

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

**Perdas por Volatilização e Eficiência Agronômica
da Mistura de Uréia com Zeolita Natural
Aplicada na Cultura da Roseira (*Rosa* spp.)**

Carlos Guarino Werneck

2008



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**PERDAS POR VOLATILIZAÇÃO E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA
DA MISTURA DE URÉIA COM ZEOLITA NATURAL APLICADA
NA CULTURA DA ROSEIRA (*Rosa spp.*)**

CARLOS GUARINO WERNECK

Sob a orientação do Professor
Nelson Mazur

e Co-orientação do Professor
José Carlos Polidoro

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2008

633.1
W492p
T

Werneck, Carlos Guarino, 1975

Perdas por volatilização e eficiência agronômica da mistura de uréia com zeolita natural aplicada na cultura da roseira (*Rosa spp.*) / Carlos Guarino Werneck – 2008.

90. : il.

Orientador: Nelson Mazur.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Ciência do Solo.

Bibliografia: f. 71-76

1. Rosa – Adubos e fertilizantes – Teses. 2. Rosa - Cultivo - Teses. 3. Fertilizantes nitrogenados - Teses. 4. Zeolitos como correção de solos – Teses. 5. Uréia como fertilizante – Teses. I. Mazur, Nelson, 1955-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia Ciência do Solo. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

CARLOS GUARINO WERNECK

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/02/2008

Nelson Mazur. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Bruno José Rodrigues Alves. Dr. EMBRAPA Agrobiologia

Marisa Bezerra de Mello Monte. Dra. CETEM

DEDICATÓRIA

“A Deus, pela possibilidade da vida,

Ao meu grande pai Marcello pelos exemplos e valores transmitidos, fundamentais na formação de meu caráter; Pelo irrestrito apoio, incentivo, orgulho, respeito e participação nas minhas opções de vida, elevando a autoconfiança e tranquilizando essa caminhada;

À minha linda mãe Nadile, pela herança imensurável de sensibilidade, amor, carinho e serenidade, os quais, mesmo que transmitidos em memória, ensinaram-me valorizar a vida e as pessoas, persistindo eternamente preciosa fonte de inspiração na evolução espiritual;

Às amadas vó Maria e tia Tânia pelo amor, atenção e carinho irrestritamente dedicados; Por sempre ressaltar e valorizar minha origem, ajudando a transformar a ausência em presença, tornando a perda indolor e as memórias motivo de orgulho;

À Viviane, minha preciosa Vivi, amante, mulher, amiga, confidente, companheira.... a qualquer hora e situação. Com amor imensurável, valoriza e deseja todos os momentos de nossas vidas; Por compreender e apoiar sempre, tornando possível a conciliação entre nosso amor e realizações pessoais, imprescindível para conclusão desta jornada;

Aos meus irmãos e amigo(a)s Andréa, Guilherme, Renato e Fabrícia, pela verdadeira família que formamos, forte e unida como poucas. Pela tranquilidade e certeza de sabermos que estamos sempre ao lado e à disposição;

A todos familiares, especialmente meu padrinho “tio Mauro” e madrinha “tia Regina”, sempre amando, acompanhando e torcendo por mim;

Aos afilhados Luke, Maria Eduarda “Dudinha” e a toda molecada WWW (João, Xande, Luke, Pedro e Matheus), fontes de juventude e renovação.”

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelo ensino de qualidade na graduação em Engenharia Agrônômica, e pela vivência proporcionada;

Ao CPGA-CS, pelo apoio às pesquisas e ao ótimo nível do curso oferecido;

Ao CNPq, pela concessão de apoio financeiro;

À EMBRAPA Solos, pela confiança e possibilidade de participação em importantes projetos de pesquisa;

Ao amigo e primeiro orientador Alberto Bernardi, por possibilitar e incentivar à iniciação científica e pelos exemplos de competência e envolvimento nas pesquisas;

Ao orientador Nelson Mazur por apoiar, ensinar e compreender, sempre com objetividade e tranquilidade;

Ao orientador Polidoro pelos ensinamentos; Pela relação de amizade e confiança naturalmente construída; Pelo envolvimento, satisfação e garra demonstrados nas pesquisas;

Aos Professores Lúcia Helena do Anjos e Néelson Moura Brasil, pelo apoio, confiança e compreensão;

A todas as outras instituições envolvidas nesse projeto, especialmente ao CETEM, CPRM, UFRJ, Embrapa Pecuária Sudeste e Petrobrás;

A pesquisadora Marisa Bezerra, pelas irrestritas demonstrações de confiança nas avaliações agrônômicas a cargo de nossa equipe;

A toda família República Brasil (Veio, Bin Ladi, Leandrão, Patrick, Julião e Japa), aos “agregados”, especialmente Dieguito, Didi e todos os outros que fizeram de lá também suas casas. Pela certeza de que as lembranças da Rural remeterão necessariamente a todos;

A todos os outros amigos Rurais, pelo simples e positivo convívio;

A todos os professores que de alguma forma enriqueceram os momentos na Rural;

Ao laboratório de nitrogênio da Embrapa Solos, sob a gerência da competente amiga Rojane, sempre oferecendo mais que o suporte necessário;

Aos Pesquisadores, estudantes e técnicos do laboratório de nitrogênio da Embrapa Agrobiologia, especialmente ao Bruno Alves, Ednaldo e Altiberto, pela total atenção e apoio sempre que necessário;

Ao apoio de todos os estagiários que de alguma forma colaboraram com os trabalhos realizados, especialmente ao Farley Breda, participante e guerreiro do início ao fim;

À Secretaria do CPGA-CS, através do Roberto e Luciene, atendendo sempre com qualidade e satisfação;

Aos verdadeiros floricultores Sr. Dorvalino Bernardo, Dona Lourdes, Carlos Alberto, João Batista e demais familiares, pela concessão da área experimental, e, principalmente, pelo apoio, interesse e envolvimento, sem os quais os trabalhos em Nova Friburgo não proporcionariam o mesmo êxito profissional e a satisfação pessoal das sinceras amizades conquistadas.

À Secretaria de Agricultura de Nova Friburgo, pelo suporte necessário;

E a todos aqueles que, no momento, possa ter esquecido.

RESUMO GERAL

WERNECK, Carlos Guarino. **Perdas por volatilização e eficiência agrônômica da mistura de uréia com zeólita natural aplicada na cultura da roseira (*Rosa spp.*)**. 2008. 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

O trabalho objetivou avaliar as perdas de N-NH₃ por volatilização (PNV) e a eficiência agrônômica dos “fertilizantes zeolíticos” obtidos através de misturas de uréia com zeolitas naturais. O primeiro experimento foi realizado na casa de vegetação da Embrapa Solos, RJ, sendo as unidades experimentais compostas por bandejas plásticas preenchidas com solo coletado na camada 0-20 cm de um Planossolo Háptico. Aplicou-se uréia (UR) e uréia + zeólita natural (UZN) sobre solos com duas condições de pH e presença ou ausência de cobertura morta sobre a superfície. Foram avaliadas as PNV utilizando-se câmara semi-aberta livre estática, confeccionada com frasco plástico transparente PET de 2 litros sem a base, diâmetro de 10 cm, no interior dos quais fixou-se frasco de 50 ml contendo 10 ml de solução H₂SO₄ 1 mol+ glicerina 2% (v/v), no qual foi adicionada lâmina de espuma de poliuretano com 3 mm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento, responsável pela captação do N-NH₃ volatilizado. Após a adubação foram realizadas trocas das lâminas em intervalos de 24 horas, por seis dias consecutivos. Quando UR e UZN foram aplicados sobre solo descoberto sem calagem, as PNV foram, respectivamente, de 63% e 46% do N aplicado. Houve uma redução de 26% quando utilizado UZN, podendo o “fertilizante zeolítico” ser recomendado para aplicação sobre solo descoberto com pH inferior a 6,0. Quando aplicados sobre solo descoberto com calagem, foram perdidos 100% e 89% do N, respectivamente por UR e UZN, não sendo recomendado o uso do “fertilizante zeolítico” sobre solo descoberto com pH acima de 6,0. O segundo experimento foi realizado em área de produção comercial de rosas (*Rosa spp.*), município de Nova Friburgo, RJ, durante um ano agrícola. Neste período foram realizadas quatro adubações de cobertura com uréia e mistura uréia + arenito zeolítico (UAZ). Foram avaliadas PNV, produtividades quantitativas e qualitativas da cultura, extração total de nitrogênio pelas hastes (EXTNH) e eficiência agrônômica dos fertilizantes (EAF) aplicados na cultura da roseira (*Rosa spp.*). O “fertilizante zeolítico” reduziu as PNV em média 30%. As produções totais de massa seca (MST) e hastes florais (HT) são elevadas pelo “fertilizante zeolítico”, havendo aumento na qualidade das hastes produzidas. O “fertilizante zeolítico”, ao reduzir as perdas de N-NH₃ por volatilização, manteve maior quantidade de N-uréia no sistema solo-planta, liberando-o para a solução do solo lentamente e em sincronia com as demandas nutricionais das plantas, proporcionando maior EXTNH. O “fertilizante zeolítico” apresentou eficiência agrônômica superior ao fertilizante uréia comercial, proporcionando incrementos nas produções econômicas de HL, HT, MST e EXTNH. O arenito zeolítico (CETEM) apresentou características favoráveis ao seu uso no desenvolvimento tecnológico de fertilizantes de liberação lenta que objetivem alcançar reduzidas perdas de N-NH₃ por volatilização e elevada eficiência agrônômica nas adubações nitrogenadas das culturas agrícolas.

Palavras-chave: Tecnologia de fertilizantes. Fertilizante zeolítico. Volatilização de N-NH₃.

GENERAL ABSTRACT

WERNECK, Carlos Guarino. **Losses by volatilization and agronomical efficiency in the use of nitrogen obtained from urea of natural zeolites in rose trees (*Rosa* spp.)**. 2008. 90p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

The research aimed at the evaluation of the losses of N-NH_3 by volatilization (PNV) and the agronomical efficiency of “zeolitic fertilizers” obtained by mixing urea with natural zeolites. The first experiment was carried out at the greenhouse located at Embrapa Soils, Rio de Janeiro. The experimental units consisted of plastic trays filled with soil from the upper layer (depth of 0 to 20 cm) of a Fragiudult soil. Urea (UR) and Urea + Natural Zeolite (UZN) were applied on soils with two pH conditions, with and without mulching applied to the soil. The PNVs were evaluated through the use of a free, static, semi-open chamber, made with a 2-liter, 10cm diameter, bottomless transparent plastic recipient (PET), within which a 50-ml flask was fixed, containing 10ml of solution of H_2SO_4 1 mol+ 2% glycerin (v/v), to which a layer of polyurethane foam was added with the dimensions of 3mm thickness, 2.5cm width and 25cm length. The purpose of such a layer was the capture of volatilized N-NH_3 . After fertilization the polyurethane foam layers were replaced during 6 days at 24-hour intervals. In the case of UR and UZN applied on uncovered soil, without lime, the measured PNVs were, respectively, 63% and 46% of the amount of N applied, a reduction of 26% occurring when UZN was used; therefore, such a “zeolitic fertilizer” may be recommended for uncovered soils with pH below 6.0. For mulched soils with liming, 100% and 89% of the applied N were lost in the case of, respectively UR and UZN. Thus, it is not recommended the use of the “zeolitic fertilizer” on this uncovered soil with pH above 6.0. The second experiment took place in an area of roses (*Rosa* spp.) commercial production of, in Nova Friburgo municipality, Rio de Janeiro State, during an agricultural year. During the year, 4 (four) fertilizations were made by applying urea + zeolitic sandstone (UAZ) on the soil surface. The evaluations performed included PNV, quantitative and qualitative productivity of the rose crop, total N extraction by the stems (EXTNH) and agronomical efficiency of the fertilizers (EAF) utilized in the rose crop. The “zeolitic fertilizer” reduced the PNVs by 30%, in average. The total production of dry mass (MST) and flowered stems (HT) increased as an effect of the “zeolitic fertilizer”, with an observed improvement in the produced stems quality. By reducing the losses of N-NH_3 by volatilization, the “zeolitic fertilizer” kept a greater amount of N-urea in the soil-plant system, gradually releasing it to the soil solution, in synchrony with the nutritional demands of the plants, resulting in a greater EXTNH. The “zeolitic fertilizer” showed an agronomical efficiency higher than the commercial urea, thus resulting in increase of economical production of HL, HT, MST and EXTNH. The zeolitic sandstone (CETEM) showed favorable characteristics for usage in technological development of slow release fertilizers, chiefly with the objective of reducing losses of N-NH_3 by volatilization and obtaining high agronomical efficiency from crops nitrogen fertilization.

Key words: Technology of fertilizers. Zeolitic fertilizer. Volatilization of N-NH_3 .

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento no interior da casa de vegetação durante o período experimental.20
- Tabela 2.** Classificação granulométrica da zeolita proveniente do Chile.21
- Tabela 3.** Classificação granulométrica do arenito zeolítico proveniente da Bacia Sedimentar do Parnaíba (MA e TO).....42
- Tabela 4.** Eficiência agronômica dos fertilizantes (EAF) uréia e uréia adicionada de arenito zeolítico (20% p/p), aplicados nas doses de 60 e 120 kg N ha⁻¹, na cultura da roseira (*Rosa* spp.), em adubação de cobertura realizada em abril/2007 (C3). (signif. * P<0,05)
65
- Tabela 5.** Eficiência agronômica dos fertilizantes (EAF) uréia e uréia adicionada de arenito zeolítico (20% p/p), aplicados nas doses de 60 e 120 kg N ha⁻¹, na cultura da roseira (*Rosa* spp.), em adubação de cobertura realizada em junho/2007 (C4). (signif. * P<0,05)
65

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Esquema do sistema coletor de N-NH₃ semi-aberto livre estático – SALE (Araújo et al., 2006 e 2008).22
- Figura 2.** Volatilização N-NH₃ em seis dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (100 kg N ha⁻¹) com uréia, sobre solo com e sem palha sobre a superfície, com ausência e presença de calagem (2 Mg calcário 100% PRNT. ha⁻¹. 20 cm⁻¹) (Scott-Knott, NMS * : 0,05).24
- Figura 3.** Volatilização N-NH₃ em seis dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (100 kg N. ha⁻¹) com uréia e uréia + zeolita, sobre solo descoberto e sem calagem (Scott-Knott, NMS * : 0,05).26
- Figura 4.** Total N-NH₃ volatilizado em seis dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (100 kg N. ha⁻¹) com uréia e uréia + zeolita, sobre solo descoberto e sem calagem (médias com letras diferentes diferem entre si por Scott-Knott, p< 0,05).27
- Figura 5.** Total N-NH₃ volatilizado em seis dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (100 kg N. ha⁻¹) com uréia e uréia + zeolita, sobre solo descoberto e com calagem (2 Mg calcário 100% PRNT. ha⁻¹. 20 cm⁻¹). (médias com letras diferentes diferem entre si por Scott-Knott, p<0,05).29
- Figura 6.** Total N-NH₃ volatilizado em seis dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (100 kg N. ha⁻¹) com uréia e uréia + zeolita, sobre solo com palha sobre a superfície e sem calagem (médias com letras diferentes diferem entre si por Scott-Knott, p<0,05).31
- Figura 7.** Total N-NH₃ volatilizado em seis dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (100 kg N. ha⁻¹) com uréia e uréia + zeolita, sobre solo com palha sobre a superfície e com calagem (2 Mg calcário 100% PRNT. ha⁻¹. 20 cm⁻¹). (médias com letras diferentes diferem entre si por Scott-Knott, p<0,05).31
- Figura 8.** Volatilização N-NH₃ em seis dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (100 kg N. ha⁻¹) com uréia e uréia + zeolita, sobre solo com palha sobre a superfície, com e sem calagem (2 Mg calcário 100% PRNT ha⁻¹. 20 cm⁻¹).33
- Figura 9.** Temperaturas máximas e mínimas obtidas nas linhas de plantio, à 5 cm acima da superfície do solo, durante os períodos experimentais C2 (09 a 14/02/07), C3 (14 a 19/04/07) e C4 (08 a 13/06/07).39
- Figura 10.** Precipitação pluvial ocorridas durante os períodos experimentais C2 (09 a 14/02/07), C3 (14 a 19/04/07) e C4 (08 a 13/06/07).40
- Figura 11.** Umidade do solo na camada 0-10 cm durante os períodos experimentais C2 (09 a 14/02/07), C3 (14 a 19/04/07) e C4 (08 a 13/06/07).40
- Figura 12.** N-NH₃ volatilizado em oito dias consecutivos em função da adubação nitrogenada de cobertura com uréia (60 e 120 kg N. ha⁻¹) adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), na cultura da roseira (*Rosa* spp.), nas adubações de cobertura: C2 - fevereiro/2007 (a), C3 - abril/2007 (b) e C4 - junho/2007 (c), (Scott-Knott, P< 0,05). 47
- Figura 13.** Total N-NH₃ volatilizado em oito dias consecutivos em função da adubação nitrogenada de cobertura com uréia (60 e 120 kg N. ha⁻¹) adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), na cultura da roseira (*Rosa* spp.), nas adubações de cobertura: C2 - fevereiro/2007 (a), C3 - abril/2007 (b), C4 - junho/2007 (c) e C2+ C3+C4 (d).49

- Figura 14.** Produção de hastes curtas pela roseira (*Rosa* spp.) cultivada em Argissolo Amarelo, sob aplicação de doses de nitrogênio (60 e 120 kg N ha⁻¹) na forma de uréia adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), nas adubações de cobertura: C1 - setembro/2006 (a), C3 - abril/2007 (b), C4 - junho/2007 (c) e C1+C3+C4 (d).51
- Figura 15.** Produção de hastes médias pela roseira (*Rosa* spp.) cultivada em Argissolo Amarelo, sob aplicação de doses de nitrogênio (60 e 120 kg N ha⁻¹) na forma de uréia adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), nas adubações de cobertura: C1 - setembro/2006 (a), C3 - abril/2007 (b), C4 - junho/2007 (c) e C1+C3+C4 (d).53
- Figura 16.** Produção de hastes longas pela roseira (*Rosa* spp.) cultivada em Argissolo Amarelo, sob aplicação de doses de nitrogênio (60 e 120 kg N ha⁻¹) na forma de uréia adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), nas adubações de cobertura: C1 - setembro/2006 (a), C3 - abril/2007 (b), C4 - junho/2007 (c) e C1+C3+C4 (d).54
- Figura 17.** Produção total de hastes pela roseira (*Rosa* spp.) cultivada em Argissolo Amarelo, sob aplicação de doses de nitrogênio (60 e 120 kg N ha⁻¹) na forma de uréia adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), nas adubações de cobertura: C1 - setembro/2006 (a), C3 - abril/2007 (b), C4 - junho/2007 (c) e C1+C3+C4 (d).56
- Figura 18.** Produção massa seca total pelas hastes da roseira (*Rosa* spp.) cultivada em Argissolo Amarelo, sob aplicação de doses de nitrogênio (60 e 120 kg N ha⁻¹) na forma de uréia adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), nas adubações de cobertura: C1 - setembro/2006 (a), C3 - abril/2007 (b), C4 - junho/2007 (c) e C1 + C3 + C4 (d). 58
- Figura 19.** Extração total de nitrogênio pelas hastes da roseira (*Rosa* spp.) cultivada em Argissolo Amarelo, sob aplicação de doses de nitrogênio (60 e 120 kg N ha⁻¹) na forma de uréia adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), nas adubações de cobertura: C1 - setembro/2006 (a), C3 - abril/2007 (b), C4 - junho/2007 (c) e C1 + C3 + C4 (d). 60
- Figura 20.** Extração de nitrogênio pelas hastes da roseira (*Rosa* spp.) cultivada em Argissolo Amarelo, sob aplicação de doses de nitrogênio (60 e 120 kg N ha⁻¹) na forma de uréia adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), após as adubações de cobertura: C1 - setembro/2006 (a), C3 - abril/2007 (b) e C4 - junho/2007 (c).63

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

PNV	Perdas de N-NH ₃ por volatilização
UR	Uréia
ZN	Zeolita natural
UZN	Fertilizante zeolítico (uréia + zeolita natural)
CA	Calagem
ACA	Ausência de calagem
SPD	Sistema de plantio direto
SPC	Sistema de plantio convencional
DAA	Dia(s) após adubação
MOS	Matéria orgânica do solo
CTC	Capacidade de troca catiônica
C1, C2, C3 e C4	Adubação de cobertura 1, 2, 3 e 4.
AZ	Arenito zeolítico
UAZ	Fertilizante zeolítico (uréia + arenito zeolítico)
U60	Uréia (60 kg N. ha ⁻¹)
U120	Uréia (120 kg N. ha ⁻¹)
U60AZ	Fertilizante zeolítico (60 kg N. ha ⁻¹)
U120AZ	Fertilizante zeolítico (120 kg N. ha ⁻¹)
HC	Haste curta
HM	Haste média
HL	Haste longa
HT	Haste total
MST	Massa seca total
TNH	Teor de nitrogênio na haste
EXTNH	Extração total de nitrogênio pela haste
EAF	Eficiência agronômica do fertilizante

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA GERAL.....	3
2.1	O Nitrogênio e os Fertilizantes Nitrogenados na Agricultura Mundial	3
2.2	Principais Fertilizantes Nitrogenados Inorgânicos	5
2.3	Perdas de Nitrogênio por Volatilização de N-NH ₃ Proveniente dos Fertilizantes.	6
2.4	Formas de Redução nas Perdas de Nitrogênio por Volatilização de N-NH ₃	8
2.5	Métodos para Quantificação do N-NH ₃ Volatilizado.....	10
2.6	Zeolitas e seu Uso na Agricultura	12
3.	CAPÍTULO I: VOLATILIZAÇÃO DE N-NH ₃ PROVENIENTE DA URÉIA, ADICIONADA OU NÃO DE ZEOLITA NATURAL, APLICADA EM COBERTURA SOBRE O SOLO.	17
	RESUMO	18
	ABSTRACT.....	18
3.1	Introdução.....	20
3.2	Material e Métodos.....	20
3.3	Resultados e Discussão.....	23
3.4	Conclusões.....	34
4.	CAPÍTULO II: PERDAS DE N-NH ₃ POR VOLATILIZAÇÃO E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO FERTILIZANTE ZEOLÍTICO APLICADO NA CULTURA DE ROSAS, EM NOVA FRIBURGO, RJ	35
	RESUMO	36
	ABSTRACT.....	37
4.1	Introdução.....	38
4.2.	Material e Métodos.....	38
4.2	Resultados e Discussão.....	45
4.2.1	Adição de arenito zeolítico à uréia e perdas de N-NH ₃ por volatilização após adubação de cobertura	45
4.2.2	Características agronômicas da cultura da roseira (<i>Rosa</i> spp).....	50
4.3	Conclusões.....	68
5.	CONCLUSÕES GERAIS	69
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
8.	ANEXOS.....	77

1. INTRODUÇÃO GERAL

O nitrogênio é um elemento empregado em grandes quantidades na agricultura moderna na forma de fertilizantes, sendo uma prática fundamental para a produção de alimentos em escala necessária a suprir a demanda nutricional gerada pelo crescimento populacional (Boaretto et al., 2007). A agricultura moderna foi responsável pela duplicação da produção de alimentos nas últimas quatro décadas, sendo esta duplicação associada a um aumento na fertilização das lavouras com nitrogênio equivalente a sete vezes (Tilman, 1999). Nesse período, a agricultura brasileira se modernizou e as produtividades agrícolas foram elevadas, gerando excedentes para exportação, o que contribuiu significativamente para o crescimento da economia do país. Esse crescimento do agronegócio brasileiro se baseou no uso intensivo de insumos agrícolas, pois fatores como a baixa fertilidade natural dos solos e incidência de pragas e doenças sobre as culturas limitavam a necessária expansão das fronteiras agrícolas. Cultivares mais produtivas e adaptadas às nossas condições foram desenvolvidas, métodos para controle de pragas e doenças aperfeiçoados, e o setor de máquinas e implementos agrícolas modernizado.

Diante de todo esse “pacote tecnológico”, o uso maciço de fertilizantes minerais altamente solúveis tornou-se prática comum para elevação da fertilidade dos solos e das produtividades agrícolas. As pesquisas caminharam também nesse sentido e tabelas regionais para recomendação de fertilização foram amplamente desenvolvidas. De fato as produtividades foram elevadas, e a expansão das fronteiras agrícolas, especialmente nos Cerrados, resultou em aumento na produção agrícola nacional. O setor de produção e comercialização de fertilizantes se fortaleceu e tornou-se importante para a economia do país.

Atualmente, percebe-se que todo esse processo de crescimento tornou-se insustentável. A eficiência agronômica dos nutrientes provenientes dos fertilizantes, ou seja, a quantidade de alimentos ou fibras que se produz com a aplicação de uma unidade de nutriente ao solo, que nas décadas de 70 e 80 era de 50:1, e uma das maiores do mundo, vem caindo seguidamente, e hoje, aproxima-se de uma relação 10:1. A explicação para esse declínio é controversa, sendo levantadas questões como a lei dos incrementos decrescentes, degradação progressiva das terras, tecnologias inadequadas aos diversos ambientes produtivos, etc.

Uma análise das características tecnológicas dos fertilizantes minerais mais utilizados na agricultura brasileira e das condições edafo-climáticas tropicais revela aplicações intensivas de fórmulas altamente concentradas e solúveis sobre solos com baixa capacidade de retenção de cátions, que, associado à alta capacidade e dependência dos sistemas agrícolas pela ciclagem de nutrientes e água, evidencia a inadequação das tecnologias desses insumos aos ambientes tropicais. Nesses sistemas, a liberação de nutrientes nas formas em que são disponíveis para a absorção pelas plantas deve ser mais lenta, se possível controlada. A baixa eficiência de aproveitamento dos nutrientes fornecidos pelos fertilizantes às plantas cultivadas comprova essa evidência. Mais que 30% do K e 60% do P aplicados aos solos não são aproveitados pelas plantas. Estima-se que cerca de 50% do N aplicado aos solos não é aproveitado pelas plantas num primeiro ciclo (Cantarella, 2007a). As perdas de N por volatilização de amônia e lixiviação de nitrato podem chegar a aproximadamente 80% do N-uréia aplicado (Lara Cabezas et al., 1997b). Entretanto, o crescimento do agronegócio brasileiro e a geração de divisas para a economia nacional têm criado um cenário de “ilusões” e suprimido essa constatação, dificultado a percepção da importância estratégica do desenvolvimento de tecnologias próprias para obtenção de matérias-primas e novos fertilizantes compatíveis com as condições tropicais, visando a sustentabilidade econômica e ambiental do agronegócio brasileiro.

Segundo a International Fertilizer Industry Association (IFA), o consumo global de fertilizantes nitrogenados, em 2006, superou em 6 milhões de toneladas de nutrientes o consumo ocorrido em 2005. Entre os anos de 2007 e 2011, o crescimento seguirá uma taxa de 2,4% anuais (Maene, 2007). De acordo com a Associação Nacional para a Difusão de Fertilizantes (ANFA), na década de 80, o Brasil produzia mais que 95% do consumo nacional de fertilizantes nitrogenados, atualmente responde por 60% do consumo e, as projeções apontam que em 2015 as importações sejam superiores a 80% do consumo projetado. A expansão do setor agroenergético contribuirá significativamente com essa tendência. Alguns especialistas já se preocupam com a segurança alimentar, pois 70% da produção mundial de nitrogenados concentram-se em quatro países asiáticos que consomem, como a China, mais uréia que a produção interna. Essa pressão sobre o consumo de fertilizantes fez com que o preço interno da tonelada de uréia subisse, em 24 meses, de US\$ 200,00 para US\$ 600,00.

Diante desse cenário, percebe-se que a busca pela autonomia e sustentabilidade do setor agrícola brasileiro envolve o aumento da produção interna de matéria-prima na indústria, novas fontes de insumos alternativos, reciclagem de nutrientes e, principalmente, aumento da eficiência agrônoma dos fertilizantes fornecidos às lavouras. Para alcançar essa maior eficiência, as tecnologias desenvolvidas devem ser condizentes com as particularidades edafoclimáticas tropicais.

Tecnologias que se integrem neste contexto de adequação às condições tropicais, possibilitando altas produtividades e reduzidos impactos ambientais, podem contribuir para a “tropicalização” dos fertilizantes agrícolas. Alternativas devem ser buscadas para alcançar maior eficiência agrônoma do N-uréia na agricultura tropical. O uso de zeolitas naturais constitui alternativa para desenvolvimento tecnológico de “fertilizantes zeolíticos” à base de uréia que apresentem reduzidas perdas de N-NH₃ por volatilização, liberação lenta do N fornecido e elevada eficiência agrônoma.

Zeolitas compõem um grupo com mais de 80 tipos de minerais de ocorrência natural conhecidos. A estrutura tridimensional, na forma de canais e cavidades interconectadas, confere as zeolitas vantajosas características e propriedades, destacando-se, para seu uso no desenvolvimento de fertilizantes de liberação lenta, a elevada capacidade de adsorção e troca catiônica.

O princípio de ação dos minerais zeolíticos que regulam a interação com os compostos nitrogenados, e a conseqüente adsorção e liberação lenta do nitrogênio a eles associados, deve-se a diversos fatores: (1) presença da molécula de uréia em sua estrutura, conferindo proteção física e conseqüente redução nas taxas de transformação do nitrogênio pela ação de bactérias nitrificantes, e na velocidade de conversão da uréia pela enzima urease, reduzindo a velocidade de formação de NH₄⁺; (2) diminuição da concentração do íon na solução do solo através da troca de cátions, favorecendo a formação de NH₄⁺ preferencialmente à volatilização de NH₃ para a atmosfera (USGS, 2006). Além disso, zeolitas não somente retêm grandes quantidades de NH₄⁺ como (3) impedem a transformação de NH₄⁺ em NO₃⁻ (Park e Komarneni, 1997), reduzindo as perdas por lixiviação deste elemento.

Este trabalho objetiva avaliar as perdas por volatilização de N-NH₃ proveniente do “fertilizante zeolítico” aplicado em cobertura sobre o solo e sua eficiência agrônoma no fornecimento de N-uréia à cultura da roseira (*Rosa* spp.).

2. REVISÃO DE LITERATURA GERAL

2.1 O Nitrogênio e os Fertilizantes Nitrogenados na Agricultura Mundial

Dentre os elementos minerais necessários às plantas, o nitrogênio é o que mais limita o crescimento vegetal, sendo considerado um elemento de função estrutural nos vegetais, uma vez que faz parte da molécula de um ou mais compostos orgânicos (Malavolta, 2006). Toda matéria viva apresenta obrigatoriamente o nitrogênio em sua composição, normalmente representando aproximadamente 18% do peso das proteínas. Vários compostos nos vegetais apresentam o N como constituinte, entre os quais destacam-se a clorofila, aminoácidos e ácidos nucleicos. Sendo assim, as principais reações bioquímicas em plantas envolvem a presença do N, o que o torna um dos elementos mais requeridos pelas plantas cultivadas (Cantarella, 2007a). Além disso, o nitrogênio tem importante participação nos ciclos biogeoquímicos e no metabolismo das plantas, sendo cerca de um quarto do gasto energético dos vegetais relacionado com as várias reações envolvidas na redução de nitrato à amônia e a subsequente incorporação às formas orgânicas nas plantas (Epstein e Bloom, 2005).

Embora o N represente 78% dos gases da atmosfera, sua fixação industrial na forma de amônia apresenta um alto custo energético, sendo requeridos 2000 kJ de energia não renováveis para a produção de um kg de N-uréia, assim como é alta a dependência por fontes não renováveis, como o gás natural e nafta, de H_2 , conforme a reação: $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$. Até o início do século XX, as formas de adição de N aos sistemas terrestres eram: a) fixação biológica do N_2 atmosférico, realizada por bactérias em associações simbióticas com leguminosas ou assimbióticas de vida livre; b) adubações orgânicas; e c) deposições por descargas elétricas na atmosfera, sendo o N_2 atmosférico reduzido a óxidos. Em 1909, o alemão Fritz Haber criou processo para produção de fertilizantes, ou seja, síntese de amônia (NH_3) a partir do N_2 atmosférico, sob pressão e temperaturas elevadas. Em 1930, Carl Bosch torna o processo mais seguro, favorecendo a utilização em escala industrial do processo então denominado Haber-Bosch. Os fertilizantes estão definidos na legislação brasileira (Decreto 86.955, de 18 de fevereiro de 1982) como “substâncias minerais ou orgânicas, naturais e sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes da plantas”. Sua função, portanto, é repor ao solo os elementos extraídos pelas colheitas e perdas, com a finalidade de manter ou até mesmo ampliar seu potencial produtivo. Um fertilizante “ideal” deve possuir características agronômicas como: a) solubilidade lenta, porém total, b) facilidade de aplicação e c) elevada eficiência no uso dos nutrientes pelas culturas e, para a indústria: baixo custo e matéria prima nacional.

Aproximadamente 98% do nitrogênio presente no solo encontra-se em frações orgânicas, como constituinte dos restos vegetais e da matéria orgânica do solo em diferentes moléculas e com variados graus de recalcitrância, ou ainda como parte de organismos vivos (Cantarella, 2007a) e somente cerca de 2% encontra-se em frações inorgânicas, principalmente como NH_4^+ e NO_3^- , presentes na solução do solo e adsorvidos aos colóides minerais.

Embora o estoque de N-orgânico no solo possa atingir 800 a 6000 kg N ha^{-1} na camada superficial de solos minerais (Cantarella, 2007a), sua utilização pelas plantas depende do processo de mineralização, ou seja, a transformação do N na forma orgânica em inorgânica (NH_4^+ ou NH_3). A taxa de mineralização depende, portanto, de diversos fatores que determinam as condições de atuação dos diversos grupos de microorganismos envolvidos no processo, sendo estimado que, anualmente, 2 a 3% do N orgânico do solo seja mineralizado.

No entanto, diante da dificuldade de se determinar a taxa e o momento em que esse estoque de N orgânico será mineralizada e pela necessidade de fornecimento de nitrogênio às culturas agrícolas em sincronia com as demandas nutricionais de seu ciclo, a adubação, via principalmente fertilizantes minerais torna-se uma prática fundamental para que altas produtividades sejam alcançadas nas lavouras.

No Brasil, o consumo de fertilizantes concentra-se em poucas culturas, principalmente soja e milho, que juntas, representam mais da metade da demanda nacional. Como se tratam de culturas consideradas commodities agrícola e estas vêm sofrendo enormes variações em seus preços no mercado internacional, a demanda nacional por fertilizantes apresenta historicamente uma relação direta com os preços alcançados pelo commodities agrícola (ANDA, 2006).

Entre os fertilizantes nitrogenados consumidos no Brasil, no ano de 2004, 49,7% do consumo de N foi na forma de uréia, 15,3% como sulfato de amônio e 14,2% como MAP e, em relação à uréia, as importações atingiram 1.587.532 toneladas, representando 68% do consumo, ao passo que as exportações não ultrapassaram 7.336 toneladas (ANDA, 2006). Em virtude do alto volume de importação, a demanda por fertilizantes representa impacto significativo na atividade agrícola brasileira. A importação de fertilizantes respondeu por quase 25% do déficit de U\$ 8 bilhões na balança comercial de produtos químicos em 2005 (ANDA, 2006). Entre os anos de 1987 e 2005, a produção nacional de fertilizantes apresentou crescimento de 41,03%, passando de cinco milhões de toneladas ao ano para quase dez milhões de toneladas ao ano.

A agricultura moderna foi responsável pela duplicação da produção de alimentos nas últimas quatro décadas, sendo esta duplicação associada a um aumento na fertilização das lavouras com nitrogênio equivalente a sete vezes (Tilman, 1999). O consumo mundial de fertilizantes nitrogenados em 2005/06 foi de 91,3 milhões Mg, significativamente superior ao consumo de fertilizantes fosfatados e potássicos, estimados em 36,5 e 25,2 milhões Mg, respectivamente (Heffer e Prud'Homme, 2007). Segundo a International Fertilizer Industry Association (IFA), devido a grande demanda por altas safras, o consumo mundial de fertilizantes inicia um novo ciclo, sendo estimado que, em 2006, o consumo global de fertilizantes nitrogenados superou em 6 milhões Mg nutrientes o consumo ocorrido em 2005, e ainda que, entre os anos de 2007 e 2011, o crescimento seguirá taxa de 2,4% anuais (Maene, 2007). Essa demanda ocasionou aumentos críticos nos preços dos fertilizantes, a ponto da uréia passar de US\$ 200,00 para US\$ 600,00 nos últimos 24 meses.

A média de fertilizantes nitrogenados aplicados ao ano no Brasil, é de 30 kg N ha⁻¹, ao passo que a média mundial é de 60 kg N ha⁻¹. No entanto, países desenvolvidos como Holanda apresenta média de 300 kg N ha⁻¹. Sob o ponto de vista de consumo *per capita*, o Brasil utiliza 10 kg N, contra aproximadamente 180 kg N utilizados na Holanda (Martinelli, 2007), evidenciando o potencial de crescimento no consumo de fertilizantes nitrogenados no Brasil. Mais da metade dos fertilizantes nitrogenados sintéticos foi usado no mundo unicamente nos últimos 25 anos, acreditando-se que cerca de 40% da população atual do planeta somente obtém seu sustento devido o aumento da produção agrícola decorrente do uso de fertilizantes nitrogenados (Mosier e Galloway, 2005).

Quando analisados os fatores de produção agrícola, os custos com fertilizantes nas principais culturas representam, em média, 30% dos custos totais. Considerando-se o fato de que as fontes para produção dos fertilizantes nitrogenados não são renováveis, por exemplo, gás natural e nafta, e de que o consumo dos mesmos encontra-se em franca expansão nos países em desenvolvimento, torna-se extremamente necessário o desenvolvimento de tecnologias que aumentem a eficiência agrônômica dos fertilizantes.

No Brasil, a cultura da roseira é uma das que o uso de fertilizantes nitrogenados é mais intenso, sendo aplicadas doses de 60 kg N ha⁻¹. mês⁻¹ (Ribeiro, 1999). Considerando o período

produtivo de 10 meses anuais, $600 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ tem sido aplicados nos campos de produção. A maior quantidade de N é absorvida durante a fase vegetativa para que se forme massa foliar e reservas pela planta. Essa elevada necessidade explica-se pela produção contínua e conseqüente exportação de nitrogênio pelas hastes colhidas. Os processos de perdas de N pelos quais os fertilizantes aplicados ao solo estão sujeitos e o decorrente baixo aproveitamento desses nutrientes pelas plantas cultivadas, provavelmente contribuem significativamente com esse quadro.

2.2 Principais Fertilizantes Nitrogenados Inorgânicos

Entre os fertilizantes nitrogenados consumidos no Brasil, no ano de 2004, 49,7% do consumo de N foi na forma de uréia, 15,3% como sulfato de amônio e 14,2% como MAP (ANDA, 2006). Além dessas três principais fontes, cita-se também: (a) nitrocálcio (27% N), produzido a partir da adição de calcário ao nitrato de amônio, foi utilizado no Brasil no passado, não estando mais disponível no mercado nacional; (b) amônia anidra (82% N), ainda utilizada nos EUA, porém apresenta limitações em sua aplicação na forma de gás pressurizado; (c) aquamônia (20% N), solução aquosa com uso restrito a alguns segmentos como usinas de cana-de-açúcar; (d) uran (28 a 32% N), fertilizante nitrogenado líquido mais comum e produzido a partir da dissolução de uréia e nitrato de amônio em água, contém cerca de 50% do N na forma amídica; (e) fosfato diamônio (DAP), apresentando concentrações de P superiores às de N e custos elevados; (f) nitrato de sódio (16% N), produto de origem natural, encontrado principalmente no Chile, foi o principal fertilizante nitrogenado antes da introdução dos fertilizantes sintéticos, porém a baixa concentração de N e a presença de Na restringem seu uso; (g) nitrato de cálcio (15 a 16% N e 19% Ca), recomendado para uso em solos salinos e/ou culturas com elevada exigência em cálcio, apresenta como desvantagem sua elevada higroscopicidade e, (h) nitrosfosfatos, produzidos pelo tratamento de rochas fosfatadas com ácido nítrico, resultando em ácido fosfórico e nitrato de cálcio e (i) nitrato de amônio (Cantarella, 2007a).

Sob o ponto de vista agrícola, entre as principais vantagens no uso da uréia, que a colocam como o principal fertilizante nitrogenado consumido no Brasil, citam-se: (a) sua maior concentração de N (44 a 46%, sendo todo N na forma amídica) entre todas as fontes nitrogenadas e conseqüentemente os menores custos com transporte, armazenamento e aplicação, (b) menor preço por unidade de N, (c) alta solubilidade, (d) baixa corrosividade, (e) compatibilidade com diversos fertilizantes e defensivos (Melgar et al., 1999) e (6) alta taxa de absorção foliar. Como desvantagens da uréia, citam-se: (a) elevada higroscopicidade, (b) possibilidade de presença de biureto, elemento fitotóxico, (c) perdas por lixiviação, ainda que inferiores às fontes nítricas e altamente dependentes de chuvas intensas nos dias seguintes à sua aplicação e, principalmente, (d) possibilidade de elevadas perdas por volatilização de NH_3 , uma vez que, após aplicada ao solo, sofre hidrólise enzimática, ocorrendo liberação de amônia (Cantarella, 2007a e 2007b).

O sulfato de amônio (21% N) é a segunda fonte nitrogenada mais utilizada no Brasil (ANDA, 2006), contém 23% de S em sua composição, baixa higroscopicidade e boas propriedades físicas, porém, seu elevado preço por unidade de N (superior ao da uréia e do nitrato de amônio) e a baixa disponibilidade deste fertilizante na forma granulada, contribuem para que sua participação no mercado não obtenha maior crescimento (Cantarella, 2007a).

O nitrato de amônio (33% N, sendo metade na forma nítrica e metade na forma amoniacal) é a fonte nitrogenada mais utilizada em diversos países do norte da Europa, e, no Brasil, a quarta fonte mais utilizada (ANDA, 2006). Apresenta custo por unidade de N intermediário entre o custo da uréia e do sulfato de amônio e por tratar-se de elemento utilizado como explosivo, encontra restrições para seu uso em todo o mundo, especialmente nos EUA, onde diversas empresas já não mais o utilizam em suas formulações. No Brasil, tem

sua produção, transporte e estocagem controlados pelo governo. Tal cenário traz a perspectiva de que o nitrato de amônio tenha sua participação cada vez mais decrescida nos mercados brasileiro e mundial de fertilizantes nitrogenados (Cantarella, 2007a).

2.3 Perdas de Nitrogênio por Volatilização de N-NH₃ Proveniente dos Fertilizantes.

O processo de volatilização de N-NH₃ é definido como a transferência de amônia gasosa do solo para a atmosfera, sendo determinado pelo conceito de equilíbrio de concentrações. A perda de nitrogênio por volatilização de amônia para a atmosfera é um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência da uréia CO(NH₂)₂ em fornecer nitrogênio às culturas (Kiehl, 1989). Estima-se que apenas 40% do N aplicado na forma de fertilizantes ao solo são aproveitados pelas plantas cultivadas (Boaretto et al., 2007).

O processo de volatilização do N proveniente da uréia ocorre pela ação da enzima urease. Em função das características bioquímicas dessa enzima, fatores que influenciam a atividade dos microorganismos também influenciam a hidrólise da uréia, promovendo grande variação na taxa de hidrólise para diferentes solos (Reynolds et al., 1987).

As perdas por volatilização de NH₃ do solo estão diretamente relacionadas aos fatores climáticos, fontes e doses de nitrogênio utilizadas e tipos de solo. Entre os fatores climáticos, a temperatura e a precipitação pluviométrica são os que exercem maior influência nas perdas, embora outros fatores como incidência e velocidade do vento também influenciem (Martha Júnior, 2003).

A temperatura influencia as perdas através da influência que exercem sobre a atividade da enzima urease, sendo a taxa de hidrólise da uréia aumentada com a elevação da temperatura até 40⁰ C (Bremner e Mulvaney, 1978).

Avaliando as perdas de N-NH₃ em função da temperatura, Hu et al. (2007) observaram que, a 35⁰C, as perdas após aplicação de 500, 1000 e 2000 mg N kg solo⁻¹, foram aumentadas em 2, 5 e 3,5 vezes, respectivamente, quando comparadas às perdas à 25⁰C, mostrando não só a influência da temperatura como também das doses sobre o processo de volatilização. Essa influência da temperatura sobre as perdas de NH₃ indica que, em condições tropicais, o uso da uréia na fertilização nitrogenada alcança menor eficiência agrônômica quando comparado ao seu uso em regiões de clima subtropical ou temperado.

Outro fator que influencia a hidrólise da uréia é a umidade do sistema solo-atmosfera. Quando aplicada sobre solo seco, a uréia pode permanecer estável. Porém, apenas orvalhos noturnos equivalentes a 0,1 a 0,5 mm e/ou a umidade acumulada na palha em SPD podem estimular a hidrólise da uréia no solo (Freney et al., 1992). Com o aumento do teor de umidade do solo, a taxa de hidrólise da uréia é elevada, até que a umidade alcance 20%, a partir do qual a taxa de hidrólise sofre pouca alteração com o aumento da umidade (Bremner e Mulvaney, 1978).

A adição de água no solo pelas chuvas ou irrigação após aplicação da uréia, promove o aumento da difusão da uréia no solo, aumentando o contato entre a uréia e a urease (Savant et al., 1987), potencializando a hidrólise da uréia. Por outro lado, esta difusão da uréia pelo perfil do solo possibilita que os íons NH₄⁺ que porventura venham a se formar encontrem maior CTC, ocorrendo maior taxa de adsorção pelos colóides do solo. As perdas serão, portanto, elevadas quando a umidade do solo e/ou o volume de precipitação, após aplicação da uréia, não forem suficientes para proporcionar a movimentação do adubo para camadas mais profundas do solo (Rodrigues e Kiehl, 1986; Martha Júnior, 2003).

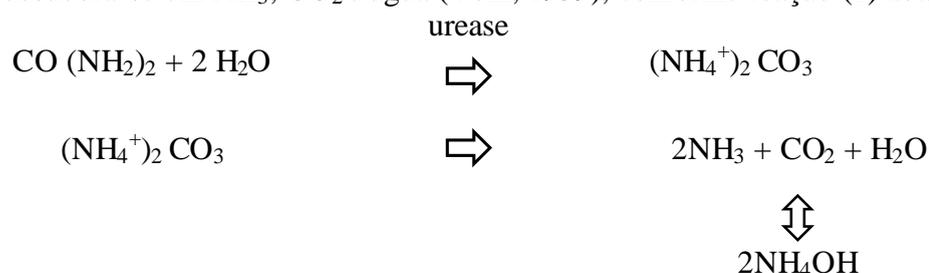
As perdas de N-NH₃ possuem relação direta com a velocidade e duração do processo de secagem do solo (Fenn e Escarzaga, 1976; Gasser, 1964; Kresge e Satchell, 1960 e Volk, 1966, citados por Urquiaga et al., 1989). O mesmo autor encontrou que as perdas de NH₃ do sulfato de amônio superaram em 60% as perdas pela uréia. Tal fato explica-se pelo pH alcalino do solo estimulando perdas pelas duas fontes e pela menor reatividade inicial da uréia

em relação ao sulfato de amônio, uma vez que o baixo teor de matéria orgânica do solo resulta em baixa atividade da urease, podendo o N-uréia ser difundido às camadas profundas antes de completar a hidrólise na superfície do solo. Urquiaga et al. (1989) relata que as perdas do N-fertilizante aplicado na superfície do solo úmido e sobre solo seco com irrigação, foram 42% e 37%, respectivamente. Tais valores são significativamente superiores às perdas nas aplicações sobre a superfície do solo seco ou enterrado em solo úmido, as quais foram 23,4% e 22%, respectivamente.

Avaliando o efeito da irrigação anterior e posteriormente a aplicação da uréia, Lara Cabezas et al. (1997a) encontraram que, quando a irrigação foi realizada após aplicação da uréia, as taxas de perda de NH₃ foram decrescentes nos primeiros dias após aplicação, mostrando a tendência de aprofundamento da uréia após irrigação, enquanto que quando a irrigação foi realizada antes da aplicação de uréia, as taxas de perdas foram crescentes, provavelmente devido o favorecimento das perdas pela corrente de evaporação de água do solo.

Estudando as perdas por volatilização em função das formas de aplicação do fertilizante nitrogenado, Chen et al. (2007) observaram que quando aplicado superficialmente, a volatilização é controlada pela temperatura do solo e velocidade do vento, enquanto que aplicada em profundidade, os fatores que regulam o processo de volatilização são temperatura e umidade do solo, CTC e a profundidade de aplicação.

A uréia aplicada, normalmente é hidrolisada em dois ou três dias e a taxa de hidrólise depende da temperatura do solo, umidade, quantidade e forma pela qual a uréia é aplicada (Byrnes, 2000). Hu et al. (2007) encontraram que, após aplicação de uréia e de um fertilizante de liberação lenta/controlada, em duas condições de temperatura (25 e 35^oC), o pico de volatilização, nas quatro situações, ocorreu no segundo dia após aplicação das fontes. Diversos outros autores encontraram picos de volatilização entre 24 e 72 horas após aplicação da uréia (Rodrigues e Kiehl, 1986; Guedes, 2002; Martha Júnior, 2003; Barbieri e Echeverría, 2003; Ros et al., 2005; Duarte, 2006 e Hu et al., 2007). Como resultado da hidrólise, tem-se a formação de carbonato de amônio. O carbonato de amônio resultante da hidrólise da uréia não é estável e desdobra-se em NH₃, CO₂ e água (Volk, 1959), conforme reação (1) abaixo:



Percebe-se pela fórmula 1, portanto, que as perdas por volatilização de NH₃ nos solos dependem do pH do solo. A reação abaixo representa o equilíbrio entre o íon amônio (NH₄⁺) e a forma gasosa (NH₃):



Sendo assim, valores elevados de pH proporcionam maiores perdas por volatilização de NH₃ da uréia aplicada em superfície (Byrnes, 2000). A diminuição das perdas por volatilização ocorre quando o gás amônia transforma-se em íon amônio (NH₄⁺) que depende do pH em torno do grânulo da uréia e da umidade do solo (Ros et al., 2005), sendo esta passagem intensificada pela difusão da amônia no solo e dependente de textura, porosidade, umidade e da capacidade do solo em reter amônio (Lara Cabezas et al., 1997a). Como consequência deste processo, tem-se a elevação do pH na região próxima aos grânulos do fertilizante aplicado, favorecendo a formação de amônia. Estudos mostram que o pH em água,

na camada próxima à aplicação do fertilizante, aumentou de 6,9 para 8,7 (Rodrigues e Kiehl, 1992) e de 6,5 para 8,8 três dias após aplicação da uréia (Overrein e Moe, 1967), evidenciando que, mesmo em solos ácidos, a aplicação superficial de uréia possibilita elevadas perdas por volatilização de NH_3 . Perdas na ordem de 50% do N aplicado foram observadas em solo alcalino no norte da China, enquanto em solo ácido sob pastagem na Austrália, as perdas foram de 20%, sendo a mudança de pH no local da aplicação o principal fator responsável pelas perdas por volatilização de NH_3 em solos ácidos (Chen et al., 2007).

A condição de pH e a concentração de NH_4^+ na solução do solo após aplicação de fonte nitrogenada são influenciadas pelo poder tampão e CTC do solo (O'Toole et al., 1985; Whitehead, 1995; citados por Martha Junior, 2003). Segundo Volk, (1959), em $\text{CTC} < 80 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ as perdas de NH_3 foram elevadas, ao passo que em $\text{CTC} > 110 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$, as perdas de NH_3 foram mínimas, evidenciando a relação da CTC com a capacidade de retenção de NH_4^+ no solo. A influência do teor de matéria orgânica do solo se expressa indiretamente através da contribuição com a CTC e o poder tampão do solo.

Pela relação que possui com a CTC, poder tampão e manutenção da matéria orgânica do solo, a textura do solo também influencia as perdas de NH_3 por volatilização. Solos de textura arenosa normalmente apresentam baixo poder tampão, teor de matéria orgânica e CTC, refletindo em maiores perdas de NH_3 quando comparados a solos de textura média a argilosa. A baixa capacidade de retenção de umidade dos solos arenosos também proporciona elevadas perdas de NH_3 , uma vez que, sob as mesmas condições, as taxas de evaporação de água nesses solos são superiores as encontradas nos solos de textura média a argilosa (Fenn e Kissel, 1976; Nelson, 1982; citados por Cantarella, 2007a).

Diversos resultados demonstram o elevado potencial de perdas de NH_3 por volatilização após aplicação de uréia em cobertura ao solo. A aplicação de 100 kg N ha^{-1} , na forma de uréia, em cobertura de milho sobre SPD e SPC, proporcionou perdas totais por volatilização de 78 e 30,7%, respectivamente, ao passo que quando aplicados nitrato e sulfato de amônio, as perdas foram inferiores a 15% (Lara Cabezas et al., 1997b). Em trabalho para quantificar as perdas de N do sistema solo-cana-de-açúcar, Trivelin et al. (2002), constataram que, em cana-soca, a aplicação superficial de uréia com ^{15}N resultou em somente 50% de recuperação do N-fertilizante, sendo os 50% perdidos devido, principalmente a volatilização de NH_3 . Também em cana-de-açúcar, Oliveira et al. (1997), e Costa et al. (2003), encontraram que após aplicação da uréia sobre palha, as perdas foram de 40 e 36% respectivamente.

2.4 Formas de Redução nas Perdas de Nitrogênio por Volatilização de N- NH_3

Vários trabalhos já foram realizados com objetivo de reduzir as perdas por volatilização de amônia. Rodrigues e Kiehl (1986), observaram que a aplicação de uréia em cobertura resultou na perda por volatilização de quase todo nitrogênio, ao passo que, quando incorporada mecanicamente a 5 cm de profundidade permitiu melhor controle das perdas por volatilização de NH_3 . Porém, os autores ressaltam que, em solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica a capacidade de retenção de amônia é baixa, sendo recomendado que a profundidade de aplicação da uréia seja aumentada de forma a compensar a menor capacidade de retenção destes solos. Os autores observaram também que a aplicação em profundidade mostrou-se mais efetiva em reduzir a volatilização de amônia quando a menor dose de uréia foi utilizada.

No entanto, sistemas conservacionistas como sistema de plantio direto (SPD) e colheita de cana-de-açúcar sem despalha a fogo não tem favorecido esta incorporação, devido à presença de espessa camada de palha sobre a superfície do solo, sendo a uréia aplicada a lanço e ainda sobre os restos culturais, onde a concentração e atividade da urease tendem a ser mais elevadas, potencializando a volatilização de amônia (Moal et al., 1995). Diante desta

realidade, constata-se a necessidade de utilização de fontes nitrogenadas que apresentem menores perdas do elemento por volatilização (Trivelin et al., 1997).

A incorporação da uréia pode também ser realizada pela água de chuva ou irrigação, porém as mesmas precisam ter intensidade suficiente para que o adubo possa ser rapidamente incorporado ao solo (Bouwmeester et al., 1985; citado por Urquiaga et al., 1989) sendo, em áreas de solo descoberto, 10 a 20 mm de água considerados suficientes para incorporar a uréia e reduzir ou mesmo eliminar as perdas de NH_3 (Terman, 1979; Hargrove, 1988b; citados por Cantarella, 2007a). No entanto, a presença de palha parece aumentar a exigência da lâmina de água, e uma explicação para isso, é que, quando há palha na superfície, a água desce por canais preferenciais junto à palha e, com isso, não arrasta eficientemente a uréia para o interior do solo (Cantarella, 2007b).

Avaliando as perdas por volatilização das fontes uréia, uran, sulfuran, sulfato de amônio e nitrato de amônio, Lara Cabezas et al. (1997b) observaram que, para todas as fontes, as maiores perdas ocorreram quando aplicadas em superfície, em relação a aplicação com incorporação.

A mistura entre diferentes fontes nitrogenadas também constitui alternativa. Em experimento de laboratório, a mistura de uréia com sulfato de amônio reduziu significativamente as perdas de N-NH_3 por volatilização (Vitti et al., 2002). No entanto tal procedimento dificulta a aplicação no campo devido as diferentes granulometrias entre as fontes, já que a oferta de sulfato de amônio granulado é reduzida. Além disso, ressalta-se o maior preço por unidade de N apresentado pelo sulfato de amônio.

Sengik e Kiehl (1995) testaram em trabalhos de laboratório a utilização de sais inorgânicos, especialmente superfosfato triplo, fosfato monoamônico, superfosfato simples, sulfato ferroso e cloreto férrico em solução ou suspensão com a uréia, observando que a mistura de superfosfato simples com uréia nas relações de 1:1, 2:1 e 3:1, reduziram as perdas por volatilização em 14%, 17% e 19%, respectivamente. Tais resultados provavelmente são explicados pela presença do ácido fosfórico, acarretando em acidificação do meio e maior taxa de formação de NH_4^+ , além disso, o fosfato de amônio formado na reação possui elevada estabilidade no solo (Glória, 1991; citado por Guedes, 2002).

Vários fertilizantes de liberação lenta ou controlada têm sido desenvolvidos com objetivo de liberar nutrientes em sincronia com as necessidades das culturas. Estes fertilizantes permitem ainda maiores intervalos de aplicação, pois possuem baixa solubilidade em água. Essa característica é alcançada seja através de coberturas com materiais orgânicos ou inorgânicos ou mesmo por seqüência de membranas que tornam lenta a taxa de liberação do N-fertilizante (Cantarella, 2007c).

Testando as perdas por volatilização de um fertilizante de liberação lenta/controlada em comparação com a uréia, Hu et al. (2007) encontraram redução na ordem de 24,4% à 25° C e 33% à 35° C pelo fertilizante testado, verificando a influência da temperatura também sobre os fertilizantes de liberação lenta/controlada. Observaram ainda que, nos 10 primeiros dias após aplicação das fontes, as perdas da uréia foram superiores e após o décimo dia, as perdas do fertilizante avaliado superaram as perdas da uréia, confirmando a liberação lenta do N.

Outra forma de reduzir as perdas por volatilização de NH_3 é através da inibição da ação da enzima catalisadora da reação obtida com o uso de compostos orgânicos e inorgânicos denominados inibidores da urease. Centenas destes produtos têm sido testadas, com destaque para o NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida), composto que apresenta características de solubilidade e difusividade similares às da uréia, no entanto o mesmo apresenta limitações quanto sua estabilidade após aplicação à uréia e também pelo fato de seu efeito durar por período de apenas três a cinco dias, o que faz com que o sucesso de seu uso dependa da temperatura e umidade inicial do solo e do período e intensidade das chuvas que porventura ocorram nos dias subseqüentes à adubação (Cantarella, 2007b). Em experimento

de campo com cana-de-açúcar, observou-se que a uréia aplicada em associação com o NBPT proporcionou redução de aproximadamente 60% nas perdas por volatilização de NH_3 (Barth et al., 2007).

No entanto, essas novas tecnologias não têm alcançado ampla difusão na agricultura, devido seus custos elevados, que, associados aos baixos preços alcançados pelas safras, tornam sua utilização na agricultura intensiva inviável economicamente (Blaylock e Dowbenko, 2007; Cantarella, 2007c). Seu benefício econômico depende das condições ambientais, potencial de perdas do N, preço em relação aos fertilizantes tradicionais e receita obtida pela safra (Grant, 2007).

Uma alternativa promissora para reduzir as perdas de NH_3 por volatilização é o uso de zeolitas naturais em associação com a uréia. As zeolitas apresentam alta habilidade de adsorção e capacidade de troca catiônica (Vaughan, 1978), pois em sua estrutura, parte do Si^{4+} está substituída por Al^{3+} , gerando uma deficiência de carga positiva. Para neutralizar esta carga, cátions trocáveis encontram-se fixados eletrostaticamente ao longo das faces e entre as camadas estruturais (Aguilar et al., 2002). Estes cátions substituem-se livre e reversivelmente (Langella et al., 2000), uns pelos outros, numa mesma espécie de zeolita, tendo como única restrição o balanço de cargas (Resende e Monte, 2005). A carga negativa do arranjo aniônico de Al-O-Si se compensa, portanto, com cátions trocáveis, como NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} e Ba^{+2} , os quais ocupam sítios específicos nas cavidades e canais da zeolita.

Devido seu potencial de interação com compostos nitrogenados, as zeolitas podem ser usadas na agricultura, pois sua capacidade de armazenamento e liberação lenta desse nutriente é capaz de gerar significativa economia com fertilizantes, e conseqüente proteção ambiental (Resende e Monte, 2005).

Testando as proporções de 15, 20 e 30% de zeolita no recobrimento da uréia, Louis (2002) observou que após a aplicação das fontes na cultura de tomate, as perdas de NH_3 foram reduzidas em 48, 49 e 54%, respectivamente, quando comparadas às perdas pela aplicação da uréia isolada, demonstrando a capacidade de adsorção e alta seletividade pelo íon amônio.

Estudos com aplicação de uréia recoberta com zeolitas (5% e 10%), em diferentes condições e cultivos, demonstraram perdas de NH_3 entre 25 e 35% do N aplicado, ao passo que a uréia comercial proporcionou perdas médias de 50% do N aplicado (Jonh et al., 1988; citado por Louis, 2002). Quando misturada zeolita à uréia, nas proporções de 15 e 30%, as perdas de NH_3 foram significativamente reduzidas entre 40 e 50% em comparação a aplicação da uréia comercial isolada (Urquiaga e Zapata, 2000; citados por Louis, 2002).

Estes resultados demonstram o potencial de uso dos minerais zeolíticos em desenvolvimento tecnológico de “fertilizantes zeolíticos” à base de uréia que apresentem reduzidas perdas de N- NH_3 por volatilização.

2.5 Métodos para Quantificação do N- NH_3 Volatilizado

A perda por volatilização de amônia resultante da aplicação de fertilizantes nitrogenados pode ser determinada por meio de métodos diretos ou indiretos (Lara Cabezas e Trivelin, 1990).

Os métodos indiretos podem ser efetuados por meio do uso de fertilizante marcado com ^{15}N isótopo, porém apresentam altos custos e são, normalmente, utilizados para calibração de outros métodos.

Nos métodos diretos podem ser utilizadas câmaras fechadas ou semi-abertas, estática, semi-estáticas ou dinâmicas, com fluxo de ar ou gás inerte de arraste isento de amônia. São métodos muito práticos e com custos reduzidos, possibilitando seu uso em experimentos com grande número de tratamentos e parcelas. Porém, apresentam a desvantagem de ter as condições climáticas alteradas em seu interior. Fatores como temperatura, umidade relativa, ventilação, comprimento e intensidade das ondas luminosas e formação de orvalho diferem

entre o interior das câmaras e o que realmente ocorre no campo, influenciando o processo de volatilização (Lara Cabezas e Trivelin, 1990; Trivelin, 2001).

Existe ainda o método direto micrometeorológico, onde o fluxo de entrada e saída é integrado em uma grande área. Este método apresenta a vantagem de não alterar as condições climáticas próximas à superfície do solo e, conseqüentemente, não influenciar o processo de volatilização (Trivelin, 2001). Como desvantagem, apresenta a necessidade de aparelhos específicos, sendo um método trabalhoso e com custo elevado.

Lara Cabezas e Trivelin, (1990), em revisão de literatura, observaram que o sistema fechado-estático pode impossibilitar que a volatilização aconteça como em condições naturais, pois modificam o ambiente na superfície do solo, uma vez que isolam o solo do ar atmosférico. Os coletores descritos por Nönmik (1973), com sistema semi-aberto estático, proporcionam melhores resultados quando utilizados em estudos de campo, pois possuem abertura permanente que proporcionam um equilíbrio entre a atmosfera interna do coletor e a atmosfera externa, porém possuem suas limitações. Essas limitações foram avaliadas por Lara Cabezas e Trivelin (1990) os quais observaram que a presença do sistema coletor semi-aberto estático influenciou significativamente, reduzindo a porcentagem e a quantidade de amônia volatilizada do fertilizante, quando comparado com o método indireto com uso de ^{15}N . Ademais, o coletor semi-aberto estático proporcionou recuperação de somente 20% do N-NH_3 realmente volatilizado. Portanto, o uso de sistemas coletores semi-abertos estáticos proporciona resultados somente qualitativos, ou, através do uso de fatores de correção, podem determinar quantitativamente o N-NH_3 volatilizado. Logo, extrapolar resultados obtidos através de método que apresente eficiência de somente 20% na recuperação do N-NH_3 volatilizado pode fazer com que os dados obtidos sejam pouco confiáveis quantitativamente.

Um modelo que apresenta baixo custo e simplicidade operacional no campo, consiste em câmara coletora semi-aberta estática confeccionada a partir de frasco plástico transparente tipo PET de 2 litros sem a base, com diâmetro de 10 cm, abrangendo $0,008 \text{ m}^2$ de área, no interior dos quais é fixado um frasco de 50 ml contendo 10 ml de solução de H_2SO_4 $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ + glicerina 2% (v/v), no qual é adicionada lâmina de papel de filtro com 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento, umedecida na solução, sendo a amônia volatilizada captada na forma de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (Marsola et al., 2000). Esse modelo, em condições de casa de vegetação e baixas taxas de volatilização de NH_3 , apresenta elevada eficiência na recuperação do N-NH_3 volatilizado. Porém, embora utilizado em condições de campo (Guedes, 2002), não possui calibração para tal. Além disso, a ocorrência de saturação do papel de filtro responsável pela captação do N-NH_3 volatilizado, exigindo troca das fitas em curto espaço de tempo, dificulta seu uso em condições de médias e, principalmente, altas taxas de volatilização de NH_3 .

Com objetivo de elevar a eficiência de recuperação deste modelo de câmara em condições de altas taxas de volatilização de N-NH_3 , modificações foram propostas por Araújo et al. (2006). As modificações consistiram na substituição da fita de papel filtro por uma lâmina de espuma de poliuretano, nas mesmas dimensões da fita de papel de filtro, e, em vez de usar a concentração de H_2SO_4 a $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$, optou-se pela concentração de 1 mol dm^{-3} . Visando adaptar o sistema para utilização em condições de campo e mantê-lo aberto, permitindo a circulação de ar, porém sem sofrer interferência da entrada de água proveniente de precipitações e/ou irrigação, a base da PET retornou de forma invertida na extremidade superior da câmara, sendo suspensa por uma espiral de arame, formando um chapéu capaz de evitar a entrada de água no interior da câmara. Testes comparando o sistema original (Marsola et al., 2000) e o modificado por Araújo et al. (2006), mostraram que o primeiro apresentou eficiência de recuperação do N-NH_3 volatilizado entre 50 a 60%, enquanto que o modelo modificado por Araújo et al. (2006) apresentou eficiência de recuperação entre 75 e 90%, confirmando o êxito obtido com as modificações propostas.

Testes posteriormente realizados, também com uso de ^{15}N e em condições controladas, mostraram que, para diferentes doses de N aplicadas, a eficiência média de recuperação do N volatilizado foi de 50%, sendo sugerido pelos autores o uso de fator 2,0 para correção dos resultados obtidos em condições de campo. Foi determinado também que os intervalos de coletas testados (1, 2, 3 e 6 dias) não afetaram a eficiência da câmara coletora de N-NH_3 , podendo a coleta ser realizada em intervalos que variam de um a seis dias (Araújo et al., 2007).

2.6 Zeolitas e seu Uso na Agricultura

Zeolita é um termo de origem grega (*zein* = ferver + *lithos* = pedra) introduzido em 1756 pelo mineralogista sueco Axel Fredrick Cronsted, para designar certos minerais em alusão ao caráter peculiar de suas respostas ao aquecimento (Mumpton, 1981; Gottardi e Galli, 1985, citado por Resende e Monte, 2005), o que, posteriormente, explicou-se pela elevada capacidade de retenção de moléculas de água na estrutura do mineral.

Zeolitas compõem um grupo com mais de 80 tipos de minerais de ocorrência natural conhecidos, sendo historicamente consideradas tectossilicatos apresentando uma estrutura tridimensional onde os arranjos dos tetraedros de $(\text{SiO}_4)^{4-}$ e $(\text{AlO}_4)^{4-}$ formavam um arcabouço diversificado, contendo cavidades e canais que poderiam ser ocupados por moléculas de água e cátions de metais alcalinos e/ ou alcalino-terrosos, de forma trocável (Flaningen, 1981; citado por Resende e Monte, 2005). Atualmente a definição de zeolita, definida pelo *Subcommittee on Zeolites of the International Mineralogical Association - IMA Commission on New Minerals and Mineral Names* (Coombs et al., 1997; citado por Resende e Monte, 2005), extrapola o universo dos tectossilicatos e considera zeolita toda substância cristalina com estrutura caracterizada por um arcabouço de tetraedros interligados, cada um consistindo de quatro átomos de oxigênio envolvendo um cátion. Esse arcabouço contém cavidades abertas, na forma de canais e “gaiolas”, normalmente ocupadas por moléculas de água e cátions extra-arcabouço, que são, em geral, trocáveis. Os sistemas de canais são formados pelas diferentes combinações de anéis de tetraedros interligados e possuem dimensões suficientes para permitir a passagem de certos elementos selecionados, de forma que quanto mais largo os canais, na sua parte mais estreita, maiores os cátions que podem ser admitidos na sua estrutura (Resende e Monte, 2005), sendo a passagem, portanto, limitada pelo diâmetro dos poros da zeolita, de forma que só podem ingressar ou sair do espaço intracristalino aquelas moléculas cujas dimensões são inferiores a certo valor crítico, que varia de uma zeolita para outra (Luz, 1995).

Além do volume dos poros, a distribuição do tamanho dos poros e a área superficial são as características mais importantes na capacidade de troca das zeolitas. A porosidade é definida como a fração de volume aparente da amostra porosa que é ocupada pelos poros ou espaços vazios, sendo os mesmos divididos em: (a) poros interligados: são aqueles que formam uma fase contínua dentro da estrutura porosa, (b) poros isolados: são aqueles que se encontram sem ligação uns com os outros, não contribuindo para o transporte de matéria através de seus espaços vazios, e (c) poros inertes: são interligados apenas de um lado, e embora possam ser penetrados pela matéria, contribuem muito pouco para o transporte (Costa et al., 2002). Os mesmos autores, em caracterização física de amostra de zeolita estilbita proveniente da Bacia do Parnaíba, Maranhão, determinaram: (a) área de microporos= $1,21 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$; (b) porosidade= $61,62\%$ e (c) massa específica= $2,52 \text{ g cm}^{-3}$, evidenciando a grande porosidade do material, o que habilita sua utilização para fins de troca iônica.

A estrutura tridimensional na forma de canais e cavidades interconectadas conferem às zeolitas vantajosas características e propriedades como: (a) alto grau de hidratação, (b) baixa densidade e grande volume de vazios (quando desidratadas), (c) estabilidade da estrutura

crystalina, (d) elevada capacidade de troca catiônica, (e) canais uniformes (mesmo desidratada), (f) capacidade de adsorção de gases e vapores e (g) propriedades catalíticas (Vaughan, 1978). A alta eficiência de adsorção das zeolitas relaciona-se com sua grande superfície interna, devido à sua estrutura cristalina ser caracterizada por cavidades espaçosas; a superfície interna da mordenita é de $400 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ e da clinoptilolita é de $300 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (Luz, 1995). Essas propriedades favorecem seu uso como peneiras moleculares, podendo as mesmas, seletivamente, separar moléculas de acordo com suas formas e/ ou tamanhos (Resende e Monte, 2005).

Quanto à composição química, as zeolitas classificam-se como alúmino-silicatos hidratados, de metais alcalinos e/ou alcalino-terrosos, comportando-se como tectossilicatos, consistindo de um arcabouço tridimensional de tetraedros de $(\text{SiO}_4)^{4-}$, em que todos os íons oxigênio, dos vértices de cada tetraedro, são compartilhados com tetraedros adjacentes. Assim como nos feldspatos, nas zeolitas parte do Si^{4+} está substituída por Al^{3+} , gerando uma deficiência de carga positiva, balanceada pela incorporação de cátions (cambiáveis) monovalentes ou divalentes, em algum lugar da estrutura, de forma que a relação alumina: bases=1. Para neutralizar esta carga, cátions trocáveis encontram-se fixados eletrostaticamente ao longo das faces e entre as camadas estruturais (Aguar et al., 2002). Estes cátions substituem-se livre e reversivelmente (Langella et al., 2000), uns pelos outros, numa mesma espécie de zeolita, tendo como única restrição o balanço de cargas, podendo, numa determinada espécie, 2Na^+ substituir 1Ca^{2+} , ou 2NH_4^+ substituir 1Sr^{2+} (Resende e Monte, 2005). A carga negativa do arranjo aniônico de Al-O-Si se compensa, portanto, com cátions trocáveis, como NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Ba^{2+} , os quais ocupam sítios específicos nas cavidades e canais da zeolita.

Cada zeolita possui sua própria seletividade e capacidade de troca catiônica, características que variam de acordo com fatores como pH, temperatura, presença de outros íons na solução (Luz, 1995), natureza das espécies catiônicas (tamanho, carga e grau de hidratação), concentração das espécies catiônicas na solução e espécies aniônicas associadas aos cátions em solução (Louis, 2002). A seletividade por determinado cátion refere-se a sua capacidade de direcionar a reação em detrimento a outro cátion presente na solução, e, nas zeolitas, essa seletividade catiônica não segue os padrões típicos que são observados por outros trocadores catiônicos orgânicos e inorgânicos (Sherman, 1978; citado por Louis, 2002). Segundo Mondale et al., (1995), a seletividade das zeolitas naturais sobre metais pesados segue, aproximadamente, a seguinte ordem: $\text{Ag}^+ > \text{Pb}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Zn}^{2+} = \text{Cu}^{2+} \gg \text{Ni}^{2+} > \text{Hg}^{2+}$. Langella et al., 2000, em estudos com zeolita Clinoptilolita proveniente de Sardenia – Itália, encontrou em isotermas de NH_4^+ , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} e Pb^{2+} trocáveis por Na^+ , à 25°C e 0,1N, a seguinte ordem de seletividade: $\text{NH}_4^+ > \text{Pb}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Cd}^{2+} > \text{Cu}^{2+} = \text{Zn}^{2+}$. Segundo estes autores, a elevada relação Si/Al da Clinoptilolita resulta em pequeno campo aniônico dando origem à alta seletividade por cátions de baixa carga, por exemplo, NH_4^+ e fraca seletividade por cátions de alta carga, por exemplo, cátions divalentes. O desempenho observado pela Clinoptilolita em relação ao Pb^{2+} é considerado exceção à regra. Estes resultados indicam que existe possibilidade de aplicações práticas de Clinoptilolita em relação à adsorção de NH_4^+ . Dados existentes na literatura indicam uma ampla variedade nas propriedades de troca catiônica de diferentes Clinoptilolitas, enfatizando que a seletividade de troca catiônica pela mesma varia de acordo com a composição catiônica da solução e não somente com a capacidade de trocar cátions do arranjo estrutural disponível nas diferentes zeolitas (Langella et al., 2000), demonstrando que determinada zeolita a ser utilizada necessita de estudos para o fim específico que se pretenda com sua utilização.

Costa et al. (2002), em amostra de zeolita stilbita, observaram que o cátion Na^+ foi mais facilmente removido da estrutura da zeolita em relação aos cátions Ca^{2+} e K^+ , sendo estes os três cátions de compensação encontrados na zeolita. Segundo Park e Komarneni

(1997), a quantidade de nutrientes retida pelas zeolitas é limitada pela CTC da zeolita e a cinética de captura e liberação é determinada pelas propriedades estruturais das zeolitas e ainda que, a quantidade de sais oclusos pelas zeolitas varia de acordo com cada espécie e também com os tipos de sais envolvidos na reação. O mesmo autor, em estudos com isoterms de adsorção e dessorção, observou que a afinidade na relação com o nitrato de potássio e nitrato de amônio ocorreu, respectivamente, na seguinte ordem: erionite > clinoptilolite > chabazite > phillipsite e phillipsite > erionite > chabazite > clinoptilolite, respectivamente.

Existem diversas zeolitas naturais no mundo, em quantidade e pureza suficientes para utilização em processos industriais (Englert e Rubio, 2005), representando elevado potencial para uma variedade de usos industriais. As zeolitas naturais são produzidas em nível mundial pelos EUA, Cuba, Chile, Japão, Hungria e China, sendo esta última a principal produtora. No entanto, existem diferentes tipos de zeolitas, sendo que as mais exploradas no mundo são a clinoptilolita, mordenita, chabazita e phillipsita (Resende e Monte, 2005). Além disso, as mesmas zeolitas de depósitos diferentes podem apresentar variações nas propriedades químicas e físicas e consequentemente nas possibilidades de uso agrícola.

Os principais depósitos de zeolitas naturais brasileiras sedimentares encontram-se na bacia do Paraná (SP/MG/MS), bacia Potiguar (RN) e bacia do Parnaíba (MA/TO), sendo este último, o principal registro de zeolitas em rochas sedimentares no Brasil, ocorrendo principalmente as zeolitas stilbita e laumontita (Resende e Monte, 2005). Ainda segundo os autores, as mesmas ocorrem em área superior a 1000 km², abrangendo parte dos estados do Maranhão e Tocantins, com espessura que alcança mais de 30 metros. Seu conteúdo é variável, encontrando-se teores da ordem de até 50%, evidenciando o grande potencial de exploração deste material nacional. Ainda assim, os mesmos autores destacam que apesar da reconhecida importância econômica das zeolitas naturais, apenas recentemente o Brasil despertou para a necessidade de uma avaliação potencial dos depósitos passíveis de exploração.

Zeolitas podem ser utilizadas para diversos fins, entre os quais se destacam os usos para recuperação de áreas afetadas por derrames de petróleo, óleo combustível e gasolina; tratamento de águas contaminadas por metais pesados e águas poluídas por material orgânico e/ ou contaminantes sólidos; nutrição animal; filtração de ar; construção civil e estabilização de rejeitos venenosos (Resende e Monte, 2005).

Englert e Rubio (2005), em estudos de adsorção de amônia em solução aquosa, obtiveram resultados que indicam potencial significativo de utilização de zeolita natural proveniente do Chile (clinoptilolita e mordenita) para tratamento de águas poluídas e aplicações em reúso de águas. Os mesmos autores observaram que o pH exerceu influência sobre a remoção da amônia em solução aquosa, de forma que o melhor desempenho foi alcançado em pH 6,0 e uma significativa redução ocorreu a pH 9,0, provavelmente devido a maior conversão do N em NH₃ ocorrida neste pH.

A adição de 100 gramas de concentrado zeolítico em 1kg de neossolo quartzarênico proporcionou aumento de 67% na capacidade de retenção de água pelo solo, estando esta água retida a baixas tensões (Werneck et al., 2007). Bernardi et al. (2004), mostraram que a adição de 150 g de concentrado zeolítico em vaso com 3kg de neossolo quartzarênico possibilitou que as irrigações no cultivo de arroz fossem realizadas com intervalos de um dia sem comprometimento no crescimento e na produção quando comparado ao manejo com irrigação diária, evidenciando que a capacidade de armazenamento de água foi elevada e que esta água esteve retida a baixas tensões. Xiubin e Zhanbin (2001) observaram que a aplicação de zeolita no solo, não somente aumenta a capacidade de armazenamento de água, como também reduz o escoamento superficial, protegendo o solo contra processos erosivos. Esses resultados evidenciam as zeolitas como alternativa para elevação da eficiência no uso da água pelas atividades agrícolas.

Lei et al. (2008), em avaliações de isotermas em solução aquosa utilizando zeolita natural proveniente da China tratada por irradiação com microondas, observaram que a presença de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} em solução, são capazes de reduzir a adsorção de NH_4^+ pela zeolita utilizada, existindo uma relação inversamente proporcional entre a concentração destes cátions e a adsorção de NH_4^+ , e que a ordem de seletividade foi: $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$. Diante dos resultados, conclui-se que a zeolita testada, devido sua alta capacidade de adsorção e seletividade pelo NH_4^+ , pode ser usada para fins de adsorção do NH_4^+ , porém a existência de outros cátions em solução deve ser considerada.

O vasto campo de aplicação tecnológica das zeolitas deve-se à composição química e à estrutura cristalina dessa grande família de minerais (Breck, 1974, 1983; Mumpton, 1981; Branco, 1984; Passaglia e Galli, 1991; Luz, 1994; Colella, 1996; Ciullo, 1996; citado por Resende e Monte, 2005). A maioria dos usos envolve, normalmente, a capacidade de troca de íons das zeolitas, destacando-se: controle de odores, através da adsorção e remoção de dejetos animais; tratamento de águas de esgoto, através da remoção de amônia e íons metálicos; remoção de amônia em atividades da agricultura; suplementação na alimentação animal; condicionador de solo e agente de liberação lenta de nutrientes em fertilizantes; tratamento de resíduos nucleares, dentre outros (Mondale et al., 1995), evidenciando a grande afinidade das zeolitas pelos compostos nitrogenados.

Baptista-Filho et al. (2007), realizaram estudos de laboratório, onde zeolitas naturais do Brasil (concentrado zeolítico desenvolvido pelo CETEM à partir do arenito zeolítico utilizado no presente trabalho), Chile e Cuba foram saturadas com solução aquosa rica em sulfato de amônio, e a liberação do N determinada por espectrometria fotoacústica. Verificaram, após quantificação do N volatilizado, que a zeolita nacional (proveniente da Bacia do Parnaíba, MA), apresenta alta eficiência em aprisionar o N em sua estrutura, assim como as zeolitas naturais Cubanas e Chilenas.

Devido sua interação com compostos nitrogenados, as zeolitas podem ser usadas na agricultura como condicionador de solo devido sua capacidade de armazená-los (assim como os elementos fósforo e potássio, além da água), liberando-o lentamente, reduzir as perdas por lixiviação de nitrato e volatilização de amônia, gerando significativa economia com fertilizantes, e conseqüente proteção ambiental (Resende e Monte, 2005).

Mondale et al. (1995), observa que as zeolitas naturais estão frequentemente sujeitas a diversos problemas em seu uso, já que, diferentemente das zeolitas sintéticas, apresentam variações em seus processos naturais de gênese, e conseqüentemente significantes variações nas estruturas químicas e estruturais entre as diversas fontes, gerando materiais com imperfeições estruturais, variedades nas capacidades de troca de cátions, diferentes dimensões de estrutura e grau de hidratação, além de presença de minerais e outras partículas que podem obstruir os poros, reduzindo a taxa de difusão. No entanto, mesmo com a vantagem de apresentarem uniformidade no tamanho e forma dos canais, e composição química pré-definida em função dos fins a que se destina, o elevado custo das zeolitas sintéticas reservam seu uso em aplicações que exigem características mais uniformes de estrutura e composição, como nos processos de catálise de hidrocarbonetos e na indústria de detergentes e, por outro lado, as zeolitas naturais são relativamente abundantes e apresentam menor custo de produção, especialmente se aplicadas in natura, ou requerendo processos de beneficiamento pouco complexos (Resende e Monte, 2005). A efetividade das zeolitas naturais quanto à capacidade de troca de íons, segue geralmente, a seguinte ordem: Erionita > Chabazita > Clinoptilolita >> Mordenita, sendo que no grupo das zeolitas naturais, clinoptilolita e mordenita estão entre as mais utilizadas e representam função significativa nos processos industriais (Mondale et al., 1995).

As três principais propriedades destes minerais, que são a alta capacidade de troca de cátions, alta capacidade de retenção de água livre nos canais, e a alta habilidade na adsorção, conferem-lhes grande interesse para uso na agricultura.

No Japão, a zeolita clinoptilolita moída é utilizada na agricultura há mais de um século, elevando a CTC dos solos, favorecendo a retenção de nutrientes como N e K (Luz, 1995). A zeolita clinoptilolita foi utilizada com sucesso na retenção de NH_4^+ (Allen et al., 1995) e para aumentar a liberação de fósforo da rocha fosfática (Lai e Eberl, 1986).

Os resultados obtidos em Cuba são um indicativo positivo para combinação do uso de zeolitas e uréia. Experimentos com as culturas de feijão, tomate e pepino, onde as formulações aplicadas para as três culturas, foram respectivamente, 9,5–9,5–9,5, 9,5–9,5–9,5 e 8-9-14 sem adição de zeolita e, 7-7-7, 7-7-7 e 6-7-10 com adição de zeolita, apresentaram incremento na produção (17%, 38% e 35%) e na eficiência no uso do NPK (36,63%, 47,75% e 44,9%) para as três culturas, respectivamente. As doses de NPK para cada cultura foram fixas (745, 730 e 780 kg formulação ha^{-1}), porém como as formulações utilizadas nos tratamentos com adição de zeolita foram menores para as três culturas, os totais de NPK (kg nutrientes). ha^{-1} , foram sempre menores nos tratamentos com zeolita: 212,32 sem zeolita/156,45 com zeolita no feijão; 208,1 sem zeolita /153,3 com zeolita no tomate e 241,6 sem zeolita /179,4 com zeolita no pepino (Oceguera, 2002).

O efeito da zeolita está relacionado ao tipo de solo, assim doses maiores foram necessárias para obterem-se aumentos da produtividade de cana-de-açúcar à medida que a fertilidade do solo e o teor de argila aumentaram (Bouzo et al., 1994). Os autores também mostraram que foi possível triplicar a produtividade da cana-de-açúcar com o uso de 6 Mg ha^{-1} de zeolita na linha de plantio num Oxisol.

Trabalhos realizados em casa de vegetação, com objetivo de avaliar o efeito de zeolitas enriquecidas com NPK no substrato de cultivo sobre a produção e extração de nutrientes pelas culturas da alface, tomate, arroz e capim-andropogon, indicaram que zeolitas enriquecidas funcionaram adequadamente como fonte de nutrientes de liberação lenta, caracterizando alta capacidade de troca das zeolitas (Bernardi et al., 2004a).

Testando as proporções de 15, 20 e 30% de zeolita no recobrimento da uréia, Louis (2002) observou que após a aplicação das fontes na cultura de tomate, as perdas de NH_3 foram reduzidas em 48, 49 e 54%, respectivamente, quando comparadas às perdas pela aplicação da uréia isolada, demonstrando a capacidade de adsorção e alta seletividade pelo íon amônio. No entanto, as produções de massa seca, número e peso dos frutos, rendimento, teor e extração de N foram sempre superiores na mistura com 15%, seguido por 20% e menores a 30%. Esses resultados foram relacionados à maior capacidade de adsorção de NH_4^+ quando adicionado 30% de zeolita, fazendo com que o N fosse liberado lentamente, não atendendo a demanda da cultura no seu período produtivo (45 dias). Amostras de solo foram analisadas ao longo do cultivo, e para todas as formas de N, as maiores concentrações também seguiam esta ordem: 15% > 20% > 30%. Esse comportamento observado demonstra que as proporções de zeolita utilizadas nas misturas e/ou recobrimentos da uréia devem levar em consideração o ciclo e as demandas nutricionais de cada cultura ou grupo de culturas.

Tais resultados demonstram a possibilidade de utilização das zeolitas naturais no desenvolvimento tecnológico de “fertilizantes zeolíticos” que objetivem reduzidas perdas de N- NH_3 por volatilização e elevada eficiência agrônômica nas adubações das culturas agrícolas. O “fertilizante zeolítico” poderá conter menor concentração de nitrogênio em sua formulação e seu custo de produção reduzido, com capacidade de manutenção ou até mesmo aumento dos níveis de produtividade proporcionados pelo fertilizante uréia comercial. Ainda, os processos industriais de secagem e granulação da uréia poderão alcançar maior eficiência energética e redução de custos, visto que as zeolitas apresentam elevada afinidade por moléculas de água.

3. CAPÍTULO I:

VOLATILIZAÇÃO DE N-NH₃ PROVENIENTE DA URÉIA, ADICIONADA OU NÃO DE ZEOLITA NATURAL, APLICADA EM COBERTURA SOBRE O SOLO

RESUMO

O trabalho objetivou avaliar as perdas de N-NH₃ por volatilização (PNV) do “fertilizante zeolítico” (UZN) obtido através da mistura de uréia (UR) com zeolita natural (ZN) e validar a capacidade de uma técnica de quantificação de N-NH₃ volatilizado em diferenciar tratamentos quanto as PNV. Na casa de vegetação da Embrapa Solos, RJ, potenciais contrastantes de PNV foram simulados através da aplicação de duas fontes nitrogenadas (100 kg N ha⁻¹) sobre solo coletado superficialmente (0 20 cm) em Planossolo Háptico: uréia e uréia adicionada de zeolita natural; sob duas condições de aplicação: sobre solo descoberto, simulando sistema de plantio convencional (SPC), e sobre solo com cobertura morta na superfície, simulando sistema de plantio direto (SPD); e sob dois manejos de calagem: calagem (CA) e ausência de calagem (ACA). Aplicaram-se as fontes homogeneamente na superfície do solo contido em bandejas plásticas e as espumas captadoras de N-NH₃ volatilizado foram coletadas em intervalo de 24 horas, por seis dias consecutivos. A técnica apresenta elevada taxa de recuperação de N-NH₃, obtida através de câmara semi-aberta livre estática, confeccionada com plástico PET 2 litros sem a base, no interior dos quais fixou-se frasco de 50 ml contendo 10 ml de solução H₂SO₄ 1 mol + glicerina 2% (v/v), no qual adicionou-se lâmina de espuma de poliuretano para captação do N-NH₃ volatilizado. Após aplicação das fontes sob SPC e ACA, as PNV totais foram de 63% e 46,5% do N fornecido por UR e UZN, respectivamente, sendo as PNV do UZN reduzidas em 26% quando comparadas às PNV da UR. As reduções ocorreram no período de maior potencial de PNV (primeiras 24 e 48 horas após a adubação), sendo de 35% e 25%, respectivamente. Quando aplicadas sob SPC e CA, o elevado pH do solo (6,5) potencializou as PNV e não houve efeito de UZN, sendo volatilizados 100% e 89,3% do N aplicado por UR e UZN, respectivamente. O sistema de exaustão e as altas temperaturas no interior da casa de vegetação proporcionaram elevada taxa de evaporação de água do solo, influenciando as PNV ocorridas em condições de solo descoberto (SPC). Essa influência não ocorreu sob condições simuladas de SPD, tendo a camada de palha sobre o solo reduzido a taxa de evaporação de umidade do solo, sendo as PNV em todas as condições avaliadas (UR+CA; UR+ACA; UZN+CA e UZN+ACA) equivalentes e próximas a 20% do N aplicado. Diferente do observado em SPC, sob simulação de SPD não houve efeito do pH sobre as PNV. Os resultados mostram que a técnica de quantificação de N-NH₃ volatilizado foi capaz de diferenciar tratamentos quanto as PNV, e que, nas condições experimentais, o “fertilizante zeolítico” reduziu as perdas de N-NH₃ por volatilização quando aplicado em cobertura sobre solo descoberto e pH inferior a 6,0. Com a aplicação das fontes sobre solo descoberto e pH superior a 6,0, as PNV foram extremamente elevadas e o efeito do “fertilizante zeolítico” inexistente, sugerindo a necessidade do desenvolvimento e avaliação de misturas mais eficientes.

Palavras-chave: Quantificação de N-NH₃. Adubação nitrogenada. Zeolita natural Chilena.

ABSTRACT

The study aimed at the evaluation of $N-NH_3$ losses by volatilization (PNV) of the “zeolitic fertilizer” obtained by mixing urea (UR) with natural zeolite (ZN), and to validate the ability of a technique for quantification of volatilized $N-NH_3$ in differentiate treatments with respect to PNV. In a greenhouse located at Embrapa Soils, in Rio de Janeiro, contrasting PNV potentials were simulated through the application of two nitrogen sources ($100\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) on soil sampled from surface layer (0-20cm) of a Fragiudult soil: urea, and urea mixed with natural zeolite (UZN), under two application conditions: (a) on uncovered soil, simulating the conventional planting system (SPC), and (b) on soil with mulch on the surface, as in the case of the no tillage system (SPD). As to the fertilization, two alternatives were used: with and without liming, respectively, CA and ACA. The sources of nitrogen were homogeneously applied on soil contained in plastic trays, and layers of polyurethane foams were used to collect volatilized $N-NH_3$ during 6 consecutive days, sampled at 24-hour intervals. The technique used showed a high percentage of recovering NH_3 , obtained by means of a free, static, semi-open chamber, built with a 2-liter bottomless PET recipient, within which a 50-ml flask was fixed, containing a 10 ml solution of H_2SO_4 1 M + glycerin 2% (v/v), topped with a polyurethane foam layer, designed to collect volatilized $N-NH_3$. For the two sources of N utilized, under SPC and ACA conditions, the measured total PNVs were 63% and 46.5% of the N provided, respectively, for UR and UZN, the value for UZN being 26% below that corresponding to UR. The reductions took place during the period of the higher PNV potential (24 and 48 hours after fertilization), and they were of 35% and 25%, respectively. In the case of SPC and CA conditions, the high soil pH (6,5) increased the PNV and there was no effect of UZN, with 100% and 89,3% of the applied N volatilized in the cases of UR and UZN, respectively. The existing exhaustion system in the greenhouse, coupled to high temperatures, increased evaporation of water in the soil, influencing the PNV observed in conditions of uncovered soil (SPC). Such an influence was not present in the conditions of SPD, where the layer of straw on top of the soil reduced the losses in its water content by evaporation. In this case, under all conditions (UR+CA; UR+ACA; UZN+CA, and UZN+ACA), the PNV were approximately equal, around 20% of the N provided. Unlike the results obtained in SPC, under the simulation of SPD there was no effect of pH in the PNV values. The results showed that the technique used for quantification of volatilized $N-NH_3$ permitted to differentiate treatments with respect to PNV and that, in the experimental conditions, the “zeolitic fertilizer” reduces the losses of NH_3 by volatilization when applied directly on uncovered soils with pH below 6.0. The application of the N sources on uncovered soil with pH higher than 6.0 resulted in PNV extremely high and the effect of the “zeolitic fertilizer” was non-existent, suggesting the need of further research with development and evaluation of more efficient mixtures.

Key words: Quantification of $N-NH_3$. Nitrogen fertilization. Chilean natural zeolite.

3.1 Introdução

As perdas de NH_3 do solo por volatilização são influenciadas por diversos fatores. A aplicação de uréia, especialmente em solos com elevado pH, resulta em perdas por volatilização de até 80% do N fornecido (Lara Cabezas et al., 1997b). Esse mecanismo de perda, especialmente em condições tropicais, exerce significativa influência sobre o baixo aproveitamento das plantas cultivadas sobre o N aplicado aos solos.

Para que seja possível avaliar eficientemente as perdas de NH_3 por volatilização, é preciso que a técnica utilizada ofereça confiabilidade aos resultados obtidos. Para avaliação quantitativa das perdas de N- NH_3 por volatilização devem ser utilizadas técnicas com alta eficiência de recuperação do N- NH_3 perdido para a atmosfera. A técnica normalmente utilizada (Nonmik, 1973) apresenta recuperação de somente 20% do N- NH_3 volatilizado (Lara Cabezas e Trivelin, 1990), sendo considerada inadequada para determinação quantitativa das perdas de N- NH_3 por volatilização.

Com objetivos de avaliar o efeito da mistura de uréia com zeolita natural (“fertilizante zeolítico”) sobre as perdas de N- NH_3 por volatilização e validar a capacidade da técnica para quantificação de N- NH_3 volatilizado (Araújo et al.; 2006 e 2007) em diferenciar tratamentos quanto suas perdas de N- NH_3 , realizou-se experimento com simulação de contrastantes potenciais de perdas de N- NH_3 por volatilização.

3.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado na casa de vegetação da Embrapa Solos, RJ, em janeiro de 2007. Os tratamentos seguiram arranjo em fatorial 3 x 2 x 2, sendo os fatores: (a) fertilizante nitrogenado, nos níveis: ausência, uréia (UR) e uréia + zeolita natural (UZN); (b) sistema de cultivo, sendo os fertilizantes aplicados sobre solo descoberto, simulando sistema de plantio convencional (SPC), e em solo com cobertura morta sobre a superfície, buscando simular condições de sistema de plantio direto (SPD); e (c) manejo de calagem, com aplicação (CA) ou ausência de calcário (ACA), resultando em 12 tratamentos, com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado.

Os dados climáticos obtidos no interior da casa de vegetação no período experimental são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento no interior da casa de vegetação durante o período experimental.

DATA	TEMPERATURA DO AR (°C)			UMID. REL DO AR (%)			VELOCIDADE DO VENTO (m/s)		
	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média
26/01/07	32,07	22,07	26,06	93,5	60,7	81,8	2,0	0	0,086
27/01/07	31,81	23,92	26,54	90,1	62,3	79,5	1,6	0	0,115
28/01/07	33,45	22,86	26,49	93,0	53,7	80,9	1,6	0	0,120
29/01/07	29,11	23,26	25,88	90,4	64,0	80,9	1,9	0	0,186
30/01/07	26,55	22,53	24,82	91,4	70,4	83,9	2,0	0	0,170
31/01/07	28,46	21,74	23,80	93,9	69,8	86,6	1,6	0	0,142
01/02/07	31,08	20,17	24,50	94,7	60,1	82,4	1,6	0	0,362

Utilizou-se solo coletado da camada superficial (0-20 cm) de um Planossolo Háplico, textura arenosa, na UFRRJ, Seropédica, RJ. O solo apresenta as seguintes características químicas: pH H_2O = 4,8; Al, Ca, Mg, H+Al, S e T = 0,4; 0; 0,6; 2; 0,8 e 2,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$,

respectivamente; Na, K e P = 22; 53 e 21 mg dm⁻³, respectivamente; V = 29%; matéria orgânica e N = 8,3 e 0,5 g kg⁻¹, respectivamente.

Depois de coletado, o solo foi seco ao ar, peneirado com malha de 2 mm e homogeneizado. Em seguida foi colocado em bandejas plásticas com 0,1 m² de superfície até que as mesmas fossem preenchidas por solo até 5 cm de altura. As bandejas foram então pesadas, adotando-se o mesmo peso para todas, de forma que os volumes de solo fossem iguais nas 48 bandejas.

Realizou-se a calagem (2 Mg calcário 100% PRNT. ha⁻¹ 20cm⁻¹), e posterior aplicação de 0,5 litros de água em cada bandeja. Para o período de incubação da calagem, todas as bandejas, inclusive as que não receberam aplicação de calcário, permaneceram cobertas com lona plástica para que mantivessem a umidade inicialmente contida no solo. Após 15 dias de incubação determinou-se o pH dos tratamentos com aplicação de calcário (CA), sendo o mesmo 6,5.

As bandejas foram novamente pesadas e tiveram a umidade corrigida adicionando-se água até que todas atingissem o mesmo peso, quando então a cobertura morta (8 toneladas massa seca. ha⁻¹) de capim colônio (*Panicum maximum*) foi colocada sobre o solo contido nas bandejas dos tratamentos que buscaram simular condições de aplicação do fertilizante sobre a palha, conforme ocorrido em sistemas de plantio direto (SPD).

Utilizou-se uréia comercial fertilizante (UR) como fonte de nitrogênio. A zeolita natural (ZN) utilizada na mistura é proveniente do Chile, apresentando a seguinte composição mineralógica: zeolita clinoptilolita (35%), zeolita mordenita (25%), quartzo (20%) e feldspatos (20%), especialmente anortita. A relação SiO₂: Al₂O₃ é 4,5, e possui 2,0% de Na₂O, 0,5% K₂O e 3,5% CaO, sendo estes os elementos presentes em maior quantidade.

Os resultados de classificação granulométrica são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação granulométrica da zeolita proveniente do Chile.

Tamanho (mm)	Retido (%)	Acumulado (%)	Passante (%)
+1,7	0,00	0,00	100,00
-1,7 +1,18	0,00	0,00	100,00
-1,18 +0,85	0,00	0,00	100,00
-0,85 +0,6	0,00	0,00	100,00
-0,6 +0,425	0,21	0,21	99,79
-0,425 +0,3	0,43	0,64	99,36
-0,3 +0,212	0,53	1,18	98,82
-0,212 +0,15	0,75	1,92	98,08
-0,15 +0,106	2,88	4,81	95,19
-0,106 +0,074	5,24	10,04	89,96
-0,074 +0,053	5,77	15,81	84,19
-0,053 +0,038	15,38	31,20	68,80
> 0,038	68,80	100,00	0,00
Total	100,00		

A dose de nitrogênio utilizada em todos os tratamentos foi de 100 kg N ha⁻¹ e nos tratamentos com adição de zeolita natural, a quantidade do mineral utilizada foi 15% (p/p) sobre a uréia. O “fertilizante zeolítico” foi obtido por processo físico de mistura da uréia comercial (UR) com a zeolita natural (ZN), sendo os grânulos de UR recobertos pela ZN sem utilização de agente aderente. O recobrimento foi obtido pela mistura entre os componentes

em saco plástico inflado com oxigênio e posterior agitação. Observou-se que a umidade contida nos grânulos de uréia facilitou a aderência da zeolita em sua superfície externa.

As fontes de nitrogênio foram homogêneas aplicadas por toda a superfície do solo contido nas bandejas, realizou-se uma irrigação com 18 mm de água, e imediatamente após, as câmaras coletoras de N-NH₃ foram colocadas para captação da amônia volatilizada.

O sistema consiste em câmara coletora semi-aberta livre estática, confeccionada a partir de frasco plástico transparente tipo PET de 2 litros sem a base, com diâmetro de 10 cm, abrangendo 0,008 m² de área (Figura 1), no interior dos quais fixou-se um frasco de 50 ml contendo 10 ml de solução de H₂SO₄ 1 mol + glicerina 2% (v/v), no qual foi adicionada lâmina de espuma de poliuretano com 3 mm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento, umedecida na solução, sendo a amônia volatilizada captada na forma de (NH₄)₂SO₄ (Araújo et al., 2006 e 2008).

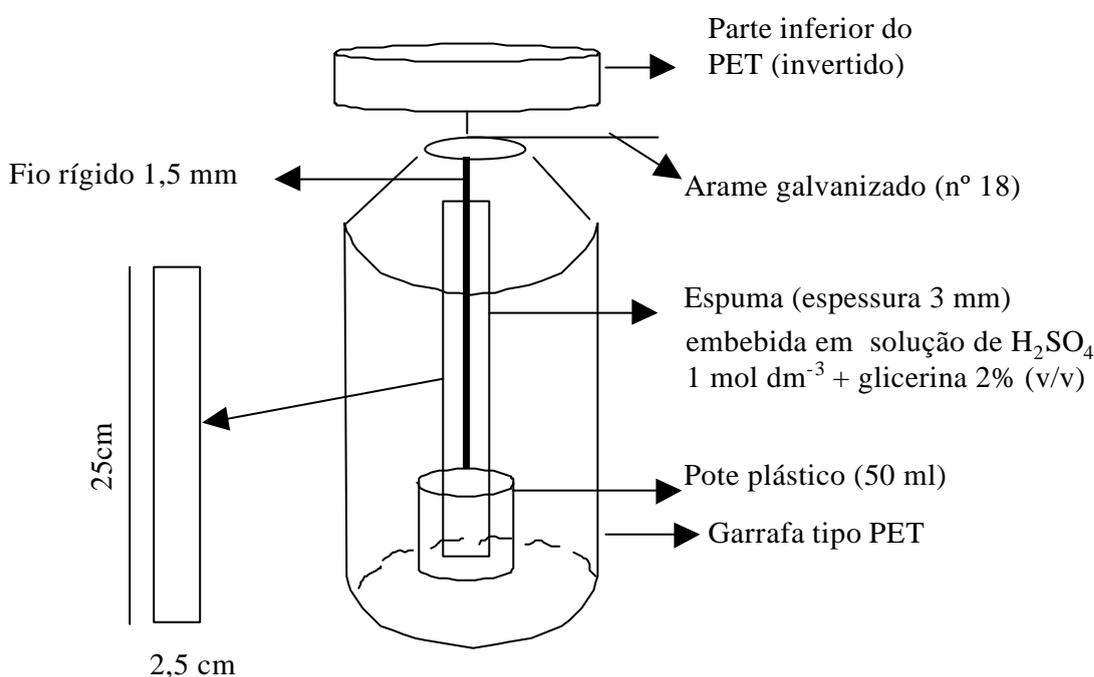


Figura 1. Esquema do sistema coletor de N-NH₃ semi-aberto livre estático – SALE (Araújo et al., 2006 e 2008).

Cada bandeja recebeu uma câmara coletora e as espumas captadoras de N-NH₃ foram trocadas em intervalos de 24 horas, durante período de seis dias consecutivos. Após cada troca das espumas, as câmaras foram colocadas numa posição adiante de forma a percorrer toda a área da bandeja. Tal procedimento objetivou que as determinações diárias refletissem as influências de fatores relacionados ao fenômeno da volatilização de NH₃, como temperatura atmosférica, umidade e temperatura do solo, incidência solar e ventos.

A análise da amônia volatilizada e capturada pelas lâminas de espuma foi realizada segundo Araújo et al. (2006). Transferiu-se a espuma com a solução ácida remanescente no frasco de 50 ml para um erlenmeyer de 250 ml, onde se adicionou 50 ml de água destilada. O erlenmeyer com a solução diluída sofreu agitação a 250 RPM por 15 minutos em agitador horizontal. Após a agitação, alíquota de 5 ml foi transferida para tubo de digestão, sendo destilada em sistema semi-micro Kjeldhal e titulada com ácido sulfúrico 0,015 N (Alves et al., 1994).

Os dados foram analisados utilizando-se os recursos do sistema de análise estatística SAEG. Os dados foram testados quanto à normalidade dos erros e homogeneidade de variância, utilizando-se Lilliefors e Cochran-Bartlett, respectivamente. Realizou-se a análise

de variância, e, onde as diferenças foram significativas, aplicou-se teste de Scott-Knott (1974) para avaliação dos efeitos dos níveis do fator fertilizante nitrogenado. Para avaliação dos efeitos dos níveis dos fatores sistema de cultivo e manejo de calagem, aplicou-se o teste t student.

3.3 Resultados e Discussão

Observa-se que as maiores perdas de nitrogênio por volatilização (PNV) ocorreram nas primeiras 24 horas após aplicação da uréia (UR) e prosseguiram até 72 horas após (Figura 2). Diversos autores encontraram curvas de PNV semelhantes (Rodrigues e Kiehl, 1986; Guedes, 2002; Martha Júnior, 2003; Barbieri e Echeverría, 2003; Ros et al., 2005; Duarte, 2006 e Hu et al., 2007). Cantarella (2007a) relata que os picos de PNV normalmente ocorrem dois a quatro dias após aplicação da uréia. As PNV provenientes da uréia aplicada sobre o solo descoberto ocorreram principalmente nos três primeiros dias após a adubação (Figura 2), conforme descrito por Byrnes, (2000).

Após o pico das PNV as perdas decrescem até o quarto dia após a adubação (DAA) e permanecem estáveis por 24 horas, quando então apresentaram uma ligeira elevação (Figura 2). Quando a uréia foi aplicada sobre o solo descoberto (SPC) sem calagem (ACA), as PNV nos três primeiros DAA (período de 72 horas) foram significativamente inferiores ($p < 0,05$) às PNV resultantes da aplicação da uréia sobre solo descoberto (SPC) com calagem (CA), havendo reduções de aproximadamente 18,8%, 36% e 65% em relação às PNV ocorridas, respectivamente, no primeiro, segundo e terceiro DAA (Figura 2).

Entre o quarto e quinto DAA, as taxas de PNV foram baixas e estáveis para todos os tratamentos (Figura 2), indicando que as taxas de evaporação de água foram também reduzidas e estabilizadas devido à baixa umidade do solo. Após a irrigação realizada no quinto DAA as taxas de PNV elevam-se, provavelmente influenciadas pela evaporação de água do solo. O único tratamento que não apresentou essa tendência foi o SPC com ausência de calagem (ACA), o que se explica pelo baixo pH do solo e, conseqüentemente, o reduzido potencial de PNV quando comparado ao solo com manejo de calagem (CA) e pH elevado.

Os resultados demonstram que as PNV provenientes da uréia aplicada sobre o solo descoberto (SPC) foram superiores as PNV provenientes da uréia aplicada sobre cobertura morta (SPD) (Figura 2). Resultados obtidos por Lara Cabezas et al. (1997b) com a cultura de milho evidenciam o contrário, quando as PNV decorrentes da uréia aplicada sobre palha em SPD foram de 78% do N aplicado, ao passo que as PNV em SPC foram de 30,7% do N aplicado. Leguizamón et al. (2007), embora encontrassem PNV reduzidas na adubação de cobertura em milho, verificaram significativa diferença entre as PNV, sendo as mesmas de 19% e 3%, respectivamente em SPD e SPC.

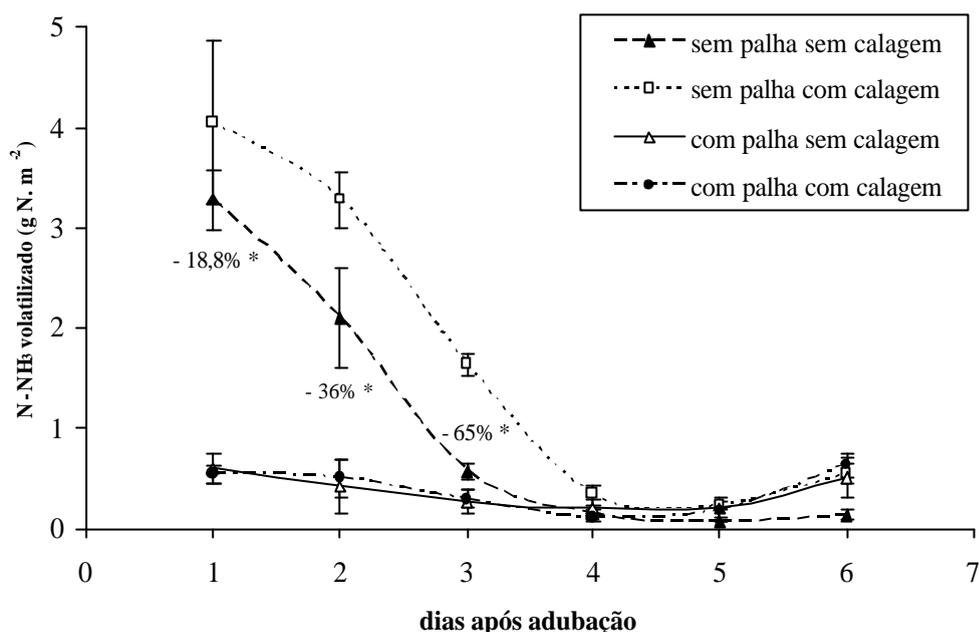


Figura 2 . Volatilização N-NH₃ em seis dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (100 kg N ha⁻¹) com uréia, sobre solo com e sem palha sobre a superfície, com ausência e presença de calagem (2 Mg calcário 100% PRNT. ha⁻¹. 20 cm⁻¹) (Scott-Knott, NMS * : 0,05).

Para todos os tratamentos avaliados, o fornecimento de 18 mm de água após a aplicação das fontes possibilitou a percolação da uréia para o fundo das bandejas ou ao menos para baixo da camada de palha, já que 10 a 20 mm de água são suficientes para que ocorra difusão da uréia no solo (Terman, 1979; Hargrove, 1988b; citados por Cantarella, 2007a), embora a presença da palha aumente a exigência da lâmina de água para que a uréia difundisse (Cantarella, 2007a). Lara Cabezas et al. (1997a) observaram significativas PNV mesmo adicionando-se 28 mm de água por irrigação após aplicação da uréia em cobertura na cultura do milho em SPD. No entanto, no presente estudo o solo já se encontrava úmido no momento da adubação e posterior irrigação (durante a incubação para calagem as bandejas permaneceram cobertas com lonas plásticas e a umidade do solo foi mantida), tendo possibilitado a difusão descendente da uréia. A textura arenosa do solo também contribuiu para que essa difusão ocorresse. Essa difusão retardaria o fluxo de PNV em condições de baixa a média evaporação. Entretanto, a ventilação gerada pelos exaustores da casa de vegetação e as altas temperaturas em seu interior aceleraram a velocidade de secamento do solo, acarretando em PNV já nas primeiras 24 horas após a adubação (dia 1) em consequência do processo de evaporação de água do solo. As PNV têm relação direta com a velocidade e duração do processo de secagem do solo (Fenn e Escarzaga, 1976; Gasser, 1964; Kresge e Satchell, 1960 e Volk, 1966, citados por Urquiaga et al., 1989), ou seja, o nível de perda de amônia do solo correlaciona-se positivamente com o ritmo de evaporação (Corsi, 1984) e quantidades apreciáveis de NH₃ são perdidas do solo somente quando há perda de água (Martin e Chapman, 1951; citados por Cantarella, 2007a), sendo as PNV favorecidas por altas temperaturas e pelo vento (Cantarella, 2007a; Martha Júnior, 2003). PNV de 74% do ¹⁵N aplicado em cobertura na forma de uréia foram atribuídas, além do elevado pH do solo, às correntes de vento geradas pela exaustão da casa de vegetação (Alves, 2006).

No entanto, diferente do observado por outros autores (Lara Cabezas, 1997a; Leguizamón et al., 2007), as PNV ocorridas no presente estudo foram inferiores após a aplicação da uréia sobre solo com palha em cobertura quando comparadas as PNV ocorridas

após aplicação da uréia sobre solo descoberto. Tais diferenças de resultados devem-se à presença da palha sobre o solo funcionando como uma barreira “física” à perda de água por evaporação, o que, provavelmente, teria mantido a umidade contida no solo. Embora a umidade do solo não tenha sido avaliada, é possível inferir que a presença da palha sobre o solo proporcionou menores taxas de perda de água por evaporação, e conseqüentemente, o arraste da amônia, resultante da hidrólise da uréia, para a superfície do solo teria sido reduzido. Embora os solos estivessem com a mesma umidade no momento da adubação, o que mais influenciou as diferentes PNV entre os tratamentos que simularam SPC e SPD foram as diferentes taxas de evaporação de água do solo causada pela presença da palha em cobertura, já que a taxa de evaporação exerce maior influência nas PNV do que a condição de umidade inicial do solo (Lara Cabezas et al, 1992), sendo a taxa de volatilização dependente da velocidade das trocas gasosas (Overrein e Moe, 1967).

Em experimento para avaliar efeito da palha como cobertura do solo sobre a volatilização de NH_3 , Ros et al. (2005) obtiveram resultados que reforçam esta possibilidade. Os autores observaram que os resíduos culturais, ao proporcionar maior umidade no solo no momento da aplicação da uréia, reduziram o fluxo de volatilização de NH_3 em relação ao solo descoberto. Em condições semelhantes de umidade do solo, as PNV foram maiores quando a uréia foi aplicada sobre o solo descoberto e, quando houve precipitação no dia posterior à aplicação da uréia, os restos culturais não influenciaram o processo de volatilização de NH_3 . Além de reduzir o ritmo de evaporação de água no solo, a cobertura morta pode ter reduzido também a velocidade das PNV ao proporcionar uma barreira física capaz de retardar o equilíbrio entre as concentrações de amônia no solo e na atmosfera (Guedes, 2002).

Embora a presença da palha em cobertura sobre o solo tenha contribuído para a redução das PNV após a aplicação da uréia, é necessário considerar também o estímulo que a mesma causa na presença e atividade da enzima urease, pois em função das características desta enzima, fatores que influenciam a atividade dos microorganismos também influenciam a hidrólise da uréia (Reynolds et al., 1987). A atividade da urease em plantas e resíduos vegetais foi estimada em cerca de trinta vezes maior e, em solos sob SPD, quatro vezes maior do que em solos sob SPC (Barreto e Westerman, 1989; citado por Cantarella, 2007b).

Entretanto, acredita-se que o reduzido período experimental não tenha possibilitado que os processos biológicos resultantes da presença da palha ocorressem plenamente, principalmente pela mesma ter sido seca em estufa de circulação forçada a 65°C , o que provavelmente teria comprometido a presença da urease e minimizado os efeitos negativos que supostamente ocorreriam se a concentração e atividade desta enzima catalisadora da reação fosse maior. Além do período experimental, acredita-se que o estágio inicial de decomposição da palha (capim colônia) e sua elevada relação C/N podem ter contribuído com a presença e atividade reduzida da urease. Pode também ter ocorrido imobilização de N, porém em quantidade mínima, pois apesar da alta relação C/N da palha, os fatos citados acima também influenciaram a atividade dos organismos decompositores.

Relatos pessoais do Dr. Heitor Cantarella (Simpósio Avançado em Fertilidade do Solo, UFRRJ/2007) indicam que essa linha de discussão tem amplo sentido. Segundo o autor, experimentos em casa de vegetação que buscam simular efeito da palha sobre a dinâmica do nitrogênio encontram enormes dificuldades em reproduzir as condições, mesmo que próximas, às encontradas em campo sob SPD. Questões relacionadas à secagem do material em estufa e ao curto período experimental também teriam influenciado negativamente trabalhos deste autor, o qual sugere que após a secagem da palha, a mesma seja “incubada” por alguns dias com presença de umidade para que alcance o estágio (ao menos próximo) de atividade biológica que ocorreria em condições de campo sob SPD. Diante da importância e extrema experiência do Dr. Cantarella em pesquisas relacionadas à fertilidade do solo,

especialmente sobre dinâmica do nitrogênio em solos tropicais, tal relato deve ser levado em consideração.

Em relação ao efeito da calagem (CA) sobre as PNV, observa-se que o tratamento com CA elevou as PNV de forma significativa quando a uréia foi aplicada sobre o solo descoberto (Figura 2), o que pode ser explicado pela menor concentração de íons H^+ no solo com CA, uma vez que o NH_3 resultante da hidrólise da UR é perdido para a atmosfera por volatilização, ou combina-se com íons H^+ da solução do solo ou com íons H^+ dissociáveis do complexo coloidal, resultando na formação de íon amônio (NH_4^+). Sendo assim, o elevado pH do solo proporcionou maiores PNV após aplicação da UR em cobertura sobre o solo descoberto (Byrnes, 2000), pois a disponibilidade de íons H^+ para formação de NH_4^+ foi limitada. Como a CA realizada elevou o pH do solo para 6,5, torna-se de fácil compreensão o elevado potencial de PNV em SPC com CA quando comparado ao potencial de PNV em SPC sem calagem, onde o pH do solo era 4,8, considerado baixo. Ros et al. (2005), observaram que a diminuição do potencial de PNV ocorre quando o gás (NH_3) transforma-se em íon amônio (NH_4^+), em reação dependente do pH em torno do grânulo da uréia.

Nos tratamentos onde a uréia foi aplicada sobre cobertura morta (SPD) não houve influência do pH do solo, sendo as PNV semelhantes nos tratamentos com e sem manejo de calagem (Figura 2), onde os respectivos valores de pH eram semelhantes aos valores de pH dos solos sem cobertura morta na superfície (SPC). A ausência de influência do pH sobre as PNV ocorridas nos tratamentos que simularam SPD corrobora com a discussão a respeito das influências da camada de palha sobre o processo de difusão de NH_3 e a conseqüente redução nas PNV ocorridas.

Nas adubações sobre solo descoberto sem calagem (Figura 3) a aplicação do “fertilizante zeolítico” (UZN) resultou, nos dois primeiros DAA, em PNV significativamente inferiores ($p < 0,05$) às decorrentes da aplicação de uréia comercial (UR) ao solo, sendo as reduções de 35% e 25% nas PNV ocorridas no primeiro e segundo DAA, respectivamente.

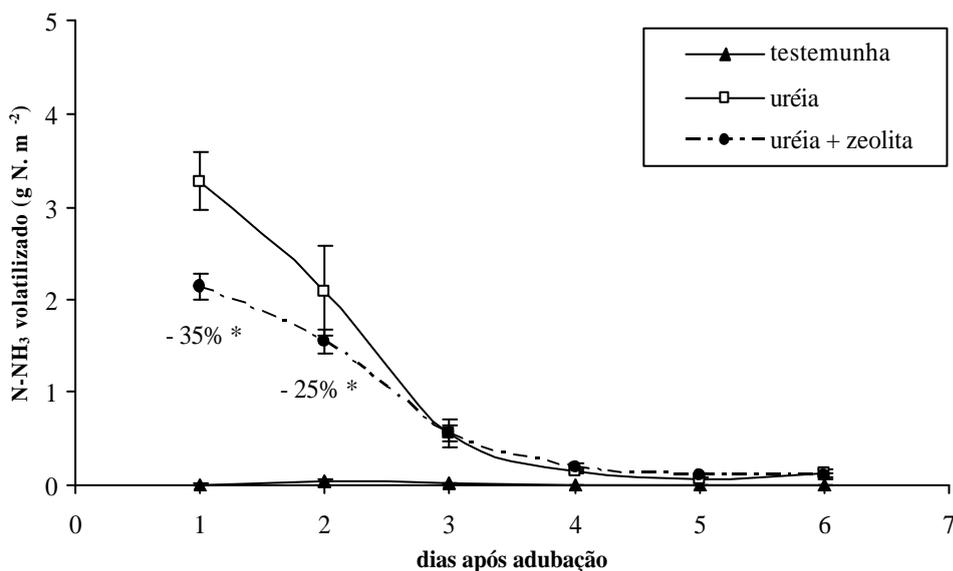


Figura 3 . Volatilização $N-NH_3$ em seis dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura ($100 \text{ kg N. ha}^{-1}$) com uréia e uréia + zeolita, sobre solo descoberto e sem calagem (Scott-Knott, NMS * : 0,05).

Observa-se na Figura 3 que as PNV foram influenciadas pela elevada taxa de evaporação da umidade do solo resultante das altas temperaturas no interior da casa de

vegetação (Tabela 1) e dos ventos de aproximadamente 7 km.hora⁻¹ gerados pelo sistema de exaustão, sendo, possivelmente, esse o motivo das PNV significativas ocorrerem somente até o terceiro DAA. Infere-se que o fluxo de evaporação de água do solo reduziu no terceiro DAA e proporcionado declínio das PNV até o quarto DAA, quando as mesmas estabilizaram-se e assemelharam-se as PNV observadas no tratamento testemunha. A baixa capacidade de troca catiônica (CTC), a textura arenosa e o reduzido teor de matéria orgânica do solo (MOS) experimental constituem fatores que possivelmente também potencializaram as PNV (Byrnes, 2000). Destaca-se que favorecimento das PNV através das características físico-químicas do solo experimental reforça o potencial do “fertilizante zeolítico” (UZN) em reduzir as PNV.

As aplicações da uréia comercial (UR) e do “fertilizante zeolítico” (UZN) sobre o solo descoberto sem calagem resultaram, respectivamente, em PNV totais de 63% e 46,5% do N aplicado (Figura 4), evidenciando que o “fertilizante zeolítico” proporcionou, em relação à uréia comercial, uma redução significativa ($p < 0,05$) de aproximadamente 26% nas PNV totais ocorridas no período de seis dias após a adubação de cobertura. Os valores extremamente reduzidos de N-NH₃ volatilizado pela testemunha (Figuras 3 e 4) e o reduzido teor de matéria orgânica do solo experimental possibilitam afirmar que o N-NH₃ volatilizado nos demais tratamentos provém dos fertilizantes UZN e UR aplicados ao solo.

Apesar da acidez do solo ($pH = 4,8$) em que foram aplicados os fertilizantes UZN e UR esse apresentou PNV bastante expressivo (Figura 4), explicado pelas características físicas e químicas do solo, especialmente textura arenosa e baixos poder tampão, CTC e MOS. Apesar do pH do solo, deve-se considerar a elevação do pH na região próxima aos grânulos do fertilizante aplicado (Rodrigues e Kiehl, 1992; Overrein e Moe, 1967; Chen et al., 2007) favorecendo a formação de amônia. Observa-se, portanto, que a aplicação da uréia sobre solos com baixo pH tem elevado potencial de PNV (Figuras 3 e 4), sobretudo se as características do solo favorecerem tais perdas. A capacidade do “fertilizante zeolítico” em reduzir significativamente as PNV quando aplicado sobre solos com características físico-químicas que potencializam as PNV e desfavorecem a manutenção do N no solo tornam relevante o seu uso para o desenvolvimento tecnológico de “fertilizantes zeolíticos” à base de uréia que sejam capazes de reduzir as PNV nas adubações nitrogenadas de cobertura.

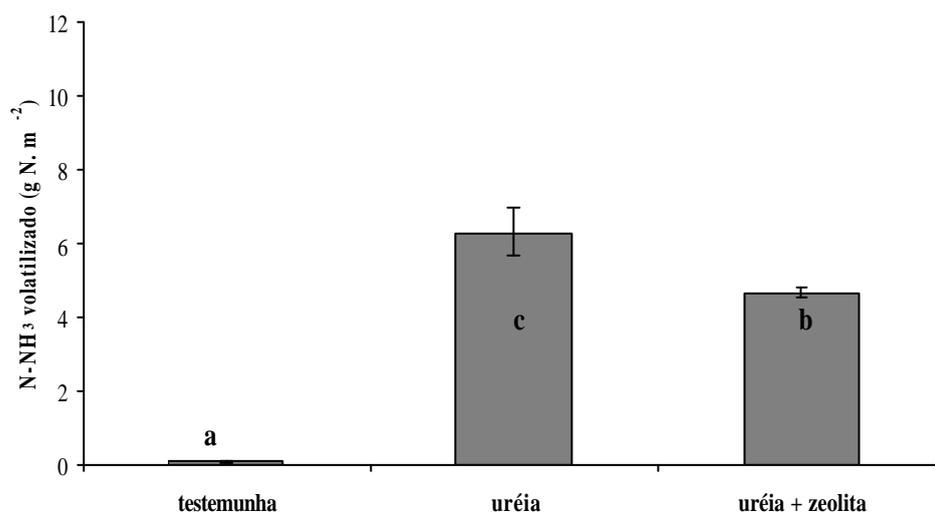


Figura 4. Total N-NH₃ volatilizado em seis dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (100 kg N ha⁻¹) com uréia e uréia + zeolita, sobre solo descoberto e sem calagem (médias com letras diferentes diferem entre si por Scott-Knott, $p < 0,05$).

A significativa redução das PNV pode ser explicada pela ação dos minerais zeolíticos na conservação do NH_4^+ no solo através da diminuição da concentração do íon em solução por troca de cátions (USGS, 2006) e também pelo potencial das zeolitas em adsorver NH_3 (troca gasosa) em solução aquosa (Englert e Rubio, 2005). Deve-se considerar também a reduzida acessibilidade que os microorganismos encontram sobre o NH_4^+ adsorvido na estrutura das zeolitas (Leggo, 1997; Tametti et al., 1997 e Mumpton, 1999; citados por Louis, 2002), impedindo a transformação do NH_4^+ em NO_3^- (Park e Komarneni, 1997) e reduzindo as perdas deste elemento por lixiviação.

A alta eficiência de adsorção das zeolitas relaciona-se com sua grande superfície interna, devido à sua estrutura cristalina ser formada por cavidades espaçosas (Luz, 1995), onde parte do Si_4^+ está substituída por Al_3^+ , gerando uma deficiência de carga positiva que é compensada com cátions trocáveis como NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} e Ba^{+2} , os quais ocupam sítios específicos nas cavidades e canais da zeolita. As elevadas superfícies internas da mordenita e da clinoptilolita, respectivamente $400 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ e $300 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (Luz, 1995), explicam a efetividade da zeolita natural utilizada sobre a adsorção de NH_4^+ e redução das PNV.

A demonstração de que as zeolitas naturais clinoptilolita e mordenita são eficientes na adsorção de NH_4^+ (Allen et al., 1995; Langella et al., 2000) e o fato de que no Japão, a zeolita clinoptilolita moída é utilizada na agricultura há mais de um século, elevando a CTC dos solos e favorecendo a retenção de nutrientes como N e K (Luz, 1995) sustentam os resultados obtidos no presente trabalho.

A conformação entre os resultados observados no presente trabalho (Figuras 2 e 3) e os existentes na literatura (Rodrigues e Kiehl, 1986; Guedes, 2002; Martha Júnior, 2003; Barbieri e Echeverría, 2003; Ros et al., 2005; Duarte, 2006 e Hu et al., 2007) associada a capacidade demonstrada pela metodologia (Araújo et al., 2006 e 2007) em quantificar as elevadas PNV da uréia aplicada sob forte potencial de perdas assim como as insignificantes PNV pela testemunha e ainda baixos valores de erro padrão obtidos no presente trabalho possibilitam validar a metodologia modificada, calibrada e proposta por Araújo et al. (2006, 2007 e 2008). Destaca-se que a disponibilidade desta metodologia possibilitou que o presente trabalho prosseguisse, uma vez que a maior limitação à pesquisa era a ausência de uma metodologia calibrada que apresentasse alta capacidade de recuperação do N- NH_3 volatilizado. Conclui-se que a metodologia proposta por Araújo et al. (2006, 2007 e 2008) diferencia tratamentos quanto às perdas de N- NH_3 por volatilização, sendo capaz de conferir credibilidade aos dados obtidos no presente trabalho.

Não houve diferença significativa ($p>0,05$) nas PNV quando os fertilizantes UR e UZN foram aplicados em cobertura sobre o solo descoberto com calagem (Figura 5). Observam-se elevadas PNV por ambas os fertilizantes, sendo volatilizados 100 e 89,3% do N fornecido através de UR e UZN, respectivamente.

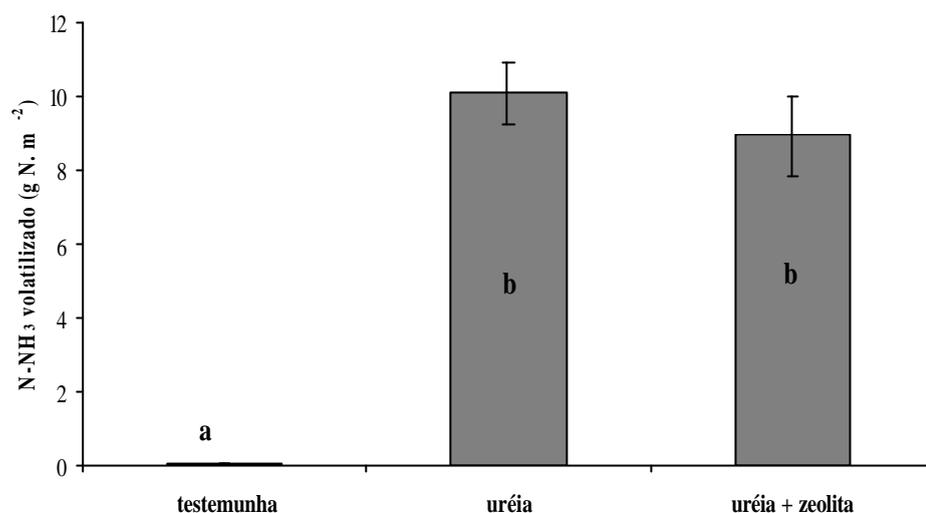


Figura 5. Total N-NH₃ volatilizado em seis dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (100 kg N. ha⁻¹) com uréia e uréia + zeólita, sobre solo descoberto e com calagem (2 Mg calcário 100% PRNT. ha⁻¹. 20 cm⁻¹). (médias com letras diferentes diferem entre si por Scott-Knott, p<0,05).

As altas taxas de PNV (Figura 5) devem-se principalmente ao pH do solo (6,5), considerado elevado, sendo também potencializadas pela evaporação de umidade do solo e amônia causada pelas altas temperaturas no interior da casa de vegetação e pelos ventos gerados pelo sistema de exaustão (Tabela 1). Perdas de 74% do ¹⁵N aplicado em cobertura na forma de uréia foram atribuídas ao elevado pH do solo e as correntes de vento geradas pela exaustão da casa de vegetação (Alves, 2006).

Outros fatores possivelmente também influenciaram as elevadas PNV (Figura 5), destacando-se a textura arenosa do solo e sua baixa capacidade de retenção de água (Fenn e Kissel, 1976; Nelson, 1982; citados por Cantarella, 2007a) favorecendo a evaporação de água do solo e arraste de amônia para a atmosfera. O baixo poder tampão e a reduzida CTC do solo também devem ter potencializado as PNV, uma vez que são fatores determinantes na capacidade do solo em reter NH₄⁺ no sistema solo-planta (O'Toole et al., 1985; Whitehead, 1995; citados por Martha Junior, 2003). Tomé Jr. (1997), estipula que valores de MOS superiores à 50g. kg⁻¹ são considerados altos, resultando em elevada CTC e possibilidades de redução nas doses dos fertilizantes nitrogenados aplicados. Valores de MOS abaixo de 15g. kg⁻¹ são considerados baixos e normalmente ocorrem em solos arenosos com baixa CTC.

Avaliando as características físico-químicas dos solos utilizados no presente trabalho (1) e no desenvolvido por Alves (2006), onde 74% do ¹⁵N foram perdidos por volatilização (2), verifica-se que ambos possuem textura arenosa. Os teores de matéria orgânica (8,3 e 19,0 g dm⁻³) e a CTC (2,8 e 6,3 cmol_c dm⁻³), respectivamente nos solos 1 e 2, são considerados baixos e médios, respectivamente. Quanto ao pH, o mesmo foi de 6,5 em água e 6,6 em CaCl₂, respectivamente para os solos 1 e 2. Avaliando as diferenças entre as características físico-químicas dos solos utilizados nos dois estudos, e sabendo-se que em ambos os estudos houve influência do sistema de exaustão sobre as PNV, infere-se que a diferença nas PNV ocorridas no presente estudo (Figura 5) e em Alves (2006), respectivamente 100% e 74% do N aplicado, deve-se aos valores inferiores de MOS e CTC observados no solo usado no presente estudo (1), sendo portanto mais favorável à PNV que o solo (2) utilizado por Alves, (2006).

A ausência de efeito do “fertilizante zeolítico” (UZN) sobre as PNV (Figura 5) provavelmente deve-se ao elevado potencial de PNV resultante dos fatores edafo-climáticos anteriormente discutidos. Dentre esses fatores, destaca-se que o elevado potencial de evaporação de água do solo normalmente não ocorre em condições naturais, seja pela inexistência de sistema contínuo de exaustão ou pela presença de cobertura vegetal, reduzindo a velocidade de secamento do solo ou até mesmo por ambos os fatores atuando conjuntamente.

Outra hipótese para a ausência de efeito do UZN sobre as PNV ocorridas no solo descoberto com calagem (Figura 5), é a possível separação por dissolução entre os componentes da mistura (UR e ZN) após aplicação ao solo, o que teria reduzido a interação entre ambos e limitado os possíveis efeitos de UZN sobre as PNV. Considerando-se a elevada solubilidade da uréia e a insolubilidade da zeolita natural, e que, a mistura entre ambos foi um simples recobrimento dos grânulos de uréia com a zeolita sem utilização de nenhum agente aderente, esta possibilidade não pode ser descartada. O fornecimento de 18 mm de água via irrigação, após a adubação e dois DAA, podem ter potencializado a separação entre os componentes da mistura. Utilizando as proporções de 15%, 20% e 30% de zeolita (clinoptilolita e mordenita) no recobrimento da uréia, Louis (2002) observou que após a aplicação das fontes na cultura de tomate, as perdas de N-NH₃ foram reduzidas em 48%, 49% e 54%, respectivamente. Apesar das condições edafo-climáticas distintas no presente trabalho e no descrito por Louis (2002), as maiores reduções nas PNV observadas por Louis (2002) podem ter sofrido influência positiva da forma como uréia e zeolita foram misturadas pelo autor, onde, para melhor aderência da zeolita sobre a superfície dos grânulos de uréia, foi utilizada solução de água (75%) com melão (25%) como agente aderente. Desta forma, acredita-se que após aplicação da mistura ao solo, a interação entre os componentes tenha sido mais duradoura, proporcionando maior efeito da zeolita sobre as perdas de N-NH₃ por volatilização.

Não houve diferença significativa ($p>0,05$) nas PNV quando UR e UZN foram aplicadas em cobertura sobre a palha, nos solos com e sem calagem (Figuras 6 e 7). As PNV foram semelhantes nas quatro situações avaliadas, representando 22,1% e 17,4% do N aplicado sobre o solo sem calagem (Figura 6) e 22,8% e 27,7% do N aplicado sobre o solo com calagem (Figura 7), respectivamente para os fertilizantes UR e UZN.

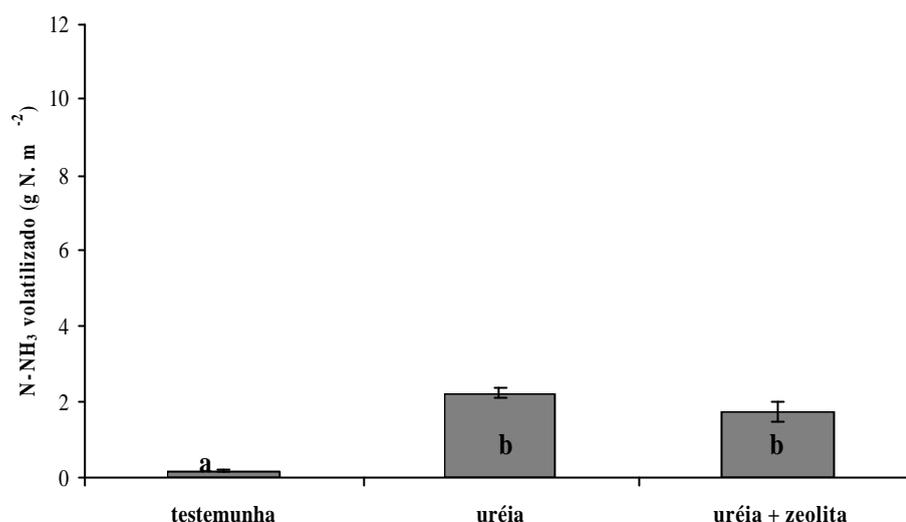


Figura 6. Total N-NH₃ volatilizado em seis dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (100 kg N. ha⁻¹) com uréia e uréia + zeolita, sobre solo com palha sobre a superfície e sem calagem (médias com letras diferentes diferem entre si por Scott-Knott, p<0,05).

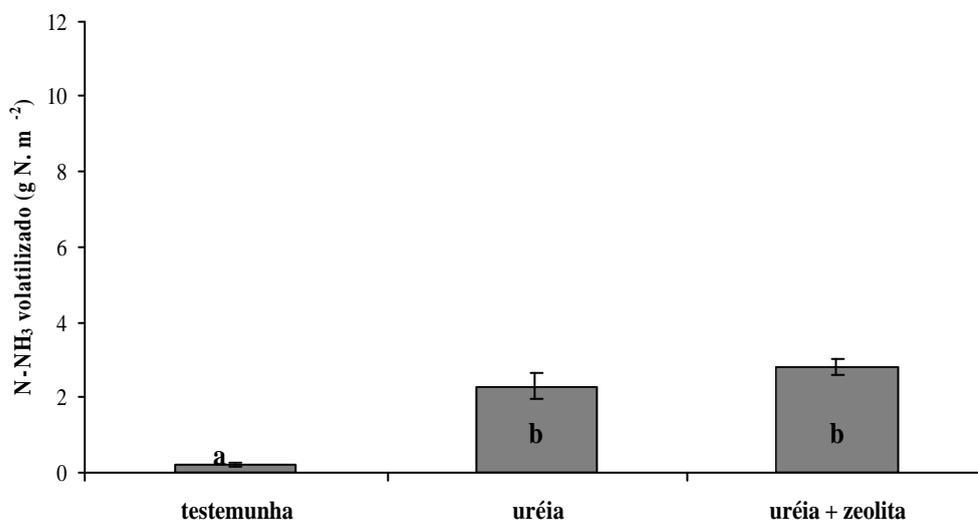


Figura 7. Total N-NH₃ volatilizado em seis dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (100 kg N. ha⁻¹) com uréia e uréia + zeolita, sobre solo com palha sobre a superfície e com calagem (2 Mg calcário 100% PRNT. ha⁻¹. 20 cm⁻¹). (médias com letras diferentes diferem entre si por Scott-Knott, p<0,05).

As PNV quando os fertilizantes foram aplicados sobre a palha em solo sem calagem (Figura 6) foram inferiores as PNV quando aplicados sobre o solo descoberto sem calagem (Figura 4). Considerando que a aplicação da uréia sobre a palha normalmente resulta em maiores PNV (Lara Cabezas et al., 1997a e 1997b; Leguizamón et al., 2007), percebe-se que as diferenças nas PNV resultaram da presença da palha sobre o solo reduzindo a taxa de evaporação de água do solo e as conseqüentes PNV por arraste de NH₃. Associado a tal, observou-se que alguns fatores relacionados ao preparo da palha utilizada no experimento

limitaram a presença e a atividade da enzima urease, não permitindo que as mesmas exercessem plena influência sobre as PNV.

As PNV quando os fertilizantes foram aplicados sobre o solo descoberto com calagem (Figura 5) foram muito superiores às PNV quando aplicados sobre a palha em solo com calagem (Figura 7), e, quando a uréia foi aplicada sobre a palha em solo sem e com calagem (Figuras 6 e 7), as PNV foram equivalentes. Considerando-se que o potencial de PNV é mais elevado quando a uréia é aplicada sobre a palha em relação à aplicação sobre o solo descoberto (Lara Cabezas et al., 1997a e 1997b; Leguizamón et al., 2007) e que solos com valores elevados de pH proporcionam maiores perdas por volatilização de NH_3 em adubações de cobertura com uréia (Byrnes, 2000), percebe-se que, além da ausência de efeito da palha, houve também ausência de efeito do pH sobre as PNV. Essa ausência de influência dos fatores palha e pH no aumento das PNV devem-se a maior influência exercida pela palha como cobertura do solo. A palha, ao invés de potencializar as PNV, teria reduzido a taxa de evaporação de água do solo e conseqüentemente as PNV. Diante da situação ocorrida, o efeito do UZN sobre as perdas de N-NH_3 por volatilização não pôde ser efetivamente testado, uma vez que o fenômeno da volatilização não ocorreu plena e integralmente durante o período experimental. Neste caso, o período experimental não possibilitou uma avaliação precisa do fenômeno da volatilização de N-NH_3 , pois a palha sobre o solo teria feito com que as PNV fossem retardadas. A influência da palha como cobertura do solo, reduzindo a evaporação de água e retardando as PNV, assim como a ausência de efeito do pH sobre as PNV podem ser melhor entendidas através das Figuras 1 e 8.

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) nas PNV quando os fertilizantes UR e UZN foram aplicados em cobertura sobre a palha, com e sem manejo de calagem (Figura 8).

Para todos os tratamentos as PNV declinam entre o primeiro e quarto DAA, sendo as PNV no primeiro DAA as mais elevadas (Figura 8). O N-NH_3 volatilizado no primeiro DAA provavelmente resultou da hidrólise dos grânulos de uréia que a água de irrigação não tenha conseguido arrastar para baixo da camada de palha. Com o forte potencial de evaporação e perda de água gerado pelos ventos do sistema de exaustão e pelas altas temperaturas no interior da casa de vegetação (Tabela 1), o N-NH_3 resultante da hidrólise da uréia perdeu-se rapidamente para a atmosfera por volatilização.

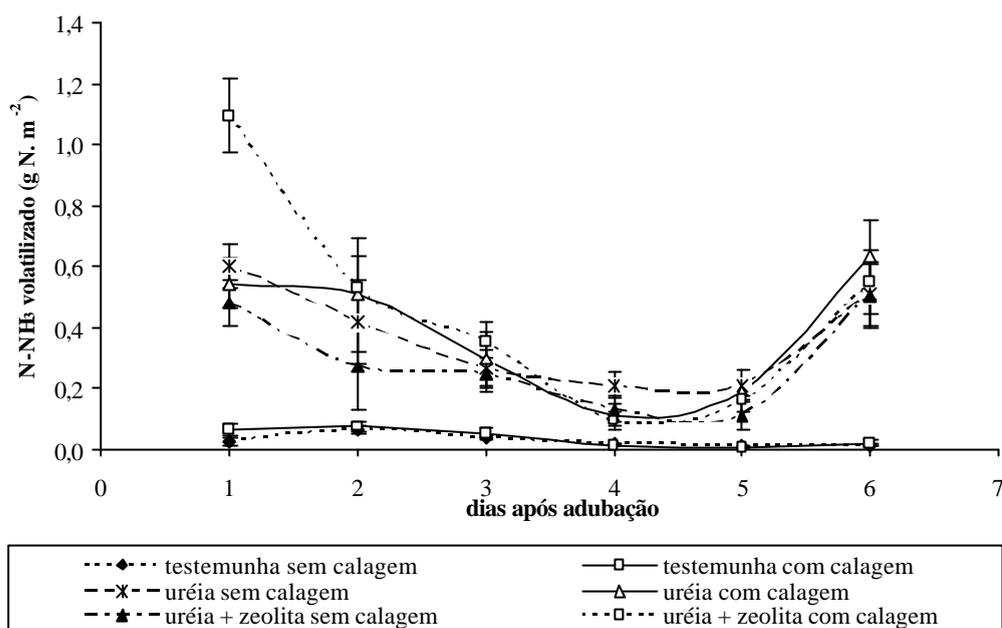


Figura 8. Volatilização N-NH₃ em seis dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (100 kg N ha⁻¹) com uréia e uréia + zeólita, sobre solo com palha sobre a superfície, com e sem calagem (2 Mg calcário 100% PRNT ha⁻¹ 20 cm⁻¹).

Há redução das PNV entre o primeiro e quarto DAA e estabilização das mesmas no quinto DAA (Figura 8). Com a irrigação no quinto DAA, ligeira elevação na temperatura atmosférica e a redução na umidade relativa do ar observadas entre o quinto e último dia experimental (Tabela 1), a evaporação de água do solo e o arraste de NH₃ para a atmosfera voltam a ocorrer com maior intensidade e as PNV são elevadas.

A ausência de efeito ($P > 0,05$) da calagem sobre as PNV contribui com a hipótese de que as PNV do primeiro DAA resultam da hidrólise dos grânulos de uréia situados sobre a palha, uma vez que nesse ambiente não há influência do pH do solo, resultando em PNV semelhantes nas duas condições de pH do solo avaliadas (Figura 8).

A curva de PNV em ascensão para todos os tratamentos no sexto DAA indica que a presença da palha não foi capaz de reduzir as PNV na magnitude que fora observado nos seis primeiros DAA. Neste caso, as mesmas teriam sido prorrogadas e ocorreriam por período de tempo mais extenso quando comparadas as PNV ocorridas após aplicação dos fertilizantes sobre solo descoberto. Tal fato poderia resultar em maior aproveitamento agrônômico do N-uréia pelas culturas agrícolas, uma vez que o N permaneceria disponível mais tempo no sistema, possibilitando assimilação pelas culturas e/ou adsorção pelos colóides organominerais do solo. Estas possibilidades reforçam a necessidade de novos estudos com aplicação do “fertilizante zeolítico” (UZN) em solos com palha sobre a superfície, e ainda, que o período de avaliação das PNV seja mais extenso que o adotado no presente trabalho.

3.4 Conclusões

Diante dos resultados apresentados é possível concluir que, nas condições experimentais:

a) O “fertilizante zeolítico” reduz as perdas de N-NH_3 por volatilização em aproximadamente 26% quando aplicado sobre o solo descoberto sem calagem, sendo recomendado para adubações em solos com pH inferior a 6,0.

b) Ambos os fertilizantes (uréia comercial e “fertilizante zeolítico”) apresentaram elevadas perdas de N-NH_3 por volatilização quando aplicados sobre solo descoberto com calagem, demonstrando a ineficiência do “fertilizante zeolítico” em reduzir as perdas em solos com pH superior a 6,0. Novas misturas de uréia com zeolitas naturais devem ser propostas para desenvolvimento tecnológico de “fertilizantes zeolíticos” eficientes na redução das perdas de N-NH_3 por volatilização sob estas condições edáficas de aplicação.

c) Os possíveis efeitos do “fertilizante zeolítico” sobre as perdas de N-NH_3 por volatilização em solos com cobertura morta sobre a superfície não foram efetivamente avaliados em ambas as condições de pH do solo, sendo necessário o desenvolvimento de novas pesquisas.

4. CAPÍTULO II:

**PERDAS DE N-NH₃ POR VOLATILIZAÇÃO E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA
DO FERTILIZANTE ZEOLÍTICO APLICADO NA CULTURA DE ROSAS, EM
NOVA FRIBURGO, RJ**

RESUMO

Com objetivo de avaliar as perdas de N-NH₃ por volatilização (PNV) e a eficiência agrônômica do “fertilizante zeolítico” (UAZ) obtido através da mistura de uréia (UR) com arenito zeolítico (AZ), realizou-se experimento em área de produção comercial de flores de corte, Nova Friburgo, RJ. Durante o ano agrícola 2006/2007, realizaram-se quatro adubações de cobertura na cultura da roseira (*Rosa* spp.), utilizando-se doses de uréia (60 e 120 kg N ha⁻¹) adicionadas ou não de AZ, na proporção de 20% p/p. As PNV foram avaliadas por seis dias consecutivos após aplicação dos fertilizantes, utilizando-se câmara semi-aberta livre estática, confeccionada com frasco plástico transparente PET de 2 litros sem a base, diâmetro de 10 cm, 0,008 m² de área, no interior dos quais fixou-se frasco de 50 ml contendo 10 ml de solução H₂SO₄ 1 mol + glicerina 2% (v/v), no qual foi adicionada lâmina de espuma de poliuretano medindo 3mm de espessura, 2,5cm de largura e 25 cm de comprimento, umedecida na solução responsável pela captação do N-NH₃ volatilizado. As colheitas foram avaliadas quantitativamente, através da produção total de hastes (HT) e massa seca (MST), e, qualitativamente, através da divisão em hastes curtas (HC), médias (HM) e longas (HL). Determinou-se a extração total de N pelas hastes (EXTNH) e a eficiência agrônômica dos fertilizantes (EAF). O “fertilizante zeolítico” apresentou PNV em média 30% inferiores à uréia. As produções de MST e HT foram elevadas pelo UAZ, e a maior influência sobre HT foi proveniente do aumento nas produções de HM e HL, demonstrando o aumento qualitativo das hastes produzidas. A EXTNH foi elevada pelo “fertilizante zeolítico” e resultou da maior produção de MST, que, associada à ausência de diferença nos teores de N nas hastes, evidenciou que o UAZ proporciona maior eficiência no aproveitamento do N-uréia pela cultura da roseira (*Rosa* spp.), sem ocorrência de consumo de luxo pelas plantas sobre o N disponível no sistema. As produções de HT, MST e EXTNH foram elevadas em função das menores PNV. O “fertilizante zeolítico”, ao reduzir as PNV, manteve maior quantidade de N-uréia no sistema solo-planta, liberando o nutriente para a solução do solo lentamente e em sincronia com as demandas nutricionais das plantas, ocasionando maior EXTNH. O “fertilizante zeolítico” apresentou eficiência agrônômica superior ao fertilizante uréia comercial, proporcionando incrementos nas produções econômicas de HL, HT, MST e EXTNH. O arenito zeolítico (CETEM) apresentou características favoráveis ao seu uso no desenvolvimento tecnológico de fertilizantes de liberação lenta de nutrientes que objetivem reduzidas perdas de N-NH₃ por volatilização e elevada eficiência agrônômica nas adubações nitrogenadas das culturas agrícolas.

Palavras-chave: Arenito zeolítico. Eficiência agrônômica do fertilizante. Fertilizante de liberação lenta de nutriente.

ABSTRACT

Aiming at the evaluation the N-NH₃ losses by volatilization (PNV) and agronomical efficiency of the “zeolitic fertilizer” (UAZ) obtained by mixing urea (UR) with zeolitic sandstone (AZ), an experiment was carried out in an area of commercial production of cut flowers in Nova Friburgo municipality, Rio de Janeiro State, Brazil. During the agricultural year of 2006/2007, 4 (four) covering fertilizations were performed in the rose trees (*Rosa* spp.) crop, with two different doses of urea (60 and 120kg N.ha⁻¹), with or without addition of AZ, in the proportion of 20% w/w. The PNV were observed in the period of 6 (six) consecutive days after fertilization, utilizing a free semi-open static chamber, built from a bottomless, 2-liter, 10cm diameter, 0.008 m² internal cross section, transparent plastic recipient (PET), within which a 50ml flask was fixed, containing 10ml solution of H₂SO₄ 1 mol + glycerin 2% (v/v) topped with a 3mm thick, 2.5cm wide, 25cm long layer of polyurethane foam, previously immersed in the solution adopted for collecting the volatilized N-NH₃. The flowers harvested were evaluated in the following way: (i) quantitatively, through the total number of stems (HT), and the dry mass (MST); and (ii) qualitatively, through the selection of stems according to their length, classified in short stems (HC), medium stems (HM) and long stems (HL). Also, the total extraction of N in sampled commercial stems (EXTNH), and the agronomical efficiency of the fertilizers (EAF) were determined. The “zeolitic fertilizer” presented a PNV around 30% below that of urea. The values of MST and HT were high due to the effect of UAZ, and the greater influence on HT was caused by the increase in HM and HL production, thus demonstrating the improvement in quality of the produced stems. The EXTNH was augmented by the “zeolitic fertilizer” and was the result of the greater production of MST, which, associated to the absence of difference in N content in the stems, showing that UAZ gave a greater efficiency in the use of N-urea in rose trees (*Rosa* spp.) crop, without excessive consumption of available N by the plants. The production of HT, MST and EXTNH was high as a consequence of lower PNV. By reducing the PNV, the “zeolitic fertilizer” kept a higher quantity of N-urea in the soil-plant system, releasing it gradually to the soil solution, meeting simultaneously the plants nutritional demand and generating higher EXTNH. The “zeolitic fertilizer” exhibited a higher agricultural efficiency than that of commercial urea fertilizer, generating an increase in the economical production of HL, HT, MST and EXTNH. The zeolitic sandstone (CETEM) showed favorable characteristics for its usage in technological development of slow releasing nutrient fertilizers, with the main purpose of reducing N-NH₃ losses by volatilization and increasing agronomical efficiency of nitrogen fertilization of crops.

Key-words: Zeolitic sandstone. Agronomical efficiency of fertilizer. Slow release nutrient fertilizer.

4.1 Introdução

A cultura de flores de corte representa atividade agrícola de grande importância para o estado do Rio de Janeiro, sendo responsável por 2.385 postos de empregos permanentes (Emater, 2004). A região serrana reúne 60% dos produtores do estado e ocupa posição de destaque neste cenário, apresentando condições climáticas adequadas à atividade, além da proximidade de grande centro consumidor.

O município de Nova Friburgo é o segundo maior produtor do estado, respondendo pela produção de aproximadamente 2.500.000 dúzias ano⁻¹, representando 31% da produção estadual de flores de corte (Emater, 2004). Apresenta produção diversificada, sendo algumas de maior relevância, com a cultura da roseira (*Rosa* spp.). Para que se alcance altas produtividades nesta atividade é indispensável aplicação intensiva de fertilizantes durante o ciclo reprodutivo das culturas, já que a exportação de nutrientes nesta fase é elevada. Como o nitrogênio, juntamente com o potássio, é o elemento mais demandado pela cultura, muitas vezes os produtores rurais, em busca de produtividade e lucros aplicam excessivas doses de fertilizantes no solo, elevando os custos de produção e causando impactos ambientais negativos.

O manejo da adubação deve buscar maior eficiência agrônômica do N aplicado, maximizando a extração desse nutriente pelas plantas e minimizando sua perda por volatilização de N-NH₃. Neste contexto, os fertilizantes de liberação lenta são uma alternativa para reduzir as perdas de N-NH₃ por volatilização e aumentar a eficiência agrônômica do N aplicado em cobertura na cultura da roseira (*Rosa* spp.) na região serrana do Rio de Janeiro.

O trabalho objetivou avaliar os efeitos do “fertilizante zeolítico” sobre as perdas de N-NH₃ por volatilização e a eficiência agrônômica do fertilizante quando aplicado em cobertura na cultura da roseira (*Rosa* spp.).

4.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado no Sítio São João, 5^o distrito do município de Nova Friburgo (22^o 18' 50" S, 42^o 27' 33" W, altitude de 966 m), de propriedade do Sr. Dorvalino Bernardo da Silveira. A atividade exercida na propriedade é a produção comercial de flores de corte e os estudos foram realizados utilizando-se a cultura da roseira (*Rosa* spp.).

A lavoura foi implantada há oito anos, encontrando-se em fase de declínio de produção. O espaçamento utilizado é de 0,25 x 1,5 m, em filas simples, perfazendo uma população de 28.900 plantas ha⁻¹.

A roseira pertence ao gênero *Rosa* spp., família *Rosaceae*. A cultivar utilizada na área experimental é a Osiana, pertencente ao grupo das híbridas de Chá. Esse grupo origina-se do cruzamento da rosa perfumada da China, *R. odorata* x Híbridas perpétuas, constituindo a maior parte das roseiras cultivadas para corte. As flores são centradas e grandes, apresentando floração contínua. Seu porte varia de médio a alto, possuindo arquitetura elegante.

O manejo de adubação na propriedade utiliza uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio como fontes NPK, respectivamente. A irrigação é realizada através de sistema de aspersão não automatizado e o controle de pragas e doenças feito preventivamente com pulverizações de defensivos químicos.

As colheitas são realizadas continuamente entre os meses de agosto a maio, com períodos de picos na produção durante os meses de dezembro e fevereiro. Normalmente é realizada uma poda de renovação ao fim de cada ano agrícola.

Entre o período de setembro de 2006 a setembro de 2007, foram realizadas quatro adubações de cobertura na cultura da roseira (*Rosa* spp.), utilizando-se a dose de adubação nitrogenada aproximada utilizada pelo produtor e a dose recomendada em literatura

(120 e 60 kg N ha⁻¹), respectivamente. As adubações de cobertura ocorreram em 06/09/06 (C1), 09/02/07 (C2), 14/04/07 (C3) e 08/06/07 (C4).

Em C2, C3 e C4, para que se determinasse a umidade do solo durante o período de PNV (Figura 11), amostras de solo foram retiradas na linha de adubação, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, um dia antes e um, três e cinco dias após a adubação (DAA). A umidade do solo foi determinada pela diferença entre o peso úmido e peso seco das amostras de solo e obtida através de: $U\% = (P_u - P_s) / P_s$

Termômetros foram colocados nas linhas de plantio e próximos à superfície do solo (10 cm altura), para que as temperaturas máximas e mínimas diárias fossem medidas.

Os dados de precipitação pluvial diárias foram calculados através de média simples entre registros de duas estações meteorológicas próximas a área experimental: Vargem Grande (22°16'36" S; 42°30'08" W; altitude de 680 m) e São Lourenço (22°20'58" S; 42°37'27" W; altitude de 1130 m), sendo os registros consultados em Hidro web, (2008).

Os dados climáticos obtidos durante os períodos experimentais C2, C3 e C4, são apresentados nas Figuras 9 e 10.

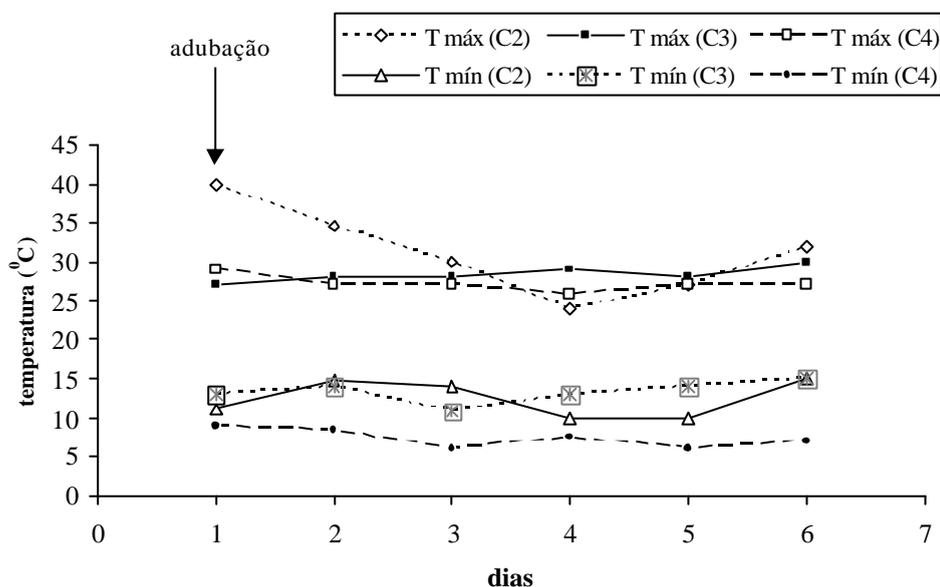


Figura 9. Temperaturas máximas e mínimas obtidas nas linhas de plantio, a 5 cm acima da superfície do solo, durante os períodos experimentais C2 (09 a 14/02/07), C3 (14 a 19/04/07) e C4 (08 a 13/06/07).

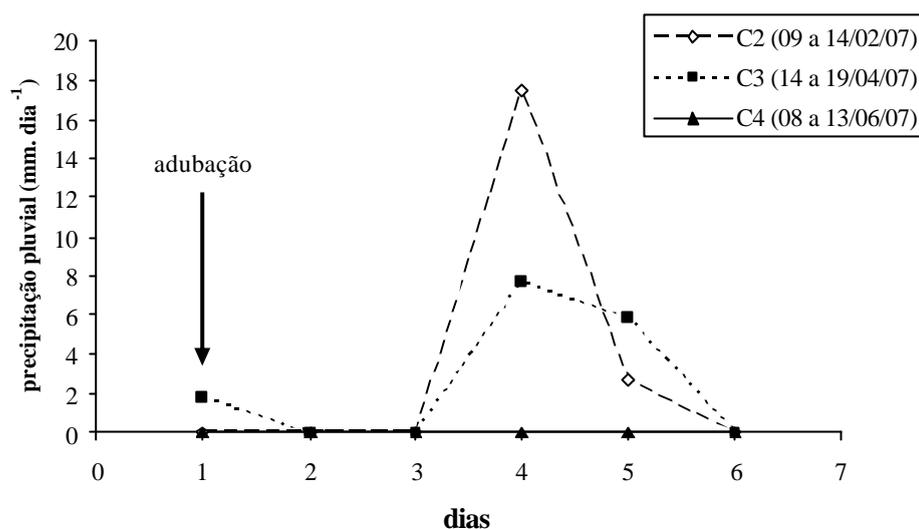


Figura 10. Precipitação pluvial ocorrida durante os períodos experimentais C2 (09 a 14/02/07), C3 (14 a 19/04/07) e C4 (08 a 13/06/07).

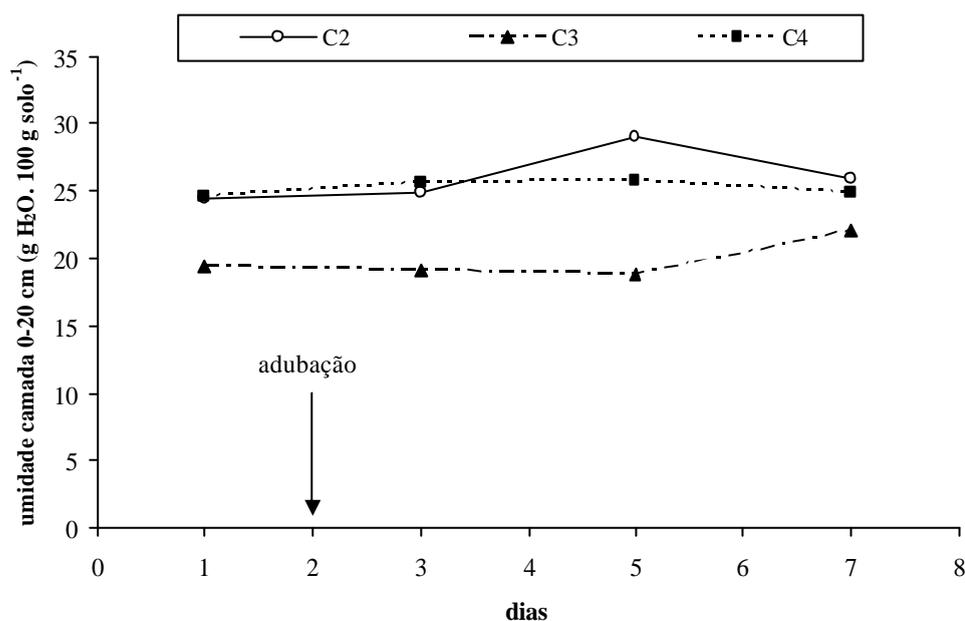


Figura 11. Umidade do solo na camada 0-10 cm durante os períodos experimentais C2 (09 a 14/02/07), C3 (14 a 19/04/07) e C4 (08 a 13/06/07).

O solo da área experimental pertence à classe Argissolo Amarelo, apresentando as seguintes características químicas: pH H₂O = 5,4; Al, Ca, Mg, H+Al, S e T = 0,0; 10,0; 2,8; 7,0; 15,3 e 22,3 cmol_c.dm⁻³, respectivamente; Na, K e P = 80,0; 1.073,0 e 1.946,4 mg. dm⁻³, respectivamente; V = 68,5 % e N, M.O = 3,8 e 54,0 g kg⁻¹, respectivamente.

O arranjo experimental em C2, C3 e C4 foi fatorial 2 x 2 + 1, sendo os fatores: uréia comercial (UR), em dois níveis, (60 kg N ha⁻¹ e 120 kg N ha⁻¹) e arenito zeolítico (AZ), nos níveis ausência e presença (20% p/p) e um tratamento adicional sem aplicação de N, resultando em 5 tratamentos, com 3 repetições, totalizando 15 unidades experimentais. Em C1, não houve tratamento testemunha. O delineamento adotado foi em blocos casualizados.

Cada unidade experimental (parcela) foi constituída por quatro metros lineares, sendo 0,5 m em cada extremidade utilizada como bordadura entre as parcelas na mesma linha de plantio. Cada linha de plantio continha três parcelas e, entre cada uma das cinco linhas experimentais, uma linha de plantio foi utilizada como bordadura. O espaçamento na lavoura foi de 1,5 m entre linhas, o que, associado aos três metros lineares úteis em cada parcela, totalizaram área de 4,5m² por parcela.

O “fertilizante zeolítico” foi obtido por processo físico de mistura entre a uréia (UR) e o arenito zeolítico (AZ), sendo os grânulos de UR recobertos pelo AZ sem utilização de nenhum agente aderente. O recobrimento foi obtido pela mistura entre os componentes em saco plástico cheio de O₂ e posterior agitação. Observou-se que a umidade contida nos grânulos de uréia facilitou a aderência do arenito zeolítico em seu entorno. A quantidade de AZ utilizado nas misturas foi 20% (p/p) em relação às doses de UR utilizadas nos tratamentos.

A zeolita natural utilizada é proveniente da porção oeste do estado do Maranhão e nordeste do estado do Tocantins, na região entre os dois estados (Bacia sedimentar do Parnaíba). O material foi coletado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e cedido pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) sob a designação de “arenito zeolítico”, uma vez que foi utilizado “tal qual” coletado. Trata-se de um arenito portador de zeolitas, as quais constituem o cimento de rocha. Apresenta grãos de quartzo, feldspatos e fragmentos de rocha como principais componentes da fração detrítica (terrígena). Esses componentes estão sempre impregnados por uma finíssima cutícula avermelhada de óxido e/ou hidróxido de Fe, e revestidos por um filme de esmectita, responsável pela capa avermelhada que envolve os grãos detríticos. Estudos por meio de difração de raios-x e análises químicas por microsonda eletrônica caracterizam esses minerais no grupo das montmorilonitas (Paiva et al., 2004).

As zeolitas compreendem a principal fase de cimento do arenito, estando presentes duas espécies: estilbita e laumontita. Essas duas zeolitas são os constituintes mais abundantes do cimento, principalmente na fração grossa, aonde chegam a perfazer 20 a 40% da rocha. As razões Si:Al são da ordem de 3,2 e 2,14, nas zeolitas estilbita e laumontita, respectivamente. A zeolita estilbita contém bastante Ca, um pouco de K e muito pouco de Na e Mg, sendo praticamente desprovida de Fe. A zeolita laumontita possui o Ca como principal cátion e um pouco de K e Na. Tais composições são condizentes com exemplares de outras partes do mundo. Analisado como um todo, o arenito zeolítico apresentou os seguintes valores máximos e mínimos percentuais: SiO₂ = 61,95/58,74; Al₂O₃ = 16,38/15,18; Na₂O = 0,25/0,16; K₂O = 1,29/0,34; CaO = 8,56/7,77; MgO = 0,15/0,11 e Fe₂O₃ = 0,06, sendo as diferenças para 100%, consideradas H₂O molecular. A CTC do arenito zeolítico foi determinada em 169 cmol_c. dm⁻³ (Paiva et al., 2004).

Os resultados de classificação granulométrica são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação granulométrica do arenito zeolítico proveniente da Bacia Sedimentar do Parnaíba (MA e TO).

Tamanho (mm)	Retido (%)	Acumulado (%)	Passante (%)
+1,7	0,00	0,00	100,00
-1,7 +1,18	0,00	0,00	100,00
-1,18 +0,85	0,26	0,26	99,74
-0,85 +0,6	2,16	2,42	97,58
-0,6 +0,425	3,50	5,92	94,08
-0,425 +0,3	16,21	22,13	77,87
-0,3 +0,212	20,12	42,25	57,75
-0,212 +0,15	14,83	57,08	42,92
-0,15 +0,106	25,26	82,34	17,66
-0,106 +0,074	8,94	91,28	8,72
-0,074 +0,053	2,72	94,00	6,00
-0,053 +0,038	2,72	96,72	3,28
> 0,038	3,28	100,00	0,00
Total	100,00		

Durante o planejamento experimental, a tendência era a utilização do modelo de coletor de N-NH₃ volatilizado descrito por Nönmik (1973), com sistema semi-aberto estático. No entanto, a presença do sistema coletor semi-aberto estático exerce grande influência sobre o fenômeno da volatilização de NH₃, reduzindo significativamente a taxa de amônia volatilizada do fertilizante. Ademais, relacionado ao método indireto com uso de ¹⁵N, apresenta taxa de recuperação de somente 20% do N-NH₃ volatilizado (Lara Cabezas e Trivelin, 1990). Avaliou-se a possibilidade de uso do sistema coletor proposto por Marsola et al. (2000), constituído de frasco tipo PET e fita de papel filtro embebida em solução absorvedora de NH₃, que, em condições de casa de vegetação e baixas taxas de volatilização, apresenta alta eficiência na recuperação do N-NH₃ volatilizado. Embora utilizado em condições de campo (Guedes, 2002), este sistema coletor não fora calibrado para tais condições, impossibilitando que os resultados alcançados obtivessem confiabilidade científica. Além disso, a saturação por N-NH₃ nas fitas de papel de filtro responsáveis pela captação da amônia volatilizada demanda sucessivas trocas das fitas em curto espaço de tempo, limitando o uso do sistema em condições de médias a altas taxas de volatilização de N-NH₃.

A ausência de metodologia validada e calibrada que apresentasse satisfatória taxa de recuperação de N-NH₃ volatilizado em condições de campo era a maior limitação para o desenvolvimento da pesquisa planejada, quando constatou-se que equipe de pesquisadores e estudantes da Embrapa Agrobiologia realizavam modificações no modelo de câmara proposto por Marsola et al. (2000), estando os trabalhos de validação e calibração do modelo proposto (Araújo et al., 2006 e 2007) bastante adiantados. Com a possibilidade de dispor de um modelo validado e calibrado para uso em condições de campo, e que apresentasse altas taxas de recuperação de N-NH₃ volatilizado, decidiu-se aguardar os resultados. Em consequência desta decisão, optou-se pela realização de uma adubação de cobertura, designada adubação de cobertura 1 (C1), na qual as perdas de N-NH₃ por volatilização não foram avaliadas, embora constituam o objetivo principal do trabalho. No entanto, objetivando inferir sobre o efeito do

“fertilizante zeolítico” sobre a redução das PNV quando aplicado sobre o solo, avaliou-se a extração total de N pelas hastes comerciais colhidas (EXTNH) e variáveis relacionadas à produtividade da cultura.

Na realização da adubação de cobertura 2 (C2), a câmara modificada e proposta por Araújo et al. (2006) (Figura 1) já encontrava-se validada para uso em condições de campo e altas taxas de volatilização de N-NH₃, sendo, portanto, utilizada em C2 e também nas posteriores adubações de cobertura (C3 e C4).

O sistema consiste em câmara coletora estática confeccionada a partir de frasco plástico transparente tipo PET de 2 litros sem a base, com diâmetro de 10 cm, abrangendo 0,008 m² de área, no interior dos quais fixou-se um frasco de 50 ml contendo 10 ml de solução de H₂SO₄ 1 mol dm⁻³ + glicerina 2% (v/v), no qual foi adicionada lâmina de espuma de polietileno com 3 mm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento, umedecida na solução, sendo a amônia volatilizada captada na forma de (NH₄)₂SO₄ (Araújo et al., 2006 e 2008).

Em C2 foram utilizadas duas câmaras coletoras por parcela, totalizando seis repetições por tratamento. Visando aumentar o número de repetições, em C3 e C4 utilizaram-se três e quatro câmaras coletoras dentro de cada parcela, totalizando nove e doze repetições por tratamento, respectivamente. Tal procedimento objetivou minimizar a variabilidade das observações dentro de cada parcela.

As coletas das fitas foram iniciadas dois dias antes das adubações e prosseguiram em intervalos de 24 horas por seis dias consecutivos após a aplicação das fontes. Após cada troca das fitas, as câmaras foram colocadas uma posição adiante, de forma que as determinações diárias sofressem as influências climáticas como incidência solar, temperatura, ventos e chuvas.

A análise da amônia coletada nas espumas foi realizada segundo Araújo et al. (2006 e 2008), onde a espuma, juntamente com a solução ácida remanescente no frasco de 50 ml, foi transferida para um erlenmeyer de 250 ml, onde se adicionou 50 ml de água destilada. O erlenmeyer com a solução foi levado a um agitador horizontal, sofrendo agitação a 250 RPM por 15 minutos. Uma alíquota de 5 ml foi então transferida para tubo de digestão, sendo destilado em modelo Kjeldhal e titulado com ácido sulfúrico 0,015 N.

Após a realização de C1, C3 e C4, as colheitas foram integralmente avaliadas. As colheitas relativas à C1 iniciaram-se sete dias DAA (13/09/06) e prosseguiram até 03/12/06, totalizando um período de 80 dias, quando foram realizadas treze colheitas. Em C3, a primeira colheita ocorreu dois DAA (16/04/07), prosseguindo até 07/05/07, sendo, portanto, o período de colheitas de somente 21 dias, quando foram realizadas cinco colheitas. A primeira colheita após C4 ocorreu 32 DAA (10/07/07), prosseguindo até 25/08/07, totalizando período de 45 dias, sendo realizadas cinco colheitas.

Para avaliação quantitativa da produção, determinou-se o total de hastes comerciais colhidas (HT). As hastes comerciais colhidas foram avaliadas qualitativamente a partir da divisão estabelecida pelo mercado consumidor: hastes curtas (HC), médias (HM) e longas (HL). Embora essa classificação não se enquadre em nenhum padrão pré-definido, seguindo um critério visual do produtor, é possível observar que as mesmas apresentam comprimentos próximos a 30 cm, 45 cm e acima de 60 cm, para HC, HM e HL, respectivamente.

As avaliações de produtividade não foram possíveis após aplicação da C2, devido uma forte ocorrência de *Peronospora sparsa*, causando a doença fúngica denominada de “Míldio”, fazendo com que toda a produção fosse perdida. Essa doença ocorre em condições de alta umidade do ar e temperaturas atmosféricas amenas, constituindo uma das infecções mais sérias e limitantes na cultura de rosas. Na ocasião (25/03/07), efetuou-se uma poda baixa em todas as plantas e uma nova adubação de cobertura foi providenciada (C3).

As hastes comerciais colhidas em C1, C3 e C4 foram divididas em hastes e botões florais e então secas em estufa de circulação forçada a 65⁰C por um período de 72 horas. Após a secagem, determinou-se a massa seca total (MST) de hastes e botões florais e as amostras foram moídas em modelo tipo “Willey” com peneira 20 “mesh”. Seguindo Carmo et al. (2000), determinou-se os teores totais de N no extrato da digestão sulfúrica, utilizando sistema semi-micro Kjeldhal. Utilizando os valores de MST e teores de N nas hastes e botões florais, determinou-se a extração total de N por ambos, e, pela soma das mesmas, a extração total de N pelas hastes comerciais colhidas (EXTNH).

A eficiência agronômica dos fertilizantes aplicados (uréia comercial e “fertilizante zeolítico”) foi determinada segundo propostas de Baligar e Fageria (1996) e Dobermann (2007).

Avaliou-se a eficiência agronômica dos fertilizantes (EAF) somente nas adubações de cobertura 3 e 4 (C3 e C4). Na adubação de cobertura 1 (C1), a determinação não foi possível devido ausência de tratamento testemunha no delineamento experimental, e, na adubação de cobertura 2 (C2), devido ocorrência de doença fúngica (*Peronospora sparsa*) na área experimental e a conseqüente perda integral da produção de hastes florais.

A determinação da eficiência agronômica dos fertilizantes (EAF) aplicados foi obtida por:

$$EAF = (PTF - PTT) / (QNA),$$

onde:

EAF = eficiência agronômica do fertilizante, expressa por kg produzidos. kg N aplicado⁻¹, g produzidas. kg N aplicado⁻¹ ou unidades produzidas. kg N aplicado⁻¹;

PTF = produção do tratamento com uso de fertilizante, expressa por g, kg ou unidades. ha⁻¹;

PTT = produção do tratamento testemunha (sem uso de N-fertilizante), expressa por g, kg ou unidades. ha⁻¹;

QNA = quantidade de nutriente aplicado, expressa por kg N. ha⁻¹.

Para avaliação da eficiência agronômica dos fertilizantes (EAF) aplicados, foram utilizadas as variáveis HC, HM, HL e HT, sendo as EAF expressas por unidades produzidas. kg N aplicado⁻¹; MFT e MST, sendo as EAF expressas por kg produzidas. kg N aplicado⁻¹, e EXTNH, sendo a EAF expressa por g extraída. kg N aplicado⁻¹.

A análise dos dados foi realizada utilizando-se os recursos do sistema de análise estatística SAEG. Os dados foram testados quanto à normalidade dos erros e homogeneidade de variância, utilizando-se Lilliefors e Cochran-Bartlett, respectivamente. Os dados de N-NH₃ volatilizado (PNV) em C3 e C4 não apresentaram homogeneidade das variâncias, sendo os mesmos transformados através de: Raiz quadrada y + 0,5 - SQRT (y + 0,5). Realizou-se a análise de variância, e, para as diferenças significativas, aplicou-se teste t student. Em C3 e C4, as variáveis foram correlacionadas linearmente por Pearson.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Adição de arenito zeolítico à uréia e perdas de N-NH₃ por volatilização após adubação de cobertura

Na adubação de cobertura 2 (C2) a aplicação do “fertilizante zeolítico” (UAZ) proporcionou efeito significativo ($P < 0,01$) sobre as perdas por volatilização de N-NH₃ (PNV) nas primeiras 24 horas (3^o dia) após aplicação da maior dose de N ao solo e nas primeiras 48 horas (3^o e 4^o dias) após aplicação da menor dose de N (Figura 12a). Não houve efeito significativo da interação AZ x UR ($P > 0,05$), ocorrendo efeito do AZ sobre a redução das PNV para ambas as doses de N aplicadas. Foram perdidos 0,556 e 0,365 g N. m⁻². dia⁻¹ quando aplicados 120 kg N ha⁻¹, representando redução de 34% nas PNV pelo efeito de UAZ. Quando aplicados 60 kg N ha⁻¹, as PNV no 3^o dia foram de 0,364 e 0,055 g N m⁻². dia⁻¹ e, no 4^o dia, de 0,563 e 0,364 g N m⁻² dia⁻¹, respectivamente nas aplicações de uréia (UR) e “fertilizante zeolítico” (UAZ). Esses resultados demonstram que o efeito de UAZ proporcionou redução significativa ($P < 0,05$) de 83% e 35% nas PNV ocorridas no 3^o e 4^o dias, respectivamente.

As PNV ocorridas em C3 (Figura 12b) demonstram efeito significativo ($P < 0,01$) do UAZ sobre a redução nas PNV no período entre 24 e 72 horas (4^o e 5^o dias) após a adubação com a maior dose de N, e entre 48 e 72 horas (5^o dia) quando aplicada a menor dose de N. No 4^o dia, houve efeito significativo ($P < 0,05$) somente para a aplicação de 120 kg N ha⁻¹, quando as perdas foram de 2,87 e 1,62 g N m⁻². dia⁻¹ para aplicação de UR e UAZ, respectivamente. Esses valores representam uma redução de 43% nas PNV pelo efeito de UAZ.

No período de 48 a 72 horas após adubação (5^o dia), o efeito do UAZ sobre a redução das PNV foi significativo ($P < 0,01$) independente da dose de N aplicada (Figura 12b). Quando aplicada a maior dose, foram perdidos 1,12 e 0,79 g N. m⁻². dia⁻¹ e, com a menor dose, as perdas foram de 0,68 e 0,36 g N m⁻² dia⁻¹, por UR e UAZ, respectivamente. A redução das PNV devido efeito do “fertilizante zeolítico” (UAZ) foi de aproximadamente 30 e 46% nas aplicações da maior e menor dose de N, respectivamente.

Na última adubação de cobertura - C4 (Figura 12c), a aplicação da menor dose do “fertilizante zeolítico” (U60AZ) não apresentou efeito significativo sobre as PNV ($P > 0,05$) durante todo o período experimental. Nesta circunstância, as PNV foram equivalentemente baixas e iniciaram-se 24 horas após a adubação (3^o dia), alcançando o pico no 5^o dia (aproximadamente 0,3 g N m⁻² dia⁻¹), quando apresentam um decréscimo até o 8^o dia. Embora o período experimental não tenha possibilitado a observação do fenômeno da volatilização de N-NH₃ integralmente, infere-se, através da curva de PNV para ambas as doses de N, que o decréscimo continuaria por período de 24 a 48 horas, quando então as PNV tenderiam à insignificância.

Os níveis de umidade do solo (Figura 11) e as temperaturas atmosféricas (Figura 9) ocorridas em C2, C3 e C4 demonstram que o fenômeno da volatilização não foi restringido em função desses fatores e ocorreu plena e integralmente, uma vez que as PNV são potencializadas em temperaturas atmosféricas acima de 25^o C (Hu et al., 2007) e o aumento no teor de umidade do solo até 20% eleva a taxa de hidrólise da uréia, a partir do qual a taxa de hidrólise sofre pouca alteração com o aumento da umidade do solo (Bremner e Mulvaney, 1978).

Nos tratamentos em que foi aplicada a maior dose do “fertilizante zeolítico” (U120AZ) proporcionou redução significativa ($P < 0,01$) sobre as PNV por período de 120 horas após a adubação (dias 3, 4, 5, 6 e 7). A aplicação de U120 resultou em PNV significativas (0,36 g N m⁻². dia⁻¹) já nas primeiras 24 horas após a adubação (dia 3), enquanto que, no mesmo período, a aplicação de U120AZ proporcionou perdas de somente

0,04 g N m⁻². dia⁻¹, o que significa expressivo efeito do UAZ na redução de aproximadamente 88% das PNV ocorrida nesse período (Figura 12 c).

Entre 24 e 48 horas (dia 4) após a adubação C2, PNV significativas são observadas na aplicação de U60AZ (0,29 g N m⁻² dia⁻¹), porém inferiores às observadas na aplicação da U60 (0,66 g N m⁻² dia⁻¹), significando efeito do UAZ na redução de 56% das PNV ocorrida nesse período (Figura 12a).

No período entre 48 e 72 horas após a adubação (dia 5) ocorre o pico nas PNV, alcançando 1,3 e 0,75 g N m⁻². dia⁻¹ para as aplicações de U120 e U120AZ, respectivamente. O efeito do U120AZ proporcionou, neste período, redução de aproximadamente 42% nas PNV (Figura 12c).

Após os picos de PNV por U120 e U120AZ, observados no dia 5, as mesmas decrescem até o fim do período experimental (Figura 12c). Neste período, o efeito significativo (P<0,01) do “fertilizante zeolítico” sobre a redução das PNV ocorre nos dias 6 e 7 (72 a 120 horas após a adubação), quando são volatilizados 1,0 e 0,68 g N m⁻² dia⁻¹ (dia 6) e 0,8 e 0,68 g N m⁻². dia⁻¹ (dia 7), decorrentes das aplicações de U120 e U120AZ, respectivamente. Tais resultados representam efeito significativo do mineral zeolítico na redução de aproximadamente 33 % e 15% nas PNV ocorridas nos dias 6 e 7, respectivamente.

Os resultados demonstram que os efeitos significativos (P<0,01) do “fertilizante zeolítico” (UAZ) sobre as PNV em C2, C3 e C4 ocorreram geralmente no período de 120 horas após as aplicações ao solo (Figuras 12a, 12b e 12c). Como a uréia aplicada ao solo normalmente é hidrolisada em dois ou três dias (Byrnes, 2000), e as perdas de N-NH₃ mais significativas ocorrem neste período (Rodrigues e Kiehl, 1986; Guedes, 2002; Martha Júnior, 2003; Barbieri e Echeverría, 2003; Ros et al., 2005; Duarte, 2006 e Hu et al., 2007), observa-se que os efeitos do UAZ ocorreram nos momentos de maior potencial de PNV, confirmando a capacidade do arenito zeolítico (AZ) em adsorver NH₄⁺ e a possibilidade de sua utilização em misturas com fertilizantes minerais nitrogenados (Jonh et al., 1998 e 2000, citado por Louis, 2002) visando desenvolvimento tecnológico de “fertilizantes zeolíticos” que apresentem reduzidas PNV quando aplicados em cobertura sobre o solo.

Os resultados observados em C2 demonstram efeito significativo (P<0,01) do UAZ sobre a redução nas PNV totais ocorridas durante o período experimental, independente da dose de N aplicada (Figura 13a).

A aplicação de 60 kg N ha⁻¹ ocasionou PNV totais de 1,43 e 0,92 g N m⁻² pela UR e UAZ, respectivamente, significando que o efeito do UAZ proporcionou redução de aproximadamente 36% na PNV. Extrapolados, esses valores equivalem a PNV de 14,3 e 9,2 kg N ha⁻¹, equivalentes a 23,8 e 15,3% do N fornecido ao solo pelas aplicações de UR e UAZ, respectivamente (Figura 13a).

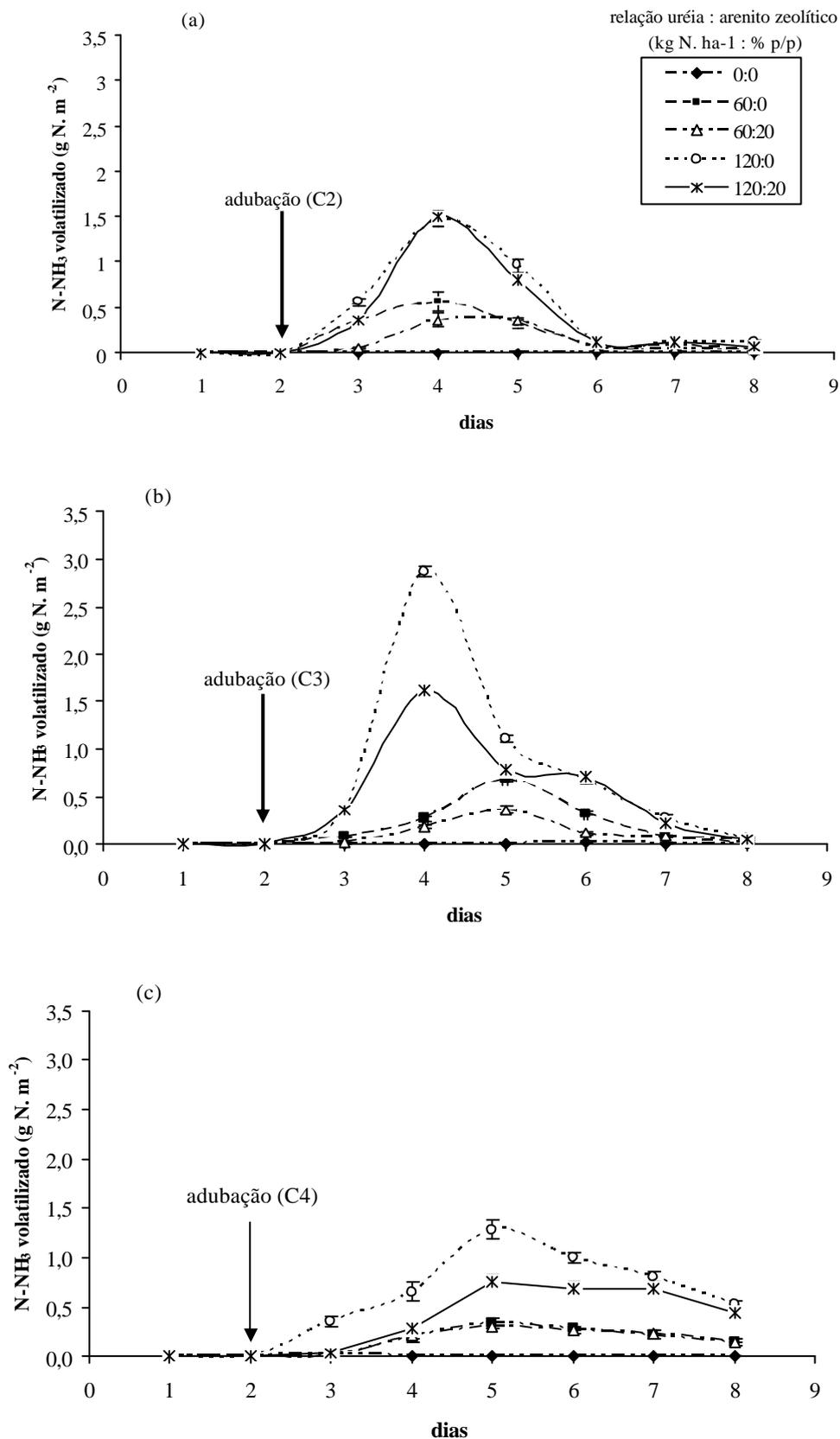


Figura 12. Volatilização N-NH₃ em oito dias consecutivos em função da adubação nitrogenada de cobertura com uréia (60 e 120 kg N. ha⁻¹) adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), na cultura da roseira (*Rosa* spp.), nas adubações de cobertura: C2 - fevereiro/2007 (a), C3 - abril/2007 (b) e C4 - junho/2007 (c), (Scott-Knott, P < 0,05).

O fornecimento de 120 kg N ha⁻¹ resultou em PNV totais de 3,32 e 2,96 g N m⁻², provenientes das aplicações de UR e UAZ (Figura 13a), respectivamente, sendo o efeito de UAZ responsável pela redução de aproximadamente 11% nas PNV. Esses valores equivalem a 33,2 e 29,6 kg N. ha⁻¹, o que representa perdas de 27,7 e 24,7% do N fornecido ao solo através das aplicações de UR e UAZ, respectivamente.

Observando-se os resultados em C3 (Figura 13b), verifica-se efeito significativo (P<0,01) do UAZ sobre a redução nas PNV totais acumuladas, independente da dose de N aplicada.

A aplicação da menor dose de N proporcionou PNV totais acumuladas de 1,46 e 0,81 g N m⁻², pela UR e UAZ, respectivamente, significando efeito do UAZ sobre redução de aproximadamente 45% nas PNV (Figura 13b). Os valores obtidos são equivalentes a PNV de 14,6 e 8,1 kg N ha⁻¹ e representam 24,3 e 13,5% do N fornecido ao solo através das aplicações de UR e UAZ, respectivamente.

Quando utilizada a maior dose de N, as aplicações de UR e UAZ proporcionaram PNV de 5,38 e 3,76 g N m⁻², respectivamente (Figura 13b), sendo o efeito do UAZ responsável por redução de 30% nas PNV, as quais equivalem a 53,8 e 37,6 kg N ha⁻¹, representando 44,8 e 31,3% do N fornecido ao solo pelas aplicações de UR e UAZ, respectivamente.

Avaliando as PNV totais acumuladas em C4 (Figura 13c), observa-se que houve efeito significativo (P<0,01) do UAZ sobre as PNV, independente da dose de N aplicada. Dentro das doses de N, o efeito do AZ foi significativo (P<0,01) somente quando aplicada a maior dose.

As PNV totais acumuladas, quando fornecida a menor dose de N, não diferiram (P>0,05) entre si, sendo de 1,23 e 1,21 g N m⁻² para as aplicações da UR e UAZ, respectivamente (Figura 13c). Esses valores equivalem a PNV de aproximadamente 12 kg N. ha⁻¹ e representam 20% do N fornecido ao solo através da adubação de cobertura. Acredita-se que a ausência de efeito do UAZ sobre as PNV possa estar relacionada às características físico-químicas do solo, especialmente elevada CTC, textura argilosa, alto teor de MOS, pH próximo à neutralidade e alto poder tampão, que conjuntamente, teriam proporcionado redução no potencial de PNV, uma vez que dentre as características físico-químicas do solo, são estas as que exercem maior influência sobre as perdas de N-NH₃ por volatilização (Byrnes, 2000). O efeito do UAZ sobre as PNV decorrentes da aplicação da maior dose de N em C4 ajuda a sustentar essa hipótese, pois resultou em PNV totais acumuladas de 4,65 e 2,89 g N m⁻², quando utilizadas UR e UAZ, respectivamente (Figura 13c). Esses valores equivalem a PNV de 46,5 e 28,9 kg N ha⁻¹ e representam 38,8 e 24,1% do N fornecido ao solo, respectivamente pelas aplicações de UR e UAZ, significando uma redução de 37,8% na PNV quando utilizado UAZ.

Quando utilizada a menor dose de N, as PNV totais acumuladas de C2+C3+C4 foram reduzidas em 28,6% pelo efeito do UAZ (Figura 13d). As mesmas totalizaram 4,12 e 2,94 g N m⁻², equivalendo a PNV de 41,2 e 29,4 kg N ha⁻¹ pelas aplicações de UR e UAZ, respectivamente. Esses valores representam 22,9 e 16,3% do total de N fornecido ao solo através das três adubações de cobertura. A aplicação da maior dose de N através de UAZ reduziu em 28% as PNV totais acumuladas em C2+C3+C4, as quais foram de 13,34 e 9,61 g N m⁻² quando aplicadas UR e UAZ, respectivamente (Figura 13d). Tais valores são equivalentes a PNV de 133,4 e 96,1 kg N ha⁻¹, representando 37 e 26,7% do total de N fornecido através das três adubações de cobertura.

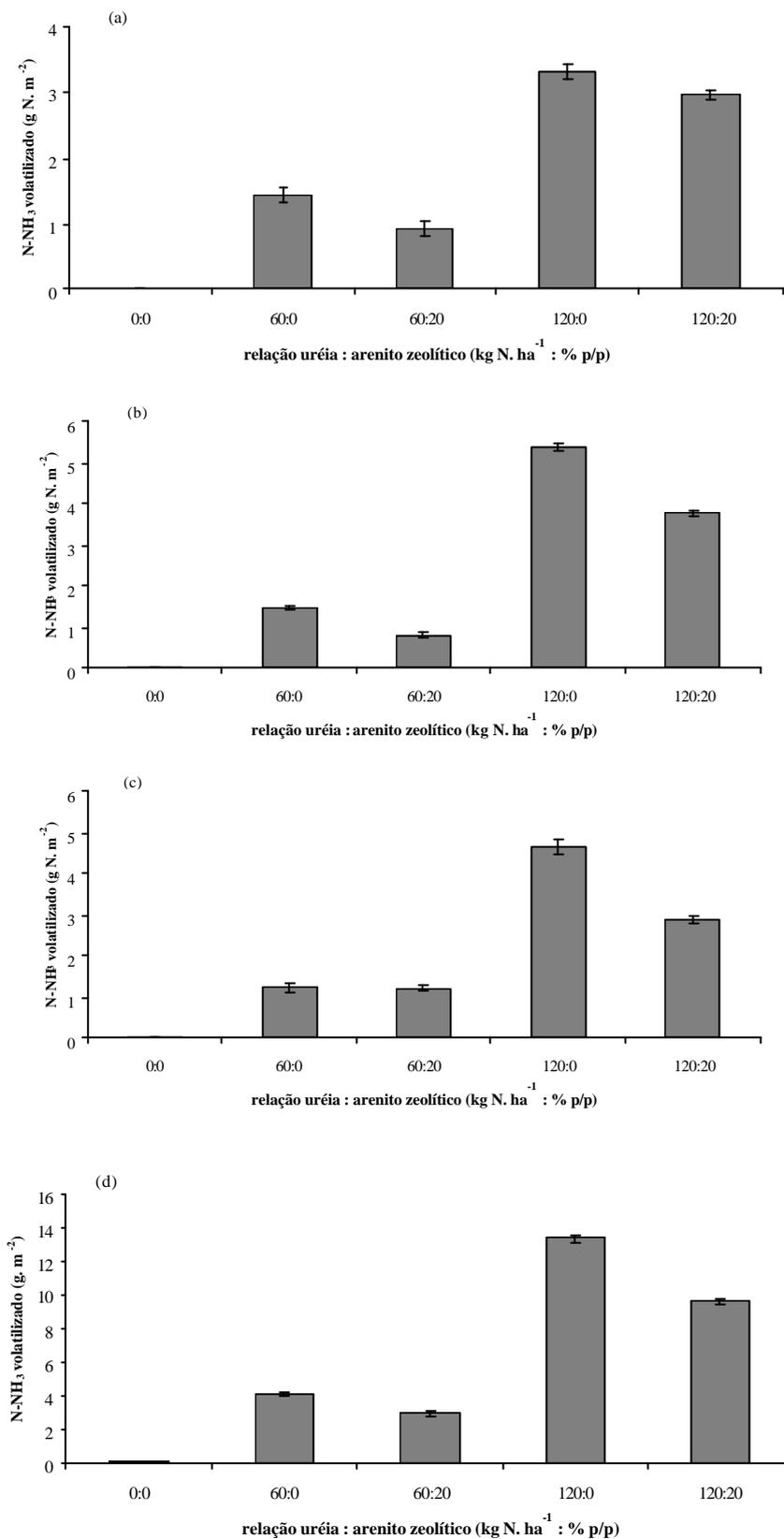


Figura 13. Total N-NH₃ volatilizado em oito dias consecutivos em função da adubação nitrogenada de cobertura com uréia (60 e 120 kg N. ha⁻¹) adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), na cultura da roseira (*Rosa* spp.), nas adubações de cobertura: C2 - fevereiro/2007 (a), C3 - abril/2007 (b), C4 - junho/2007 (c) e C2+C3+C4 (d).

As significativas reduções nas PNV podem ser explicadas pela ação do arenito zeolítico na conservação do amônio através da diminuição da concentração do íon na solução do solo por troca de cátions, favorecendo a formação de NH_4^+ preferencialmente à volatilização de NH_3 para a atmosfera (USGS, 2006) e também pelo potencial das zeolitas em adsorver amônia em solução aquosa (Englert e Rubio, 2005), uma vez que essa forma de N se encontra na solução do solo.

Baptista-Filho et al. (2007), em estudos de laboratório utilizando um concentrado zeolítico obtido a partir do arenito zeolítico utilizado no presente estudo, onde o mesmo foi saturado com solução aquosa rica em sulfato de amônio e a liberação do N determinada por espectrometria fotoacústica, verificaram após quantificação do N volatilizado, que o concentrado zeolítico apresenta alta eficiência em aprisionar o N em sua estrutura, por inibir o desprendimento do NH_3 para o ar mesmo em temperaturas acima de 45°C .

A presença de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} em solução é capaz de reduzir a adsorção de NH_4^+ pelas zeolitas, existindo uma relação inversamente proporcional entre a concentração destes cátions e a adsorção de NH_4^+ (Lei et al., 2008). Apesar dos elevados níveis destes cátions no solo da área experimental, o mesmo autor observou que a seletividade da zeolita testada (chinesa) segue a seguinte ordem: $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ e pode explicar a minimização das perdas por volatilização de N- NH_3 ocasionada pelo arenito zeolítico misturado à uréia.

4.3.2 Características agronômicas da cultura da roseira (*Rosa* spp).

As produções totais de hastes curtas (HC) nas adubações de cobertura 1 e 4 (C1 e C4) e na soma das adubações C1, C3 e C4 (Figura 14a, 14c e 14d) não sofreram efeito significativo ($P>0,05$) do “fertilizante zeolítico” (UAZ), independente das doses de N aplicadas. No entanto, a soma de todas as HC por tratamento em C1+C3+C4 (Figura 14d) apresentou efeito significativo ($P<0,05$) da interação UR x AZ e, dentro das doses de UR, observa-se efeito significativo ($P<0,05$) da aplicação de U120AZ sobre a produção total de HC. Neste caso, foram produzidas 46,7 e 28 HC quando aplicadas U120AZ e U120, respectivamente, sendo o efeito do UAZ responsável por aumento de aproximadamente 67% na produção total de HC.

Na adubação de cobertura 3 (C3) (Figura 14b), UAZ apresentou efeito significativo ($P<0,05$) sobre a produção de HC, independente da dose de N aplicada. A produção média pelas aplicações de U120AZ e U60AZ foi de 6,5 HC e, quando aplicadas U120 e U60, de 3,15 HC. Esses valores representam aumento de aproximadamente 105% na produção média de HC pelo efeito de UAZ quando comparadas às produções médias obtidas com as doses de UR e pela testemunha (3,3 HC)

Dentro das doses de UR, houve efeito significativo ($P<0,05$) do AZ sobre a produção total de HC para a maior dose aplicada em C3 (Figura 14b). Quando aplicadas U120AZ e U120, foram produzidas 8 e 3 HC, respectivamente, sendo o efeito do UAZ responsável por aumento de 166% na produção total de HC quando comparada à produção por U120 e, 142% quando comparada à produção pela testemunha (3,3 HC).

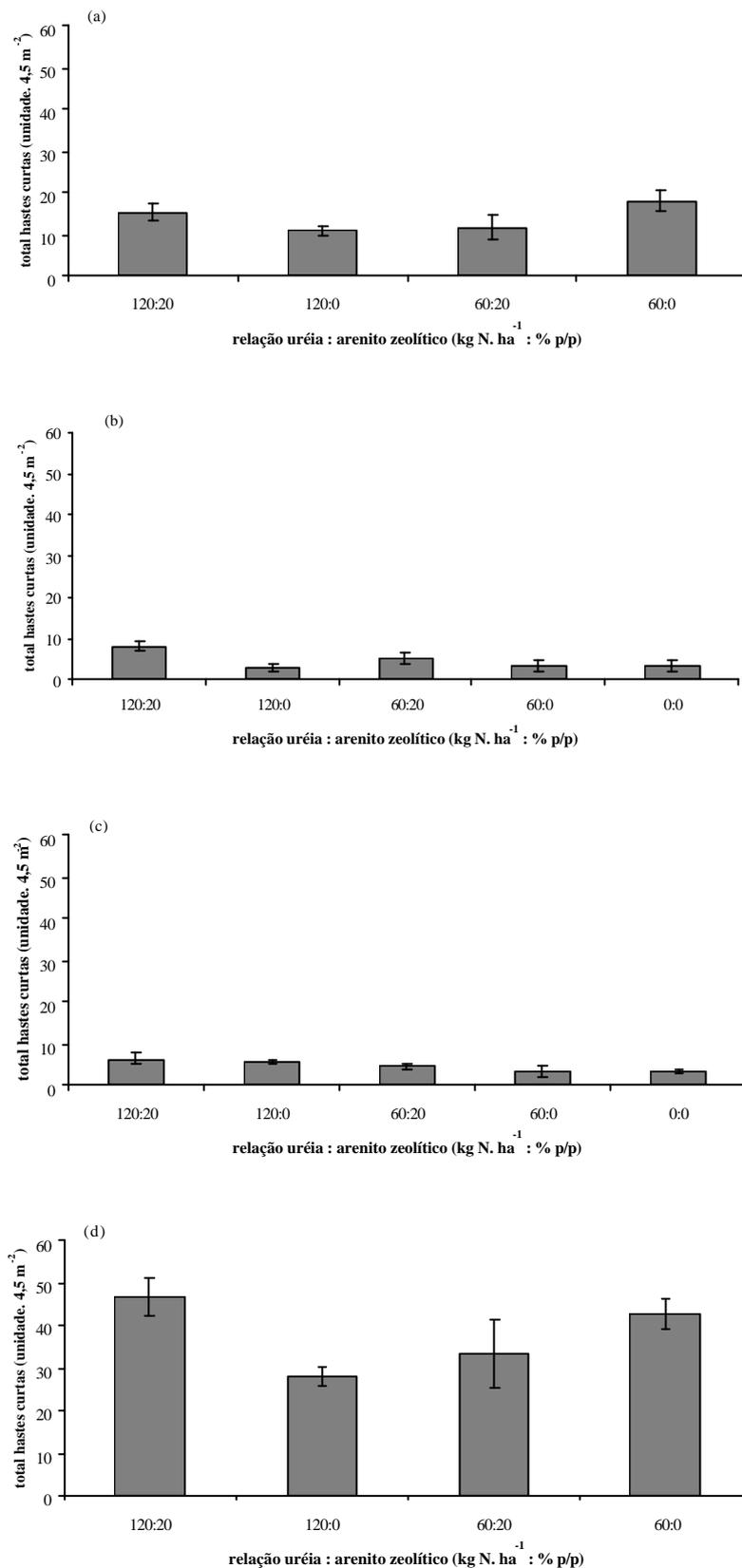


Figura 14. Produção de hastes curtas pela roseira (*Rosa* spp.) cultivada em Argissolo Amarelo, sob aplicação de doses de nitrogênio (60 e 120 kg N. ha⁻¹) na forma de uréia adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), nas adubações de cobertura: C1 - setembro/2006 (a), C3 - abril/2007 (b), C4 - junho/2007 (c) e C1+C3+C4 (d).

A produção total de hastes médias (HM) em C1 (Figura 15a) foi aumentada de forma significativa ($P < 0,05$) pela aplicação do UAZ, independente das doses de N aplicadas. As produções médias de HM resultantes da aplicação de ambas as doses de UAZ e UR foram de 33,8 e 24,3 HM, respectivamente. Esses valores representam aumento de 39% na produção em função do efeito do UAZ. No desdobramento de AZ dentro das doses de UR, verifica-se ausência de significância ($P > 0,05$) para ambas as doses. Porém, a significância de U120AZ ($P = 0,0778$) pode ter sofrido influência do elevado coeficiente de variação (22,4%) ocorrido para a variável HM, “mascarando” um possível efeito significativo de UAZ, uma vez que a aplicação de U120AZ resultou na produção de 33 HM. Essa produção é 52% superior à alcançada pela aplicação de U120 (21,7 HM).

Avaliando as produções de HM em C3 e C4 (Figuras 15b e 15c), verifica-se ausência de efeito significativo ($P > 0,05$) para os fatores AZ e interação UR x AZ. No entanto, a produção total de HM em função da aplicação da menor dose de N, correlaciona-se significativamente ($P < 0,05$; $r = -0,78$) com a PNV ocorrida em C3 (Figura 13b), demonstrando que o efeito do UAZ sobre a redução da PNV resultou em maior quantidade de HM produzidas.

A produção total de HM na soma de todas as colheitas (C1+C3+C4) (Figura 15d) sofreu efeito significativo ($P < 0,05$) do UAZ, independente da dose de N aplicada. As produções médias pela aplicação de ambas as doses de UAZ e UR, foram de 55,5 e 41,3 HM respectivamente, representando aumento de 34% em função do efeito do UAZ.

A produção de hastes longas (HL) em C1 (Figura 16a) não foi influenciada significativamente ($P > 0,05$) pelos fatores de variação AZ e interação UR x AZ, sendo produzidas, em média, 69 HL por parcela. Porém, a significância para AZ foi $P = 0,0721$, e, no desdobramento dentro das doses de UR, U60AZ apresentou $P = 0,0772$. A aplicação de ambas as doses de UAZ e UR proporcionaram produção média de 74,8 e 63,5 HL, respectivamente. Caso o efeito fosse significativo, representaria aumento de 18% na produção total de HL em C1. Quando aplicadas U60AZ e U60 foram produzidas 76 e 60,3 HL, respectivamente, representando aumento de 26% na produção total de HL ocasionada por UAZ.

Em C3, a análise de variância indica efeito significativo ($P < 0,05$) do AZ, independente da dose de N aplicada e para a interação UR x AZ. Dentro das doses de UR, houve efeito significativo ($P < 0,05$) do AZ sobre a produção de HL. As produções médias totais pelas aplicações de ambas as doses de UAZ e UR foram de 37 e 30,5 HL, respectivamente, representando efeito do UAZ no aumento de 21% na produção de HL, quando comparada à produção média por UR e 10% em relação à produção obtida pela testemunha (33,7 HL). Quando aplicadas U120AZ e U120, foram produzidas 34,3 e 28,7 HL, respectivamente, havendo aumento de aproximadamente 20% na produção por efeito do UAZ. As aplicações de U60AZ e U60 resultaram, respectivamente, em 39,7 e 32,3 HL produzidas, sendo o efeito do UAZ responsável por aumento de 23% na produção de HL (Figura 16b).

O total de HL produzidos em C4 (Figura 16c) sofreu efeito significativo ($P < 0,01$) do AZ e também da interação UR x AZ ($P < 0,05$). Quando aplicadas ambas as doses de UAZ, a produção total média foi de 14,3 HL, valor aproximadamente 39% e 20% superior às produções médias obtidas pelas doses de UR (10,3 HL) e pela testemunha (12 HL), respectivamente.

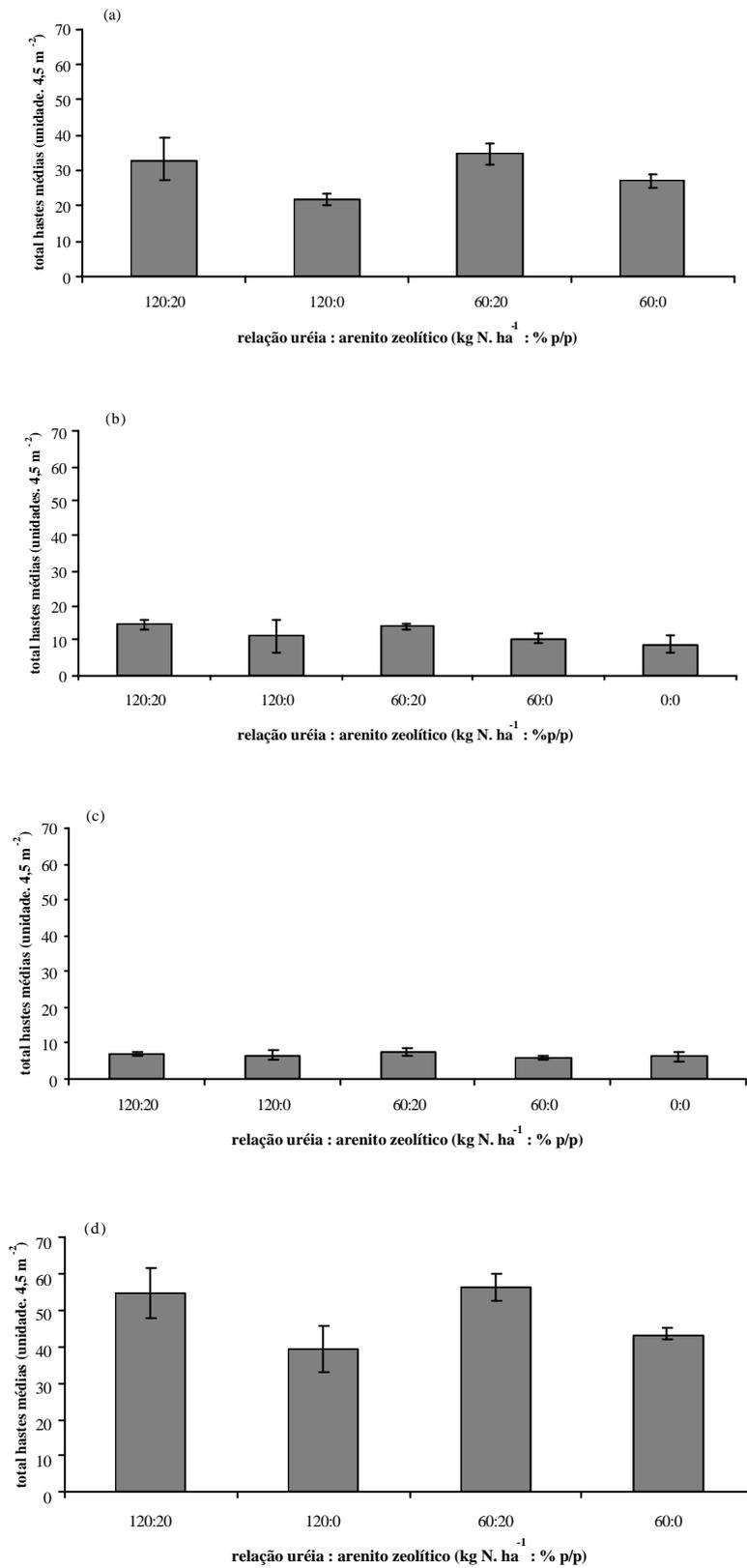


Figura 15. Produção de hastes médias pela roseira (*Rosa* spp.) cultivada em Argissolo Amarelo, sob aplicação de doses de nitrogênio (60 e 120 kg N ha⁻¹) na forma de uréia adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), nas adubações de cobertura: C1 - setembro/2006 (a), C3 - abril/2007 (b), C4 - junho/2007 (c) e C1+C3+C4 (d).

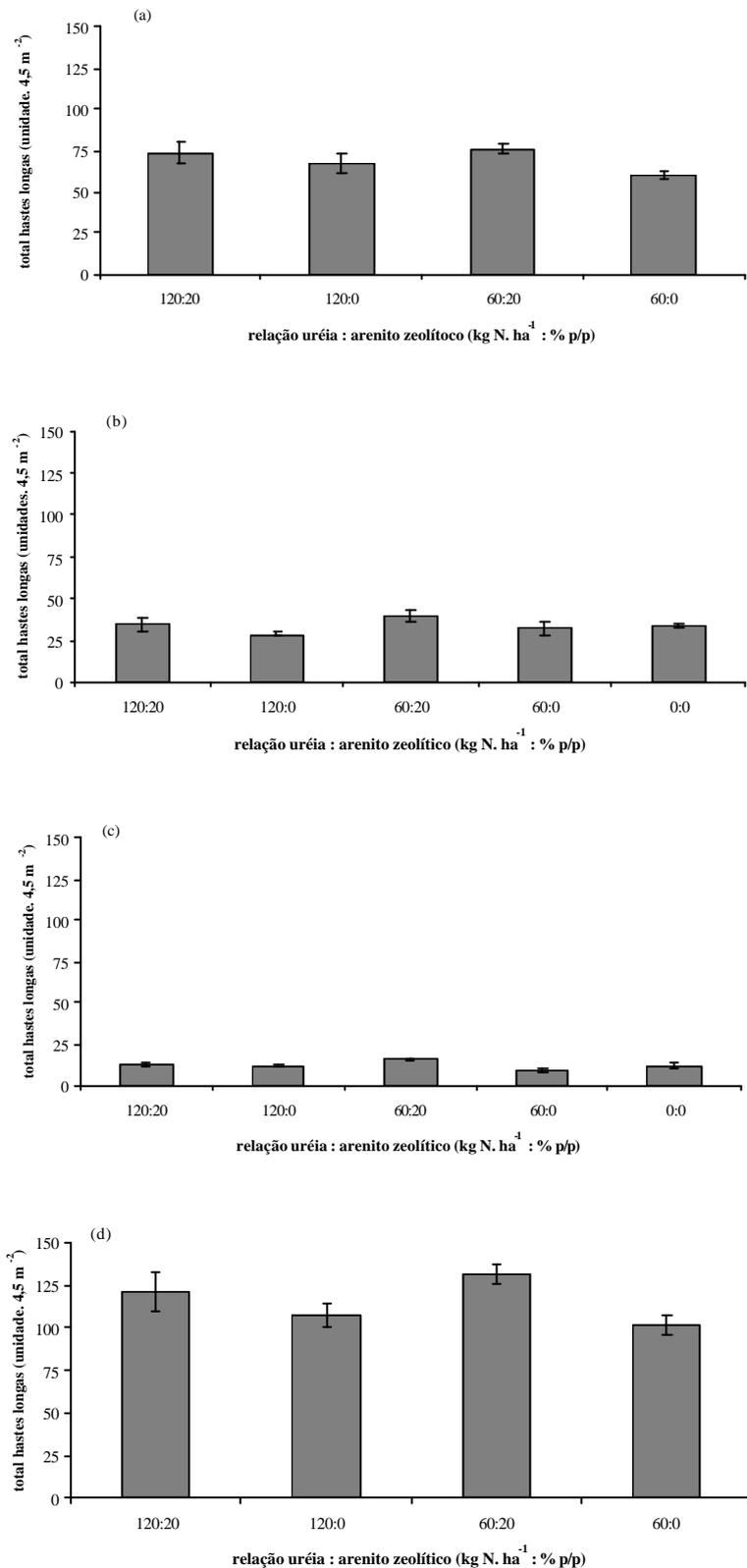


Figura 16. Produção de hastes longas pela roseira (*Rosa* spp.) cultivada em Argissolo Amarelo, sob aplicação de doses de nitrogênio (60 e 120 kg N ha⁻¹) na forma de uréia adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), nas adubações de cobertura: C1 - setembro/2006 (a), C3 - abril/2007 (b), C4 - junho/2007 (c) e C1+C3+C4 (d).

O efeito de UAZ sobre a produção de HL em C4 torna a ausência e efeito do fertilizante sobre HC em C4 (Figura 14c) desejável ao produtor, uma vez que o efeito do UAZ proporcionou maior número de hastes qualitativamente superiores (HL), sem elevar a produção das hastes qualitativamente indesejáveis ao produtor (HC). Percebe-se que o efeito do UAZ resultou em aumento qualitativo sobre a produção de hastes em C4. Avaliando o efeito do recobrimento da uréia com 15% de zeolita (clinoptilolita e mordenita) sobre a variável qualitativa peso de frutos na cultura do tomate, verificou-se que, para as produções de três anos agrícolas consecutivos, houve um aumento médio de 16% no peso dos frutos, quando comparada à produção média pela aplicação de uréia isolada (Louis, 2002). Os resultados de ambos os estudos demonstram aumento qualitativo nos produtos agrícolas (rosas e tomate) pelo efeito do “fertilizante zeolítico” (UAZ).

Dentro das doses de UR, a adição do AZ somente resulta em efeito significativo ($P < 0,05$) quando aplicada U60AZ (Figura 16c), sendo produzidas 15,7 e 8,7 HL, respectivamente para U60AZ e U60. Esses valores representam aumento de 80% nas HL produzidas em C4. Em relação à testemunha, a qual produziu 12 HL, a aplicação de U60AZ também foi significativamente superior ($P < 0,05$).

A adubação C4 foi, entre as três adubações realizadas, a praticada em melhor sincronia com as características fisiológicas da cultura da roseira, uma vez que foi realizada antes da emissão das brotações florais, tendo proporcionado melhores condições para que o N aplicado influenciasse as emissões de brotos florais e, posteriormente o crescimento das hastes. Neste caso, a primeira colheita ocorreu 32 DAA e as mesmas prosseguiram por 45 dias. Acredita-se que a influência do N durante todo o ciclo reprodutivo da cultura tenha resultado no efeito do UAZ observado sobre HL e na ausência de efeito sobre HC e HM (Figuras 14c e 15c).

O total de HL produzidas em C1+C3+C4 apresenta efeito significativo ($P < 0,05$) do AZ, independente das doses de N aplicadas. A produção média alcançada pelas aplicações de ambas as doses de UAZ e UR, foram 126,15 e 104,3 HL, respectivamente. Esses valores representam aumento de aproximadamente 21% na soma da produção de HL em C1, C3 e C4, podendo ser explicado pelo efeito significativo do UAZ, independente das doses aplicadas, sobre HL em C4 (Figura 16c) e também pela tendência ao efeito em C1 (Figura 16a).

Dentro das doses de UR, somente U60AZ apresentou efeito significativo ($P < 0,05$) sobre a produção total de HL em C1+C3+C4, sendo produzidas 131,3 e 101,3 hastes, o que representa aumento de aproximadamente 30% em relação à produção obtida por U60 (Figura 16d).

A produção de hastes totais (HT) foi elevada de forma significativa ($P < 0,01$) pela aplicação de UAZ em todas as adubações de cobertura (C1, C3 e C4) e na soma das mesmas (C1+C3+C4), independente das doses de N aplicadas.

A aplicação de ambas as doses de UAZ proporcionaram, respectivamente em C1, C3, C4 e C1+C3+C4, produções médias 20%, 30%, 28% e 23 % superiores as produções médias obtidas com as doses de UR (Figuras 17a, 17b, 17c e 17d).

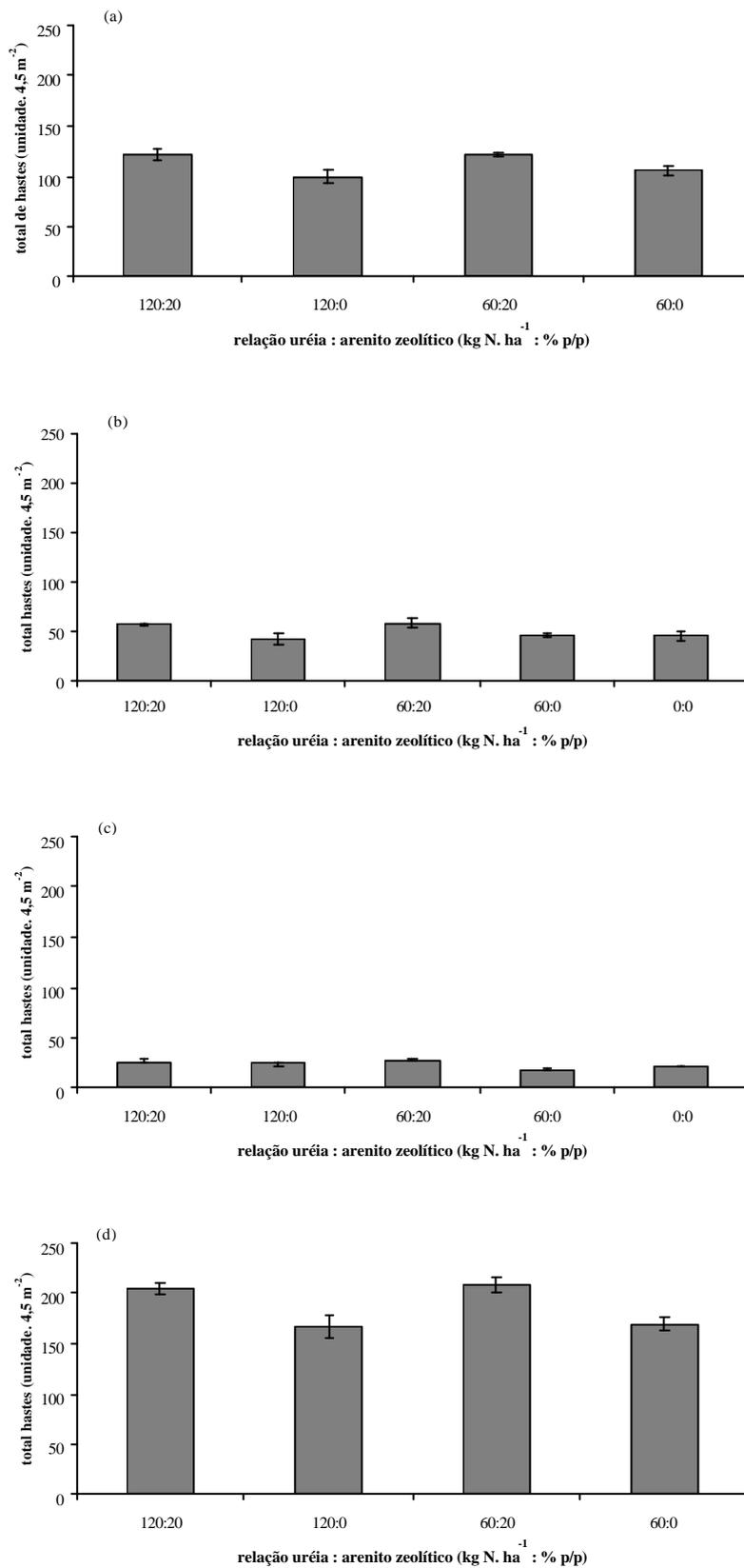


Figura 17. Produção total de hastes pela roseira (*Rosa* spp.) cultivada em Argissolo Amarelo, sob aplicação de doses de nitrogênio (60 e 120 kg N ha⁻¹) na forma de uréia adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), nas adubações de cobertura: C1 - setembro/2006 (a), C3 - abril/2007 (b), C4 - junho/2007 (c) e C1+C3+C4 (d).

Percebe-se que as significativas diferenças nas produções de HT após as adubações de cobertura C1, C3 e C4 e na soma das mesmas (Figuras 17a, 17b, 17c e 17d) foram influenciadas positivamente pelas produções de HM e HL (Figuras 15 e 16). Nas quatro ocasiões acima (Figuras 17a, 17b, 17c e 17d), duas sofreram influência exclusivamente de HL, uma de HM e HL e uma somente de HM. Tal resultado é excelente do ponto de vista econômico ao produtor, uma vez que a haste que alcança maiores preços no mercado consumidor (HL) foi a que maior influência exerceu sobre a produção de HT, e ainda, as hastes que possuem baixos preços de mercado (HC) não influenciaram a produção de HT. As HM ocupam posição intermediária nos preços alcançados no mercado consumidor e proporcionaram influência também intermediária sobre a produção de HT. Portanto, conclui-se que as diferenças significativas nas produções de HT resultaram das maiores produções de hastes qualitativamente satisfatórias ao produtor (HL e HM), especialmente das hastes que alcançam melhor preço de mercado e retorno econômico ao produtor (HL). Considerando-se que a produção das hastes indesejáveis ao produtor (HC) pouco foi influenciada pelo UAZ (efeito significativo somente em C3), constata-se que o efeito do “fertilizante zeolítico” sobre a produtividade da cultura da roseira ocorreu quantitativamente, através do aumento na produção de HT, como também qualitativamente, através das maiores produções de HM e HL.

Avaliando o efeito do recobrimento da uréia com 15% de zeolita (clinoptilolita e mordenita) sobre o número de frutos e produtividade do tomate em Cuba, verificou-se que, para as produções de três anos agrícolas consecutivos, houve um aumento médio de 25 e 36%, respectivamente, quando comparadas às médias obtidas pela aplicação de uréia isolada (Louis, 2002). Os resultados quantitativos de peso e produtividade do tomate obtidos em Cuba e total de hastes produzidas no presente trabalho demonstram que a aplicação de “fertilizantes zeolíticos” eleva a produtividade das culturas agrícolas.

Considerando-se a produção em 1 ha de cultura da roseira, o efeito do “fertilizante zeolítico” proporcionaria, neste caso, aumento de 7,2 mil dz ha⁻¹, ou seja, produção 19% superior a obtida com a aplicação da uréia comercial isoladamente. Se considerarmos que o presente estudo avaliou as colheitas por período de 187 dias (soma dos intervalos entre os dias de adubação e o fim das colheitas em C1, C3 e C4) e que as mesmas normalmente ocorrem durante período de aproximadamente 300 dias (agosto a maio), hipoteticamente ocorreria uma produção excedente de aproximadamente 11,5 mil dz ha⁻¹ em função do efeito do “fertilizante zeolítico”. Esses valores poderiam ser expressivamente ainda mais elevados (talvez o dobro) se considerarmos que o período de maiores safras na cultura da roseira compreende os meses de agosto a março (oito meses) e as menores safras ocorrem entre abril e maio (dois meses), e as colheitas do presente estudo foram realizadas durante somente três meses (setembro, outubro e novembro) entre os mais produtivos e por todo o período (68 dias) de menores produções, inclusive durante o mês de junho. Tais resultados demonstram o potencial de uso dos “fertilizantes zeolíticos” nas adubações de cobertura para obtenção de maiores produtividades agrícolas e rentabilidade econômica aos produtores.

A produção de massa seca total (MST) foi influenciada positivamente pelo “fertilizante zeolítico” (UAZ) em C1, C3 e C1+C3+C4 (P<0,05) e em C4 (P<0,01), independente das doses de N aplicadas (Figuras 18a, 18b, 18d e 18c).

As produções médias de MST, quando aplicadas U120AZ e U60AZ, foram de 1.275,3; 433,6; 255 e 1.964 g em C1, C3, C4 e C1+C3+C4, respectivamente (Figuras 18a, 18b, 18d e 18c). Comparadas às produções médias obtidas por U120 e U60 (1.065; 345,3; 180,7 e 1.591 g), verifica-se que o efeito do UAZ proporcionou aumento de aproximadamente 20%, 26%, 41% e 23% nas produções de MST, respectivamente em C1, C3, C4 e C1+C3+C4. Em C3 e C4, os aumentos de MST em relação às produções das testemunhas foram de 15% e 24%, respectivamente (P<0,05).

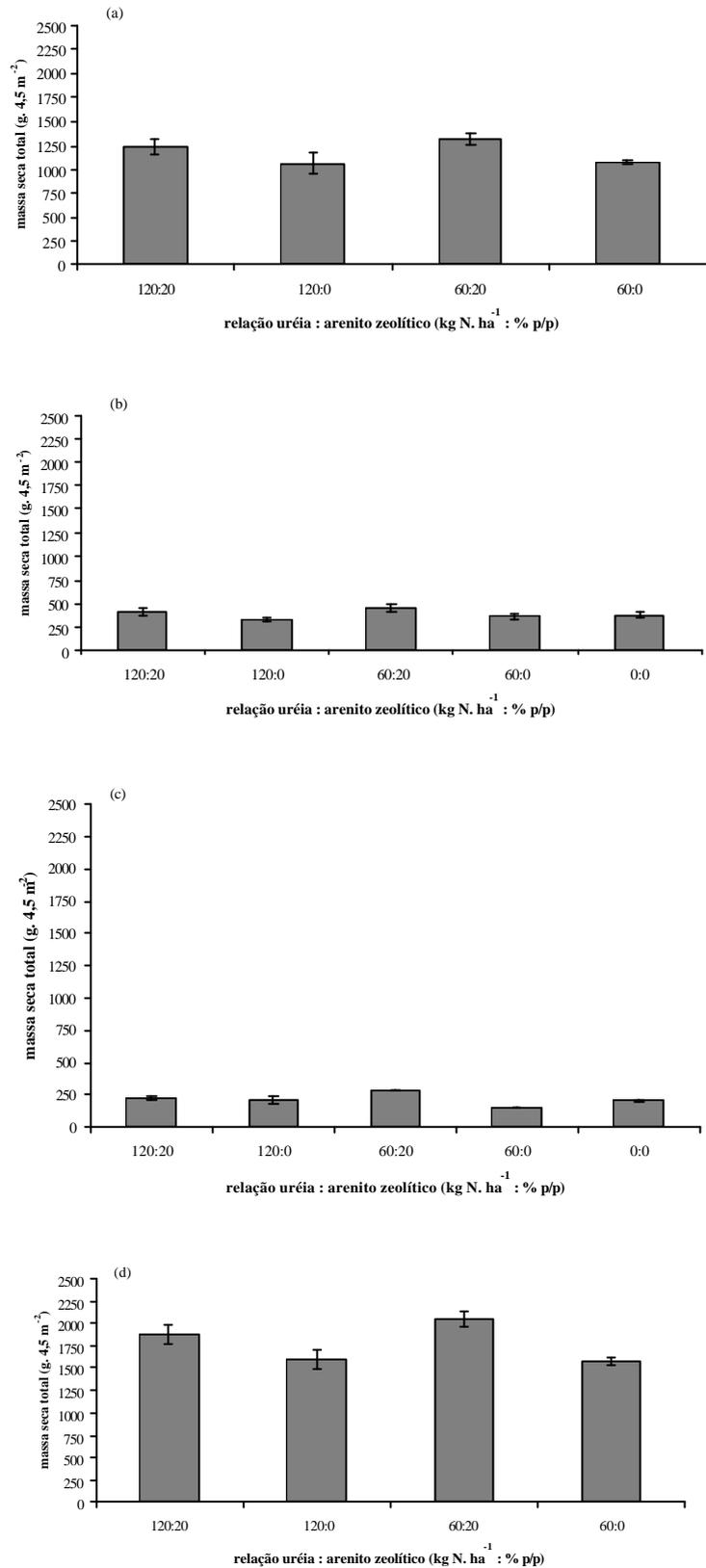


Figura 18. Produção massa seca total pelas hastes da roseira (*Rosa* spp.) cultivada em Argissolo Amarelo, sob aplicação de doses de nitrogênio (60 e 120 kg N ha⁻¹) na forma de uréia adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), nas adubações de cobertura: C1 - setembro/2006 (a), C3 - abril/2007 (b), C4 - junho/2007 (c) e C1+C3+C4 (d).

A produção de tomate obtida em Cuba com aplicação de uréia recoberta com 15% de zeolita (clinoptilolita e mordenita) proporcionou aumento de 36% na produção de MST quando compara à produção obtida com uréia comercial (Louis, 2002). Os resultados obtidos mostram que os “fertilizantes zeolíticos” aumentam a produção de MST pelas culturas agrícolas.

Em C3, a correlação entre MST e HT foi significativa ($P < 0,01$; $r = 0,91$), evidenciando que a produção de MST foi influenciada pelo efeito do UAZ sobre HT (Figura 17b), a qual se correlaciona positivamente ($P < 0,05$; $r = 0,75$) com HL. As correlações entre MST e HL foram positivas ($P < 0,01$; $r = 0,95$ / $P < 0,05$; $r = 0,78$), respectivamente em C3 e C4. Como as correlações entre MST / HC e MST / HM não foram significativas ($P > 0,05$) em C3 e C4, percebe-se que os efeitos do UAZ sobre as maiores produções de MST resultaram dos efeitos do UAZ observados sobre HL (Figuras 16b e 16c), demonstrando que, quanto maior a produção de MST, maior a quantidade de HL colhida pelo produtor. Tal constatação evidencia que a quantidade e a qualidade das hastes produzidas são elevadas pelo efeito do “fertilizante zeolítico” aplicado em cobertura.

A correlação entre MST e PNV em C3, quando aplicada U120AZ, é negativa e significativa ($P < 0,05$; $r = -0,73$). Tal correlação também ocorreu em C4 ($P < 0,05$; $r = -0,86$), porém independente da dose de N aplicada. Essas correlações mostram que ao reduzir as PNV, o UAZ proporcionou maior produção quantitativa em C3 e C4, uma vez que a maior produção de MST resulta em maior número de hastes comerciais produzidas.

Avaliando o efeito do AZ dentro das doses de N aplicadas, verifica-se efeito significativo ($P < 0,05$) da aplicação de U60AZ sobre MST em C4 e C1+C3+C4. Em C4 a aplicação de U60AZ proporcionou produção de 282,9 g MST $4,5 \text{ m}^{-2}$. Comparada às produções de MST por U60 (148,1 g MST $4,5 \text{ m}^{-2}$) e pela testemunha (205,1 g MST $4,5 \text{ m}^{-2}$), verifica-se aumentos de 91% e 38%, respectivamente. O efeito de U60AZ sobre HL e HT em C4 (figuras 16c e 17c) proporcionou tal aumento na produção de MST por U60AZ, havendo uma correlação significativa entre MST e HL/ MST e HT ($P < 0,01$; $r = 0,97$ e $0,96$), respectivamente. A aplicação de U60AZ resultou em maior produção de MST, sendo essa relacionada à maior produtividade quantitativa (HT) e qualitativa (HL).

Na soma das produções de MST em C1+C3+C4, a aplicação de U60AZ e U60 resultaram em produções de 2.051,3 e 1.581,6 g MST $4,5 \text{ m}^{-2}$, respectivamente, sendo o efeito do UAZ responsável por aumento de 30% na produção de MST. Esse aumento é explicado pelo efeito do UAZ sobre o aumento de HT em C1+C3+C4 (Figura 17d).

O efeito da UR não foi significativo ($P > 0,05$) para nenhuma das adubações de cobertura, sendo reflexo das respectivas ausências de efeito da mesma observada em HT.

A extração total de nitrogênio pelas hastes comerciais colhidas (EXTNH) foi influenciada positivamente pelo UAZ em C1, C3 ($P < 0,05$), C4 e C1+C3+C4 ($P < 0,01$), independente da dose de N aplicada.

Quando aplicadas U120AZ e U60AZ, as EXTNH médias foram de 32,2; 9,0; 6,8 e 48 g N $4,5 \text{ m}^{-2}$, respectivamente para C1, C3, C4 e C1+C3+C4. Quando comparadas às respectivas EXTNH médias após aplicação de U120 e U60 (26,7; 7,0; 4,8 e 38,5 g N $4,5 \text{ m}^{-2}$), observa-se efeito do UAZ proporcionando aumentos de aproximadamente 21%, 29%, 42% e 25% nas respectivas EXTNH. Em C3 e C4, as EXTNH foram significativamente elevadas em relação às testemunhas em média 17% e 26% (Figuras 19a, 19b, 19c e 19d).

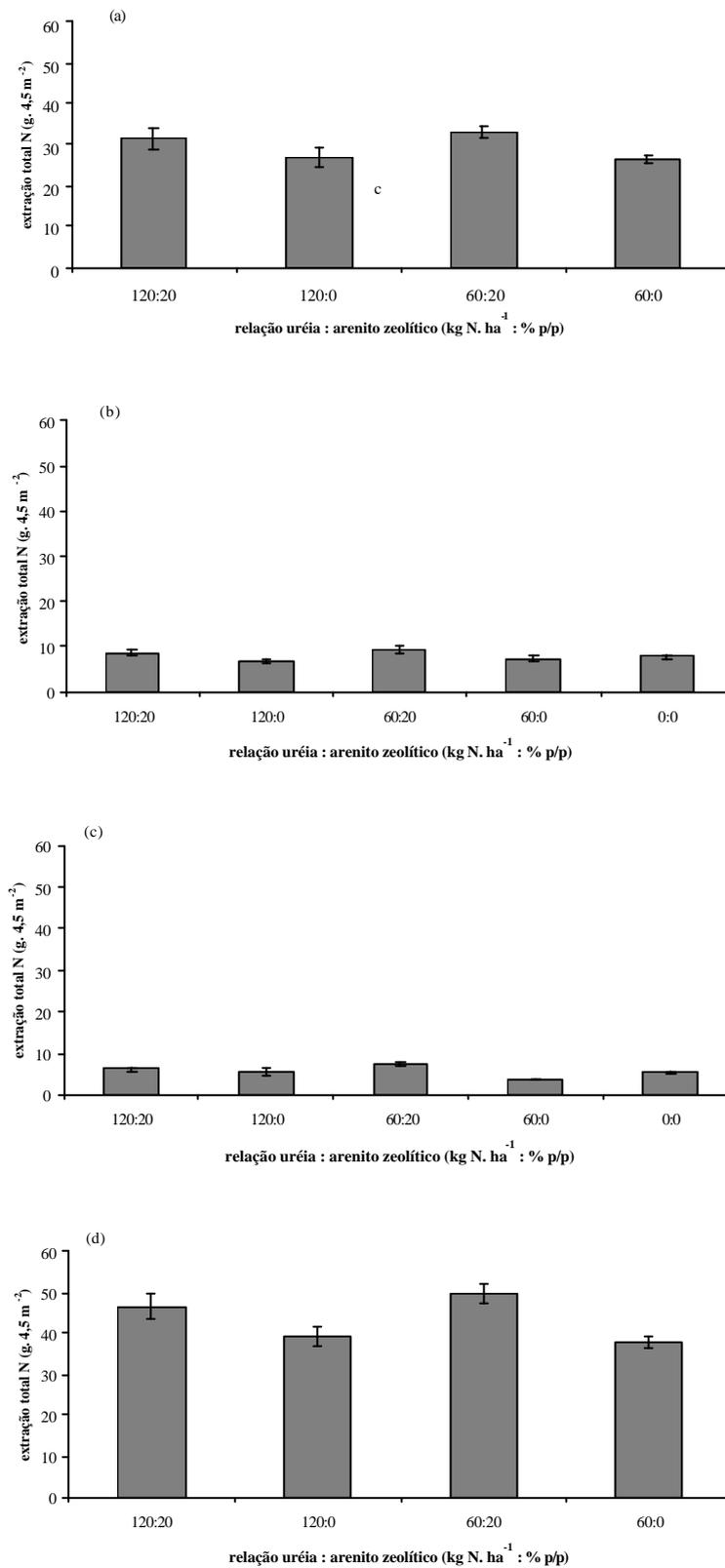


Figura 19. Extração total de nitrogênio pelas hastes da roseira (*Rosa* spp.) cultivada em Argissolo Amarelo, sob aplicação de doses de nitrogênio (60 e 120 kg N ha⁻¹) na forma de uréia adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), nas adubações de cobertura: C1 - setembro/2006 (a), C3 - abril/2007 (b), C4 - junho/2007 (c) e C1+C3+C4 (d).

O aumento de EXTNH em função do UAZ, independente das doses aplicadas, observados em C1, C3, C4 e C1+C3+C4 (21%, 29%, 42% e 25%), explica-se pelo efeito do “fertilizante zeolítico” (UAZ) sobre o aumento da produção de MST, independente das doses aplicadas (20%, 26%, 41% e 23%). Em C3 e C4, as correlações ($r = 0,95$ e $0,95$) entre EXTNH e MST foram significativas ($P < 0,01$) e, em C1 e C1+C3+C4, houve efeito do UAZ sobre MST (Figuras 18a e 18d). Observadas a similaridade entre os acréscimos percentuais ocorridos em C1, C3, C4 e C1+C3+C4 sobre MST (20%, 26%, 41% e 23%) e EXTNH (21%, 29%, 42% e 25%), independente das doses aplicadas, e que não houve efeito ($P > 0,05$) dos tratamentos sobre o teor de nitrogênio nas hastes (TNH), os quais foram 28,0; 20,3; 24,7 e 24,3 g kg^{-1} para UZN e 27,4; 19,8; 24,4 e 23,9 g kg^{-1} para UR, respectivamente em C1, C3, C4 e C1+C3+C4, verifica-se que a maior EXTNH ocorrida em função do efeito do UAZ deve-se a um aumento na produtividade total da cultura (MST), evidenciando que o efeito do UAZ não resultou em consumo de luxo pelas plantas sobre o N disponível no sistema.

Quando aplicada U60AZ, as EXTNH foram de 7,4 e 49,6 $\text{g N } 4,5 \text{ m}^{-2}$, respectivamente em C4 e C1+C3+C4. Quando comparadas às respectivas EXTNH pela aplicação de U60 (3,9 e 37,8 $\text{g N } 4,5 \text{ m}^{-2}$), verifica-se aumento de 90% e 31% na EXTNH. Em C4, o aumento em relação à testemunha foi de 37% ($P < 0,05$). Tais efeitos de U60AZ sobre EXTNH são resultantes dos efeitos de U60AZ sobre a produção de MST em C4 (Figura 18c), onde a correlação foi significativa ($P < 0,01$; $r = 0,99$) e em C1+C3+C4 (Figura 18d).

Assim como ocorrido na EXTNH, independente das doses aplicadas, os aumentos percentuais na EXTNH (90% e 31%) e MST (91% e 30%) decorrentes da aplicação de U60AZ são bastante semelhantes. Considerando-se a significância ($P < 0,01$; $r = 0,99$) da correlação entre EXTNH e MST em C4, e ainda, que as aplicações de U60AZ em C4 e C1+C3+C4 não resultaram em efeito significativo ($P > 0,05$) sobre o TNH, os quais foram 24,3 e 24,1 g kg^{-1} para UZ60 e 24,2 e 23,9 g kg^{-1} para U60, respectivamente em C4 e C1+C3+C4, pode-se dizer que os efeitos de U60AZ sobre EXTNH, observados em C4 e C1+C3+C4, são resultantes do maior aproveitamento agrônômico do N-uréia fornecido pelas adubações, sem que houvesse consumo de luxo pela cultura sobre o nitrogênio disponível no solo. Tal constatação permite afirmar que a aplicação do “fertilizante zeolítico” em cobertura proporciona maior eficiência no aproveitamento do N-uréia pelas plantas da roseira.

A maior EXTNH resultante do efeito do UAZ em C1 (Figura 19a) evidencia que houve maior eficiência no aproveitamento do N-uréia disponível quando a UR foi recoberta por AZ. No entanto, a ausência de resultados relacionados às PNV impossibilita afirmar que o efeito do UAZ sobre EXTNH fora influenciado por uma redução nas PNV. O mesmo pode-se dizer sobre os resultados significativos obtidos para EXTNH em C1+C3+C4, uma vez que englobam resultados de produtividade resultantes de três adubações de cobertura (C1, C3 e C4) e somente duas delas foram avaliadas quanto as PNV (C3 e C4). Ainda assim, infere-se que as EXTNH significativamente superiores em C1 e C1+C3+C4 ocorreram devido ao efeito do UAZ sobre a redução nas PNV, aumentando a disponibilidade de N no solo e consequentemente, a eficiência no aproveitamento do nutriente pela cultura da roseira (*Rosa* spp.).

Correlacionando a EXTNH (Figura 19b) e a PNV (Figura 13b) em C3, observa-se ausência de significância ($P > 0,05$). No entanto, nota-se que o efeito significativo ($P < 0,05$) do UAZ sobre a EXTNH, independente da dose aplicada, também ocorreu significativamente ($P < 0,01$) para UAZ sobre PNV em C3.

As aplicações de U120AZ e U60AZ apresentaram efeito significativo ($P < 0,01$) sobre as PNV e ausência de efeito sobre EXTNH em C3, mas, quando correlacionadas EXTNH e PNV para U120AZ, houve significância ($P < 0,05$; $r = - 0,74$), demonstrando que quanto menor a PNV, maior foi a EXTNH. Considerando a elevada dose de N-uréia fornecida pela adubação, conclui-se que o efeito do UAZ sobre a redução nas PNV possibilitou que a cultura

alcançasse maior eficiência no aproveitamento do N-uréia aplicado. A correlação entre EXTNH e PNV não foi significativa ($P > 0,05$) para a aplicação de U60AZ. Apesar do efeito do U60AZ sobre as PNV e a conseqüente manutenção de maior quantidade de N no sistema, o tempo reduzido (23 dias) entre a adubação e o fim das colheitas não teria permitido que o efeito do UAZ sobre as PNV refletisse na EXTNH. A ocorrência de efeito significativo ($P < 0,05$) somente para HC (demandam menos tempo e N para sua formação) em C3 sustenta essa hipótese da interferência do período reduzido de colheita sobre o efeito de UAZ sobre EXTNH, principalmente pelo efeito significativo ($P < 0,01$) de U60AZ sobre PNV.

Em C4, o efeito significativo ($P < 0,01$) do UAZ sobre EXTNH (Figura 19c), independente da dose aplicada, foi influenciado pela redução nas PNV (Figura 13c) em função do efeito do UAZ ($P < 0,01$), também independente da dose aplicada. A correlação entre ambas variáveis foi significativa ($P = 0,05$; $r = - 0,699$). Observa-se que houve efeito da interação UR x AZ ($P < 0,01$) sobre a EXTNH em C4. Esse efeito ocorreu para a aplicação de U60AZ.

Os efeitos significativos, independente da dose aplicada (médias das doses de UAZ x médias das doses de UR), que o UAZ exerceu sobre PNV em C2, C3 e C4, e sobre EXTNH em C1, C3, C4 e na soma das mesmas (C1+C3+C4), e ainda, as correlações positivas e significativas em C3 (U120AZ) e C4 ($P = 0,06$; independente da dose aplicada), permitem afirmar que, ao proporcionar redução nas PNV, a aplicação do “fertilizante zeolítico” em cobertura possibilitou maior eficiência da cultura no aproveitamento do N-uréia fornecido.

Louis, (2002) encontrou que a extração total de N pelos frutos de tomate produzidos a partir de fertilização com uréia recoberta com 15% de zeolita (clinoptilolita e mordenita) foi em média, ao longo de três safras consecutivas, 98% superior à extração obtida pela aplicação de uréia comercial isolada. A média de aumento das EXTNH observadas nas três adubações e na soma das mesmas foi de 30%. Ambos os resultados demonstram que a adição de zeolita à uréia proporciona aumento na extração de N pelas culturas agrícolas, caracterizando maior eficiência no aproveitamento do N-uréia pelas culturas agrícolas. A disparidade entre os dois resultados provavelmente deve-se, além das diferentes condições edafo-climáticas, à outros dois fatores. O arenito zeolítico utilizado no presente estudo possui entre 20 e 40% de zeolita (estilbita e laumontita) em sua composição e a zeolita utilizada na fertilização do tomate em Cuba, apresenta 50% de clinoptilolita e 20% de mordenita. Além da disparidade entre os teores de zeolita nos dois materiais, deve-se considerar também as formas como a uréia comercial e as zeolitas foram misturadas no preparo dos “fertilizantes zeolíticos” avaliados. No presente estudo, o arenito zeolítico foi misturado à uréia comercial sem utilização de nenhum agente aderente, e, nos trabalhos realizados em Cuba, utilizou-se calda de melação para melhor aderência da zeolita na superfície dos grânulos de uréia, fazendo com que provavelmente a interação uréia comercial x zeolita tenha ocorrido por período mais duradouro após aplicação do fertilizante ao solo.

Avaliando as curvas de extração de N ocorridas em C1, C3 e C4 (Figuras 20a, 20b e 20c), torna-se claro o entendimento das influências proporcionadas pelos diferentes intervalos de tempo entre os dias das adubações (C1, C3 e C4) e o início das respectivas colheitas.

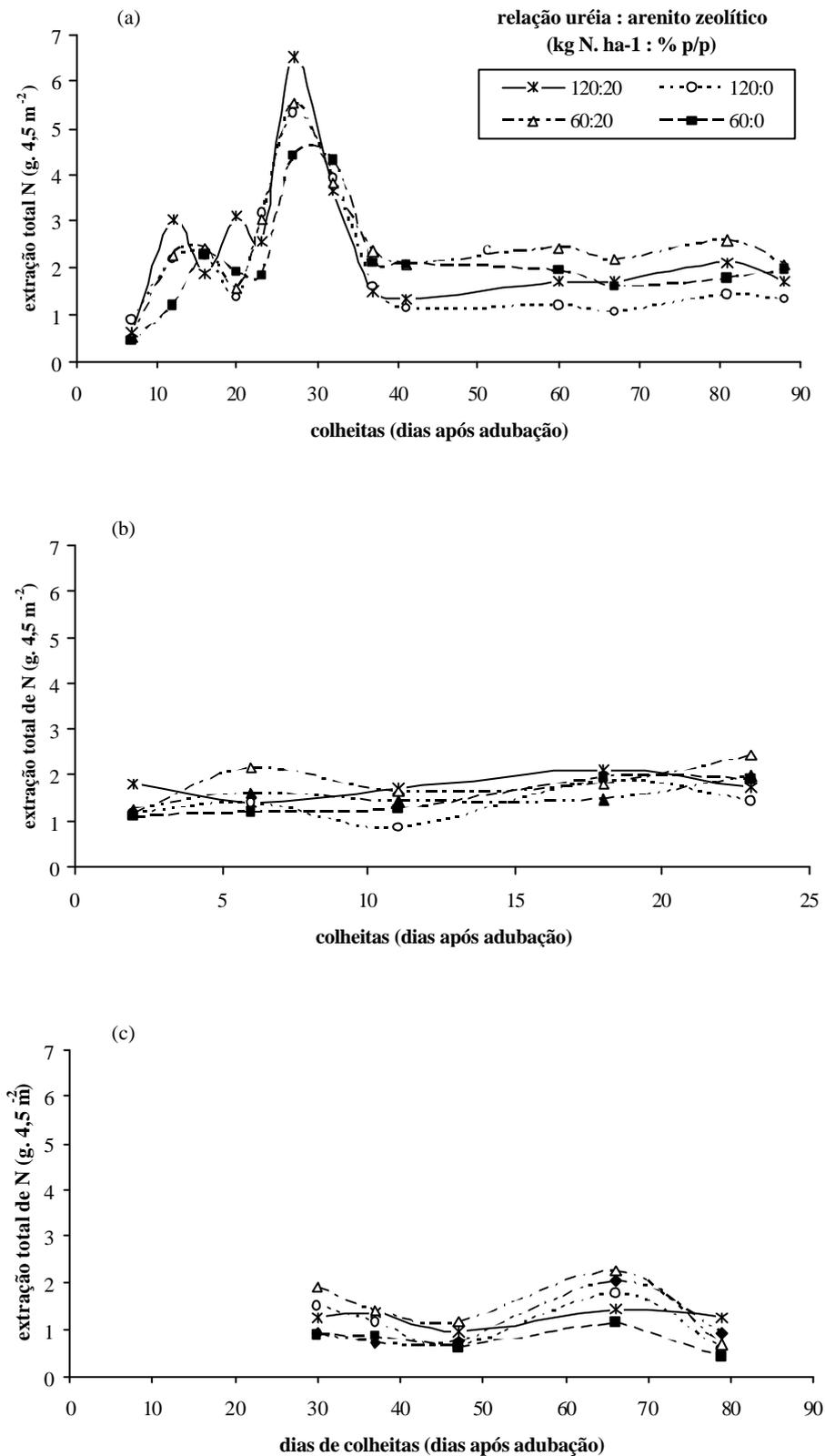


Figura 20. Extração de nitrogênio pelas hastes da roseira (*Rosa* spp.) cultivada em Argissolo Amarelo, sob aplicação de doses de nitrogênio (60 e 120 kg N. ha⁻¹) na forma de uréia adicionada ou não de arenito zeolítico (20% p/p), após as adubações de cobertura: C1 - setembro/2006 (a), C3 - abril/2007 (b) e C4 - junho/2007 (c).

Em C1, as colheitas iniciaram-se sete DAA e prosseguiram por 80 dias (Figura 20a). Percebe-se que até o quinto dia de colheita as EXTNH foram pouco influenciadas pelo N fornecido na adubação, sendo o N disponível no solo a forma predominantemente extraída. Após a quinta colheita observa-se ascensão nos valores de EXTNH, com os maiores valores na sexta colheita e posterior decréscimo até a oitava colheita, quando as EXTNH se estabilizam até o fim das colheitas (Figura 20a). A C1 foi realizada quando existiam hastes florais já formadas, tendo também estimulado a emissão de novos brotos. O extenso período de colheita e a elevada fertilidade do solo permitiram que as hastes já emitidas no momento da adubação e também os primeiros brotos florais emitidos após a adubação alcançassem comprimento de HL, não sendo possível o efeito do UAZ. O efeito do UAZ teria sido efetivo sobre o alongamento das HC resultantes dos últimos brotos emitidos após adubação, as quais alcançaram comprimento de HM.

O comportamento das EXTNH em C3 (Figura 20b) reflete o tempo reduzido entre a adubação e o início das colheitas (2 dias), assim como o curto período das mesmas (21 dias). Percebe-se que o reduzido efeito do N aplicado ocorre somente após o terceiro dia de colheita e prossegue por poucos dias. Esse quadro evidencia que o N aplicado ao solo pouco refletiu na EXTNH, embasando o entendimento dos efeitos indesejáveis do UAZ sobre o aumento da produção de HC ocorrido exclusivamente em C3 (Figura 14c).

Em C4, observa-se uma EXTNH significativa na primeira colheita com declínio até a terceira colheita (Figura 20c). Como as colheitas foram iniciadas 32 DAA, acredita-se que o efeito do N tenha ocorrido sobre os brotos florais emitidos anteriormente à C4, os quais correspondem à alta EXTNH na primeira colheita. Além das brotações já existentes no dia da adubação, o N aplicado também estimulou a emissão de novos brotos florais. A demanda de N pelos brotos emitidos pós-adubação (drenos) e a colheita da maioria das hastes antigas no primeiro dia de colheita, fizeram com que as EXTNH nas duas próximas colheitas fossem reduzidas. A partir da terceira colheita ocorre uma elevação na EXTNH até a quarta colheita, com decréscimo até a quinta colheita. Essa curva de EXTNH entre o terceiro e quinto dia de colheita relaciona-se à extração pelas hastes florais geradas a partir dos brotos emitidos por estímulo da C4. Nessa situação, o efeito do UAZ somente sobre HL (Figura 16c) pôde ser manifestado, uma vez que as hastes já emitidas no momento da adubação tiveram tempo suficiente (32 dias) para alcançar comprimento de HL. Ainda, as hastes emitidas por estímulo do N aplicado em C4 também utilizaram o longo período (45 dias) para alcançar comprimento de HL. Essa hipótese é sustentada pela ausência de efeito da UR e do UAZ sobre HC e HM (Figuras 14c e 15c).

As curvas de EXTNH em C1, C3 e C4 demonstram que o efeito do UAZ manifesta-se ao longo de todo o período de colheitas. Os efeitos significativos do UAZ sobre EXTNH e MST ocorrido nas três adubações permitem concluir que a maior EXTNH resulta de maior produtividade (MST) ao longo das colheitas. O efeito do UAZ ocorreu por uma maior disponibilidade de N no solo durante todo o período da colheita, quando comparada com a disponibilidade de N em função da aplicação da uréia comercial. O UAZ não proporcionou que as colheitas fossem antecipadas e/ou se estendessem por maiores períodos de tempo. Essas características foram observadas nas três colheitas avaliadas, ocorrendo independentemente dos intervalos de tempo entre adubação, início e fim das colheitas. Percebe-se também que a velocidade de liberação do NH_4^+ , retido na estrutura do arenito zeolítico, para a solução do solo é satisfatória ao atendimento das demandas nutricionais das plantas de roseira (*Rosa* spp.). A interação do arenito zeolítico com o NH_4^+ e sua capacidade de armazenar e liberar lentamente o nutriente para a solução do solo (Resende e Monte, 2005), em sincronia com as demandas nutricionais das plantas, o habilita para uso em desenvolvimento tecnológico de fertilizantes zeolíticos de liberação lenta (“Slow release fertilizer”).

Observa-se que para as variáveis HL, HT, MFT, MST e EXTNH, as eficiências agrônômicas dos fertilizantes (EAF) foram significativamente superiores ($P < 0,05$) para as aplicações de U60AZ e U120AZ em C3 (tabela 4), e U60AZ em C4 (tabela 5), quando comparadas as EAF alcançadas por U60 e U120 em C3 e U60 em C4, respectivamente.

Tabela 4. Eficiência agrônômica dos fertilizantes (EAF) uréia e uréia adicionada de arenito zeolítico (20% p/p), aplicados nas doses de 60 e 120 kg N ha⁻¹, na cultura da roseira (*Rosa* spp.), em adubação de cobertura realizada em abril/2007 (C3).

TRATAMENTO	HC	HM	HL	HT	MFT	MST	EXTNH
	unidades kg ⁻¹				kg kg ⁻¹		g kg ⁻¹
U120AZ	86,4 *	111,1	12,3 *	209,9 *	4,3 *	0,6 *	19,3 *
U120	-6,2	43,2	-92,6	-55,6	-0,1	-0,9	-18,6
U60AZ	61,7	197,5	222,2 *	481,5 *	12,8 *	2,9 *	56,0 *
U60	0,0	61,7	-49,4	12,3	0,6	-0,5	-11,9

* Significativo a 0,05; teste t-student

Tabela 5. Eficiência agrônômica dos fertilizantes (EAF) uréia e uréia adicionada de arenito zeolítico (20% p/p), aplicados nas doses de 60 e 120 kg N ha⁻¹, na cultura da roseira (*Rosa* spp.), em adubação de cobertura realizada em junho/2007 (C4).

TRATAMENTO	HC	HM	HL	HT	MFT	MST	EXTNH
	unidades kg ⁻¹				kg kg ⁻¹		g kg ⁻¹
U120AZ	55,6	12,3	18,5	86,4	1,9	0,4	16,4
U120	43,2	6,2	0,0	49,4	1,0	0,15	6,2
U60AZ	37,0	49,4	135,8 *	222,2 *	6,3 *	2,9 *	76,2 *
U60	0,0	-12,3	-123,5	-135,8	-6,0	-2,1	-53,9

* Significativo a 0,05; teste t-student

A eficiência agrônômica do fertilizante (EAF) relaciona as produções agrícolas obtidas com e sem prática de fertilização, e expressa o incremento na produção econômica proporcionado por unidade de N-fertilizante aplicado ao solo (Dobermann, 2007).

Na adubação de cobertura 3 (C3), as EAF alcançadas sobre as produções de HT por ambas as doses do “fertilizante zeolítico” (U60AZ e U120AZ) diferiram significativamente da testemunha ($P < 0,05$). As EAF de 209,9 e 481,6 unidades HT kg N aplicado⁻¹, respectivamente por U120AZ e U60AZ (Tabela 4), representam incrementos de 17,5 e 40 dúzias HT kg de N aplicado⁻¹ sobre a produção de HT obtida sem fertilização nitrogenada (testemunha).

As EAF alcançadas por U120AZ e U60AZ foram significativamente superiores ($P < 0,05$) às EAF obtidas por U120 e U60, as quais foram, respectivamente, -55,6 HT e 12,3 HT kg N aplicado⁻¹ (Tabela 4). Observa-se que U120AZ e U60AZ incrementaram as produções econômicas obtidas por U120 e U60 em 22 e 39 dúzias HT. kg de N aplicado⁻¹, respectivamente.

Considerando-se que 60 kg N correspondem à dose de 133,33 kg uréia comercial (45% N), e que a proporção de arenito zeolítico (AZ) contida no “fertilizante zeolítico” (UAZ) é 20% (p/p) em relação à uréia (UR), percebe-se que para aplicação de 60 kg N ha⁻¹, na forma de U60AZ, foram utilizados 26,66 kg AZ. Como o incremento de produção alcançado por U60AZ, em relação à produção obtida por U60, foi de 39 dúzias HT kg de N aplicado⁻¹, equivalendo a 2340 HT 60 kg N aplicado⁻¹, conclui-se que,

em C3, cada unidade (kg) de AZ contida no “fertilizante zeolítico” (U60AZ) proporcionou incremento de 87,8 dúzias HT ha⁻¹ na produção econômica de HT.

As EAF alcançadas por U120AZ e U60AZ sobre as variáveis MFT e MST em C3 diferiram significativamente (P<0,05) da testemunha. As produções de MFT e MST foram incrementadas em, respectivamente, 4,3 e 0,6 kg kg N aplicado⁻¹ na forma de U120AZ, e, em 12,8 e 2,9 kg kg N aplicado⁻¹ na forma de U60AZ (Tabela 4). As EAF alcançadas por ambas as doses de UAZ sobre EXTNH também diferiram significativamente da testemunha (P<0,05), sendo incrementadas em 19,3 e 56 g N kg N aplicado⁻¹ na forma de U120AZ e U60AZ, respectivamente (Tabela 4).

Somente a menor dose do UAZ (U60AZ) apresentou EAF significativamente superiores (P<0,05) às EAF obtidas por UR (U60), ocorrendo incrementos nas produções econômicas de HL, HT, MFT, MST e EXTNH em C4 (Tabela 5).

A EAF alcançada por U60AZ sobre HT, a qual foi 222,2 HT kg N aplicado⁻¹ (Tabela 5), diferiu significativamente da testemunha (P<0,05), proporcionando incremento de 18,5 dúzias HT kg N aplicado⁻¹ via UAZ.

A aplicação de U60AZ apresentou EAF significativamente superior (P<0,05) à alcançada por U60 para a variável HT em C4, a qual foi -135,8 HT kg N aplicado⁻¹ (Figura 5). Neste caso, o “fertilizante zeolítico” (UAZ) proporcionou incremento econômico de aproximadamente 30 dúzias HT kg N aplicado⁻¹.

A ausência de diferenças significativas (P>0,05) entre as EAF alcançadas por U120AZ e pela testemunha sobre todas as variáveis em C4 (Tabela 5), e ainda, as EAF do U60AZ significativamente superiores (P<0,05) às EAF do U120AZ em C3 (Tabela 4), devem-se, provavelmente, a elevada fertilidade natural do solo experimental, uma vez que reduzidas respostas às aplicações da maior dose de N (U120 e U120AZ) foram também observadas sobre as produções de outras variáveis agrônomicas da cultura da roseira avaliadas no presente trabalho. Além disso, a fórmula de determinação da EAF (Baligar e Fageria, 1996; Dobermann, 2007) utiliza a dose de N (kg N ha⁻¹) como dividendo, ampliando a diferença entre as EAF obtidas por ambas as doses do “fertilizante zeolítico” (U60AZ e U120AZ).

Observa-se que em C3 e C4 as significativas EAF (P<0,05) alcançadas por U60AZ sobre as produções de HT resultam das significativas EAF (P<0,05) observadas sobre as produções de HL (222,2 e 135,8 unidades kg N aplicado⁻¹), respectivamente em C3 e C4 (Tabelas 4 e 5), demonstrando que o UAZ, além de proporcionar maior produção quantitativa de hastes comerciais, eleva também a qualidade das mesmas.

As maiores produções de HT observadas em C3 e C4, associada ao aumento qualitativo das mesmas, evidenciam o retorno econômico proporcionado pela fertilização nitrogenada com o “fertilizante zeolítico” (UAZ).

Conforme observado em C3 (Tabela 4), as produções de MFT, MST e EXTNH por U60AZ em C4 (Tabela 5) foram significativamente superiores (P<0,05) às EAF obtidas por U60 para as respectivas variáveis.

Os incrementos de MFT, MST e EXTNH resultantes do uso do “fertilizante zeolítico” (UAZ) em C3 e C4 (Tabelas 4 e 5), proporcionam maior desenvolvimento vegetativo das plantas de roseira e maior produção de HT, possibilitando maior rentabilidade econômica ao produtor, quando comparada à rentabilidade obtida com uso de uréia comercial (UR) nas fertilizações nitrogenadas.

A eficiência dos fertilizantes, de forma geral, é governada por fatores edafoclimáticos, práticas agrônomicas adotadas, eficiência da cultura utilizada e características do fertilizante aplicado (Baligar e Fageria, 1996). A eficiência agrônômica do fertilizante (EAF), especificamente, resulta da capacidade da planta (genótipo) em utilizar os nutrientes aplicados e/ou das práticas de manejo adotadas (Dobermann, 2007). No presente trabalho, as plantas de roseira (*Rosa* spp.) em todas as parcelas experimentais apresentam o mesmo genótipo, e os

manejos culturais adotados (irrigação, controle de invasoras, adubação PK + micronutrientes, podas, controle fitossanitário e outros) foram idênticos para toda a área experimental, com exceção para o manejo da adubação nitrogenada, onde diferentes fontes de N foram aplicadas (UR e UAZ). Conclui-se, portanto, que as significativas EAF ($P < 0,05$) obtidas por U120AZ e U60AZ em C3 (Tabela 4), e U60AZ em C4 (Tabela 5), resultam dos efeitos do arenito zeolítico sobre a manutenção e conseqüente maior disponibilidade de N-uréia no solo, possibilitando que o nutriente seja liberado lentamente e em sincronia com as demandas nutricionais da cultura (*Rosa* spp.). A ausência de significância ($P > 0,05$) e os valores negativos das EAF alcançadas por U120 e U60, em C3 e C4 (Tabelas 4 e 5), corroboram os efeitos do arenito zeolítico sobre as significativas EAF obtidas por U120AZ e U60AZ em C3 e U60AZ em C4.

4.4 Conclusões

Diante dos resultados apresentados é possível concluir que, nas condições experimentais:

a) O “fertilizante zeolítico” ocasiona, em relação à uréia comercial, redução média de 30% nas perdas de N-NH₃ por volatilização.

b) As produções de hastes comerciais e massa seca pela cultura da roseira são elevadas pelo “fertilizante zeolítico”, e seu efeito se pronuncia principalmente sobre as hastes médias e longas, as quais apresentam maior qualidade e valor comercial.

c) O “fertilizante zeolítico” ocasiona maior extração de N pelas hastes comerciais da roseira e não influencia o teor de N nos tecidos foliares das mesmas, não ocorrendo consumo de luxo pelas plantas de *Rosa* spp. sobre o N disponível, sendo a maior extração de N resultante da maior produtividade total da cultura (MST).

d) O “fertilizante zeolítico” apresenta eficiência agrônômica superior ao fertilizante uréia comercial, proporcionando incremento nas produções econômicas de HL, HT, MST, MFT e EXTNH. O incremento médio na produção de hastes totais é de 25 dúzias HT kg N aplicado⁻¹ na forma de “fertilizante zeolítico”.

e) O arenito zeolítico testado pode ser utilizado no desenvolvimento tecnológico de “fertilizantes zeolíticos” que apresentem reduzidas perdas de N-NH₃ por volatilização e elevada eficiência agrônômica nas adubações agrícolas.

5. CONCLUSÕES GERAIS

O estudo realizado demonstrou que as zeolitas naturais (zeolita chilena e arenito zeolítico - CETEM) reduzem as perdas por volatilização do N-NH₃ proveniente da hidrólise da uréia, sendo a redução resultante da eficiência das zeolitas na manutenção do N-uréia no sistema solo-planta, possibilitando melhor aproveitamento do nutriente pelas culturas agrícolas.

O “fertilizante zeolítico” obtido através da mistura de uréia com arenito zeolítico apresenta eficiência agrônômica superior ao fertilizante uréia comercial.

Os minerais zeolíticos avaliados são agronomicamente eficientes quanto às hipóteses testadas e podem ser utilizados no desenvolvimento tecnológico de “fertilizantes zeolíticos” de liberação lenta que apresentem reduzidas perdas de N-NH₃ por volatilização e elevada eficiência agrônômica nas adubações agrícolas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Novas pesquisas tornam-se necessárias para que as hipóteses apresentadas sejam mais eficientemente testadas. Os principais fatores a serem reconsiderados dizem respeito às condições edafo-climáticas experimentais, as quais devem melhor refletir as normalmente encontradas nos cultivos a campo.

Novas pesquisas devem ser realizadas com o uso de técnicas de diluição isotópica com ^{15}N . Além das perdas de N-NH_3 por volatilização, as perdas de NO_3^- por lixiviação devem também ser avaliadas, assim como a dinâmica e movimentação das formas de N no solo. As condições edafo-climáticas devem ser totalmente conhecidas, pois são fatores que exercem grande influência sobre o fenômeno da volatilização de N-NH_3 .

A utilização do arenito zeolítico, o qual apresenta somente 20 a 40% de teor de zeolita em sua composição, provavelmente proporcionou resultados aquém dos que poderiam ocorrer se utilizados materiais com maior concentração de zeolita. O concentrado zeolítico preparado por pesquisadores do CETEM a partir do arenito utilizado no trabalho, apresentou 65% de teor de zeolita, elevando a CTC de 169 para $255 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, o que representa aumento de 66% na principal propriedade das zeolitas para uso em tecnologia de fertilizantes.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M.R.M.P., NOVAES, A.C., GUARINO, A.W.S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. *Química Nova*, v. 25, n. 6B, p. 1145-1154, 2002.
- ALLEN, E.; MING, D. HOSSNER, L. Growth and nutrient uptake of wheat in a clinoptilolite phosphate rock substrate. *Agronomy Journal*, Madison, v. 87, n. 6, p. 1052-1059, 1995.
- ALVES, A.C. Métodos para quantificar a volatilização de N-NH₃ em solo fertilizado com uréia. Pirassununga, 2006, 41f. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal), Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2006.
- ALVES, B.J.R.; SANTOS, J.C.F. dos; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. (Ed.). Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, p. 449-469, 1994.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO SETOR DE FERTILIZANTES 1987-2007, São Paulo, ANDA, 2006. 162 p.
- ARAÚJO, E. da S.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R. Câmara coletora para quantificação do N-NH₃ volatilizado do solo. Comunicado Técnico Embrapa n. 87, 4 p. Seropédica, dez 2006.
- ARAÚJO, E. da S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R. Câmara coletora para quantificação do N-NH₃ volatilizado do solo. Resumos do XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Gramado, RS, 2007. CD-ROM.
- ARAÚJO, E. da S. Calibração e validação do modelo NUTMON para o diagnóstico do manejo agrícola: Estudo em duas propriedades familiares do estado do Rio de Janeiro. 2008. 110 p Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamentos de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.
- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K. Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A.; CANTARELLA, H. (Ed.). Plant-Soil Interactions at Low pH: Sustainable Agriculture and Forestry Production, Proceedings of the Fourth International Symposium on Plant-Soil Interactions at Low pH, Belo Horizonte, MG, Brasil, p. 75-95, 1996.
- BAPTISTA-FILHO, M.; SILVA, M.G.DA.; LUNA, F.; POLIDORO, J.C.; MONTE, M.B.M.; SOUZA-BARROS, F.; VARGAS, H. Comparative study of natural Brazilian zeolite concentrate and zeolites as slow release nitrogen nutrient support. Abstracts of Nitrogen 4th Conference, Costa do Sauípe, Bahia, Brasil, p. 21, 2007.
- BARBIERI, P.A.; ECHEVERRÍA, H.E. Evolucion de las perdidas de amoníaco desde urea aplicada en otoño y primavera a una pastura de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). *RIA*, v. 32 (1), p. 17-29, INTA, Argentina, abril 2003.
- BARTH, G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H.; VITTI, A.C. Urease and nitrification inhibitors use in sugarcane crop in Brazil. Abstracts of Nitrogen 4th Conference, Costa do Sauípe, Bahia, Brasil, p. 21, 2007.

- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; REZENDE, N.; AMORIM, H.S.; SOUZA BARROS, F.; PERDIGÃO, P.; MONTE, M.B.M. Avaliação agronômica de substratos contendo zeolita enriquecida com nitrogênio, fósforo e potássio. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 56, 27 p. Embrapa Solos, ISSN 1678-0892, Rio de Janeiro, Dez 2004a.
- BERNARDI, A.C.C.; HAIM, P.G.; WERNECK, C.G.; MONTE, M.B.M. Disponibilidade de água e produção de arroz em função das doses de concentrado zeolítico. Circular Técnica 24, 4 p. Embrapa Solos, ISSN 1517-5146, Rio de Janeiro, Dez 2004b.
- BLAYLOCK, A.D.; DOWBENKO, R.D. The future of controlled-release nitrogen fertilizers. Abstracts of Nitrogen 4th Conference, Costa do Sauípe, Bahia, Brasil, p. 21, 2007.
- BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P.C.O. Efficient use of N in conventional fertilizers. Abstracts of Nitrogen 4th Conference, Costa do Sauípe, Bahia, Brasil, p. 33, 2007.
- BOUZO, L., LOPEZ, M.; VILLEGAS, R. Use a natural zeolites to increase yields in sugarcane crop minimizing environmental pollution. 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, México, p. 10-16, July 1994.
- BREMNER, J.M.; MULVANEY, R.L.; Urease activity in soils. In: BURNS, R.G., ed. Soil Enzymes. Londres, Academic Press, p. 149-196, 1978.
- BYRNES, B.H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. Fertilizer Manual. Alabama: Kluwer Academic, cap. 2, p. 20-44, 2000.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.V.H.; Cantarutti, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). Fertilidade do solo, Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 375-470, 2007a.
- CANTARELLA, H. Uso de inibidor da urease para aumentar a eficiência da uréia. In: IPNI – International Plant Nutrition Institute, Informações Agronômicas, n. 117, p. 13, março 2007b.
- CANTARELLA, H. Efficient use of N in new fertilizer products. Abstracts of Nitrogen 4th Conference, Costa do Sauípe, Bahia, Brasil, p. 44, 2007c.
- CARMO, C.A.F.S.; ARAÚJO, W.S.; BERNARDI, A.C.C.; SALDANHA, M.S. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. Circular Técnica n. 6, 41 p. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2000.
- CHEN, D.; LI, Y.; TURNER, D.; DENMEAD, T.; FRENEY, J. Measurement and simulation of ammonia volatilization from urea fertilizer in cropping and pasture system. Abstracts of Nitrogen 4th Conference, Costa do Sauípe, Bahia, Brasil, p. 52, 2007.
- CORSI, M. Ureia como fertilizante na produção de forrageira. In: Simpósio Sobre Nutrição de Bovinos, 2, Piracicaba. FEALQ, Anais, p. 275-308, 1984.
- COSTA, R.A.S.; RODRIGUES, M.G.F.; SIQUEIRA, R.A.; BARBOSA, C.M.B.M. Caracterização da zeólita estilbita utilizando difração de raios-x (DRX) e fluorescência de raios-x (FRX). Anais do 46^o Congresso Brasileiro de Cerâmica, São Paulo, SP, Brasil, p.1611-1620, 2002.
- COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 4, p. 631-637, julho/agosto 2003.

DOBERMANN, A. Nutrient use efficiency – measurement and management. In: International Fertilizer Industry Association - IFA (Ed.). Fertilizer Best Management Practices, Paris, France, p. 01-28, 2007.

DUARTE, F.M. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e eficiência da adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado. Santa Maria, 2006. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

EMATER RIO. Censo da floricultura no estado do Rio de Janeiro 2002-2003, v. 1, 2004. ISSN 1806-647X. CD-ROM.

ENGLERT, A.H.; RUBIO, J. Characterization and environmental application of a Chilean natural zeolite. *International Journal of Mineral Processing*, v. 75, p. 21-29, 2005.

EPSTEIN, E; BLOOM, A. J. Mineral nutrition of plants: principles and perspective. 2^a ed. Sunderland, Sinauer Associates, 2005. 400 p.

FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G.; CHAPMAN, L.S.; HAM, G.J. HERNEY, A.P.; STEWART, R.L. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. *Fertilizer Research*, v. 31, p. 341-349, 1992.

GRANT, C.A. Agronomic and environmental benefits of polymer coated urea. Abstracts of Nitrogen 4th Conference, Costa do Sauípe, Bahia, Brasil, p. 94, 2007.

GUEDES, C.A.B. Volatilização de N e alterações químicas do solo sob cultivo de cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça e diferentes formas de colheita. *Seropédica*, 2002, 77p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002.

HEFFER, P.; PRUD'HOMME, M. World agriculture and fertilizer demand, global fertilizer supply and trade 2006-2007. Summary Report of 32nd IFA Enlarged Council Meeting. Buenos Aires, 2007.

HIDRO WEB, Site: <http://www.hidroweb.ana.gov.br> - Hidro Web – Estação, acessado em 20/01/2008.

HU, X.F.; SUN, Q.Q.; WANG, Z.Y. Study on ammonia volatilization of slow/controlled release compound fertilizer. Nitrogen 4th Conference, Costa do Sauípe, Bahia, Brasil, p. 114, 2007.

KIEHL, J.C. Distribuição e retenção da amônia no solo após a aplicação de uréia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 13, p. 75-80, 1989.

LAI, T.M.; EBERL, D.D. Zeolites, v. 6, p. 129, 1986.

LANGELLA, A.; PANSINI, M.; CAPPELLETTI, B. de G.; De GENNARO, M.; COLELLA, C. NH_4^+ , Cu_2^+ , Zn_2^+ , Cd_2^+ and Pb_2^+ exchange for Na^+ in a sedimentary clinoptilolite, North Sardinia, Italy. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 37, p. 337-343, 2000.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 14, p. 345-352, 1990.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H., MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, p.481-487, 1997a.

- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E. Efeito do tamanho do grânulo e relação N/S da uréia aplicada em superfície na volatilização de amônia sob diferentes umidades iniciais de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 16, p. 409-413, 1992.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, 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*, v. 21, p. 489-496, 1997b.
- LEGUIZAMÓN R, C.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. Volatilização de amônia na adubação de cobertura do milho com uréia em sistemas de preparo de longa duração. *Resumos do XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, Gramado, RS, p. 272, 2007.
- LEI, L.; LI, X.; ZHANG, X. Ammonium removal from aqueous solutions using microwave-treated natural Chinese zeolite. *Separation and Purification Technology*, v. 58, p. 359-366, 2008.
- LOUIS, I.C.M.J. La zeolita natural y su papel en el manejo del nitrogeno para el cultivo del tomate. Habana, Cuba, 2002. Tese (Mestrado), Instituto Nacional de Ciência Agrícola, Habana, 2002.
- LUZ, A.B. Zeolitas: Propriedades e usos industriais. *Série: Tecnologia Mineral*, v. 68, 37 p. CETEM/MCT, 1995.
- MAENE, L. The future of nitrogen fertilizer industry. *Anais Nitrogen 4th Conference*, Costa do Saúpe, Bahia, Brasil, p. 148, 2007.
- MALAVOLTA, Eurípedes; *Manual de nutrição de plantas*, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006, 638 p.
- MARSOLA, T.; TAKAHASHI, H.W.; MIYAZAWA, M. Calibração de um sistema coletor de amônia volatilizada do solo e aplicada em campo. In: *IV Mostra Acadêmica de Trabalhos de Agronomia*. Londrina. Editora UEL, v. IV, p. 123-123, 2000.
- MARTHA JÚNIOR, G.B. Produção de forragem e transformação do nitrogênio do fertilizante em pastagem irrigada de capim tanzânia. Piracicaba, 2003. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Piracicaba, 2003.
- MARTINELLI, L.A. In: *IPNI – International Plant Nutrition Institute*, *Informações Agronômicas*, n. 118, p. 8, junho 2007.
- MELGAR, R.; CAMOZZI, M.E.; FIGUEROA, M.M. Guia de fertilizantes nitrogenados, enmiendas y productos nutricionales. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária, cap.1, p. 13-25, 1999.
- MOAL, J.F.; MARTINEZ, J.; GUIZIOU, F.; COSTE, C.M. Ammonia volatilization following surface applied pig and cattle slurry in France. *Journal of Agricultural Science*, v. 25, p. 245-252, 1995.
- MONDALE, K.D.; CARLAND, R.M.; APLAN, F.F. The comparative ion exchange capacities of natural sedimentary and synthetic zeolites. *Minerals Engineering*, v. 8, n. 4/5, p. 535-548, 1995.
- MOSIER, A.; GALLOWAY, J. Setting the scene - The international nitrogen initiative. In: *International Workshop on Enhanced-efficiency Fertilizers*, Frankfurt, 2005. *Proceedings*. Paris, International Fertilizer Industry Association, 2005. 10 p. CD-ROM.

NONMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soils. *Plant and Soil*, v. 39, p. 309-318, 1973.

OCEGUERA, V.C. Zeolita natural: Uma alternativa en la industria de fertilizantes. Ministerio de la Agricultura Básica, Cuba, 2002.

OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; VITTI, A.C.; BENDASSOLLI, J.A.; TRIVELIN, P.C.O. Volatilização de amônia proveniente da uréia (¹⁵N) aplicada em solo cultivado com cana-de-açúcar. In: Encontro Científico de Pós-Graduandos do CENA, USP. v. 3, Piracicaba, 1997. Anais. Piracicaba, CENA, p. 28, 1997.

OVERREIN, L.N.; MOE, P.G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. *Soil Science Society América Proceedings*, v. 31, p. 57-61, 1967.

PAIVA, P.R.P.; MONTE, M.B.M.; MIDDEA, A. Inovação tecnológica no uso de minerais na agricultura / Projeto AGROMIN / CT-Mineral. Relatório Técnico Final CETEM, 44 p. outubro 2004.

PARK, M.; KOMARNENI, S. Occlusion of KNO₃ and NH₄NO₃ in natural zeolites. *Zeolites*, v. 18, p. 171-175, 1997.

REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C.; ARMBRUSTER., J.A. Factores releade to urea hydrolysis in soils. *Soil Science Society America Journal*, v. 49, p. 104-108, 1987.

REZENDE, N.G.A.; MONTE, M.B.M. In: Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações, Editores Adão Benvindo da Luz e Fernando Freitas Lins, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 699-717, 2005.

RIBEIRO, A.C; GUIMARÃES, P.T.G; ALVAREZ V., V.H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. CFSEMG: Viçosa, 359 p. 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*, v. 10, p. 37-43, 1986.

RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada ao solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 16, p. 403-408, 1992.

ROS, C.O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, p. 799-805, 2005.

SAVANT, N.K.; JAMES, A.F.; McCLEAN, G.H. Effect of amounts and sequence of additions of urea and water on hydrolysis of surface-applied granular urea in unsaturated soils. *Fertilizer Research*, v. 11, p. 231-234, 1987.

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*, v. 19, p. 455-461, 1995.

TILMAN, D. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. In: *Plants and population: Is there time?* National Academy of Science, Irvine. v. 96, p. 5995-6000, 1999.

TOMÉ Jr, J.B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba: Agropecuária, 247 p. 1997.

TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A.; OLIVEIRA, M.W. Potencialidade da mistura de aquamônia com vinhaça na fertilização de canaviais colhidos sem despalha a fogo. Parte I: Estabilidade química da mistura. STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 16, p. 26-29, 1997.

TRIVELIN, P.C.O. Técnicas com o traçador ^{15}N em estudos de perdas gasosas de nitrogênio do solo. Apostila do Programa de Pós-graduação em Energia Nuclear na Agricultura, CENA-USP, Piracicaba, 2001.

TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; BENDASSOLLI, J.A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, p. 193-201, Brasília, fev. 2002.

United State Geological Survey Technology Transfer Information Partnerships - USGS, 2006 – Site: http://www.usgs.gov/tech-transfer/factsheets/94_066b.html, acessado em 05/01/2006 e 30/11/2007.

URQUIAGA, S.; VICTÓRIA, R.L.; BUITRÓN, F.; NEYRA, J.C. Perdas por volatilização do ^{15}N -uréia e ^{15}N -sulfato de amônio num solo calcário da parte central da região costeira do Peru. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 24(5), p. 607-613, 1989.

VAUGHAN, D. Properties of natural zeolites. In: SAND, L., MUMPTON, F. (Eds), Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Use. New York, Pergamon Press, p. 353-372, 1978.

VITTI, G.C.; TAVARES Jr, J.R.; LUZ, P.H.C.; FAVARIN, J.L.; COSTA, C.G. Influência da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. Revista Brasileira de Ciência de Solo, v. 26, p. 663-671, 2002.

VOLK, G.M. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf or bare soils. Agronomic Journal Madison, v. 51, p. 746-749, 1959.

WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; PAIVA, P.R.P.; MONTE, M.B.M.; BERNARDI, A.C.C. Disponibilidade de água em função das doses de concentrado zeolítico. Resumos do XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Gramado, RS, 2007. CD-ROM.

XIUBIN, HE.; ZHANBIN, H. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. Resources, Conservation and Recycling, v. 34, p. 45-52, 2001.

8. ANEXOS

Análise de Variância dos valores médios de haste curta (HC) – C1

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	2	19,500000	9,750000	0,623	0,5675
Uréia	1	8,333333	8,333333	0,533	0,4929
Zeolita	1	3,000000	3,000000	0,192	0,6767
Uréia*Zeolita	1	85,333333	85,333333	5,456	0,0582
Erro	6	93,833333	15,638889		
Coefficiente de Variação (%)	28,25				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	60,166667	60,166667	3,847	0,0975
Zeolita / 120 kg N	1	28,166667	28,166667	1,801	0,2281
Resíduo	6	93,833333	15,638889		

Análise de Variância dos valores médios de haste média (HM) – C1

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	2	51,166667	25,583333	0,599	0,5791
Uréia	1	36,750000	36,750000	0,861	0,3893
Zeolita	1	270,750000	270,750000	6,342	0,0454
Uréia*Zeolita	1	10,083333	10,083333	0,236	0,6442
Erro	6	256,166667	42,694444		
Coefficiente de Variação (%)	22,47				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	88,166667	88,166667	2,065	0,2007
Zeolita / 120 kg N	1	192,666667	192,666667	4,513	0,0778
Resíduo	6	256,166667	42,694444		

Análise de Variância dos valores médios de haste Longa (HL) – C1

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	2	67,166667	33,583333	0,414	0,6786
Uréia	1	12,000000	12,000000	0,148	0,7138
Zeolita	1	385,333333	385,333333	4,749	0,0721
Uréia*Zeolita	1	56,333333	52,333333	0,694	0,4366
Erro	6	486,833333	81,138889		
Coefficiente de Variação (%)	13,02				

Análise de Variância dos valores médios de haste total (HT) – C1

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	2	45,500000	22,750000	0,278	0,7663
Uréia	1	30,083333	30,083333	0,368	0,5663
Zeolita	1	1180,083333	1180,083333	14,135	0,0090
Uréia*Zeolita	1	24,083333	24,083333	0,295	0,6068
Erro	6	490,500000	81,750000		
Coefficiente de Variação (%)	8,05				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	433,500000	433,500000	5,303	0,0609
Zeolita / 120 kg N	1	770,666667	770,666667	9,427	0,0219
Resíduo	6	490,500000	81,750000		

Análise de Variância dos valores médios de Extração Total de N (EXTNH) – C1

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	2	9,316350	4,658175	0,0366	0,7078
Uréia	1	0,935208	0,935208	0,074	0,7953
Zeolita	1	89,271075	89,271075	7,021	0,0380
Uréia*Zeolita	1	2,511675	2,511675	0,198	0,6723
Erro	6	76,290117	12,715019		
Coeficiente de Variação (%)		12,12			

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	60,865350	60,865350	4,787	0,0713
Zeolita / 120 kg N	1	30,917400	30,917400	2,432	0,1699
Resíduo	6	76,290117	12,715019		

Análise de Variância dos valores médios de Teor de N na Haste (TNH) – C1

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	2	5,111667	2,555833	0,454	0,6551
Uréia	1	2,430000	2,430000	0,432	0,5355
Zeolita	1	4,320000	4,320000	0,768	0,4146
Uréia*Zeolita	1	6,453333	6,453333	1,147	0,3254
Erro	6	33,761667	5,626944		
Coeficiente de Variação (%)		8,73			

Análise de Variância dos valores médios da Massa Seca Total (MST) – C1

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	2	12984,291667	6492,145833	0,325	0,7346
Uréia	1	5313,020833	5313,020833	0,266	0,6246
Zeolita	1	12615,187500	12615,187500	6,636	0,0420
Uréia*Zeolita	1	3146,040833	3146,040833	0,157	0,7053
Erro	6	119901,188333	19983,531389		
Coeficiente de Variação (%)		12,08			

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	88306,401667	88306,401667	4,419	0,0802
Zeolita / 120 kg N	1	47454,826667	47454,826667	2,375	0,1742
Resíduo	6	119901,188333	19983,531389		

Análise de Variância dos valores médios de haste curta (HC) – C3

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco (repetição)	2	2,533333	1,266667	0,25	0,786
(Tratamentos)	4	52,4	13,1	2,57	0,119
Uréia	1	5,333	5,333	1,05	0,336
Zeolita	1	33,33333	33,33333	6,54	0,034
Uréia*Zeolita	1	8,3333	8,3333	1,63	0,237
Grupo (testemunha x fatorial)	1	5,4	5,4	1,06	0,334
Erro	8	40,8	5,1		

Análise de Variância dos valores médios de haste média (HM) – C3

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco (repetição)	2	20,933333	10,46667	0,52	0,613
(Tratamentos)	4	76,93333	19,23333	0,96	0,481
Uréia	1	1,333333	1,333333	0,07	0,803
Zeolita	1	40,333333	40,33333	2,00	0,195
Uréia*Zeolita	1	1,11022E-16	1,11E-16	0,00	1,000
Grupo (testemunha x fatorial)	1	35,266667	35,26667	1,75	0,222
Erro	8	161,066667	20,13333		

Análise de Variância dos valores médios de haste Longa (HL) – C3

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco (repetição)	2	54,533333	27,26667	1,08	0,386
(Tratamentos)	4	189,6	47,4	1,87	0,209
Uréia	1	60,75	60,75	2,40	0,160
Zeolita	1	126,75	126,75	5,00	0,056
Uréia*Zeolita	1	2,083333	2,083333	0,08	0,782
Grupo (testemunha x fatorial)	1	0,016667	0,016667	0,00	0,980
Erro	8	202,8	25,35		

Análise de Variância dos valores médios de haste total (HT) – C3

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco (repetição)	2	5,2	2,6	0,03	0,966
(Tratamentos)	4	638	159,5	2,12	0,170
Uréia	1	18,75	18,75	0,25	0,631
Zeolita	1	546,75	546,75	7,26	0,027
Uréia*Zeolita	1	2,083333	2,083333	0,03	0,872
Grupo (testemunha x fatorial)	1	70,416667	70,41667	0,93	0,362
Erro	8	602,8	75,35		

Análise de Variância dos valores médios de Extração Total de N (EXTNH) – C3

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco (repetição)	2	0,133333	0,066667	0,04	0,960
(Tratamentos)	4	12,422667	3,105667	1,91	0,202
Uréia	1	0,963333	0,963333	0,59	0,463
Zeolita	1	11,213333	11,21333	6,90	0,030
Uréia*Zeolita	1	0,03	0,03	0,02	0,895
Grupo (testemunha x fatorial)	1	0,216	0,216	0,13	0,725
Erro	8	12,993333	1,624167		

Análise de Variância dos valores médios de Teor de N na Haste (TNH) – C3

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco (repetição)	2	0,841333	0,420667	2,22	0,171
(Tratamentos)	4	1,089333	0,272333	1,43	0,307
Uréia	1	0,100833	0,100833	0,53	0,487
Zeolita	1	0,800833	0,800833	4,22	0,074
Uréia*Zeolita	1	0,1875	0,1875	0,99	0,349
Grupo (testemunha x fatorial)	1	0,000167	0,000167	0,00	0,977
Erro	8	1,518667	0,189833		

Análise de Variância dos valores médios da Massa Seca Total (MST) – C3

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco (repetição)	2	3619,477333	1809,739	0,53	0,605
(Tratamentos)	4	28721,20267	7180,301	2,12	0,170
Uréia	1	4924,800833	4924,801	1,46	0,262
Zeolita	1	23434,84083	23434,84	6,93	0,030
Uréia*Zeolita	1	43,700833	43,70083	0,01	0,912
Grupo (testemunha x fatorial)	1	317,860167	317,8602	0,09	0,767
Erro	8	27065,70933	3383,214		

Análise de Variância dos valores médios de haste curta (HC) – C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco (repetição)	2	10,8	5,4	2,10	0,184
(Tratamentos)	4	22,266667	5,566667	2,17	0,163
Uréia	1	14,083333	14,08333	5,49	0,047
Zeolita	1	2,083333	2,083333	0,81	0,394
Uréia*Zeolita	1	0,083333	0,083333	0,03	0,861
Grupo (testemunha x fatorial)	1	6,016667	6,016667	2,34	0,164
Erro	8	20,533333	2,566667		

Análise de Variância dos valores médios de haste média (HM) – C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco (repetição)	2	2,533333	1,266667	0,29	0,759
(Tratamentos)	4	4,933333	1,233333	0,28	0,884
Uréia	1	1E-15	1E-15	0,00	1,000
Zeolita	1	3	3	0,68	0,435
Uréia*Zeolita	1	1,333333	1,333333	0,30	0,598
Grupo (testemunha x fatorial)	1	0,6	0,6	0,14	0,723
Erro	8	35,466667	4,433333		

Análise de Variância dos valores médios de haste Longa (HL) – C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco (repetição)	2	3,733333	1,866667	0,44	0,656
(Tratamentos)	4	75,6	18,9	4,50	0,034
Uréia	1	0,333333	0,333333	0,08	0,785
Zeolita	1	48	48	11,43	0,010
Uréia*Zeolita	1	27	27	6,43	0,035
Grupo (testemunha x fatorial)	1	0,266667	0,266667	0,06	0,807
Erro	8	33,6	4,2		

Análise de Variância dos valores médios de haste total (HT) – C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco (repetição)	2	10,8	5,4	1,03	0,399
(Tratamentos)	4	178,933333	44,733333	8,55	0,005
Uréia	1	18,75	18,75	3,58	0,095
Zeolita	1	102,083333	102,0833	19,51	0,002
Uréia*Zeolita	1	44,083333	44,08333	8,42	0,020
Grupo (testemunha x fatorial)	1	14,016667	14,01667	2,68	0,140
Erro	8	41,866667	5,233333		

Análise de Variância dos valores médios de Extração Total de N (EXTNH) – C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco (repetição)	2	2,356	1,178	2,60	0,135
(Tratamentos)	4	19,684	4,921	10,86	0,003
Uréia	1	0,300833	0,300833	0,66	0,439
Zeolita	1	12,6075	12,6075	27,83	0,001
Uréia*Zeolita	1	6,3075	6,3075	13,92	0,006
Grupo (testemunha x fatorial)	1	0,468167	0,468167	1,03	0,339
Erro	8	3,624	0,453		

Análise de Variância dos valores médios de Teor de N na Haste (TNH) – C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco (repetição)	2	2,389333	1,194667	1,89	0,213
(Tratamentos)	4	3,576	0,894	1,41	0,313
Uréia	1	1,540833	1,540833	2,43	0,157
Zeolita	1	0,300833	0,300833	0,48	0,510
Uréia*Zeolita	1	0,100833	0,100833	0,16	0,700
Grupo (testemunha x fatorial)	1	1,6335	1,6335	2,58	0,147
Erro	8	5,064	0,633		

Análise de Variância dos valores médios da Massa Seca Total (MST) – C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco (repetição)	2	2370,209333	1185,105	2,23	0,170
(Tratamentos)	4	27964,156	6991,039	13,16	0,001
Uréia	1	66,27	66,27	0,12	0,733
Zeolita	1	16516,92	16516,92	31,09	0,001
Uréia*Zeolita	1	10992,85333	10992,85	20,69	0,002
Grupo (testemunha x fatorial)	1	388,112667	388,1127	0,73	0,418
Erro	8	4250,004	531,2505		

Análise de Variância dos valores médios de haste curta (HC) – C1 + C3 + C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	2	232,666667	116,333333	1,9000	0,2295
Uréia	1	1,333333	1,333333	0,022	0,8875
Zeolita	1	65,333333	65,333333	1,067	0,3414
Uréia*Zeolita	1	588,000000	588,000000	9,604	0,0211
Erro	6	367,333333	61,222222		
Coefficiente de Variação (%)		20,77			

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	130,666667	130,666667	2,134	0,1943
Zeolita / 120 kg N	1	522,666667	522,666667	8,537	0,0266
Resíduo	6	367,333333	61,222222		

Análise de Variância dos valores médios de haste Média (HM) – C1+ C3+ C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	2	82,666667	41,333333	0,463	0,6503
Uréia	1	24,083333	24,083333	0,270	0,6222
Zeolita	1	602,083333	602,083333	6,740	0,0409
Uréia*Zeolita	1	4,083333	4,083333	0,046	0,8378
Erro	6	536,000000	89,333333		
Coeficiente de Variação (%)	19,52				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	253,500000	253,500000	2,838	0,1431
Zeolita / 120 kg N	1	352,666667	352,666667	3,948	0,0941
Resíduo	6	536,000000	89,333333		

Análise de Variância dos valores médios de haste Longa (HL) – C1+C3+C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	2	253,500000	126,750000	0,663	0,5492
Uréia	1	14,083333	14,083333	0,074	0,7951
Zeolita	1	1430,083333	1430,083333	7,484	0,0339
Uréia*Zeolita	1	200,083333	200,083333	1,047	0,3456
Erro	6	1146,500000	191,083333		
Coeficiente de Variação (%)	11,99				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	1350,000000	1350,000000	7,065	0,0376
Zeolita / 120 kg N	1	280,166667	280,166667	1,466	0,2715
Resíduo	6	1146,500000	191,083333		

Análise de Variância dos valores médios de haste total (HT) – C1+C3+C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	2	126,166667	63,083333	0,239	0,7942
Uréia	1	30,083333	30,083333	0,114	0,7469
Zeolita	1	4602,083333	4602,083333	17,471	0,0058
Uréia*Zeolita	1	0,083333	0,083333	0,000	0,9864
Erro	6	1580,500000	263,416667		
Coeficiente de Variação (%)	8,66				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	2320,666667	2320,666667	8,810	0,0250
Zeolita / 120 kg N	1	2281,500000	2281,500000	8,661	0,0258
Resíduo	6	1580,500000	263,416667		

Análise de Variância dos valores médios de Massa Seca Total (MST) – C1+C3+C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	2	24607,606667	12303,803333	0,428	0,6705
Uréia	1	18213,020833	18213,020833	0,633	0,4566
Zeolita	1	417125,940833	417125,940833	14,497	0,0089
Uréia*Zeolita	1	28081,687500	28081,687500	0,976	0,3614
Erro	6	172644,793333	28774,132222		
Coeficiente de Variação (%)	9,54				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	330833,201667	330833,201667	11,498	0,0147
Zeolita / 120 kg N	1	114374,426667	114374,426667	3,975	0,0932
Resíduo	6	172644,793333	28774,132222		

Análise de Variância dos valores médios de Extração total N (EXTN) - C1+C3+C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	2	15,331667	7,665833	0,393	0,6909
Uréia	1	2,000833	2,000833	0,103	0,7595
Zeolita	1	266,020833	266,020833	13,654	0,0101
Uréia*Zeolita	1	16,100833	16,100833	0,826	0,3984
Erro	6	116,895000	19,482500		
Coeficiente de Variação (%)	10,20				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	206,50667	206,50667	10,600	0,0173
Zeolita / 120 kg N	1	75,615000	75,615000	3,881	0,0963
Resíduo	6	116,895000	19,482500		

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 3 – C2

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco	2	0,2815262	0,1407631	0,87	*****
Zeolita	1	9,367905	9,367905	57,62	0,0000
Uréia	1	9,422163	9,422163	57,95	0,0000
Uréia*Zeolita	1	0,5181782	0,5181782	3,19	0,0911
Erro	18	2,926418	0,1625788		
Coeficiente de Variação (%)	24,086				

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 4 – C2

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco	2	0,6790586	0,3395293	0,32	*****
Zeolita	1	1,015272	1,015272	0,95	*****
Uréia	1	154,7368	154,7368	145,20	0,0000
Uréia*Zeolita	1	2,060517	2,060517	1,93	0,1813
Erro	18	19,18243	1,065690		
Coeficiente de Variação (%)	21,255				

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 5 – C2

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco	2	0,9906015	0,4953008	0,83	*****
Zeolita	1	0,6350885	0,6350885	1,06	0,3158
Uréia	1	44,86567	44,86567	75,23	0,0000
Uréia*Zeolita	1	1,559630	1,559630	2,62	0,1232
Erro	18	10,73544	0,5964135		
Coefficiente de Variação (%)	25,259				

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 6 – C2

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco	2	0,4793169E-01	0,2396584E-01	0,84	*****
Zeolita	1	0,8630880E-03	0,8630880E-03	0,03	*****
Uréia	1	0,3475444	0,3475444	12,14	0,0026
Uréia*Zeolita	1	0,1857854	0,1857854E-01	0,65	*****
Erro	18	0,5153104	0,2862836E-01		
Coefficiente de Variação (%)	41,905				

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 7 – C2

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco	2	0,1090562	0,5452810E-01	1,18	0,3304
Zeolita	1	0,3144156E-01	0,3144156E-01	0,68	*****
Uréia	1	0,4447840	0,4447840	9,61	0,0062
Uréia*Zeolita	1	0,4108721E-01	0,4108721E-01	0,89	*****
Erro	18	0,8328963	0,4627187E-01		
Coefficiente de Variação (%)	45,030				

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 8 – C2

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco	2	0,5626006E-01	0,2813003E-01	1,13	0,3435
Zeolita	1	0,9658580E-01	0,9658580E-01	3,90	0,0640
Uréia	1	0,4181209	0,4181209	16,86	0,0007
Uréia*Zeolita	1	0,9742002E-01	0,9742002E-01	3,93	0,0629
Erro	18	0,4462937	0,2479410E-01		
Coefficiente de Variação (%)	50,524				

Análise de Variância dos valores médios de total NH₃ volatilizado (PNV) – C2

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Bloco	2	7,561888	3,780944	2,38	0,1208
Zeolita	1	28,36961	28,36961	17,87	0,0005
Uréia	1	581,7386	581,7386	366,53	0,0000
Uréia*Zeolita	1	0,8885274	0,8885274	0,56	*****
Erro	18	28,56882	1,587157		
Coefficiente de Variação (%)	11,673				

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 3– C3

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	8	0,836651	0,104581	0,879	0,5477
Uréia	1	3,560563	3,560563	29,927	0,0000
Zeolita	1	0,039877	0,039877	0,335	0,5680
Uréia*Zeolita	1	0,082865	0,0822665	0,696	0,4122
Erro	24	2,855389	0,118975		
Coefficiente de Variação (%)	30,07				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	0,118855	0,118855	0,999	0,3275
Zeolita / 120 kg N	1	0,003887	0,003887	0,033	0,8581
Resíduo	24	2,855389	0,118975	0,3275	

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 4 – C3

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	8	0,832383	0,104048	1,253	0,3129
Uréia	1	41,081712	41,081712	494,671	0,0000
Zeolita	1	2,393015	2,393015	28,803	0,0000
Uréia*Zeolita	1	1,465008	1,465008	17,640	0,0003
Erro	24	1,993167	0,083049		
Coeficiente de Variação (%)		12,46			

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	0,056528	0,056528	0,681	0,4175
Zeolita / 120 kg N	1	3,800494	3,800494	45,762	0,0000
Resíduo	24	1,993167	0,083049		

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 5 – C3

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	8	2,226390	0,278299	1,816	0,1234
Uréia	1	2,987492	2,987492	19,492	0,0002
Zeolita	1	1,900224	1,900224	12,398	0,0017
Uréia*Zeolita	1	0,046699	0,046699	0,305	0,5861
Erro	24	3,678453	0,153269		
Coeficiente de Variação (%)		19,89			

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	1,271353	1,271353	8,295	0,008
Zeolita / 120 kg N	1	0,675570	0,675570	4,408	0,0465
Resíduo	24	3,678453	0,153269		

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 6 – C3

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	8	1,152392	0,144049	1,049	0,4291
Uréia	1	4,653859	4,653859	33,884	0,0000
Zeolita	1	0,227101	0,227101	1,653	0,2108
Uréia*Zeolita	1	0,555507	0,555507	4,045	0,0557
Erro	24	3,296327	0,137347		
Coeficiente de Variação (%)		23,30			

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	0,746488	0,746488	5,435	0,0285
Zeolita / 120 kg N	1	0,036119	0,036119	0,263	0,6128
Resíduo	24	3,296327	0,137347		

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 7 – C3

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	8	0,325583	0,040698	0,622	0,7513
Uréia	1	0,953618	0,953618	14,569	0,0008
Zeolita	1	0,023307	0,023307	0,356	0,5563
Uréia*Zeolita	1	0,031036	0,031036	0,474	0,4977
Erro	24	1,570969	0,065457		
Coeficiente de Variação (%)	22,78				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de UREIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	0,000276	0,000276	0,004	0,9487
Zeolita / 120 kg N	1	0,054067	0,054067	0,826	0,3725
Resíduo	24	1,570969	0,065457		

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 8 – C3

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	8	0,043212	0,005402	0,548	0,8090
Uréia	1	0,068083	0,068083	6,903	0,0148
Zeolita	1	0,000498	0,000498	0,051	0,8241
Uréia*Zeolita	1	0,002347	0,002347	0,238	0,6301
Erro	24	0,236722	0,009863		
Coeficiente de Variação (%)	11,82				

Análise de Variância dos valores médios de total NH₃ volatilizado (PNV) – C3

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	8	2,550265	0,318783	2,010	0,0890
Uréia	1	50,966367	50,966367	321,368	0,0000
Zeolita	1	5,335957	5,335957	33,646	0,0000
Uréia*Zeolita	1	0,039281	0,039281	0,248	0,6232
Erro	24	3,806202	0,158592		
Coeficiente de Variação (%)	11,04				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de URÉIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	2,229798	2,229798	14,060	0,0010
Zeolita / 120 kg N	1	3,145440	3,145440	19,834	0,002
Resíduo	24	3,806202	0,158592		

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 3 – C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	11	0,582706	0,052973	1,166	0,3466
Uréia	1	5,836105	5,836105	128,471	0,0000
Zeolita	1	3,404189	3,404189	74,937	0,0000
Uréia*Zeolita	1	3,318571	3,318571	73,052	0,0000
Erro	33	1,499104	0,045427		
Coeficiente de Variação (%)	19,11				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de URÉIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	0,000273	0,000273	0,006	0,9387
Zeolita / 120 kg N	1	6,722487	6,722487	147,983	0,0000
Resíduo	33	1,499104	0,045427		

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 4 – C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	11	3,181139	0,289194	1,352	0,2416
Uréia	1	4,779140	4,779140	22,335	0,0000
Zeolita	1	1,570050	1,570050	7,338	0,0106
Uréia*Zeolita	1	2,578921	2,578921	12,053	0,0015
Erro	33	7,061124	0,213973		
Coeficiente de Variação (%)	24,77				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de URÉIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	0,062264	0,062264	0,291	0,5932
Zeolita / 120 kg N	1	4,086707	4,086707	19,099	0,0001
Resíduo	33	7,061124	0,213973		

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 5 – C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	11	1,294954	0,117723	0,732	0,7003
Uréia	1	20,320619	20,320619	126,406	0,0000
Zeolita	1	2,347600	2,347600	14,603	0,0006
Uréia*Zeolita	1	1,780115	1,780115	11,073	0,0022
Erro	33	5,304952	0,160756		
Coeficiente de Variação (%)	15,62				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de URÉIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	0,019598	0,019598	0,122	0,7292
Zeolita / 120 kg N	1	4,108117	4,108117	25,555	0,0000
Resíduo	33	5,304952	0,160756		

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 6 – C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	11	1,228761	0,111706	1,568	0,1546
Uréia	1	16,351980	16,351980	229,604	0,0000
Zeolita	1	1,205447	1,205447	16,926	0,0002
Uréia*Zeolita	1	0,680173	0,680173	9,551	0,0040
Erro	33	2,350201	0,071218		
Coeficiente de Variação (%)	11,20				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de URÉIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	0,037320	0,037320	0,524	0,4742
Zeolita / 120 kg N	1	1,848300	1,848300	25,953	0,0000
Resíduo	33	2,350201	0,071218		

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 7 – C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	11	1,021646	0,092877	2,506	0,0204
Uréia	1	15,035223	15,035223	405,747	0,0000
Zeolita	1	0,088467	0,088467	2,387	0,1319
Uréia*Zeolita	1	0,219170	0,219170	5,915	0,0206
Erro	33	1,222837	0,037056		
Coeficiente de Variação (%)	8,61				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de URÉIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	0,014573	0,014573	0,393	0,5349
Zeolita / 120 kg N	1	0,293064	0,293064	7,909	0,0082
Resíduo	33	1,222837	0,037056		

Análise de Variância dos valores médios de NH₃ volatilizado (PNV) dia 8 – C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	11	0,641215	0,058292	2,495	0,0209
Uréia	1	9,505623	9,505623	406,910	0,0000
Zeolita	1	0,059285	0,059285	2,538	0,1207
Uréia*Zeolita	1	0,138175	0,138175	5,915	0,0206
Erro	33	0,770897	0,023361		
Coeficiente de Variação (%)	8,16				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de URÉIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	0,008222	0,008222	0,352	0,5571
Zeolita / 120 kg N	1	0,189238	0,189238	8,101	0,0076
Resíduo	33	0,770897	0,023361		

Análise de Variância dos valores médios de total NH₃ volatilizado (PNV) – C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	11	1,997562	0,181597	1,219	0,3136
Uréia	1	80,342205	80,342205	539,214	0,0000
Zeolita	1	6,219459	6,219459	41,742	0,0000
Uréia*Zeolita	1	6,041206	6,041206	40,545	0,0000
Erro	33	4,916954	0,148999		
Coeficiente de Variação (%)	7,99				

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de URÉIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	0,000648	0,000648	0,004	0,9478
Zeolita / 120 kg N	1	12,260018	12,260018	82,283	0,0000
Resíduo	33	4,916954	0,148999		

Análise de Variância dos valores médios de total NH₃ volatilizado (PNV) – C1+C3+C4

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Repetição	11	269,016106	24,456010	1,342	0,2464
Uréia	1	4288,599252	4288,599252	235,299	0,0000
Zeolita	1	46629,696769	46629,696769	2558,390	0,0000
Uréia*Zeolita	1	1277,719219	1277,719219	70,103	0,0000
Erro	33	601,464185	18,226187		
Coeficiente de Variação (%)					

Análise de Variância do desdobramento de ZEOLITA dentro de cada nível de URÉIA.

Fontes de Variação	G.L	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
Zeolita / 60 kg N	1	442,299204	442,299204	24,267	0,0000
Zeolita / 120 kg N	1	5124,019267	5124,019267	281,135	0,0000
Resíduo	33	601,464185	18,226187		

Correlação Linear de Pearson independente de Arenito Zeolítico e uréia – C3

	HCT	HMT	HLT	HT	MST	EXTNT	PNV
HCT	1						
HMT	0,693157	1					
HLT	0,218195	0,199695	1				
HT	0,723851	0,767597	0,750426	1			
MST	0,444888	0,430366	0,954871	0,891388	1		
EXTNT	0,537767	0,495892	0,891771	0,909213	0,970833	1	
PNV	0,129348	0,173608	-0,38678	-0,11665	-0,31648	-0,25365	1

Correlação Linear de Pearson para efeito de doses de Uréia com Arenito zeolítico – C

	HCT	HMT	HLT	HT	MST	EXTNT	PNV
HCT	1						
HMT	0,75189	1					
HLT	-0,50302	-0,11816	1				
HT	0,170833	0,541736	0,7628	1			
MST	-0,21751	0,179462	0,952868	0,922557	1		
EXTNT	0,032069	0,363813	0,833262	0,961793	0,950516	1	
PNV	0,6986	0,705834	-0,74622	-0,1985	-0,5442	-0,37551	1

Correlação Linear de Pearson para efeito do AZ na dose de 60 kg N. ha⁻¹ – C3

	HCT	HMT	HLT	HT	MST	EXTNT	PNV
HCT	1						
HMT	0,78817	1					
HLT	0,336686	0,297248	1				
HT	0,697591	0,684426	0,887691	1			
MST	0,516465	0,513287	0,960078	0,962083	1		
EXTNT	0,656509	0,561229	0,904031	0,966512	0,974273	1	
PNV	-0,57	-0,78	-0,19	-0,49	-0,29	-0,34	1,00

Correlação Linear de Pearson para efeito do AZ na dose de 120 kg N. ha⁻¹ – C3

	HCT	HMT	HLT	HT	MST	EXTNT	PNV
HCT	1						
HMT	0,569218	1					
HLT	0,284995	0,165436	1				
HT	0,753806	0,788099	0,687191	1			
MST	0,530457	0,425086	0,95106	0,874717	1		
EXTNT	0,60107	0,535312	0,90398	0,930543	0,991265	1	
PNV	-0,82	-0,28	-0,61	-0,71	-0,73	-0,75	1,00

Correlação Linear de Pearson para efeito de todos os tratamentos – C4

	HCT	HMT	HLT	HT	MST	EXTNT	PNV
HCT	1						
HMT	-0,20012	1					
HLT	0,226214	0,044041	1				
HT	0,552878	0,365035	0,826088	1			
MST	0,227882	0,49996	0,804571	0,88672	1		
EXTNT	0,311582	0,476633	0,807085	0,918698	0,990796	1	
PNV	0,514967	0,057675	0,045532	0,304365	0,085913	0,137813	1

Correlação Linear de Pearson para efeito de doses de Uréia com Arenito zeolítico – C4

	HCT	HMT	HLT	HT	MST	EXTNT	PNV
HCT	1						
HMT	-0,49306	1					
HLT	-0,02761	-0,32196	1				
HT	0,497553	-0,10502	0,710065	1			
MST	-0,21849	0,034427	0,785482	0,568047	1		
EXTNT	0,063156	-0,17021	0,866685	0,751275	0,951779	1	
PNV	0,531416	-0,33476	-0,52336	-0,24901	-0,8617	-0,6992	1

Correlação Linear de Pearson para efeito do AZ na dose de 60 kg N. ha⁻¹ – C4

	HCT	HMT	HLT	HT	MST	EXTNT	PNV
HCT	1						
HMT	-0,45354	1					
HLT	0,194284	0,49576	1				
HT	0,338589	0,532112	0,965318	1			
MST	0,241806	0,515888	0,971101	0,966365	1		
EXTNT	0,296496	0,462082	0,976697	0,971932	0,996857	1	
PNV	-0,34237	-0,1894	-0,0376	-0,20402	-0,0107	-0,013	1

Correlação Linear de Pearson para efeito do AZ na dose de 120 kg N. ha⁻¹ – C4

	HCT	HMT	HLT	HT	MST	EXTNT	PNV
HCT	1						
HMT	0,069393	1					
HLT	0,191663	-0,15517	1				
HT	0,684917	0,492889	0,612609	1			
MST	0,24458	0,761726	0,502255	0,847114	1		
EXTNT	0,321611	0,68373	0,586914	0,895804	0,990513	1	
PNV	-0,21094	-0,02986	-0,14638	-0,21593	-0,05718	-0,12413	1