,92	0,95	1,01	0,96	0,87	0,87	0,90	0,88
4	0,78	0,81	0,84	0,81	0,45	0,45	0,73	0,55
5	0,45	0,48	0,53	0,49	0,50	0,48	0,50	0,49
6	0,45	0,53	0,53	0,50	0,39	0,45	0,48	0,44
7	0,48	0,53	0,53	0,51	0,48	0,45	0,45	0,46
8	0,36	0,39	0,42	0,39	0,28	0,28	0,28	0,28
9	0,25	0,34	0,28	0,29	0,17	0,20	0,22	0,20
10	0,20	0,17	0,22	0,20	0,14	0,17	0,14	0,15
11	0,17	0,17	0,11	0,15	0,11	0,08	0,11	0,10
12	0,20	0,17	0,20	0,19	0,06	0,08	0,06	0,07
13	0,14	0,22	0,22	0,19	0,30	0,25	0,25	0,27
14	0,17	0,20	0,17	0,18	0,20	0,17	0,20	0,19
15	0,11	0,11	0,11	0,11	0,08	0,08	0,06	0,07
18	0,45	0,39	0,39	0,41	0,27	0,27	0,27	0,27
22	0,20	0,20	0,17	0,19	0,16	0,16	0,16	0,16
Total	6,25	6,22	6,29	6,25	4,93	4,88	5,29	5,03

(continua)

Tabela 1. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de resíduos orgânicos, após a adição de uréia ou de uréia mais $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ numa relação de 1:1. (continuação).

Dias	T u r f a			Média	T u r f a + a d i t i v o			Média
	1	2	3		1	2	3	
	mg de N-NH ₃							
1	0,48	0,56	0,53	0,52	0,28	0,22	0,28	0,26
2	1,51	1,40	1,60	1,50	0,73	0,98	0,87	0,86
3	2,91	2,91	2,58	2,80	1,85	2,44	1,82	2,04
4	3,67	4,03	3,36	3,69	3,02	3,58	3,31	3,30
5	2,83	3,64	2,58	3,02	3,05	3,78	3,25	3,36
6	2,24	2,44	2,18	2,29	2,41	2,88	2,46	2,58
7	2,30	2,39	2,18	2,09	2,46	2,86	2,49	2,60
8	1,46	1,96	1,48	1,63	1,60	1,88	1,90	1,79
9	1,01	1,32	1,04	1,12	1,12	1,26	1,09	1,16
10	0,84	0,95	0,87	0,89	0,84	0,95	0,95	0,91
11	0,67	0,78	0,64	0,70	0,76	0,81	0,76	0,78
12	0,67	0,81	0,64	0,71	0,81	0,76	0,76	0,78
13	0,78	0,92	0,76	0,82	0,76	0,76	0,76	0,76
14	0,78	0,81	0,76	0,78	0,84	0,76	0,76	0,79
15	0,53	0,70	0,59	0,61	0,59	0,64	0,59	0,61
18	1,32	1,56	1,29	1,39	1,47	1,47	1,47	1,47
22	2,12	2,84	2,12	2,36	0,84	0,76	0,88	0,83
Total	26,12	30,02	25,20	27,11	23,43	26,79	24,40	24,87

(continua)

Tabela 1. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de resíduos orgânicos, após a adição de uréia ou de uréia mais $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, numa relação de 1:1. (continuação).

Dias	Esterco de curral			E. de curral + aditivo			Média
	1	2	3	1	2	3	
							mg de N-NH_3
1	6,50	6,47	6,50	3,95	3,53	3,81	3,76
2	1,65	1,51	2,27	1,15	1,46	1,23	1,28
3	0,31	0,36	0,31	0,25	0,36	0,25	0,29
4	0,31	0,34	0,22	0,08	0,14	0,39	0,20
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,03	0,04
				0,00	0,00	0,00	0,00
Total	8,77	8,68	9,30	5,49	5,52	5,71	5,57

(continua)

Tabela 1. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de resíduos orgânicos, após a adição de uréia ou de uréia mais $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, numa relação de 1:1. (continuação).

Dias	Composto			Composto + aditivo				
	1	2	3	Média	1	2	3	Média
	mg de N-NH ₃							
1	0,45	0,42	0,31	0,39	0,17	0,17	0,14	0,16
2	2,63	1,71	1,62	1,99	1,01	0,92	0,95	0,96
3	2,32	2,49	2,38	2,40	1,96	1,82	1,96	1,91
4	3,19	2,10	1,62	2,30	1,34	1,32	1,62	1,36
5	1,01	1,23	0,95	1,06	0,70	0,73	0,92	0,78
6	2,21	0,67	0,67	1,18	0,42	0,45	0,50	0,46
7	1,46	0,48	0,34	0,76	0,25	0,22	0,31	0,26
8	0,28	0,20	0,14	0,21	0,11	0,08	0,11	0,10
9	0,17	0,08	0,06	0,10	0,06	0,00	0,06	0,04
10	0,06	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,06	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,01
12	0,00	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,06	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,02
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,03
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,06	0,05
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,04	0,00	0,09
Total	10,84	9,50	8,15	9,50	6,46	5,78	6,66	6,30

Tabela 2. Perdas totais e percentuais de amônia por volatilização em Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de resíduos orgânicos, vinte e dois dias após a adição de uréia ou de uréia mais $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, numa relação de 1:1.

Tratamentos	Perdas totais				Perdas percentuais					
	1	2	3	Média	Média	1	2	3	Média	Média
	mg de N-NH3				%					
Testemunha	3,72	3,64	3,74	3,70		4,57	4,47	4,59	4,54	
Aditivo	1,75	1,81	1,87	1,81	2,76c	2,15	2,22	2,30	2,22	3,38c
Vinhaça	6,25	6,22	6,29	6,25		7,68	7,64	7,73	7,68	
Vinhaça+aditivo	4,93	4,88	5,29	5,03	5,64b	6,06	5,60	6,50	6,05	6,87bc
Turfa	26,12	30,02	25,20	27,11		32,09	36,88	30,95	33,31	
Turfa+aditivo	23,43	26,79	24,40	24,87	25,99a	28,78	32,91	29,97	30,55	31,93a
Esterco	8,77	8,68	9,30	8,91		10,77	10,67	11,43	10,96	
Esterco+aditivo	5,49	5,52	5,71	5,57	7,24b	6,74	6,78	7,01	6,84	8,90b
Composto	10,84	9,50	8,15	9,50		13,32	11,67	10,01	11,67	
Composto+aditivo	6,46	5,78	6,66	6,30	7,90b	7,94	7,10	8,18	7,74	9,71b
d.m.s					2,65					3,87
CV%					10,95					10,99
Terra sem aditivo			11,09A					13,63A		
Terra com aditivo			8,72B					10,68B		
d.m.s.			1,07					1,76		

‘A’ Em cada coluna, letras minúsculas compara efeito de resíduos e maiúsculas o efeito de aditivo, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Análise de variância das perdas totais de amônia por volatilização, obtidas do primeiro experimento.

Causa de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	9	2082,8825	231,4314	196,56**
Resíduo	20	23,5473	1,1774	
Total	29	2106,4298		
Resíduos Orgânicos (R)	4	2035,6481	508,9120	432,23**
Aditivos (A)	1	42,4354	42,4354	36,04**
Interação A x R	4	4,7990	1,1998	1,02ns

Tabela 4. Análise de variância das perdas totais em porcentagem de amônia por volatilização, obtidas do primeiro experimento.

Causa de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	9	3147,2212	349,6912	195,47**
Resíduo	20	35,7793	1,7890	
Total	29	3183,0005		
Resíduos Orgânicos (R)	4	3075,2837	768,8209	21,49**
Aditivos (A)	1	65,2097	65,2097	1,82ns
Interação A x R	4	6,7278	1,6820	0,05ns

Tabela 5. Valores de pH da camada superficial (0,0-0,5cm) em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de resíduos orgânicos, em cinco épocas, após a adição de uréia ou de uréia mais $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ numa relação de 1:1.

Tratamentos	épocas								
	Duas horas			Terceiro dia					
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	
Testemunha	5,91	5,98	5,90	5,93	8,28	8,20	8,24	8,24	
Aditivo	5,42	5,40	5,41	5,41	7,77	7,59	7,61	7,66	
Vinhaça	5,18	5,22	5,20	5,20	7,52	7,66	7,62	7,60	
Vinhaça+aditivo	5,01	4,88	4,90	4,93	7,45	7,16	7,10	7,24	
Turfa	7,28	7,30	7,31	7,30	8,68	8,68	8,70	8,69	
Turfa+aditivo	6,68	6,46	6,52	6,55	8,42	8,46	8,44	8,44	
Esterco de curral	7,33	8,11	7,48	7,64	6,92	6,77	6,88	6,86	
Esterco curral+aditivo	6,87	6,97	6,93	6,92	6,74	6,90	6,80	6,81	
Composto	7,40	7,40	7,41	7,40	8,24	8,14	8,19	8,19	
Composto+aditivo	6,59	6,59	6,59	6,59	7,91	7,94	7,93	7,93	

(continua)

Tabela 5. Valores de pH da camada superficial (0,0-0,5cm) em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de resíduos orgânicos, em cinco épocas, após a adição de uréia ou de uréia mais $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ numa relação de aditivo de 1:1 (continuação).

Tratamentos	É p o c a s								
	Oitavo dia			Décimo terceiro dia					
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	
Testemunha	7,44	7,46	7,45	7,45	6,48	6,56	6,50	6,51	
Aditivo	7,16	7,03	7,10	7,10	6,23	6,36	6,21	6,27	
Vinhaça	7,10	7,19	7,18	7,16	6,66	6,68	6,70	6,68	
Vinhaça+aditivo	7,10	6,94	6,98	7,00	6,60	6,46	6,43	6,50	
Turfa	8,78	8,88	8,82	8,83	8,62	8,62	8,62	8,62	
Turfa+aditivo	8,62	8,60	8,61	8,61	8,42	8,35	8,37	8,38	
Esterco de curral	6,27	6,18	6,20	6,22	6,01	6,00	6,02	6,01	
E. de curral+aditivo	6,11	6,17	6,12	6,13	6,25	6,11	6,10	6,15	
Composto	6,88	6,77	6,82	6,82	6,83	6,76	6,81	6,80	
Composto+aditivo	6,64	6,58	6,60	6,61	6,59	6,69	6,61	6,63	

(continua)

Tabela 5. Valores de pH da camada superficial (0,0-0,5 cm), em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de resíduos orgânicos, em cinco épocas, após a adição de uréia e uréia mais $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ numa relação de aditivo de 1:1 (continuação).

É P O C A

Tratamentos

Décimo oitavo dia

	1	2	3	Média
Testemunha	5,82	6,09	6,00	5,97
Aditivo	5,91	6,11	5,90	5,97
Vinhaça	6,16	6,68	6,20	6,20
Vinhaça+aditivo	6,29	6,11	6,10	6,17
Turfa	8,44	8,44	8,40	8,43
Turfa+aditivo	8,29	8,11	8,10	8,17
Esterco de curral	6,06	6,12	6,10	6,09
Esterco de curral+aditivo	6,27	6,15	6,12	6,18
Composto	6,66	6,74	6,70	6,70
Composto+aditivo	6,52	6,55	6,50	6,52

Tabela 6. Análise de variância dos valores de pH da camada superficial de 0,0-0,5cm de amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica, avaliados em cinco épocas no período experimental do primeiro experimento.

Causa de variação	GL	SQ	QM	F
2 horas				
Tratamentos	9	25,4464	2,8274	291,48**
Resíduo	40	0,3887	0,0097	
Total	49	25,8351		
3 dias				
Tratamentos	9	11,3589	1,2621	371,21**
Resíduo	40	0,1348	0,0034	
Total	49	11,4937		
8 dias				
Tratamentos	9	22,0341	2,4482	2040,17**
Resíduo	40	0,0471	0,0012	
Total	49	22,0812		
13 dias				
Tratamentos	9	21,9682	2,4409	1627,27**
Resíduo	40	0,0591	0,0015	
Total	49	22,0273		
18 dias				
Tratamentos	9	21,7554	2,4173	322,31**
Resíduo	40	0,2991	0,0075	
Total	49	22,0545		

Tabela 7. Valores médios de pH da camada superficial (0,0-0,5cm), em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrificada tratadas com uréia, por efeito de resíduos orgânicos, em cinco épocas, após a adição de uréia ou uréia mais $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ numa relação de 1:1 'a'.

Tratamentos	É p o c a s			
	Duas horas	Três dias	Oito dias	Treze dias
Testemunha	5,93e	8,24c	7,45c	6,51e
Testemunha+aditivo	5,41f	7,66e	7,10d	6,27f
Vinhaça	5,20fg	7,60e	7,16d	6,68d
Vinhaça+aditivo	4,93g	7,24f	7,00e	6,50e
Turfa	7,30b	8,69a	8,83a	8,62a
Turfa+aditivo	6,55d	8,44b	8,61b	8,38b
Esterco de curral	7,64a	6,96g	6,22gh	6,01h
Esterco de curral+aditivo	6,92c	6,81g	6,13h	6,15g
Composto	7,40ab	8,19c	6,82f	6,80c
Composto+aditivo	6,59d	7,93d	6,61g	6,63d
d.m.s.	0,27	0,16	0,09	0,11
CV%	1,54	0,75	0,48	0,56

'a' Em cada coluna, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 8. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e dos resíduos orgânicos.

Terra não autoclavada												
Dias	Testemunha			Turfa			Média			Turfa autoclavada		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
mg de N-NH ₃ /dia												
1	0,14	0,06	0,06	0,09	0,62	0,62	0,62	0,69	0,64	0,56	0,56	0,56
2	0,28	0,28	0,31	0,29	2,13	2,04	2,21	2,21	2,13	1,76	1,76	1,77
3	1,04	0,78	0,90	0,91	3,72	3,72	3,76	3,76	3,73	4,31	4,31	4,32
4	0,98	0,64	0,84	0,82	6,50	5,52	6,16	6,16	6,06	3,98	3,08	3,56
5	0,78	0,64	0,70	0,71	6,25	4,39	4,73	4,73	5,12	3,42	2,52	2,80
6	0,64	0,50	0,64	0,59	4,37	3,30	3,53	3,53	3,73	2,52	2,07	2,18
7	0,42	0,34	0,39	0,38	3,22	2,60	2,80	2,80	2,87	1,88	1,60	1,72
8	0,39	0,22	0,36	0,32	2,72	2,24	2,35	2,35	2,44	1,65	1,34	1,40
9	0,14	0,11	0,14	0,13	2,10	1,62	1,90	1,90	1,87	1,26	0,95	1,06
10	0,11	0,11	0,11	0,11	1,74	1,43	1,71	1,71	1,63	1,04	0,84	0,91
11	0,11	0,11	0,11	0,11	1,74	1,43	1,71	1,71	1,73	0,98	0,87	0,94
12	0,06	0,03	0,00	0,03	1,48	1,15	1,34	1,34	1,32	0,70	0,70	0,70
13	0,03	0,03	0,03	0,03	1,20	0,90	1,04	1,04	1,05	0,56	0,56	0,55
14	0,08	0,08	0,08	0,08	0,90	0,67	0,90	0,90	0,82	0,39	0,39	0,39
15	0,06	0,06	0,06	0,06	0,70	0,48	0,62	0,62	0,62	0,25	0,20	0,22
18	0,03	0,03	0,00	0,02	1,26	0,66	1,05	1,05	0,99	0,45	0,42	0,44
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,70	0,45	0,45	0,63	0,21	0,25	0,24
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,22	0,17	0,17	0,20	0,08	0,00	0,04
Total	5,29	4,02	4,73	4,68	41,68	33,88	37,15	37,15	37,57	26,00	22,42	23,75
												24,06

(continua)

Tabela 8. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra dos resíduos orgânicos (continuação).

Terra não autoclavada												
Dias	Esterco de curral			Esterco autoclavado			Composto de lixo			Média		
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1		2	3
mg de N-NH ₃ /dia												
1	5,10	4,56	4,87	4,84	0,14	0,14	0,14	0,11	0,13	0,28	0,31	0,30
2	2,18	1,85	1,88	1,97	0,95	0,95	0,95	1,0,	0,97	1,65	1,82	1,70
3	0,48	0,48	0,42	0,46	2,02	2,10	2,10	2,13	2,08	2,49	2,57	2,52
4	0,11	0,11	0,11	0,11	2,07	1,85	1,85	1,85	1,92	1,82	1,96	1,87
5	0,14	0,17	0,14	0,15	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,26	1,20	1,22
6	0,11	0,11	0,11	0,11	1,54	1,46	1,46	1,46	1,49	0,70	0,67	0,67
7	0,00	0,00	0,00	0,00	1,15	1,09	1,12	1,12	1,12	0,42	0,20	0,27
8	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	0,92	0,92	0,92	0,99	0,17	0,17	0,16
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,48	0,48	0,48	0,53	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,36	0,36	0,36	0,38	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,34	0,34	0,34	0,35	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,00	0,00	0,00
13	0,06	0,06	0,03	0,05	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,03	0,06	0,05
14	0,06	0,08	0,08	0,07	0,25	0,17	0,17	0,17	0,20	0,03	0,03	0,03
15	0,06	0,06	0,06	0,06	0,11	0,08	0,08	0,08	0,09	0,03	0,03	0,03
18	0,15	0,15	0,12	0,14	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,12	0,12	0,10
22	0,20	0,16	0,20	0,19	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Total	8,65	7,79	8,02	8,15	13,08	12,24	12,32	12,55	12,55	9,00	9,14	8,91

(continua)

Tabela 8. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e dos resíduos orgânicos (continuação).

Terra não autoclavada												
Composto autoclavado				Vinhaça				Vinhaça autoclavada				
Dias	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
mg de N-NH ₃ /dia												
1	0,20	0,20	0,20	0,20	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,03	0,06
2	1,20	1,23	1,20	1,21	0,59	0,56	0,56	0,57	0,62	0,67	0,67	0,65
3	2,35	2,41	2,46	2,41	1,01	1,01	1,01	1,01	0,73	0,84	0,84	0,80
4	2,13	2,16	2,46	2,25	0,73	0,78	0,70	0,74	0,48	0,45	0,75	0,55
5	1,76	1,76	1,76	1,76	0,62	0,62	0,67	0,64	0,67	0,67	0,67	0,67
6	1,40	1,46	1,51	1,46	0,50	0,50	0,50	0,50	0,56	0,59	0,59	0,58
7	1,06	1,06	1,06	1,06	0,45	0,45	0,45	0,45	0,36	0,39	0,42	0,39
8	0,81	0,87	0,87	0,85	0,57	0,42	0,50	0,50	0,39	0,39	0,39	0,39
9	0,42	0,48	0,56	0,49	0,34	0,34	0,34	0,34	0,25	0,25	0,22	0,24
10	0,39	0,39	0,39	0,39	0,34	0,34	0,34	0,34	0,24	0,22	0,22	0,22
11	0,31	0,31	0,34	0,32	0,31	0,36	0,39	0,35	0,28	0,28	0,28	0,28
12	0,22	0,22	0,22	0,22	0,25	0,25	0,28	0,26	0,20	0,20	0,14	0,18
13	0,17	0,17	0,17	0,17	0,31	0,31	0,31	0,31	0,22	0,20	0,17	0,20
14	0,11	0,14	0,14	0,13	0,22	0,28	0,25	0,25	0,20	0,14	0,17	0,17
15	0,03	0,08	0,06	0,06	0,11	0,14	0,14	0,13	0,11	0,11	0,08	0,10
18	0,15	0,15	0,06	0,12	0,26	0,27	0,24	0,26	0,21	0,21	0,15	0,19
22	0,03	0,06	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,03
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01
Total	12,74	13,15	13,46	13,12	6,67	6,41	6,74	6,61	5,61	5,72	5,85	5,73

(continua)

Tabela 8. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e dos resíduos orgânicos (continuação).

Dias	Terra autoclavada									
	Testemunha					Turfa				
	1	2	3	Média		1	2	3	Média	
mg de N-NH ₃ /dia										
Turfa autoclavada										
	1	2	3	Média		1	2	3	Média	
1	0,08	0,00	0,00	0,03	0,11	0,11	0,08	0,10	0,11	0,08
2	0,03	0,03	0,06	0,04	0,17	0,22	0,17	0,19	0,22	0,22
3	0,03	0,08	0,08	0,06	0,48	0,56	0,45	0,50	0,62	0,56
4	0,17	0,22	0,31	0,23	0,84	1,18	1,06	1,03	1,26	1,06
5	0,36	0,78	0,81	0,65	1,48	2,16	1,76	1,80	2,13	1,71
6	0,67	0,90	1,06	0,88	2,24	3,14	2,46	2,61	2,72	2,55
7	0,87	1,04	1,04	0,98	2,83	4,37	3,08	3,43	3,19	3,16
8	0,90	0,92	0,92	0,91	3,78	5,26	3,86	4,30	3,33	3,53
9	0,84	0,84	0,81	0,83	4,12	5,26	3,58	4,32	2,80	3,11
10	0,76	0,73	0,73	0,74	4,00	4,70	3,30	4,00	2,35	2,66
11	0,78	0,78	0,73	0,76	4,40	4,84	3,25	4,16	2,69	2,69
12	0,73	0,78	0,64	0,72	3,64	3,95	2,74	3,44	2,30	2,35
13	0,64	0,64	0,64	0,64	2,41	2,49	1,79	2,23	1,90	1,99
14	0,62	0,56	0,56	0,58	2,21	2,46	1,93	2,20	1,60	1,68
15	0,50	0,48	0,48	0,49	2,13	2,24	1,79	2,05	1,43	1,48
18	1,23	1,11	1,05	1,13	4,76	5,18	4,03	4,66	3,30	3,31
22	1,08	1,04	1,08	1,07	3,00	3,34	2,72	2,89	3,06	3,12
25	0,64	0,62	0,67	0,64	2,82	2,02	2,44	2,76	1,93	1,96
Total	10,57	11,55	11,67	11,26	45,42	48,48	40,49	46,46	36,94	37,27
										33,85
										36,02

(continua)

Tabela 8. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e dos resíduos orgânicos (continuação).

Dias	Terra autoclavada											
	Esterco de curral			Esterco autoclavado			Composto de lixo					
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
	mg de N-NH ₃ /dia											
1	5,07	4,31	4,98	4,79	0,03	0,08	0,00	0,04	0,14	0,11	0,11	0,12
2	2,49	2,80	2,77	2,69	0,14	0,36	0,22	0,24	0,48	0,53	0,53	0,51
3	0,70	0,92	0,78	0,80	0,56	0,90	0,90	0,79	1,01	1,26	1,29	1,19
4	0,17	0,45	0,22	0,28	1,43	1,54	1,26	1,41	1,82	2,10	2,07	2,00
5	0,48	0,20	0,22	0,30	2,13	2,16	1,96	2,08	1,96	2,35	2,52	2,28
6	0,08	0,17	0,08	0,11	2,32	2,38	2,21	2,30	1,37	1,46	1,48	1,44
7	0,00	0,11	0,11	0,07	2,10	2,10	1,93	2,04	0,64	0,67	0,84	0,72
8	0,08	0,06	0,03	0,06	1,74	1,71	1,62	1,69	0,42	0,34	0,50	0,42
9	0,03	0,03	0,03	0,03	1,51	1,37	1,49	1,46	0,14	0,14	0,36	0,21
10	0,00	0,11	0,17	0,09	1,48	1,34	1,34	1,39	0,14	0,17	0,25	0,19
11	0,00	0,00	0,00	0,00	1,43	1,23	1,23	1,30	0,00	0,00	0,14	0,05
12	0,00	0,00	0,00	0,00	1,32	1,15	1,06	1,18	0,06	0,06	0,14	0,09
13	0,03	0,03	0,06	0,04	1,09	0,92	0,92	0,98	0,06	0,06	0,11	0,08
14	0,03	0,06	0,06	0,05	0,90	0,81	0,81	0,84	0,08	0,08	0,11	0,09
15	0,03	0,03	0,03	0,03	0,73	0,67	0,62	0,67	0,03	0,03	0,06	0,04
18	0,06	0,12	0,09	0,09	1,71	1,26	1,26	1,41	0,06	0,12	0,12	0,10
22	0,04	0,08	0,08	0,07	1,16	1,48	0,92	1,19	0,20	0,14	0,14	0,16
25	0,00	0,06	0,00	0,02	0,64	0,87	1,04	0,85	0,00	0,03	0,03	0,02
Total	9,29	9,54	9,71	9,51	22,42	22,33	20,79	21,81	8,61	9,65	10,88	9,71

(continua)

Tabela 9. 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				Perdas percentuais			
	1	2	3	Média ^{1,2}	1	2	3	Média ^{1,2}
Terra não autoclavada								
Testemunha	5,29	4,02	4,73	4,68CB	6,50	4,93	5,81	5,75CB
Turfa	41,68	33,88	37,15	37,57aA	51,28	41,63	45,65	46,19aA
Esterco	8,65	7,79	8,02	8,15bCB	10,63	9,57	9,86	10,02bCB
Composto de lixo	9,00	9,14	8,60	8,91bB	11,06	11,23	10,57	10,95bB
Vinhaça	6,67	6,41	6,74	6,61bCA	8,20	7,88	8,28	8,12bA
Testemunha autoclavada	10,57	11,55	11,67	11,26bA	12,99	14,19	14,34	13,84bA
Turfa autoclavada	26,00	22,42	23,75	24,06aB	31,95	27,55	29,18	29,56aB
Esterco autoclavado	13,08	12,24	12,33	12,54bA	16,04	15,04	15,15	15,41bA
Composto autoclavado	12,74	13,15	13,46	13,12bA	15,66	16,16	16,54	16,12bA
Vinhaça autoclavada	5,61	5,72	5,85	5,73cA	6,89	7,03	7,19	7,04fcA
ds				2,83				4,27
CV				32,03				8,27
Terra autoclavada								
Testemunha	10,57	11,55	11,67	11,26cA	12,99	14,19	14,34	13,84cA
Turfa	42,42	48,48	40,49	46,46aA	52,13	59,57	49,76	53,82aA
Esterco de Curral	9,29	9,54	9,71	9,51cB	11,42	11,72	11,93	11,69cB
Composto de Lixo	8,61	9,65	10,88	9,71cB	10,58	11,86	13,37	11,94cB
Vinhaça	15,27	15,56	16,31	15,38bA	18,76	19,12	20,04	19,31bA
Testemunha não autocl.	5,29	4,02	4,73	4,68dB	6,50	4,93	5,81	5,75dB
Turfa Autoclavada	36,94	37,27	33,85	36,02aA	45,39	45,80	41,60	44,26aB
Esterco Autoclavado	22,42	22,33	20,79	21,81bA	27,55	27,44	25,55	27,51bA
Composto Autoclavado	24,59	25,55	25,51	25,22bA	30,22	31,40	31,35	30,99bA
Vinhaça Autoclavada	14,06	13,83	13,49	13,73cA	17,28	16,99	16,58	16,95cA
ds				3,73				4,75
CV				23,72				13,19

^{1,2} Em cada coluna, em cada terra, autoclavada ou não, letras maiúsculas compara efeito da autoclavagem (ds=2,41 para terra não autoclavada e 2,60 para autoclavada) e minúsculas efeito do resíduo, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 10. Análise de variância das perdas totais de amônia por volatilização, obtidas no segundo experimento.

Causa de variação	GL	SQ	QM	F
Terra não autoclavada				
Tratamentos	9	2794,2174	310,4686	154,75**
Resíduo	20	40,1264	2,0063	
Total	29	2834,3443		
Resíduos orgânicos (R)				
Autoclavagem resíduos (A)	1	0,1718	0,1718	0,09ns
Interação AxR	4	394,9926	98,7482	49,22**
Aut. dentro testemunha	1	65,0104	65,0104	32,40**
Aut. dentro da turfa	1	273,9152	273,9152	136,53**
Aut. dentro do e. curral	1	28,9521	28,9521	14,43**
Aut. dentro do composto	1	26,1251	26,1251	13,02**
Aut. dentro da vinhaça	1	1,1616	1,1616	0,58ns
Terra autoclavada				
Tratamentos	9	4439,9691	493,3299	218,63**
Resíduos	20	46,8445	2,3422	
Total	29	4486,8136		
Resíduos orgânicos (R)				
Autoclavagem resíduos (A)	1	168,6018	168,6018	71,98**
Interação AxR	4	605,5634	151,3909	64,64**
Aut. dentro testemunha	1	65,0104	65,0104	27,76**
Aut. dentro turfa	1	165,5448	165,5448	70,68**
Aut. dentro e. curral	1	227,5504	227,5504	97,15**
Aut. dentro composto	1	360,5300	360,5300	153,93**
Aut. dentro vinhaça	1	5,5296	5,5296	2,36ns

Tabela 11. Análise de variância das perdas percentuais de amônia por volatilização, obtidas no segundo experimento.

Causa de variação	GL	SQ	QM	F
Terra não autoclavada				
Tratamentos	9	4223,8640	469,3182	153,28**
Resíduo	20	61,2357	3,0618	
Total	29	4285,0997		
Resíduos orgânicos (R)				
Autoclavagem resíduos (A)	1	0,2746	0,2746	0,09ns
Interação A x R	4	598,4329	149,6082	48,86**
Aut. dentro testemunha				
Aut. dentro da turfa	1	414,6690	414,6690	135,43**
Aut. dentro do e. curral	1	43,5781	43,5781	14,23**
Aut. dentro do composto	1	40,0416	40,0416	13,08**
Aut. dentro da vinhaça	1	1,7604	1,7604	0,58ns
Terra autoclavada				
Tratamentos	9	6467,5193	718,6133	189,91**
Resíduos	20	75,6802	3,7840	
Total	29	6543,1995		
Resíduos orgânicos (R)				
Autoclavagem resíduos (A)	1	278,2825	278,2825	73,54**
Interação A x R	4	852,5226	213,1307	56,32**
Aut. dentro testemunha				
Aut. dentro turfa	1	135,0902	135,0902	35,70**
Aut. dentro e. curral	1	344,5868	344,5868	91,06**
Aut. dentro composto	1	544,5442	544,5442	143,91**
Aut. dentro vinhaça	1	8,3308	8,3308	2,20ns

Tabela 12. Valores de pH da camada superficial (0,0-0,5cm) em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e dos resíduos orgânicos, em cinco épocas.

Tratamentos	épocas											
	Duas horas			Terceiro dia			Oitavo dia					
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	5	Média
Terra não autoclavada	6,20	6,10	6,15	6,15	7,93	8,22	8,10	8,08	7,57	7,43	7,50	7,50
Testemunha	8,47	8,47	8,46	8,47	8,95	9,18	9,08	9,06	7,21	8,61	7,60	7,81
Turfa	8,31	8,22	8,30	8,28	8,75	8,75	8,80	8,77	8,25	8,13	8,20	8,19
Esterco de curral	7,20	7,12	7,15	7,16	6,66	6,86	6,70	6,74	6,02	5,93	6,01	5,99
Esterco autoclavado	7,10	7,01	7,08	7,06	8,52	8,58	8,56	8,55	7,55	7,63	7,60	7,59
Composto de lixo	7,65	7,55	7,60	7,60	8,38	8,41	8,40	8,40	8,62	7,30	7,30	7,74
Composto autoclavado	7,60	7,55	7,58	7,58	8,66	8,67	8,65	8,66	7,95	8,11	7,98	8,01
Vinhaça	5,75	5,79	5,78	5,77	7,16	7,60	7,50	7,42	7,30	7,19	7,20	7,23
Vinhaça autoclavada	5,64	5,65	5,66	5,65	7,28	7,52	7,40	7,40	7,28	7,42	7,30	7,33
Terra autoclavada	6,55	6,56	6,57	6,56	8,09	8,34	8,10	8,18	8,22	8,25	8,20	8,22
Testemunha	7,52	7,67	7,54	7,58	8,68	8,88	8,70	8,75	8,97	8,84	8,90	8,90
Turfa	7,60	7,46	7,52	7,53	8,68	8,68	8,70	8,69	8,76	8,79	8,80	8,78
Esterco de curral	7,36	7,38	7,37	7,37	6,93	6,73	6,80	6,82	5,91	5,92	5,93	5,92
Esterco autoclavado	7,02	6,96	7,00	6,99	8,49	8,42	8,46	8,46	8,07	8,17	8,10	8,11
Composto de lixo	7,82	7,68	7,80	7,77	8,46	7,42	7,90	8,09	7,16	7,62	7,50	7,43
Composto autoclavado	7,60	7,27	7,30	7,39	8,40	7,97	8,00	8,12	8,41	8,02	8,01	8,15
Vinhaça	5,83	5,69	5,70	5,74	7,67	7,39	7,40	7,49	7,62	7,72	7,70	7,68
Vinhaça autoclavada	5,59	5,55	5,56	5,55	8,04	7,60	7,70	7,78	7,61	7,55	7,53	7,56

(continua)

(continua)

Tabela 12. Valores de pH da camada superficial (0,0-0,5cm) de amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e dos resíduos orgânicos, em cinco épocas (continuação).

Tratamentos	épocas						
	Décimo terceiro dia			Décimo oitavo dia			
	1	2	3	Média	1	2	5
Terra não autoclavada							
Testemunha	6,37	6,37	6,40	6,38	5,92	5,86	5,90
Turfa	7,76	7,70	7,70	7,72	6,97	6,95	6,96
Turfa autoclavada	7,46	7,38	7,40	7,40	6,67	6,87	6,70
Esterco de curral	5,72	5,71	5,73	5,72	5,76	5,68	5,70
Esterco autoclavado	6,52	6,67	6,60	6,60	6,20	6,28	6,24
Composto de lixo	7,00	7,24	7,20	7,15	7,15	7,35	7,20
Composto autoclavado	7,30	7,46	7,35	7,37	7,12	7,30	7,15
Vinhaça	6,92	6,70	6,80	6,81	6,52	6,82	6,70
Vinhaça autoclavada	6,79	7,18	7,00	6,99	6,58	6,82	6,60
Terra autoclavada							
Testemunha	7,92	7,98	7,94	7,95	7,72	7,76	7,74
Turfa	8,58	8,46	8,48	8,51	8,42	7,78	8,15
Turfa autoclavada	8,28	8,42	8,30	8,31	8,05	8,07	8,05
Esterco de curral	5,76	5,80	5,78	5,78	5,85	5,87	5,86
Esterco autoclavado	7,58	7,58	7,60	7,59	7,03	7,34	7,20
Composto de lixo	7,12	7,44	7,30	7,29	7,08	7,56	7,20
Composto autoclavado	7,81	7,80	7,80	7,80	7,51	7,70	7,60
Vinhaça	7,37	7,51	7,40	7,41	7,35	7,35	7,38
Vinhaça autoclavada	7,28	7,30	7,29	7,12	7,12	7,21	7,15

Tabela 13. Análise de variância dos valores de pH da camada superficial (0,0-0,5cm) de amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica, avaliados em cinco épocas no período experimental.

Causa de variação	GL	SQ	QM	F
Terra não autoclavada				
2 horas				
Tratamentos	9	26,2138	2,9126	2240,50**
Resíduo	20	0,0252	0,0013	
Total	29	26,2390		
3 dias				
Tratamentos	9	15,7782	1,7582	135,90**
Resíduo	20	0,2577	0,0129	
Total	29	16,0359		
8 dias				
Tratamentos	9	9,9477	1,1053	96,96**
Resíduo	20	2,2757	0,1114	
Total	29	12,2234		
13 dias				
Tratamentos	9	11,8980	1,3220	159,28**
Resíduo	20	0,1667	0,0083	
Total	29	12,0647		
18 dias				
Tratamentos	9	10,5386	1,1710	152,08**
Resíduo	20	0,1541	0,0077	
Total	29	10,6927		
Terra autoclavada				
2 horas				
Tratamentos	9	17,5798	1,9533	320,21**
Resíduo	20	0,1215	0,0061	
Total	29	17,7013		
3 dias				
Tratamentos	9	9,0061	1,0007	21,20**
Resíduo	20	0,9441	0,0472	
Total	29	9,9502		
8 dias				
Tratamentos	9	19,2278	2,1364	169,56**
Resíduo	20	0,2529	0,0126	
Total	29	19,4807		
13 dias				
Tratamentos	9	18,8162	2,0907	486,21**
Resíduo	20	0,0858	0,0043	
Total	29	18,9020		
18 dias				
Tratamentos	9	16,6764	1,8529	91,73**
Resíduo	20	0,4045	0,0202	
Total	29	17,0809		

Tabela 14. Valores médios de pH da camada superficial (0,0-0,5cm), em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e dos resíduos orgânicos, em cinco épocas (1).

Tratamentos	épocas				
	Duas horas	Três dias	Oito dias	Treze dias	Dezoito dias
Terra não autoclavada					
Testemunha	6,15f	8,08d	7,50cd	6,38f	5,89e
Turfa	8,47a	9,06a	7,81bc	7,72a	6,96b
Turfa autoclavada	8,28b	8,77ab	8,19a	7,40b	6,75c
Esterco de curral	7,16d	6,74g	5,99f	5,72g	5,71e
Esterco autoclavado	7,06d	8,15d	7,59c	6,60ef	6,24d
Composto	7,60c	8,40cd	7,74bc	7,15bc	7,23a
Composto autoclavado	7,58c	8,66bc	8,01ab	7,37b	7,19ab
Vinhaça	5,77g	7,42e	7,23d	6,81de	6,68c
Vinhaça autoclavada	6,65e	7,00f	7,33d	6,99cd	6,67c
dms	0,10	0,33	0,31	0,26	0,25
CV%	0,51	1,24	1,43	1,30	1,31
Terra autoclavada					
Testemunha	6,56d	8,18abc	8,22b	7,95c	7,74ab
Turfa	7,58ab	8,75a	8,90a	8,51a	8,15a
Turfa autoclavada	7,53b	8,69ab	8,78a	8,31b	8,06a
Esterco de curral	7,37b	6,82e	5,92d	5,98f	5,86e
Esterco autoclavado	6,99c	8,46ab	8,11b	7,59d	7,19cd
Composto	7,77a	8,09bcd	7,43c	7,29de	7,20cd
Composto autoclavado	7,39b	8,12abc	8,15b	7,80c	7,60bc
Vinhaça	5,74e	7,49d	7,68c	7,41de	7,36bcd
Vinhaça autoclavada	5,55e	7,78cd	7,58c	7,29e	7,16d
dms	0,23	0,63	0,32	0,19	0,41
CV%	1,14	2,71	1,43	0,88	1,97

(1) Em cada coluna, para cada terra, autoclavada ou não, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 12. Valores de pH da camada superficial (0,0-0,5cm) em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e dos resíduos orgânicos, em cinco épocas.

Tratamentos	épocas											
	Duas horas				Terceiro dia				Oitavo dia			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	5	Média
Terra não autoclavada												
Testemunha	6,20	6,10	6,15	6,15	7,93	8,22	8,10	8,08	7,57	7,43	7,50	7,50
Turfa	8,47	8,47	8,46	8,47	8,95	9,18	9,08	9,06	7,21	8,61	7,60	7,81
Turfa autoclavada	8,31	8,22	8,30	8,28	8,75	8,75	8,80	8,77	8,25	8,13	8,20	8,19
Esterco de curral	7,20	7,12	7,15	7,16	6,66	6,86	6,70	6,74	6,02	5,93	6,01	5,99
Esterco autoclavado	7,10	7,01	7,08	7,06	8,52	8,58	8,56	8,55	7,55	7,63	7,60	7,59
Composto de lixo	7,65	7,55	7,60	7,60	8,38	8,41	8,40	8,40	8,62	7,30	7,30	7,74
Composto autoclavado	7,60	7,55	7,58	7,58	8,66	8,67	8,65	8,66	7,95	8,11	7,98	8,01
Vinhaça	5,75	5,79	5,78	5,77	7,16	7,60	7,50	7,42	7,30	7,19	7,20	7,23
Vinhaça autoclavada	5,64	5,65	5,66	5,65	7,28	7,52	7,40	7,40	7,28	7,42	7,30	7,33
Terra autoclavada												
Testemunha	6,55	6,56	6,57	6,56	8,09	8,34	8,10	8,18	8,22	8,25	8,20	8,22
Turfa	7,52	7,67	7,54	7,58	8,68	8,88	8,70	8,75	8,97	8,84	8,90	8,90
Turfa autoclavada	7,60	7,46	7,52	7,53	8,68	8,68	8,70	8,69	8,76	8,79	8,80	8,78
Esterco de curral	7,36	7,38	7,37	7,37	6,93	6,73	6,80	6,82	5,91	5,92	5,93	5,92
Esterco autoclavado	7,02	6,96	7,00	6,99	8,49	8,42	8,46	8,46	8,07	8,17	8,10	8,11
Composto de lixo	7,82	7,68	7,80	7,77	8,46	7,42	7,90	8,09	7,16	7,62	7,50	7,43
Composto autoclavado	7,60	7,27	7,30	7,39	8,40	7,97	8,00	8,12	8,41	8,02	8,01	8,15
Vinhaça	5,83	5,69	5,70	5,74	7,67	7,39	7,40	7,49	7,62	7,72	7,70	7,68
Vinhaça autoclavada	5,59	5,55	5,56	5,55	8,04	7,60	7,70	7,78	7,61	7,55	7,53	7,56

(continua)

(continua)

Tabela 12. Valores de pH da camada superficial (0,0-0,5cm) de amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e dos resíduos orgânicos, em cinco épocas (continuação).

Tratamentos	épocas						
	Décimo terceiro dia			Décimo oitavo dia			
	1	2	3	Média	1	2	5
Terra não autoclavada							
Testemunha	6,37	6,37	6,40	6,38	5,92	5,86	5,90
Turfa	7,76	7,70	7,70	7,72	6,97	6,95	6,96
Turfa autoclavada	7,46	7,38	7,40	7,40	6,67	6,87	6,70
Esterco de curral	5,72	5,71	5,73	5,72	5,76	5,68	5,70
Esterco autoclavado	6,52	6,67	6,60	6,60	6,20	6,28	6,24
Composto de lixo	7,00	7,24	7,20	7,15	7,15	7,35	7,20
Composto autoclavado	7,30	7,46	7,35	7,37	7,12	7,30	7,15
Vinhaça	6,92	6,70	6,80	6,81	6,52	6,82	6,70
Vinhaça autoclavada	6,79	7,18	7,00	6,99	6,58	6,82	6,60
Terra autoclavada							
Testemunha	7,92	7,98	7,94	7,95	7,72	7,76	7,74
Turfa	8,58	8,46	8,48	8,51	8,42	7,78	8,15
Turfa autoclavada	8,28	8,42	8,30	8,31	8,05	8,07	8,05
Esterco de curral	5,76	5,80	5,78	5,78	5,85	5,87	5,86
Esterco autoclavado	7,58	7,58	7,60	7,59	7,03	7,34	7,20
Composto de lixo	7,12	7,44	7,30	7,29	7,08	7,56	7,20
Composto autoclavado	7,81	7,80	7,80	7,80	7,51	7,70	7,60
Vinhaça	7,37	7,51	7,40	7,41	7,35	7,35	7,38
Vinhaça autoclavada	7,28	7,30	7,29	7,12	7,12	7,21	7,15

Tabela 14. Valores médios de pH da camada superficial (0,0-0,5cm), em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito da autoclavagem da terra e dos resíduos orgânicos, em cinco épocas (1).

Tratamentos	épocas				
	Duas horas	Três dias	Oito dias	Treze dias	Dezoito dias
Terra não autoclavada					
Testemunha	6,15f	8,08d	7,50cd	6,38f	5,89e
Turfa	8,47a	9,06a	7,81bc	7,72a	6,96b
Turfa autoclavada	8,28b	8,77ab	8,19a	7,40b	6,75c
Esterco de curral	7,16d	6,74g	5,99f	5,72g	5,71e
Esterco autoclavado	7,06d	8,15d	7,59c	6,60ef	6,24d
Composto	7,60c	8,40cd	7,74bc	7,15bc	7,23a
Composto autoclavado	7,58c	8,66bc	8,01ab	7,37b	7,19ab
Vinhaça	5,77g	7,42e	7,23d	6,81de	6,68c
Vinhaça autoclavada	6,65e	7,00f	7,33d	6,99cd	6,67c
dms	0,10	0,33	0,31	0,26	0,25
CV%	0,51	1,24	1,43	1,30	1,31
Terra autoclavada					
Testemunha	6,56d	8,18abc	8,22b	7,95c	7,74ab
Turfa	7,58ab	8,75a	8,90a	8,51a	8,15a
Turfa autoclavada	7,53b	8,69ab	8,78a	8,31b	8,06a
Esterco de curral	7,37b	6,82e	5,92d	5,98f	5,86e
Esterco autoclavado	6,99c	8,46ab	8,11b	7,59d	7,19cd
Composto	7,77a	8,09bcd	7,43c	7,29de	7,20cd
Composto autoclavado	7,39b	8,12abc	8,15b	7,80c	7,60bc
Vinhaça	5,74e	7,49d	7,68c	7,41de	7,36bcd
Vinhaça autoclavada	5,55e	7,78cd	7,58c	7,29e	7,16d
dms	0,23	0,63	0,32	0,19	0,41
CV%	1,14	2,71	1,43	0,88	1,97

(1) Em cada coluna, para cada terra, autoclavada ou não, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 15. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos em três relações massa de uréia/massa de aditivo.

Dias	Testemunha				Superfosfato simples							
	Relação 1:1				Relação 2:1							
	1	2	3	Média	1	2	3	Média				
mg de N-NH ₃ /dia												
1	1,60	1,54	1,65	1,60	0,90	1,12	1,20	1,07	0,90	0,77	0,77	0,81
2	4,26	4,23	4,31	4,27	2,83	3,56	4,09	3,49	3,11	2,86	2,77	2,91
3	5,54	5,07	5,60	5,40	4,17	4,48	5,43	4,69	4,82	4,59	4,59	4,67
4	3,25	3,50	3,56	3,44	3,50	3,47	4,12	3,70	3,08	3,36	3,39	3,28
5	2,58	2,30	2,32	2,40	1,93	2,24	2,63	2,27	2,32	2,60	2,32	2,41
6	1,90	1,90	1,93	1,91	1,54	1,76	1,99	1,76	1,71	1,57	1,90	1,73
7	1,57	1,46	1,58	1,53	1,18	1,43	1,54	1,38	1,26	1,37	1,48	1,37
8	1,23	1,15	1,23	1,20	0,98	1,09	1,15	1,07	1,06	1,01	1,20	1,09
9	0,90	0,90	0,90	0,90	0,73	0,70	0,62	0,68	0,76	0,62	0,62	0,66
10	0,76	0,76	0,84	0,79	0,42	1,04	0,62	0,69	0,50	0,50	0,62	0,54
11	0,92	0,64	0,84	0,80	0,50	0,42	0,50	0,47	0,62	0,36	0,59	0,42
12	0,42	0,41	0,57	0,47	0,29	0,25	0,34	0,29	0,40	0,24	0,40	0,35
13	0,42	0,41	0,57	0,47	0,29	0,25	0,34	0,29	0,40	0,24	0,40	0,35
14	0,24	0,24	0,27	0,25	0,14	0,13	0,14	0,14	0,20	0,25	0,25	0,23
15	0,24	0,24	0,27	0,25	0,14	0,13	0,14	0,14	0,20	0,25	0,25	0,23
18	0,48	0,12	0,57	0,39	0,39	0,24	0,39	0,34	0,51	0,30	0,54	0,45
20	0,16	0,16	0,16	0,16	0,08	0,08	0,14	0,10	0,16	0,12	0,14	0,14
22	0,08	0,08	0,08	0,08	0,00	0,00	0,06	0,02	0,16	0,00	0,00	0,04
Total	26,55	25,11	27,24	26,30	20,01	22,39	25,44	22,61	22,01	21,01	22,23	21,75

(continua)

Tabela 15. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos em três relações massa de uréia/massa de aditivo (continuação).

Dias	Superfosfato simples				Superfosfato triplo				Relação 2:1			
	Relação 3:1				Relação 1:1				Relação 2:1			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	média
	mg de N-NH ₃ /dia											
1	0,73	0,81	0,87	0,80	1,40	1,23	1,34	1,32	1,04	1,01	1,01	1,02
2	2,38	2,41	2,74	2,51	4,26	4,14	4,09	4,16	3,36	2,91	3,53	3,27
3	4,14	3,89	3,65	3,89	5,85	5,77	5,29	5,64	5,46	5,69	5,60	5,58
4	3,00	3,11	3,39	3,17	3,42	4,00	3,64	3,69	4,12	3,98	4,00	3,70
5	2,07	2,07	2,35	2,16	2,83	2,80	2,46	2,70	2,80	2,21	2,66	2,56
6	1,68	1,68	1,90	1,75	2,07	2,07	1,90	2,01	2,18	2,07	2,18	2,14
7	1,34	1,34	1,54	1,41	1,65	1,65	1,48	1,59	1,74	1,40	1,74	1,63
8	1,09	1,09	1,32	1,17	1,20	1,20	1,18	1,19	1,48	1,12	1,32	1,31
9	0,78	0,78	0,95	0,84	0,94	0,92	0,78	0,88	0,84	0,62	0,87	0,78
10	0,56	0,62	0,81	0,66	0,76	0,76	0,70	0,74	0,70	0,56	0,73	0,66
11	0,70	0,50	0,70	0,63	0,78	0,56	0,78	0,71	0,76	0,67	0,67	0,70
12	0,48	0,27	0,56	0,44	0,55	0,36	0,32	0,41	0,43	0,22	0,55	0,40
13	0,48	0,27	0,56	0,44	0,55	0,36	0,32	0,41	0,43	0,22	0,55	0,40
14	0,28	0,14	0,41	0,28	0,28	0,18	0,29	0,25	0,32	0,21	0,34	0,29
15	0,28	0,14	0,41	0,28	0,27	0,18	0,29	0,25	0,32	0,21	0,34	0,29
18	0,66	0,60	0,63	0,63	0,60	0,42	0,42	0,48	0,63	0,30	0,60	0,51
20	0,16	0,18	0,18	0,18	0,22	0,16	0,14	0,17	0,14	0,12	0,16	0,14
22	0,08	0,06	0,08	0,07	0,06	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,01
Total	20,89	19,96	23,05	21,03	27,69	26,78	25,42	26,63	26,75	23,52	26,87	25,71

(continua)

Tabela 15. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos em três relações massa de uréia/massa de aditivo (continuação).

Dias	Fosfato monoamônico											
	Superfosfato triplo				Relação 1:1							
	Relação 3:1				Relação 1:1				Relação 2:1			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
mg de N-NH ₄ /dia												
1	0,84	0,84	0,67	0,78	1,15	1,15	1,15	1,15	0,62	0,70	0,92	0,75
2	2,35	2,12	1,90	2,12	3,75	3,92	4,03	3,90	2,52	2,88	3,39	2,93
3	3,56	3,56	3,56	3,89	5,04	5,72	5,66	5,47	4,14	4,98	5,49	4,87
4	2,46	2,80	2,77	3,00	4,08	4,11	3,78	3,99	3,57	3,81	3,75	3,18
5	2,32	1,90	1,90	2,04	2,38	2,80	2,66	2,61	2,16	2,74	2,69	2,53
6	1,70	1,62	1,62	1,71	2,15	2,18	2,18	2,17	2,04	2,18	2,18	2,13
7	1,51	1,29	1,29	1,36	1,46	1,79	1,68	1,64	1,56	1,76	1,79	1,70
8	1,26	1,01	1,01	1,09	1,20	1,37	1,37	1,31	1,29	1,43	1,43	1,38
9	0,90	0,70	0,70	0,77	0,87	1,01	1,01	0,96	0,84	0,95	1,09	0,96
10	0,73	0,56	0,53	0,61	0,67	0,90	0,90	0,82	0,81	0,90	0,95	0,89
11	0,70	0,45	0,45	0,53	0,81	0,81	0,81	0,81	0,80	0,78	0,90	0,83
12	0,50	0,27	0,28	0,35	0,56	0,59	0,60	0,58	0,45	0,65	0,78	0,63
13	0,50	0,27	0,28	0,35	0,56	0,59	0,60	0,58	0,45	0,65	0,78	0,63
14	0,29	0,13	0,29	0,24	0,34	0,39	0,39	0,37	0,36	0,41	0,53	0,43
15	0,29	0,13	0,29	0,24	0,34	0,39	0,39	0,37	0,36	0,41	0,53	0,43
18	0,39	0,36	0,39	0,48	0,75	0,75	0,72	0,74	0,90	0,96	0,96	0,94
20	0,16	0,00	0,12	0,09	0,20	0,22	0,20	0,21	0,28	0,28	0,36	0,31
22	0,06	0,26	0,08	0,13	0,12	0,06	0,08	0,09	0,14	0,14	0,22	0,17
Total	20,52	18,27	18,13	19,78	27,04	28,74	28,21	28,00	23,29	26,61	28,74	26,21

(continua)

Tabela 15. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos em três relações massa de uréia/massa de aditivo (continuação).

Dias	Fosfato monoamônico						Sulfato ferroso					
	Relação 3:1			Relação 1:1			Relação 1:1			Relação 2:1		
	1	2	Média	1	2	3	1	2	3	1	2	Média
	mg de N-NH ₃ /dia											
1	0,67	0,70	0,48	0,62	0,62	0,84	0,62	0,84	0,59	0,68	0,57	0,48
2	2,49	2,38	2,88	2,58	2,21	2,63	2,21	2,63	2,41	2,42	1,51	1,37
3	4,20	4,03	3,70	3,98	3,47	4,68	4,31	4,39	4,31	4,39	1,94	1,93
4	2,86	3,11	2,83	2,93	2,32	3,61	3,00	3,10	3,00	3,10	1,86	1,76
5	2,24	2,24	2,18	2,22	1,93	2,46	2,21	2,17	2,21	2,17	1,54	1,34
6	1,96	1,82	1,82	1,87	1,60	1,90	1,85	1,80	1,85	1,80	1,62	1,20
7	1,71	1,57	1,57	1,62	1,32	1,60	1,46	1,46	1,46	1,46	1,07	0,92
8	1,29	1,04	0,87	1,07	1,06	1,23	1,15	1,15	1,15	1,15	1,00	0,90
9	0,98	0,90	0,62	0,83	0,76	0,95	0,81	0,84	0,81	0,84	0,81	0,76
10	0,95	0,87	0,87	0,90	0,67	0,87	0,76	0,77	0,76	0,77	0,70	0,48
11	1,04	0,81	0,98	0,94	0,78	0,78	0,62	0,73	0,62	0,73	0,81	0,48
12	0,64	0,64	0,69	0,66	0,41	0,57	0,53	0,50	0,53	0,50	0,63	0,41
13	0,64	0,64	0,69	0,66	0,40	0,57	0,53	0,50	0,53	0,50	0,63	0,41
14	0,50	0,39	0,50	0,46	0,21	0,38	0,32	0,30	0,32	0,30	0,42	0,31
15	0,50	0,39	0,50	0,46	0,21	0,38	0,32	0,30	0,32	0,30	0,42	0,31
18	1,11	1,08	1,14	1,11	0,58	0,69	0,60	0,62	0,60	0,62	0,90	0,63
20	0,44	0,42	0,44	0,43	0,20	0,22	0,22	0,21	0,22	0,21	0,30	0,14
22	0,28	0,28	0,28	0,28	0,08	0,16	0,14	0,13	0,14	0,13	0,06	0,08
Total	24,50	23,31	23,04	23,28	20,23	24,52	21,75	22,17	21,75	22,17	16,79	13,82
												14,19

(continua)

Tabela 15. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos em três relações massa de uréia/massa de aditivo (continuação).

Dias	Sulfato ferroso										Cloreto férrico									
	Relação 3:1					Relação 1:1					Relação 2:1					Relação 2:1				
	1	2	3	Média		1	2	3	Média		1	2	3	Média		1	2	3	Média	
	mg de N-NH ₃ /dia																			
1	0,84	0,39	0,25	0,49	0,84	0,78	0,45	0,64	0,34	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32		0,34	0,31	0,31	0,31	0,32
2	1,26	1,06	0,92	1,08	1,60	1,40	1,26	1,42	0,59	0,73	0,81	0,71	0,71	0,71		0,59	0,73	0,81	0,71	0,71
3	1,93	1,54	1,37	1,61	3,11	2,66	2,51	2,76	0,59	1,15	1,48	1,17	1,17	1,17		0,59	1,15	1,48	1,17	1,17
4	1,37	1,68	1,32	1,46	3,05	2,72	2,99	2,92	1,59	0,95	1,40	1,06	1,06	1,06		1,59	0,95	1,40	1,06	1,06
5	1,34	1,20	1,04	1,19	2,24	2,04	2,02	2,10	0,83	1,12	1,12	1,10	1,10	1,10		0,83	1,12	1,12	1,10	1,10
6	1,15	1,12	0,90	1,06	1,85	1,71	1,46	1,67	1,07	0,95	1,06	1,01	1,01	1,01		1,07	0,95	1,06	1,01	1,01
7	1,04	1,04	0,84	0,97	1,60	1,48	1,20	1,43	1,02	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89		1,02	0,90	0,90	0,89	0,89
8	1,01	0,87	0,87	0,92	1,48	1,29	1,01	1,26	0,86	0,87	0,84	0,84	0,84	0,84		0,86	0,87	0,84	0,84	0,84
9	0,70	0,62	0,90	0,70	1,06	0,87	0,80	0,96	0,80	0,62	0,62	0,61	0,61	0,61		0,80	0,62	0,62	0,61	0,61
10	0,59	0,56	0,53	0,56	0,76	0,78	0,70	0,75	0,58	0,59	0,62	0,55	0,55	0,55		0,58	0,59	0,62	0,55	0,55
11	0,76	0,59	0,59	0,65	0,97	0,98	0,86	0,94	0,62	0,76	0,62	0,67	0,67	0,67		0,62	0,76	0,62	0,67	0,67
12	0,57	0,38	0,41	0,45	0,57	0,55	0,49	0,54	0,43	0,50	0,52	0,48	0,48	0,48		0,43	0,50	0,52	0,48	0,48
13	0,57	0,38	0,41	0,45	0,57	0,55	0,49	0,54	0,43	0,50	0,52	0,48	0,48	0,48		0,43	0,50	0,52	0,48	0,48
14	0,39	0,27	0,32	0,33	0,51	0,35	0,32	0,39	0,41	0,36	0,41	0,39	0,39	0,39		0,41	0,36	0,41	0,39	0,39
15	0,39	0,27	0,32	0,33	0,51	0,35	0,32	0,39	0,41	0,36	0,41	0,39	0,39	0,39		0,41	0,36	0,41	0,39	0,39
18	0,87	0,81	0,72	0,80	1,08	0,81	0,72	0,87	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02		1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
20	0,26	0,26	0,22	0,25	0,48	0,62	0,54	0,54	0,42	0,44	0,42	0,43	0,43	0,43		0,42	0,44	0,42	0,43	0,43
22	0,08	0,14	0,14	0,12	0,16	0,16	0,14	0,15	0,20	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21		0,20	0,22	0,22	0,21	0,21
Total	15,12	13,18	12,07	13,46	22,44	20,10	18,28	20,27	12,07	12,35	13,30	12,57	12,57	12,57		12,07	12,35	13,30	12,57	12,57

(continua)

Tabela 15. Perdas diárias de amônia por volatilização, em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos em três relações massa de uréia/massa de aditivo (continuação).

Cloreto férrico				
Dias	Relação 3:1			Média
	1	2	3	
mg de N-NH3/dia				
1	0,11	0,15	0,10	0,12
2	0,36	0,41	0,30	0,36
3	0,42	0,57	0,38	0,62
4	1,14	1,12	1,22	1,16
5	0,56	0,64	0,51	0,57
6	0,53	0,64	0,51	0,56
7	0,48	0,62	0,42	0,51
8	0,48	0,60	0,32	0,37
9	0,39	0,42	0,30	0,37
10	0,36	0,39	0,30	0,35
11	0,36	0,36	0,31	0,34
12	0,32	0,36	0,21	0,30
13	0,32	0,36	0,21	0,30
14	0,29	0,25	0,21	0,25
15	0,29	0,25	0,20	0,25
18	0,87	0,87	0,87	0,87
20	0,38	0,34	0,30	0,34
22	0,26	0,26	0,22	0,25
Total	7,92	8,61	6,89	7,81

Tabela 16. Perdas totais e percentuais de amônia por volatilização em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos em três relações massa de uréia/massa de aditivo, por vinte e dois dias.

Tratamentos	Perdas totais				Perdas percentuais			
	mgN-NH ₄			Média ^a				Média ^a
	1	2	3		1	2	3	
Testemunha	26,55	25,11	27,24	26,30aA	32,63	30,86	33,47	32,32aA
Relação 1:1								
Superfosfato simples	20,01	22,39	25,44	22,61bA	24,59	27,51	31,26	27,78bCA
Superfosfato triplo	27,69	26,78	25,42	26,63aA	34,03	32,91	31,24	32,72aA
Fosfato monoamônico	27,04	28,74	28,00	27,33aA	33,23	35,32	34,67	34,41aA
Sulfato ferroso	20,23	24,52	21,75	22,17bCA	24,86	26,72	26,73	26,10bA
Cloreto férrico	22,44	20,10	18,28	20,27cA	27,58	24,70	22,46	24,91bA
Relação 2:1								
Superfosfato simples	22,01	21,01	22,23	21,75bA	27,04	25,82	27,32	26,73bA
Superfosfato triplo	26,75	23,52	26,87	25,71aA	32,87	28,90	33,02	31,59aA
Fosfato monoamônico	23,29	26,61	28,74	26,21aA	28,62	32,70	35,32	32,21aAB
Sulfato ferroso	16,79	11,97	13,82	14,19cB	20,63	14,71	16,98	17,44cB
Cloreto férrico	12,47	12,35	13,30	12,57cB	15,32	15,18	16,34	15,61cB
Relação 3:1								
Superfosfato simples	20,89	19,96	23,05	21,31bA	25,67	24,53	28,32	26,19bCA
Superfosfato triplo	20,52	18,27	18,13	19,78cB	25,22	22,45	22,28	23,91cB
Fosfato monoamônico	24,50	23,31	22,04	23,28bB	30,11	28,64	27,08	28,61abB
Sulfato ferroso	15,12	13,18	12,07	13,46dC	18,58	16,20	14,83	16,54dB
Cloreto férrico	7,92	8,61	6,89	7,81eC	9,73	10,58	8,47	9,59eC
dms				2,23				4,54
CV%				7,72				7,42

^a Em cada aditivo, letras maiúsculas (dms 1,90 mg N-NH₄ e 3,98%) compara o efeito de relações e, em cada relação, letras minúsculas compara o efeito de aditivos, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 17. Análise de variância das perdas totais de amônia por volatilização, obtidas do terceiro experimento.

Causa de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	17	1715,8296	100,9312	37,24**
Resíduo	36	97,5598	2,7100	
Total	53	1813,3894		
Aditivos (A)	5	1198,5205	239,7041	88,45**
Relações (R)	2	303,4807	151,7404	55,99**
Interação A x R	10	213,8284	21,3828	7,89**
Aditivo dentro 1:1	5	138,5687	27,7137	10,23**
Aditivo dentro 2:1	5	579,0865	115,8173	42,74**
Aditivo dentro 3:1	5	694,6935	138,9387	51,27**
Relações dentro do SS	2	2,6767	1,3364	0,49ns
Relações dentro do ST	2	104,8925	52,4463	19,35**
Relações dentro do MAP	2	33,0810	16,5405	6,10**
Relações dentro do SF	2	139,9808	69,9904	25,83**
Relações dentro do CF	2	236,6822	118,3411	43,67**

Tabela 18. Análise de variância das porcentagens de perdas de amônia por volatilização, obtidas no terceiro experimento.

Causa de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	17	2592,3283	152,4899	40,53**
Resíduo	36	127,4011	3,9813	664,28**
Total	53	2727,7510		
Aditivos (A)	5	1853,6930	370,7386	98,56**
Relações (R)	2	435,6048	217,8024	57,90**
A x R	10	303,0305	30,3031	8,06**
Aditivo dentro 1:1	5	233,0590	46,6118	12,39**
Aditivo dentro 2:1	5	877,6611	175,5322	46,66**
Aditivo dentro 3:1	5	1049,0033	209,8007	55,77**
Relações dentro SS	2	4,0326	2,0163	0,54ns
Relações dentro ST	2	158,3834	79,1917	21,05**
Relações dentro MAP	2	51,3961	25,6981	13,13**
Relações dentro SF	2	167,3905	83,6953	21,02**
Relações dentro CF	2	357,4328	178,7164	47,51**

Tabela 19. Valores de pH da camada superficial (0,0-0,5cm) de amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos em três relações massa de uréia/massa de aditivo, em cinco épocas.

Tratamentos	épocas											
	Duas horas			Terceiro dia			Oitavo dia					
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
Testemunha	8,21	8,39	8,25	8,28	8,62	8,68	8,65	8,65	8,06	8,07	8,05	8,06
Superfosfato simples												
relação 1:1	7,79	7,79	7,80	7,73	8,42	8,52	8,47	8,47	7,78	7,96	7,80	7,85
relação 2:1	7,49	7,31	7,40	7,40	8,22	8,38	8,30	8,30	7,65	7,90	7,70	7,75
relação 3:1	7,15	7,02	7,10	7,09	8,34	8,27	8,25	8,29	7,66	7,92	7,71	7,76
Superfosfato triplo												
relação 1:1	7,75	7,72	7,73	8,53	8,65	8,65	8,59	8,63	7,79	8,00	8,01	7,93
relação 2:1	7,63	7,37	7,50	7,50	8,50	8,23	8,36	8,50	7,69	7,87	7,89	7,82
relação 3:1	7,02	7,21	7,11	7,11	8,21	8,39	8,30	8,30	7,77	7,77	7,80	7,78
Fosfato monoamônico												
relação 1:1	7,57	7,48	7,52	7,52	8,58	8,61	8,60	8,60	7,85	8,12	7,89	7,95
relação 2:1	7,42	7,01	7,21	7,21	8,38	8,18	8,30	8,45	7,79	7,76	7,78	7,78
relação 3:1	6,84	6,86	6,85	6,85	8,12	7,82	8,10	7,92	7,70	7,77	7,76	7,74
Sulfato ferroso												
relação 1:1	7,69	7,51	7,60	7,60	8,50	8,48	8,49	8,49	7,83	7,93	7,88	7,88
relação 2:1	6,80	6,44	6,50	6,58	8,16	8,10	8,12	8,13	7,82	7,72	7,78	7,77
relação 3:1	6,28	6,39	6,33	6,33	7,88	8,10	8,10	8,04	7,63	7,66	7,64	7,64
Cloreto férrico												
relação 1:1	6,99	6,86	6,92	6,92	8,22	8,50	8,36	8,36	7,71	7,85	7,78	7,78
relação 2:1	6,11	6,01	6,06	6,06	7,61	7,46	7,36	8,16	7,56	7,51	7,54	7,54
relação 3:1	5,85	5,15	5,50	5,50	7,22	6,54	6,56	6,77	7,35	7,67	7,45	7,49

(continua)

(continua)

Tabela 19. Valores de pH da camada superficial (0,0-0,5cm) de amostras Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos em três relações massa de uréia/massa de aditivo, em cinco épocas (continuação).

Tratamentos	épocas						
	Décimo terceiro dia			Décimo oitavo dia			Média
	1	2	3	Média	1	2	3
Testemunha	7,76	7,63	7,68	7,69	7,82	7,23	7,55
Superfosfato simples							
relação 1:1	7,44	7,49	7,45	7,46	7,47	7,10	7,28
relação 2:1	7,39	7,41	7,40	7,40	7,38	7,15	7,25
relação 3:1	7,32	7,62	7,38	7,44	7,11	7,42	7,23
Superfosfato triplo							
relação 1:1	7,52	7,52	7,54	7,53	7,00	7,31	7,16
relação 2:1	7,28	7,28	7,30	7,29	7,22	7,34	7,28
relação 3:1	7,42	7,50	7,40	7,44	7,17	7,17	7,17
Fosfato monoamônico							
relação 1:1	7,45	7,77	7,60	7,61	6,91	7,34	7,18
relação 2:1	7,39	7,57	7,49	7,48	7,30	7,59	7,49
relação 3:1	7,53	7,48	7,52	7,51	7,56	7,38	7,47
Sulfato ferroso							
relação 1:1	7,41	7,51	7,48	7,47	7,38	7,17	7,27
relação 2:1	7,52	7,52	7,53	7,52	7,54	7,37	7,43
relação 3:1	7,47	7,38	7,42	7,42	7,49	7,09	7,29
Cloreto férrico							
relação 3:1	7,42	7,46	7,43	7,44	7,52	7,23	7,38
relação 2:1	7,56	7,45	7,57	7,58	7,42	7,48	7,45
relação 3:1	7,52	7,45	7,47	7,48	7,41	7,25	7,30

Tabela 20. Análise de variância dos valores de pH da camada superficial (0,0-0,5cm) de amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica, avaliadas em cinco épocas no período experimental do terceiro experimento.

Causa de variação	GL	SQ	QM	F
2 horas				
Tratamentos	17	0,5921	0,0348	7,10**
Resíduo	36	0,1746	0,0049	
Total	53	0,7667		
3 dias				
Tratamentos	17	30,2516	1,7795	11,22**
Resíduo	36	0,5443	0,0160	
Total	53	30,8259		
8 dias				
Tratamentos	17	11,4074	0,6710	42,20**
Resíduo	36	0,5732	0,0159	
Total	53	11,9896		
13 dias				
Tratamentos	17	1,3465	0,0792	10,85**
Resíduo	36	0,2642	0,0073	
Total	53	1,6107		
18 dias				
Tratamentos	17	0,8940	0,0526	1,80ns
Resíduo	36	1,0509	0,0292	
Total	53	1,9449		

Tabela 21. Valores médios de pH da camada superficial (0,0-0,5cm), em amostras de Terra Roxa Estruturada eutrófica tratadas com uréia, por efeito de cinco aditivos em três relações massa de uréia/massa de aditivo, em cinco épocas¹.

Tratamentos	épocas				
	Duas horas	Três dias	Oito dias	Treze dias	Dezoito dias
Testemunha	8,28b	8,65a	8,06a	7,69a	7,53a
Relação 1:1					
Superfosfato simples	7,73c	8,47abc	7,85abcd	7,46abc	7,28a
Superfosfato triplo	8,53a	8,63ab	7,93abc	7,53abc	7,16a
Fosfato monoamônico	7,52cd	8,60ab	7,95ab	7,61ab	7,46a
Sulfato ferroso	7,60cd	8,49abc	7,88abcd	7,47abc	7,27a
Cloreto férrico	6,92gh	8,36abcd	7,78abcd	7,44abc	7,38a
Relação 2:1					
Superfosfato simples	7,40de	8,30abcde	7,75abcd	7,40bc	7,26a
Superfosfato triplo	7,50d	8,50abc	7,82abcd	7,29c	7,28a
Fosfato monoamônico	7,21ef	8,45abc	7,78abcd	7,48abc	7,47a
Sulfato ferroso	6,58i	8,13cde	7,77abcd	7,52abc	7,45a
Cloreto férrico	6,06k	8,16cde	7,54cd	7,58ab	7,45a
Relação 3:1					
Superfosfato simples	7,09fg	8,29abcde	7,76abcd	7,44abc	7,25a
Superfosfato triplo	7,11fg	8,30abcde	7,78abcd	7,44abc	7,17a
Fosfato monoamônico	6,85h	7,92e	7,74abcd	7,51abc	7,47a
Sulfato ferroso	6,33j	8,04de	7,64bcd	7,42bc	7,29a
Cloreto férrico	5,50l	6,77f	7,49d	7,48abc	7,32a
dms	0,21	0,39	0,39	0,26	0,52
CV%	0,97	1,53	1,53	1,14	2,53

¹ Em cada coluna, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.