

Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório

Volatilization of N-NH₃ influenced by urea application forms, residue management and soil type in lab conditions

Luís Sangoi¹ Paulo Roberto Ernani² Vanderlei Adilson Lech³
Clair Rampazzo⁴

RESUMO

A volatilização de amônia (NH₃) é a principal perda de nitrogênio (N) responsável pela baixa eficiência da uréia aplicada na superfície do solo. Este trabalho objetivou avaliar os efeitos do modo de aplicação da uréia e da forma de manejo dos resíduos de aveia preta sobre a volatilização de amônia, em dois solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica, sob condições de laboratório. Foram conduzidos dois experimentos num Nitossolo Vermelho (NV) e num Neossolo Quartzarênico (NQ), contendo 520 e 50g kg⁻¹ de argila, respectivamente. Os tratamentos consistiram de três formas de manejo do fertilizante nitrogenado (sem N, uréia aplicada na superfície e uréia incorporada ao solo) e três métodos de manejo dos resíduos de aveia (sem palha, palha aplicada na superfície e palha incorporada ao solo). Utilizou-se o equivalente a 4,0mg ha⁻¹ de palha e 255kg ha⁻¹ de N. As unidades experimentais foram constituídas por colunas de PVC, contendo 1,47kg de solo argiloso e 2,1kg de solo arenoso. As colunas foram hermeticamente vedadas e a parte superior foi conectada, através de uma mangueira plástica, a frascos coletores com ácido sulfúrico. A quantidade de N-NH₃ volatilizada foi determinada por arraste de vapor, em diferentes períodos, após a implantação do experimento. A aplicação superficial da uréia proporcionou maior volatilização de N-NH₃ do que sua incorporação, nos dois solos. A manutenção da palha sobre a superfície do solo estimulou a perda de N-NH₃ no solo arenoso, independentemente da forma de aplicação da uréia ao solo. A perda de N-NH₃ foi numericamente maior e o período de máxima volatilização ocorreu antes no NQ, provavelmente devido ao menor teor de argila, à matéria orgânica e à menor capacidade de troca de cátions, relativamente ao NV.

Palavras-chave: volatilização de amônia, uréia, textura de solo.

ABSTRACT

Ammonia volatilization is the main N loss responsible for the low efficiency of urea applied to the soil surface. This experiment evaluated the effects of urea application method and black oat residue management on ammonia volatilization in two soils with different organic matter and clay contents under laboratory conditions. Two trials were conducted using an UDULT (UD) and a PSAMENT (PS), containing 520 and 50g kg⁻¹ of clay, respectively. Treatments included a factorial combination of three methods of nitrogen application (without N, urea broadcast on the soil surface and soil incorporated urea) and three oat residue management forms (without straw, superficial straw and soil incorporated straw). Rates equivalent to 4.0mg ha⁻¹ of oat straw and 255kg ha⁻¹ of N were used. The experiment was set using PVC columns as experimental units. Each column had 1.47kg of UD and 2.1kg of PS soil. The columns were hermetically sealed and connected through a plastic hose to glass collectors containing sulfuric acid. N-NH₃ volatilization was estimated in different days after treatment addition. Urea applied at the soil surface caused higher volatilization of N-NH₃ than urea incorporated, in both soils. In the sandy soil, volatilization was highest when oat straw was kept at the soil surface, regardless of the urea application method. N-NH₃ volatilization was numerically greater and faster in the soil with lower clay and organic matter content, probably due to a small cation exchange capacity.

Key words: ammonia volatilization, urea, soil texture.

¹Engenheiro Agrônomo, PhD, Professor da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Bolsista do CNPq, CP 281, 88520-000, Lages-SC Bolsista do CNPq. E-mail: a2ls@cav.udesc.br. Autor para correspondência.

²Engenheiro Agrônomo, PhD, Professor da UDESC. Bolsista do CNPq. E-mail: a2pre@cav.udesc.br.

³Engenheiro Agrônomo, aluno do Curso de Mestrado em Ciência do Solo da UDESC. Bolsista da CAPES

⁴Aluno do Curso de Agronomia da UDESC. Bolsista de Iniciação Científica do CNPq.

INTRODUÇÃO

A perda de nitrogênio (N) por volatilização de amônia (NH_3) para a atmosfera é um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência da uréia aplicada sobre a superfície do solo (BOUWMEESTER et al., 1985; RAUN & JOHSON, 1999). Para que haja volatilização de amônia, é necessário que exista no solo a presença simultânea de amônio e pH elevado. Essas condições ocorrem quando se aplica uréia ao solo, pois a hidrólise desse fertilizante eleva o pH ao redor dos grânulos (OUYANG et al., 1998; ERNANI et al., 2001), podendo ocasionar perdas por volatilização, principalmente se for aplicada sobre a superfície, sem incorporação, e as condições térmicas e hídricas forem favoráveis.

A quantidade de N perdido por volatilização, após a aplicação de uréia sobre a superfície do solo, pode atingir valores extremos de até 78 % do N aplicado (LARA CABEZAS et al., 1997). Essas perdas variam muito em função das condições climáticas e do tipo de solo (AL-KANANI et al., 1991) devido a variações nos teores de argila (AL-KANANI et al., 1991), matéria orgânica (RODRIGUES & KIEHL, 1986; SILVA et al., 1995), capacidade de troca de cátions (AL-KANANI et al., 1991), e cobertura vegetal (TISDALE et al., 1984).

A incorporação da uréia praticamente elimina a volatilização de amônia (RODRIGUES & KIEHL, 1986; SILVA et al., 1995; LARA CABEZAS et al., 2000) porque aumenta o contato entre o fertilizante e o solo, favorecendo a adsorção de NH_4^+ às cargas negativas. Além disto, ao se difundir para a atmosfera, a amônia encontra sítios com valores de pH menores que aqueles existentes ao redor dos grânulos e se transforma em amônio, que não é volátil. SILVA et al. (1995) trabalharam com três tipos de solo e observaram que a incorporação da uréia diminuiu em até 90 % as perdas de NH_3 , em relação à aplicação superficial.

A presença de resíduos culturais sobre a superfície do solo influencia a quantidade de nitrogênio que se perde através da volatilização de amônia, especialmente quando a uréia é aplicada superficialmente (VARSA et al., 1995). Isto é relevante principalmente no sistema de plantio direto (SPD), onde grande parte dos agricultores efetua a adubação de cobertura com uréia, em aplicações superficiais e a lanço. Além disso, o incremento do conteúdo de matéria orgânica (MO), verificado nas camadas superficiais do solo cultivado em SPD, tende a aumentar a população microbiana e a CTC (BAYER & MIELNICZUK, 1997). Com isto, tem-se maior atividade da urease, que cataliza a hidrólise da uréia, favorecendo a volatilização de NH_3 . A presença de resíduos vegetais

sobre a superfície no SPD também reduz o contato da uréia com o solo (MENGEL, 1996), diminuindo a adsorção de NH_4^+ aos colóides orgânicos e inorgânicos, e com isso facilitando a volatilização de amônia.

A análise do efeito de práticas culturais usualmente adotadas no SPD sobre a volatilização de amônia permitirá um melhor entendimento da dinâmica do nitrogênio no solo neste sistema de cultivo. Isto auxiliará na recomendação consistente de estratégias de fertilização nitrogenada específicas para cada situação de lavoura, possibilitando maximizar a eficiência de uso do N (ERNANI et al., 2002). Este trabalho objetivou avaliar o efeito da forma de aplicação da uréia e do manejo de resíduos de aveia preta (*Avena strigosa*) sobre a quantidade de amônia (NH_3) volatilizada, em solos com diferentes conteúdos de argila e de matéria orgânica, sob condições de laboratório.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Fertilidade do Solo da Faculdade de Agronomia da Universidade do Estado de Santa Catarina, em Lages, SC, no ano de 2000. Dois experimentos foram conduzidos, o primeiro num Nitossolo Vermelho (NV), coletado em área de campo nativo no município de Lages, com 48g kg^{-1} de MO e 520g kg^{-1} de argila; o segundo num Neossolo Quartzarênico (NQ), proveniente de campo nativo no município de Araranguá, com 8g kg^{-1} de MO e 50g kg^{-1} de argila. Por ocasião da coleta, os solos (NV e NQ) apresentavam, respectivamente, $\text{pH} = 4,9$ e $4,4$, saturação com bases = 23 e 10%, e CTC determinada a $\text{pH} 7,0 = 13,3$ e $3,2\text{cmol kg}^{-1}$. A seguir, adicionou-se calcário dolomítico nas doses equivalentes a 12ton ha^{-1} no NV e 1ton ha^{-1} no NQ, que elevou o $\text{pH-H}_2\text{O}$ após três meses de incubação para 6,1 e 6,0, respectivamente.

Os tratamentos consistiram na combinação de três formas de manejo do adubo nitrogenado (sem N, uréia aplicada na superfície e uréia incorporada ao solo) e três métodos de manejo dos resíduos de aveia preta (sem palha, palha aplicada na superfície e palha incorporada ao solo). Utilizou-se uma quantidade equivalente a $4,0\text{mg ha}^{-1}$ de palha de aveia preta por unidade experimental, coletada quando a cultura se encontrava em fase de florescimento. O resíduo de aveia foi fracionado em pedaços de aproximadamente 2 cm, antes de ser aplicado ao solo, e tinha uma relação C/N de 37. Para o N, adicionaram-se $2,55\text{mg cm}^{-2}$ de superfície de solo (200mg coluna^{-1} de N), equivalente a 255kg ha^{-1} de N. As unidades experimentais foram

constituídas por colunas de PVC, com 10cm de diâmetro e 30cm de altura. Cada coluna continha, em base seca, 1,47kg de solo argiloso ou 2,1kg de solo arenoso. A massa de solo foi definida de forma a proporcionar o mesmo volume para os dois solos em cada unidade experimental. Antes da aplicação dos tratamentos, adicionou-se água destilada aos solos, até atingir 80% da umidade retida na capacidade de campo. Nos tratamentos com palha e N incorporado, a incorporação foi feita logo após o umedecimento dos solos e antes do acondicionamento nas colunas. Em todas as unidades experimentais, adicionaram-se 50ml de água destilada sobre a superfície do solo, após a adição dos tratamentos. Utilizou-se o delineamento experimental completamente casualizado, com três repetições para cada tratamento.

As colunas foram hermeticamente vedadas nas duas extremidades por tampas de PVC e anéis de borracha. Entre a superfície do solo e a parte superior da coluna deixou-se uma altura de 4cm sem solo, que constituiu a câmara de volatilização. Na tampa superior foram feitos dois orifícios, aos quais se conectaram duas mangueiras de polietileno de 3mm de diâmetro. Através de uma delas, localizada na parte mediana da tampa, a de 30mm da superfície, injetou-se ar intermitentemente na câmara de volatilização. O fluxo de ar foi gerado por um compressor, conectado a uma mangueira central, com ramificações para cada unidade experimental. A outra mangueira, localizada na parte superior da tampa, ligou a câmara de volatilização a um frasco de vidro contendo 100ml de solução de ácido sulfúrico 1,0N, onde o ar contendo NH₃ foi borbulhado.

A quantidade de N volatilizado foi estimada no 1º, 3º, 6º, 9º, 16º, 24º e 30º dia após a implantação do experimento. Em cada uma destas épocas, trocaram-se os frascos com ácido sulfúrico. Determinou-se a quantidade de N-NH₃ volatilizada em cada coleta por arraste de vapor, em aparelho semi-micro-Kjehdahl, de acordo com TEDESCO et al. (1985). A quantidade total volatilizada foi obtida pelo somatório das quantidades volatilizadas em cada determinação.

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente através de análise de variância. A análise estatística foi realizada individualmente para cada solo, considerando o esquema fatorial 3 X 3. A magnitude dos efeitos dos tratamentos aplicados frente ao erro experimental foi testada através do teste F. Os valores de F obtidos para efeitos principais e interações foram considerados significativos ao nível de 5% (P<0,05). Quando alcançada significância estatística, a comparação de médias entre tratamentos foi realizada através do teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre a forma de aplicação da uréia e o manejo dos resíduos culturais de aveia preta para a quantidade de amônia volatilizada no Nitossolo Vermelho (Tabela 1). A aplicação superficial da uréia propiciou maior volatilização do que a sua incorporação. Quando a uréia foi aplicada sobre a superfície do solo, entretanto, apenas uma fração equivalente a 14,0% do N adicionado se perdeu na forma de amônia, na média dos três sistemas de manejo dos restos culturais de aveia. Esta perda é percentualmente menor do que a observada por RODRIGUES & KIEHL (1986) e LARA CABEZAS et al. (1997), em experimentos de campo. Essas diferenças estão relacionadas com características de solo, principalmente aquelas relacionadas com a capacidade de troca de cátions e com o teor de umidade. Solos com alta CTC apresentam grande capacidade de retenção de NH₄⁺ (WANG & ALVA, 2000), o que dificulta a volatilização de amônia, que por isso é menor em solos argilosos do que em solos arenosos (ALKANANI et al., 1991; SILVA et al., 1995). Além disto, as condições controladas e artificiais utilizadas nos experimentos de laboratório podem contribuir para as diferenças existentes na perda de N-NH₃, em relação aos valores obtidos a campo.

A incorporação da uréia ao solo diminuiu substancialmente a volatilização de N-NH₃ no NV, promovendo perdas de apenas 1,1% do N aplicado, na média dos três sistemas de manejo da palha. A volatilização de N-NH₃ com uréia incorporada não diferiu da obtida no tratamento que não recebeu N (Tabela 1). Resultados similares foram reportados por RODRIGUES & KIEHL (1986), SILVA et al. (1995) e LARA CABEZAS et al. (2000), e comprovam que a volatilização de amônia é pequena quando a uréia é incorporada ao solo. Essa diminuição acentuada na

Tabela 1 – N-NH₃ volatilizado durante 30 dias em função do modo de aplicação da uréia e do manejo de resíduos de aveia preta num Nitossolo Vermelho, sob condições de laboratório. Lages-SC (1).

Manejo dos resíduos de aveia	Sem N	Uréia incorporada	Uréia na superfície
	mg N-NH ₃ coluna ⁻¹		
Sem palha	0,3 b B *	0,5 b B	32,1 b A
Palha incorporada	0,4 b B	0,6 b B	38,9 a A
Palha superfície	7,2 a B	5,6 a B	15,1 c A

(1) Médias sucedidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan, em nível de significância de 5%.

volatilização ocasionada pela incorporação da uréia é consequência do aumento do contato entre o fertilizante e as partículas de solo. Com isso, há um aumento na adsorção de NH_4^+ às cargas negativas do solo (SILVA et al., 1995), dificultando sua transformação para amônia. Além disso, as moléculas de amônia que migram do interior do solo em direção à atmosfera, encontram sítios do solo com valores de pH mais baixos do que aqueles existentes ao redor dos grânulos de uréia, e se transformam em amônio, que fica na solução do solo ou se adsorve eletrostaticamente às cargas negativas da fase sólida.

Na ausência de N ou com uréia incorporada, a aplicação da palha na superfície do Nitossolo Vermelho aumentou a quantidade de amônia volatilizada, em relação aos tratamentos sem palha ou com palha incorporada (Tabela 1). Isto provavelmente ocorreu em função da decomposição dos resíduos de aveia deixados na superfície do solo, que ao liberar N, parte se transformou em amônia e se perdeu para a atmosfera.

Quando a palha foi aplicada sobre a superfície do solo argiloso, a quantidade de N volatilizada foi bem maior com uréia aplicada na superfície do solo do que com uréia incorporada ou sem uréia. Por outro lado, quando a uréia foi aplicada sobre a superfície desse solo, a manutenção de palha na superfície proporcionou as menores perdas de amônia relativamente aos tratamentos com palha incorporada ou sem palha (Tabela 1). Este efeito benéfico da palha superficial na diminuição da volatilização da amônia provavelmente se deve à manutenção de maior umidade no solo, a qual favorece a nitrificação e ao mesmo tempo diminui a difusão ascendente de amônia que ocorre juntamente com a evaporação da água do solo (AL-KANANI et al., 1991).

A quantidade de amônia volatilizada foi influenciada pelos efeitos simples da forma de aplicação da uréia e do sistema de manejo da palha no Neossolo Quartzarênico. Nesse solo, o equivalente a 54% do nitrogênio total adicionado foi perdido por volatilização de amônia, quando a uréia foi aplicada sobre a superfície do solo, na média dos sistemas de manejo da palha (Tabela 2). Quando a uréia foi incorporada ao solo, apenas 4,9 %, do N aplicado perdeu-se como amônia. Isso demonstra que a incorporação da uréia propicia grande retenção de amônio, diminuindo substancialmente as perdas por volatilização, mesmo em solos arenosos que possuam pouca matéria orgânica e baixa CTC.

A manutenção de resíduos de aveia sobre a superfície do solo aumentou a quantidade

de amônia volatilizada no solo arenoso, em todos os tratamentos de N, relativamente à ausência de palha ou à palha incorporada (Tabela 2). No tratamento com uréia e palha na superfície do solo, o equivalente a 62 % do N aplicado perdeu-se por volatilização. Nesse solo, o efeito da manutenção da palha na superfície sobre a perda de amônia a partir da uréia, também aplicada sobre a superfície, foi exatamente o oposto do verificado no solo argiloso. O baixo teor de umidade existente no solo arenoso provavelmente não foi capaz de promover o arraste ascendente de grandes quantidades de amônia, como observado no solo argiloso sem resíduos na superfície. Acredita-se, portanto, que a maior volatilização ocorrida no solo arenoso quando a uréia foi aplicada sobre a palha deveu-se ao menor contato entre o fertilizante e o solo, e a maior atividade da urease nos resíduos vegetais em relação ao solo (ECKERT et al., 1986), o que facilita a rápida hidrólise do N-amídico, favorecendo a volatilização (LARA CABEZAS et al., 1997).

A volatilização de NH_3 foi numericamente maior no Neossolo Quartzarênico do que no Nitossolo Vermelho em todos os tratamentos, com exceção da testemunha sem N e sem palha (Tabelas 1 e 2). Este comportamento pode ser atribuído à capacidade diferencial dos solos em reter o amônio. KIEHL (1989), estudando a distribuição e retenção de NH_4^+ em solos com características semelhantes às dos utilizados neste trabalho, verificou retenção equivalente a 15,7% e 29,3% dos 100kg ha^{-1} de N aplicados para o solo arenoso e argiloso, respectivamente. Estes resultados foram atribuídos à maior CTC propiciada pela textura argilosa e pelo maior conteúdo de matéria orgânica do solo argiloso.

A capacidade de tamponamento do pH do solo também pode interferir na volatilização de NH_3 . A aplicação superficial de uréia promove aumento do pH ao redor dos grânulos, o que favorece a volatilização de

Tabela 2 – N- NH_3 volatilizado durante 30 dias em função do modo de aplicação da uréia e do manejo de resíduos de aveia preta num Neossolo Quartzarênico, sob condições de laboratório. Lages-SC (1).

Manejo dos resíduos de aveia	Sem N	Uréia incorporada	Uréia na superfície	Média
	mg N- NH_3 coluna ⁻¹			
Sem palha	0,2	5,4	107,1	37,6 b
Palha incorporada	0,6	7,3	92,3	33,4 b
Palha superfície	13,7	16,9	124,8	51,8 a
Média	4,8 [*] B	9,9 B	108,1 A	-

(1) Médias sucedidas por mesma letra minúscula na coluna, ou maiúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan, em nível de significância de 5%.

amônia (ERNANI, 1999). Este aumento do pH é mais acentuado em solos arenosos, com baixa capacidade de tamponamento, principalmente quando são usadas altas doses de N. No presente estudo, o pH em água dos dois solos foi corrigido para 6,0 e a quantidade de nitrogênio aplicada por coluna equivaleu a 255kg de N ha⁻¹. Estes fatores provavelmente propiciaram maior elevação do pH nas adjacências dos grânulos de uréia no NQ do que no NV, estimulando a volatilização de NH₃. Nas situações em que a volatilização de amônia é intensa, pode haver prejuízo para a germinação e crescimento inicial das culturas (OUYANG et al., 1998). LECH (2001) observou que a aplicação superficial de doses superiores a 200kg ha⁻¹ de uréia sobre a superfície do solo ocasionou fitotoxicidade às plântulas de milho num Neossolo Quartzarênico, provavelmente devido ao aumento do pH, à hidrólise da uréia e à volatilização da amônia. Estes sintomas não ocorreram quando a mesma dose de uréia foi aplicada superficialmente num Nitossolo Vermelho, com maior CTC.

A figura 1 apresenta as perdas de NH₃ em cada coleta realizada nos dois solos para o tratamento envolvendo N superficial, na média dos três manejos dos resíduos de aveia. O período de máxima perda de amônia concentrou-se nos primeiros seis dias após a implantação do experimento. Esse período é similar ao

obtido por AL-KANANI et al. (1991) e por SENGIK & KIEHL (1995a,b), mostrando que a volatilização de NH₃ é rápida quando as condições são favoráveis.

A maior perda de amônia foi registrada no 3º dia no Neossolo Quartzarênico, representando aproximadamente de 53% da perda total detectada ao final do experimento (Figura 1). A perda acumulada de amônia neste solo foi equivalente a 80% do total aplicado, seis dias após a implantação do experimento. No Nitossolo Vermelho, a maior perda ocorreu no 6º dia, atingindo 56% da perda total. Isto demonstra que o pico de perda de NH₃ ocorreu mais tarde do que NV do que no NQ. O retardamento do ponto de máxima perda é benéfico por permitir maior tempo para movimentação do nitrogênio proveniente da uréia até o sistema radicular das plantas, reduzindo, com isto, as perdas de amônia por volatilização (SENGIK & KIEHL, 1995a).

CONCLUSÕES

Em condições de laboratório, a aplicação superficial da uréia aumentou as perdas nitrogenadas por volatilização de amônia em relação à sua incorporação, independentemente do manejo dos restos culturais de aveia preta, das características texturais, do teor de matéria orgânica e da CTC do solo.

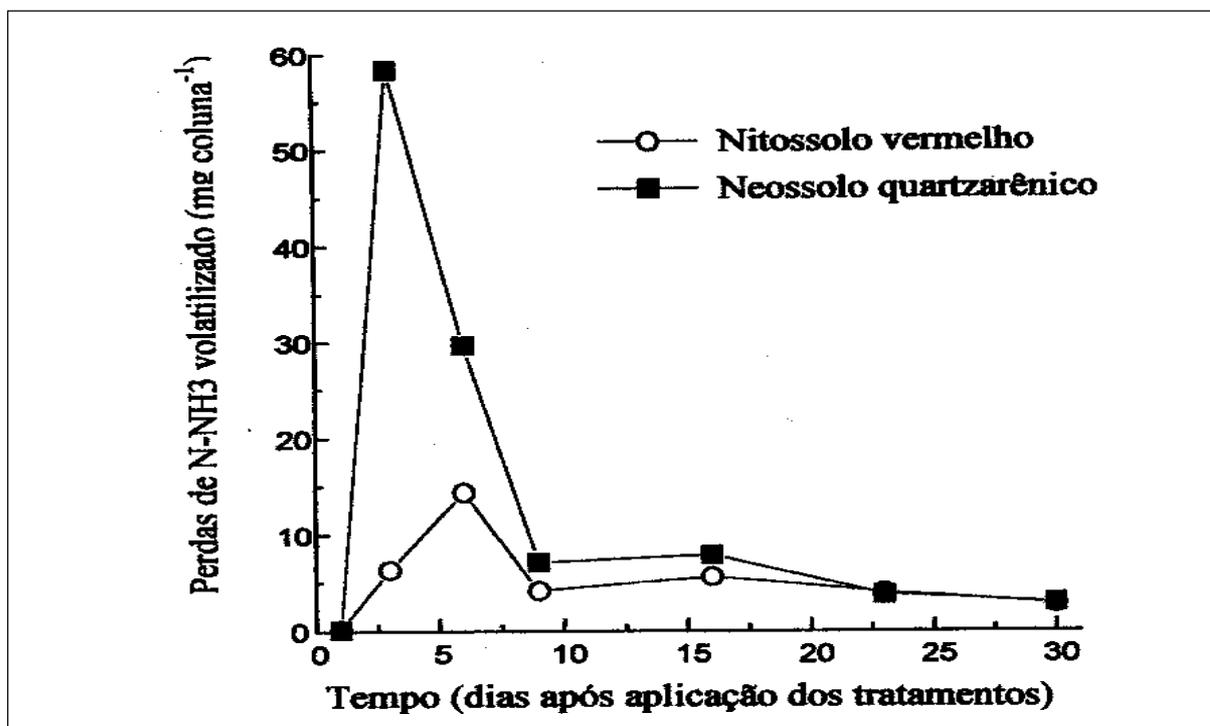


Figura 1 – Quantidade de N-NH₃ volatilizado em cada época de coleta com a aplicação superficial de uréia num Nitossolo Vermelho e num Neossolo Quartzarênico, na média de três formas de manejo dos resíduos de aveia preta. Lages-SC, 2001.

A volatilização de amônia foi numericamente maior e mais rápida no solo arenoso, com baixa CTC, do que no solo argiloso, principalmente quando a uréia e os restos culturais de aveia preta foram mantidos na superfície do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A.F.; BARTHAKUR, N.N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.55, p.1761-1766, 1991.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.105-112, 1997.
- BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J. M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from an urea-fertilized soil. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.49, p.376-381, 1985.
- ECKERT, D.J.; DICK, W.A.; JOHNSON, J.W. Response of no-tillage grown in corn and soybean residues to several nitrogen fertilizer sources. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, p.231-235, 1986.
- ERNANI, P.R. Nutrição e produtividade de espécies vegetais em sistemas de plantio direto e convencional. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE: MILHO & FEIJÃO, 2., 1999, Lages. **Resumos...** Lages : UDESC/EPAGRI, 1999. V.1, p.19-30.
- ERNANI, P.R.; BAYER, C.; STECKLING, C. Características químicas de solo e rendimento de matéria seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.939-946, 2001.
- ERNANI, P.R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Influência do método de aplicação da uréia e dos restos culturais de aveia preta na lixiviação de nitrogênio e no rendimento de matéria seca do milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, prelo, 2002.
- KIEHL, J.C. Distribuição e retenção da amônia no solo após aplicação de uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.13, p.75-80, 1989.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.489-496, 1997.
- LARA CABEZAS, W. A. R. et al. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluída de cobertura na cultura do milho, em sistema de plantio direto no triângulo mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.363-376, 2000.
- LECH, V.A. **Perdas de N e resposta do milho a adubação nitrogenada afetadas por sistemas de manejo dos restos culturais de aveia preta**. 2001. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina.
- MENGEL, D. **Manejo de nutrientes na cultura do milho de alta produtividade**. Piracicaba : Potafôs, 1996. 16p. (Informações Agronômicas, 73).
- OUYANG, D.; MACKENZIE, A.F.; FAN, M. Phytotoxicity of banded urea amended with triple superphosphate and potassium choride. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, p.734-739, 1998.
- RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, p.357-363, 1999.
- RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.10, p.37-43, 1986.
- SENGIK, E.; KIEHL, J.C. Efeito de resíduos orgânicos e do fosfato monocálcico na volatilização de amônia em terra tratada com uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.321-326, 1995a.
- SENGIK, E.; KIEHL, J.C. Controle da volatilização de amônia em terra tratada com uréia e turfa pelo emprego de sais inorgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.455-461, 1995b.
- SILVA, A. J. da et al. Perdas de amônia por volatilização proveniente da uréia aplicada a solos dos trópicos úmidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.141-144, 1995.
- TEDESCO, M.J.; VOLKSVEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre : UFRGS, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, UFRGS, 1985. 188p. (Boletim Técnico, 5).
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. New York : Macmillan, 1984. 753p.
- VARSA, E.C. et al. Nitrogen placement in no-till corn. In: PROCEEDINGS OF NORTH CENTRAL EXTENSION-INDUSTRY SOIL FERTILITY CONFERENCE, 1995, St. Louis. **Proceedings...** St. Louis : Potash & Phosphate Institute, 1995. p.69-74.
- WANG, F.L.; ALVA, A.K. Ammonium adsorption and desorption in sandy soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.64, p.1669-1674, 2000.