

# SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

## CONTROLE DA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM COMPOSTAGEM, MEDIANTE ADIÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA E SUPERFOSFATOS COM DIFERENTES NÍVEIS DE ACIDEZ RESIDUAL<sup>(1)</sup>

L. I. PROCHNOW<sup>(2)</sup>, C. F. CUNHA<sup>(3)</sup>, J. C. KIEHL<sup>(2)</sup> & J. C. ALCARDE<sup>(4)</sup>

### RESUMO

Tem sido recomendada a adição de superfosfato simples ou gesso agrícola nas pilhas de esterco e de outros resíduos orgânicos, com a finalidade de reduzir as perdas de amônia por volatilização durante a compostagem. Experimentos, contudo, têm mostrado resultados divergentes, quando avaliam a eficiência desses produtos e as doses em que devem ser aplicados. É provável que variações na acidez residual do gesso e do superfosfato simples possam explicar essas divergências. Para verificar essa hipótese, realizou-se um experimento, utilizando, como aditivos, o gesso agrícola, o superfosfato simples e o superfosfato triplo, cada um com dois valores de acidez residual (respectivamente, 0,13 e 0,20%; 7,02 e 2,36%; 2,38 e 1,86%). Em frascos de vidro de 1,6 litro de capacidade, foram colocados 10 g de substrato orgânico obtido por mistura de quantidades iguais, em massa, de esterco secos e frescos de galinha e de gado. Os aditivos foram misturados ao substrato em doses equivalentes a 0, 50, 100, 150 e 200 kg t<sup>-1</sup>. A quantidade de amônia perdida por volatilização foi determinada aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias, coletando-se o gás em solução de ácido sulfúrico encerrada em pequeno recipiente colocado no interior do frasco e titulando-se o ácido remanescente após o período de exposição à amônia, com solução de NaOH 0,01 mol L<sup>-1</sup>. As amostras de gesso agrícola estudadas não se mostraram eficientes em reduzir a volatilização de amônia da mistura de esterco. O superfosfato simples diminuiu a volatilização de NH<sub>3</sub> em até 4,8 vezes, tendo sido a amostra com maior acidez residual a mais eficiente. O superfosfato triplo foi o aditivo mais eficiente no controle da volatilização de NH<sub>3</sub>, quando aplicado em doses baixas, igualando-se ao superfosfato simples na maior dose. Aparentemente, a ação dos aditivos deveu-se à formação de compostos amoniacais mais estáveis por meio de reações do gás NH<sub>3</sub> com ácidos e, ou, fosfato monocálcico presentes naqueles produtos.

**Termos de indexação:** perdas de amônia, superfosfato simples, superfosfato triplo, esterco de galinha, esterco de gado.

<sup>(1)</sup> Trabalho de Iniciação Científica realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP. Recebido para publicação em março de 1999 e aprovado em outubro de 2000.

<sup>(2)</sup> Professor do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: liprochn@carpa.ciagri.usp.br e jdckiehl@carpa.ciagri.usp.br

<sup>(3)</sup> Graduando do Curso de Engenharia Agrônoma da ESALQ/USP.

<sup>(4)</sup> Professor do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP.

**SUMMARY:** *CONTROLLING AMMONIA LOSSES DURING COMPOSTING BY ADDING PHOSPHOGYPSUM AND SUPERPHOSPHATES WITH DIFFERENT LEVELS OF RESIDUAL ACIDITY*

*Adding simple superphosphate or phosphogypsum to piles of manure or other organic residues has been recommended to reduce losses of ammonia by volatilization during composting. However, experiments have shown discrepant results when the efficiency of these additives and the adequate rate of application are evaluated. This discrepancy could possibly be explained by differences in the residual acidity of the additives utilized in those experiments. To check this hypothesis, a laboratory experiment was carried out using samples of phosphogypsum, simple superphosphate and triple superphosphate, each of which having two different levels of residual acidity (respectively 0.13 and 0.20%; 7.02 and 2.36%; 2.38 and 1.86%). Ten grams of an organic substrate obtained by mixing equal amounts (on a weight basis) of fresh chicken manure and cattle manure were placed in 1.6 L glass flasks. The additives were mixed to the substrate in rates of 0, 50, 100, 150 and 200 kg t<sup>-1</sup>. The amount of ammonia lost by volatilization was determined after 7, 14, 21, 28, 35 and 42 days by trapping the gas in a sulfuric acid solution placed in a small glass vial, maintained inside the flask. The acid remaining after the exposure to ammonia was determined by titration with 0.01 mol L<sup>-1</sup> NaOH solution. The studied phosphogypsum samples showed to be ineffective in reducing ammonia loss from the manure. Simple superphosphate decreased the volatilization up to 4.8 times, with the sample with higher acidity being more effective. Triple superphosphate was the additive that best controlled NH<sub>3</sub> volatilization when applied in low rates, but in the highest rate its efficiency was similar to that of simple superphosphate. It is suggested that the additives reduced volatilization because more stable ammonium compounds were formed by reactions of the NH<sub>3</sub> gas with acids and, or, monocalcium phosphate found in those products.*

*Index terms: simple superphosphate, triple superphosphate, manure composting, chicken manure, cattle manure.*

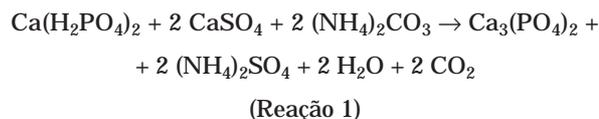
## INTRODUÇÃO

A compostagem constitui importante técnica para o aproveitamento de resíduos orgânicos, muitas vezes obtidos como subproduto da atividade agrícola. Um dos problemas que ocorrem durante o processo de compostagem de certos resíduos orgânicos, como os esterco, é o da liberação de nitrogênio na forma de amônia (NH<sub>3</sub>) para a atmosfera.

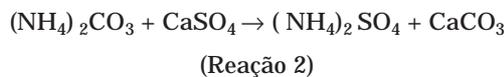
Terman (1979) relatou substanciais perdas de amônia, maiores que 50%, em fertilizantes nitrogenados e compostos orgânicos aplicados na superfície do solo. Segundo Freney et al. (1988), esse processo de perda de nitrogênio é de extrema importância, seja para compostos orgânicos, seja para fertilizantes nitrogenados, pois pode variar de 9% a até 86% do N-fertilizante aplicado.

Várias tentativas têm sido feitas para minimizar a perda de amônia durante a compostagem, sendo uma das mais antigas a adição de superfosfato simples (Collings, 1955). No caso de a amônia ser proveniente da uréia, o efeito do superfosfato simples pode ser explicado pela formação de um sal

amoniaco mais estável que o carbonato de amônio (Teuscher & Adler, 1965):



Teuscher & Adler (1965) indicaram, ainda, a utilização de gesso para minimizar a volatilização de amônia e apresentaram a reação para explicar o mecanismo de controle:



Quanto à dose a ser aplicada, Malavolta sugeriu 50 kg (Malavolta, 1967) ou 25 kg (Malavolta, 1979) de superfosfato simples ou de gesso por tonelada de resíduo a ser compostado. Tibau (1983) recomendou gesso ou superfosfato simples na quantidade de 12,5 kg por tonelada de esterco. Trani (1981) apresentou um quadro com quantidades de superfosfato simples a serem aplicadas em diferentes

esterco animais, para controlar a perda de amônia. De acordo com Kiehl (1985), o gesso agrícola pode ser espalhado no estábulo em quantidades expressas em quilogramas por animal: de 1,0 a 1,5, para eqüinos; de 1,0 a 2,0, para bovinos; de 0,5, para ovelhas ou suínos, e de 0,1 a 0,2, para frangos.

Apesar de o superfosfato simples e o gesso agrícola serem amplamente recomendados para controlar as perdas de nitrogênio dos esterco, pesquisas têm mostrado resultados contraditórios com relação à eficiência e doses por aplicar. Reduções na volatilização de  $\text{NH}_3$  de 56% para 3% foram obtidas por Trani (1981) com a adição de 30 kg de superfosfato simples em pó por tonelada de esterco fresco. Aziz et al. (1988) observaram que o gesso agrícola, dentre vários produtos, era o mais eficiente para controlar a volatilização do nitrogênio a partir da uréia. Gameh & Abu (1992) obtiveram uma redução na perda de amônia de 34% para 19% com a adição de superfosfato simples à uréia aplicada à cultura do trigo. Zhao & Lin (1990) constataram que o gesso teve grande efeito inibidor da volatilização de amônia do solo.

Glória et al. (1991), comparando o efeito da adição de superfosfato simples em pó e granulado, gesso agrícola, fosfato natural parcialmente acidulado e fosfato natural na perda de amônia do esterco de galinha, verificaram que o superfosfato simples em pó e o gesso agrícola foram efetivos no controle das perdas, mas enfatizaram que as quantidades desses produtos, recomendadas por Malavolta et al. (1979) e Trani (1981), são insuficientes para restringir a perda de amônia por volatilização. Prochnow et al. (1995) verificaram maior eficiência do gesso agrícola em relação ao superfosfato simples e confirmaram a observação de Glória et al. (1991) sobre as quantidades insuficientes de superfosfato simples e gesso que têm sido recomendadas.

Bayrakli (1990) também demonstrou ser o gesso agrícola mais eficiente na diminuição das perdas de amônia da uréia, quando comparado a inibidores da urease e ao  $\text{CaCl}_2$ . Por outro lado, alguns resultados têm demonstrado a ineficiência do gesso agrícola em controlar as perdas de amônia da uréia aplicada em solos (Tennessee Valley Authority, 1978; Fenn et al., 1981; Kiehl, 1989; Gezgin & Bayrakli, 1995).

Pelo exposto, constata-se que os resultados na literatura são contraditórios com relação à eficiência do superfosfato simples e do gesso agrícola no controle das perdas de amônia por volatilização, bem como às doses por aplicar desses produtos. É possível que as divergências nos resultados se devam a diferenças na acidez residual desses materiais (Alcarde, 1996<sup>(5)</sup>),

uma vez que um dos possíveis mecanismos de controle é a reação do  $\text{NH}_3$  com o  $\text{H}^+$  livre proveniente de ácidos remanescentes do ataque da rocha fosfática.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de doses e da acidez residual do gesso agrícola, do superfosfato simples e do superfosfato triplo no controle das perdas de amônia por volatilização de mistura de esterco de galinha e de gado.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de 5 de abril a 17 de maio de 1997, em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos, em arranjo fatorial, consistiram de seis aditivos aplicados ao substrato orgânico em doses equivalentes a 0, 50, 100, 150 e 200  $\text{kg t}^{-1}$ . O substrato foi obtido pela mistura de quantidades iguais, em massa, de esterco seco fresco de galinha e de gado. Os esterco e a mistura foram analisados e os resultados estão apresentados no quadro 1.

Os aditivos consistiram de duas amostras de gesso agrícola (GA1 e GA2), duas de superfosfato simples (SS1 e SS2) e duas de superfosfato triplo (ST1 e ST2), com os respectivos níveis de acidez residual ou livre: 0,13 e 0,20%; 7,02 e 2,36%; e 2,38 e 1,86%. Essa acidez foi determinada por extração com acetona, sob agitação durante 30 min, seguida de filtração e titulação do extrato com  $\text{NaOH}$  0,1  $\text{mol L}^{-1}$  na presença de fenolftaleína. O superfosfato triplo foi incluído para isolar os efeitos da acidez e do gesso.

A mistura de substrato e aditivo, após ter sua umidade elevada a 1.500  $\text{g kg}^{-1}$ , foi transferida para frascos de vidro de 1,6 L de boca larga, na quantidade de 10 g. Um pequeno copo plástico de 50 mL com 10 mL de ácido sulfúrico 0,1  $\text{mol L}^{-1}$  e algumas gotas do indicador laranja de metila foi colocado dentro de cada frasco de vidro, a fim de captar a amônia volatilizada. O indicador tinha por finalidade acusar a aproximação do ponto de saturação do ácido e, assim, evitar que parte da amônia não fosse captada. Os frascos foram fechados com tampas plásticas dotadas de anel de vedação. Após 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias, as soluções de ácido foram trocadas, procedendo-se, então, a titulação com solução de  $\text{NaOH}$  0,01  $\text{mol L}^{-1}$  e o cálculo da quantidade de amônia volatilizada pela diferença entre a quantidade de ácido adicionada aos frascos e a quantidade remanescente após a exposição ao  $\text{NH}_3$ .

As quantidades totais de  $\text{NH}_3$  volatilizadas, calculadas pela soma das perdas semanais, foram submetidas à análise de variância. O efeito dos aditivos foi avaliado pelo teste de Tukey a 5% e o de doses, por regressão polinomial.

<sup>(5)</sup> ALCARDE, J.C. (USP, ESALQ, Departamento de Ciências Exatas). Comunicação pessoal, 1996.

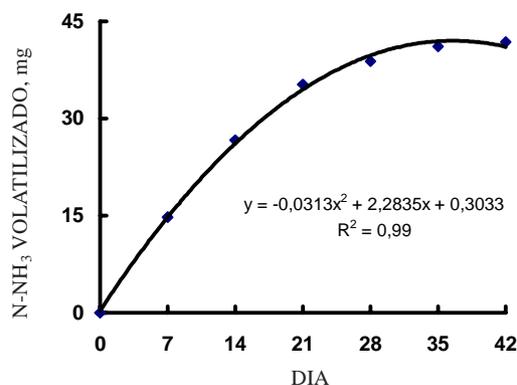
**Quadro 1. Propriedades químicas dos materiais orgânicos utilizados no experimento**

Característica	Esterco fresco de galinha (A)	Esterco fresco de gado (B)	Mistura A + B
pH em CaCl <sub>2</sub> 0,01 mol L <sup>-1</sup>	7,4	8,3	7,7
Matéria orgânica total, g kg <sup>-1</sup>	617	739	675
Matéria orgânica compostável, g kg <sup>-1</sup>	557	702	630
Carbono total, g kg <sup>-1</sup>	343	411	375
Carbono orgânico, g kg <sup>-1</sup>	309	390	350
Resíduo mineral total, g kg <sup>-1</sup>	383	261	325
Nitrogênio total (N), g kg <sup>-1</sup>	31	23	28
Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), g kg <sup>-1</sup>	70	22	53
Potássio total (K <sub>2</sub> O), g kg <sup>-1</sup>	50	30	41
Cálcio total (Ca), g kg <sup>-1</sup>	103	20	61
Magnésio total (Mg), g kg <sup>-1</sup>	7	5	6
Enxofre total (S), g kg <sup>-1</sup>	10	3	6
Relação C/N <sup>(2)</sup>	10	17	13

<sup>(1)</sup> Resultados obtidos do material seco. <sup>(2)</sup> Relação entre C orgânico e N total.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A volatilização de amônia foi maior durante as três primeiras semanas, período em que ocorreram 84% das perdas (Figura 1). Quando nenhum aditivo foi aplicado, a quantidade total de N-NH<sub>3</sub> volatilizada durante os 42 dias foi de 41,8 mg (Figura 1), o que corresponde a 15% da quantidade total de N na amostra do composto. Este percentual é inferior aos 51% obtidos por Prochnow et al. (1995) em estudo similar, provavelmente devido a diferenças de temperatura, uma vez que este último foi realizado em dezembro.



**Figura 1. Perdas acumuladas de amônia durante a compostagem de uma mistura de esterco de galinha e de gado, sem emprego de aditivos.**

A análise da variância para as quantidades totais de N-NH<sub>3</sub> evoluídas durante os 42 dias revelou efeito significativo para a interação aditivos x doses. As amostras de gesso agrícola não reduziram a evolução de amônia, mesmo quando aplicadas na dose de 200 kg t<sup>-1</sup> (Quadro 2); é possível que esse fato se deva à baixa acidez residual do material.

Alguns autores têm atribuído ao ânion sulfato, presente no gesso agrícola e no superfosfato simples, o efeito inibidor da volatilização de amônia de esterco ou compostos (Teuscher & Adler, 1965). Todavia, os resultados aqui obtidos rejeitam essa hipótese, discordando ainda das observações de Aziz et al. (1988), Bayrakli (1990), Zhao & Lin (1990), Glória et al. (1991) e Prochnow et al. (1995), os quais conseguiram resultados favoráveis com aplicações de gesso. Por outro lado, os resultados do presente estudo concordam com os de Tennessee Valley Authority (1978), Fenn et al. (1981), Kiehl (1989) e Gezgin & Bayrakli (1995), nos quais não foi detectado efeito do gesso.

O mecanismo de ação do gesso apresentado por Teuscher & Adler (1965), baseado na formação de um sal amoniacal mais estável que o carbonato de amônio (Reação 1), é improvável que ocorra, porque o sulfato de cálcio, sendo menos solúvel que o sulfato de amônio, faria com que o equilíbrio da reação se deslocasse para a esquerda. Logo, é possível que a presença de níveis elevados de acidez residual no gesso agrícola possa explicar seu efeito sobre a volatilização de NH<sub>3</sub>, obtido em outros experimentos.

**Quadro 2. Perdas totais de amônia durante a compostagem de uma mistura de esterco de galinha e de gado tratada com diferentes doses de aditivos (amostras de gesso agrícola, GA1 e GA2; de superfosfato simples, SS1 e SS2; e de superfosfato triplo, ST1 e ST2), com diferentes graus de acidez residual<sup>(1)</sup>**

Aditivo	Acidez residual do aditivo	Dose de aditivo (kg t <sup>-1</sup> ) <sup>(2)</sup>			
		50	100	150	200
mg N-NH <sub>3</sub>					
GA1	0,13	41,4 ab	34,7 a	39,5 a	42,7 a
GA2	0,20	48,1 a	44,5 a	44,4 a	41,9 a
SS1	7,02	41,7 ab	16,6 b	14,3 bc	13,2 b
SS2	2,36	43,5 a	38,4 a	23,8 b	17,4 b
ST1	2,38	28,2 bc	16,9 b	14,8 bc	11,7 b
ST2	1,86	24,4 c	18,1 b	8,1 c	8,0 b

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente a 5%. <sup>(2)</sup> Perda de amônia sem adição de gesso ou fosfato = 41,8 mg de N-NH<sub>3</sub>.

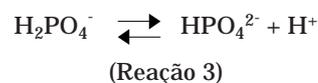
Na dose de 100 kg t<sup>-1</sup>, a amostra de superfosfato simples com maior acidez residual (SS1) reduziu a perda de amônia a menos da metade da verificada na amostra com menor acidez (SS2) (Quadro 2), mostrando que um dos mecanismos de controle da volatilização pode estar relacionado com a acidez do produto. Tal fato explicaria os resultados discordantes encontrados na literatura, tanto para o superfosfato simples quanto para o gesso. A figura 2 mostra que as perdas de amônia diminuíram acentuadamente com a dose de superfosfato simples e reforça o fato de ter sido esse efeito maior para a amostra SS1, com acidez residual mais elevada.

De forma geral, o superfosfato triplo foi o aditivo que proporcionou o maior controle na volatilização do NH<sub>3</sub> (Quadro 2). A ação deste produto foi comprovada já na menor dose (50 kg t<sup>-1</sup>), situação na qual o gesso agrícola e o superfosfato simples não exerceram efeito. Na dose maior, contudo, o efeito do superfosfato simples igualou-se ao do superfosfato triplo. A figura 3 mostra que a volatilização de amônia diminuiu em mais de cinco vezes com o aumento da dose de superfosfato triplo até 200 kg t<sup>-1</sup> e que a eficiência das amostras ST1 e ST2 foi praticamente a mesma.

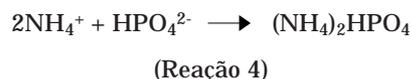
Como os índices de acidez residual das amostras ST1 e ST2 eram baixos, a elevada eficiência do superfosfato triplo em controlar a volatilização de NH<sub>3</sub> pode ser explicada pelo efeito do fosfato monocálcico presente nesses adubos. Kiehl (1989), estudando a eficiência de sais inorgânicos em controlar as perdas de amônia provenientes da uréia aplicada ao solo, verificou que, dos onze sais estudados, o Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> foi o mais eficiente e que essa eficiência estava relacionada com a maior

capacidade desse composto em baixar o pH do solo. Testes realizados pelo autor mostraram que o Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> provocou decréscimos de pH em todos os quatro solos estudados e que chegaram a 3,1 unidades.

A acidificação é causada pela tendência de o íon ortofosfato primário se decompor em ortofosfato secundário e íon H<sup>+</sup> sob valores de pH normalmente encontrados em solos:

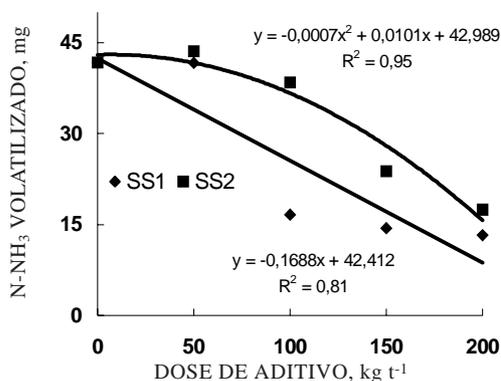


A reação prossegue até que o pH seja suficientemente baixo para permitir a estabilidade do ortofosfato primário. Na presença de amônia, esta reage com os íons H<sup>+</sup>, formando-se NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, que, por sua vez, reage com o ortofosfato secundário e produz o sal estável fosfato diamônico:

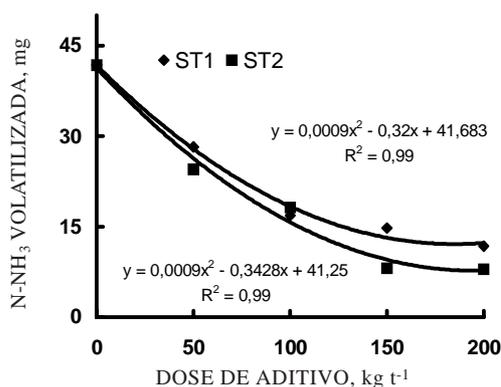


Os resultados obtidos levam a supor que o efeito do gesso agrícola em controlar as perdas de amônia por volatilização seja devido à sua acidez residual, enquanto os aditivos que contêm fosfato monocálcico contam com a acidez gerada pela decomposição desse sal, além da própria acidez residual.

Novos estudos devem ser realizados com aditivos que contenham diferentes índices de acidez residual, para verificar até que ponto essa característica química influi na eficiência desses produtos em controlar a volatilização de amônia durante a compostagem de resíduos orgânicos.



**Figura 2. Efeito de doses de superfosfato simples com dois níveis de acidez residual (SS1 = 7,02% e SS2 = 2,36%) na volatilização de amônia, durante a compostagem de uma mistura de esterco de galinha e de gado.**



**Figura 3. Efeito de doses de superfosfato triplo com dois níveis de acidez residual (ST1 = 2,38% e ST2 = 1,86%) na volatilização de amônia, durante a compostagem de uma mistura de esterco de galinha e de gado.**

## CONCLUSÕES

1. O gesso agrícola não se mostrou eficiente em reduzir a volatilização de amônia da mistura de esterco.
2. O superfosfato simples diminuiu a volatilização de  $\text{NH}_3$  em até 4,8 vezes, tendo sido a amostra com maior acidez residual a mais eficiente.
3. O superfosfato triplo foi o aditivo mais eficiente no controle da volatilização de  $\text{NH}_3$ , quando aplicado em doses baixas, igualando-se ao superfosfato simples na maior dose.

## LITERATURA CITADA

AZIZ, F.G.; SALIH, H.M. & MOHAMMAD, B.I. A simple static method for measuring ammonia volatilized from calcareous soils treated with urea. *J. Agr. Water Res.*, 7:117-134, 1988.

BAYRAKLI, F. Ammonia volatilization losses from different fertilizers and effect of several urease inhibitors,  $\text{CaCl}_2$  and phosphogypsum on losses from urea. *Fert. Res.*, 23:147-150, 1990.

COLLINGS, G.H. Commercial fertilizers. 5.ed. New York, McGraw Hill Book, 1955. 617p.

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.*, 45:777-781, 1981.

FRENEY, J.R.; BLACK, A.S. & WILSON, J.R. Importance of ammonia volatilization as a loss process. *Adv. Nitr. Cycling Agr. Ecosystem.*, 11:156-173, 1988.

GAMEH, M.A. & ABU, Z.M. The effect of applying P or K fertilizers with urea on ammonia losses and wheat yield. *Assiut J. Agr. Sci.*, 23:249-264, 1992.

GEZGIN, S. & BAYRAKLI, F. Ammonia volatilization from ammonium sulphate, ammonium nitrate, and urea surface applied to winter wheat on a calcareous soil. *J. Plant Nut.*, 18:2483-2494, 1995.

GLÓRIA, N.A.; BARRETTO, M.C.V.; MORAES, C.J. & MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. Avaliação do gesso e de alguns fosfatos como inibidores da volatilização de amônia de esterco. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:297-301, 1991.

KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo, Agronômica Ceres, 1985. 492p.

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

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: adubos e adubação. 2.ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1967. 606p.

MALAVOLTA, E. ABC da adubação. 4. ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 256p.

PROCHNOW, L.I.; KIEHL, J.C.; PISMEL, F.S. & CORRENTE, J.E. Controlling ammonia losses during manure composting, with the addition of phosphogypsum and simple superphosphate. *Sci. Agr.*, 52:346-349, 1995.

TENNESSEE VALLEY AUTHORITY. New developments in fertilizer technology. 12th demonstration. Muscle Shoals, October 18-19, 1978.

TERMAN, G.L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. *Adv. Agr.*, 31:189-223, 1979.

TEUSCHER, H. & ADLER, R. El suelo y su fertilidad. Mexico, Companhia Editorial Continental, 1965. 510p.

TIBAU, A.O. Matéria orgânica e fertilidade do solo. 2.ed. São Paulo, Nobel, 1983. 220p.

TRANI, P.E. Emprego de superfosfato simples com esterco. Campinas, CATI, 1981. 5p. (Instrução prática, 215)

ZHAO, Y.H. & LIN, Z.G. Study of the suppressive effect of phosphogypsum on ammonium volatilization losses of urea in the soil. *J. Shangai Agr. College*, 8:271-279, 1990.