

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

DISSERTAÇÃO

**Avaliação da Eficiência Agronômica de Novos Fertilizantes Nitrogenados
Granulados Baseados no Uso da Ureia**

Talita de Santana Matos

2011



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

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE NOVOS FERTILIZANTES
NITROGENADOS GRANULADOS BASEADOS NO USO DA UREIA**

TALITA DE SANTANA MATOS

Sob a orientação do Professor
Dr. Segundo Sacramento Urquiaga Caballero

e Co-orientação
Dra. Claudia Pozzi Jantalia

Dissertação submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciências, no Curso de Pós-Graduação
em Fitotecnia, Área de Concentração
em Produção Vegetal.

Seropédica, RJ
Outubro de 2011

631.842

M433a

T

Matos, Talita de Santana, 1984-.

Avaliação da eficiência agronômica de novos fertilizantes nitrogenados granulados baseados no uso da ureia / Talita de Santana Matos - 2011.

79 f.: il.

Orientador: Segundo Sacramento Urquiaga Caballero.

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

Bibliografia: f. 52-63.

1. Fertilizantes nitrogenados - Teses.
2. Gramínea - Adubos e fertilizantes - Teses.
3. Biomassa vegetal - Teses. I. Urquiaga Caballero, Segundo Sacramento, 1950-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

TALITA DE SANTANA MATOS

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

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 31/10/2011

Segundo Urquiaga. Dr. Embrapa Agrobiologia
(Orientador)

Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ

José Carlos Polidoro. Dr. Embrapa Solos

DEDICATÓRIA

As duas pessoas mais importantes e peças fundamentais em minha vida, Antonio Carlos e Valdete, que em nenhum momento mediram esforços para realização dos meus sonhos, que me guiam pelos caminhos corretos, me ensinaram a fazer as melhores escolhas, me mostraram que a honestidade e o respeito são essenciais à vida, e que devemos sempre lutar pelo que queremos. A eles devo a pessoa que me tornei, sou extremamente feliz e tenho muito orgulho por chamá-los de pai e mãe.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pela dádiva da vida;

Aos meus amados pais, Antonio Carlos de Matos e Valdete de Santana Matos e irmão Diego Matos, pela ajuda, paciência, companheirismo, pelo amor incondicional e pela complacência principalmente nos momentos mais difíceis.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, pela oportunidade concedida para a realização do curso de mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento ao Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Comitê de Orientação Dr. Segundo Urquiaga e Dra. Cláudia Pozzi pelas orientações e ensinamentos recebidos para a realização e conclusão do trabalho.

Ao Dr. Bruno Alves, pela amizade, paciência, e pelos valiosos ensinamentos e sugestões.

A Embrapa Agrobiologia, pelo suporte laboratorial de extrema valia à execução da dissertação.

Aos funcionários de todo o campo experimental da Embrapa Agrobiologia, em especial ao técnico Ernani Meirelles e ao Altiberto Baêta, técnico do laboratório de Nitrogênio pela amizade e eficiência na execução das atividades.

A todos os professores do curso de Pós- Graduação pelos ensinamentos e pelo exemplo de profissionalismo.

Ao pesquisador Dr. José Carlos Polidoro pela oportunidade e incentivo à iniciação científica, pelos ensinamentos e sugestões e pela grande amizade e confiança construída no decorrer deste caminho.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação da UFRRJ e colegas da Embrapa, pela troca de conhecimentos e experiências. Em especial aos colegas do grupo de ciclagem de nutrientes, pela convivência e apoio em todos os momentos de execução desse trabalho.

Aos amigos Selenobaldo Alexnaldo e Rafael Fiusa pessoas fundamentais na execução deste trabalho, sem eles seria difícil chegar à conclusão.

A todos os amigos que fiz neste tempo de UFRRJ, não daria para listar todos os nomes, e as grandes amizades consolidadas nesta fase, Elisamara Caldeira, Glaúcio Genúncio,

Anatoly Torres e Jerusa Maia, pelos diálogos, amizade e por compartilharem momentos importantes da minha vida e que fazem parte da minha história.

A minha grande amiga, irmã, confidente, Erica Lima por todo apoio, amizade, pelos momentos de alegria, e principalmente pela paciência dispensada ao longo de tantos anos.

Aos amigos presentes e aos ausentes que contribuíram de certa forma, direta ou indiretamente. E a todos aqueles que, no momento, possa ter esquecido.

No transcorrer do tempo deste curso, recebi muitas orientação e ajudas, mesmo aquelas consideradas pequenas, foram fundamentais para meu conhecimento profissional e para a conclusão do meu estudo, vão meus maiores agradecimentos por fazer possível meu desejo.

Por enquanto, todo meu sentimento de retribuição pode ser resumido a um sincero:

"Muito Obrigado!"... a todos!

"Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis."

Bertolt Brecht.

BIOGRAFIA

Talita de Santana Matos, filha de Antonio Carlos de Matos e Valdete de Santana Matos, nasceu em 25 de junho de 1984, na cidade do Rio de Janeiro, estado do Rio de Janeiro. Em 2008 graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Durante sua graduação sempre esteve envolvido com estágios e projetos de pesquisa, sendo bolsista de Iniciação Científica pela Embrapa Solos na área de Física e Fertilidade do Solo. Participou do projeto de Formação de Recursos Humanos na Área de Biocombustíveis através da Participação em um Projeto de Desenvolvimento de Materiais Nanoestruturados para Liberação Lenta de Fertilizantes, como bolsista de desenvolvimento tecnológico industrial -3 pelo CNPq. Ingressou no curso de Pós-Graduação em Agronomia- Fitotecnia da UFRRJ em agosto de 2009, concluindo seu trabalho de dissertação de Mestrado na presente data.

RESUMO GERAL

Matos, Talita de Santana. **Avaliação da eficiência agrônômica de novos fertilizantes nitrogenados granulados baseados no uso da ureia.** 79f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

O trabalho objetivou avaliar a eficiência agrônômica de fertilizantes nitrogenados de liberação lenta baseados no uso da ureia, quantificando suas perdas por volatilização de N-NH₃ (PNV), emissão de N₂O e a recuperação do N-fertilizante aplicado em cobertura em comparação com a ureia comercial na cultura de milho. Todos os experimentos foram conduzidos na Embrapa Agrobiologia. Os primeiros experimentos foram realizados em condições controladas em casa de vegetação, utilizando solo da camada de 0-10 cm de um Planossolo Háplico. No primeiro experimento foram usadas bandejas plásticas como unidades experimentais para avaliação das perdas por volatilização com auxílio de câmaras semi-aberta livre estática (SALE). Aplicou-se ureia comercial (UC), ureia + KCl (UK), ureia + ácido húmico (UH), ureia + arenito zeolítico (UZ) e ureia + gesso agrícola (UG) em duas condições de pH (5,4 e 6,5). O outro experimento utilizou vasos plásticos contendo amostras do mesmo solo como unidades experimentais onde foram plantados 3 plantas de *Brachiaria decumbens*. Neste caso os fertilizantes foram enriquecidos com ¹⁵N, também em duas condições de pH (pH 5,4 e 6,5). Os tratamentos UZ e UK foram mais eficientes na retenção do N no solo do que a UC, apresentando menores perdas por volatilização de N-NH₃ de 20,2 e 15,8% sob condição de calagem e 22 e 17,2% quando sem calagem, respectivamente. Os fertilizantes UK e UG apresentaram aumento total de aproximadamente 149 e 146% na produção de biomassa seca ao final do ciclo da cultura em condição de pH 5,4. Em pH 6,5 o fertilizante UG apresentou aumento de rendimento de 149,3%. O acúmulo de N na planta foi de 279,2 e 270,3 mg N.vaso⁻¹ quando não foi aplicado calagem para os tratamentos UK e UG, respectivamente e quando com calagem, 207,4 e 200,6 mg N.vaso⁻¹ para os tratamentos UG e UH, respectivamente. Os tratamentos UZ e UK apresentaram maior recuperação pelas plantas do N aplicado, com valores de 65,5 e 61,9% sem calagem e 60,2 e 45,7% com calagem, respectivamente. O outro experimento foi realizado no campo na área experimental da Embrapa Agrobiologia com objetivo de quantificar as perdas por volatilização de amônio, as emissões de N₂O e a eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados (EUFN) de liberação lenta pela cultura de milho, no balanço de N. Os tratamentos consistiram da aplicação no campo em cobertura dos fertilizantes nitrogenados ao lado da linha de plantio e um tratamento controle. As emissões de N₂O foram avaliadas utilizando-se câmaras estáticas fechadas. Foi utilizado fertilizantes enriquecidos com ¹⁵N em microparcels para a avaliação da EUFN. Os tratamentos UZ e UK reduziram as perdas de N-NH₃ por volatilização em aproximadamente 18 e 14%, respectivamente. Estas perdas corresponderam a 32,3 e 35,7% do total de N aplicado no solo. Para as emissões de N₂O o tratamento UK foi o que apresentou maiores perdas por emissão de N₂O atingindo valores de 2,02 kg N.ha⁻¹. As maiores produtividades de grão foram obtidas pelos tratamentos UG e UZ que apresentaram melhor resposta de produção de grãos atingindo valores de 9.666 e 9.940 kg.ha⁻¹, respectivamente. Para EUFN o tratamento UZ apresentou o maior valor de N recuperado chegando a 67% do total do N aplicado no sistema solo-planta.

Palavras-chave: Biomassa vegetal, ¹⁵N, Gramínea, adubo, Granulação.

GENERAL ABSTRACT

Matos, Talita de Santana. **Evaluation of new agronomic efficiency on nitrogen fertilizer granular , based on the use of urea.** 79f. Dissertation (Master in Agronomy, Plant Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

A study was conducted to evaluate the agronomic efficiency of nitrogen fertilizer with slow-release urea, measuring their losses by volatilization of $\text{NH}_3\text{-N}$, N_2O emission and recovery of fertilizer nitrogen applied as top dressing compared with commercial urea to corn crop. All experiments were conducted at Embrapa Agrobiology. Firstly, the experiments were performed under controlled conditions in a greenhouse using soil layer of 0-10 cm of a haplic planosol. In the first experiment, the plastic trays were used as experimental units for evaluation of losses due to volatilization chambers with the aid of semi-open static free (SALE). Commercial urea was applied (UC), urea + KCl (UK), humic acid + urea (UH), urea + zeolitic sandstone (UZ) and urea + gypsum (UG) in two conditions of pH (5.4 and 6.5). Secondly, the other experiment was conducted using plastic pots containing the same soil samples as experimental units where they were planted three plants of *Brachiaria decumbens*. In this case, fertilizers were enriched with ^{15}N , in two pH conditions too (pH 5.4 and 6.5). Treatments UZ and UK were more efficient in retaining N in the soil than the UC, with smaller losses through volatilization of $\text{NH}_3\text{-N}$, and 20,2 and 15,8% on condition of lime and 22 and 17,2% when Liming did not occur, respectively. The UK fertilizer and UG showed overall increase of about 149 and 146% on dry biomass production at the end of the cycle on condition of pH 5.4. At pH 6.5 UG fertilizer showed yield increases of 149,3%. The accumulation of N in the plant and was 279,2 and 270,3 mg N.vaso⁻¹ when no lime was applied to the UK and UG treatments, respectively, and the limed, 207.4 and 200,6 mg N.vaso⁻¹ for the treatments UG and UH, respectively. Treatments UZ and UK had the highest recovery of applied N by plants, with values of 65,5 and 61,9% without lime, 60,2 and 45,7% with lime, respectively. Thirdly, other experiment was conducted at the experimental field at Embrapa Agrobiology in order to quantify the PNV, N_2O emissions and efficiency of nitrogen fertilizer use (NFUE) slow-release by a corn crop on N balance. Treatments consisted of field application of nitrogen fertilizers in coverage along the rows and a control treatment. Emissions of N_2O were evaluated using static chambers closed. Was used fertilizers enriched with ^{15}N in little plots for the assessment of NFUE. The treatments UZ and UK reduced the losses of N-NH_3 by volatilization in approximately 18 and 14%, respectively. These losses corresponded to 32,3 and 35,7% of total N applied to soil. For N_2O emissions the UK treatment showed the largest emission of N_2O losses reaching values of 2.02 kgN.ha⁻¹. The highest yield of grain were obtained by treatments that UG and UZ had a better response of grain production reaching values of 9666 and 9940 kg ha⁻¹ respectively. To NFUE treatment UZ showed the highest values of N recovered reaching 67% of the total N applied system soil plant.

Key words: Biomass, ^{15}N , Grass, granulated, fertiliser.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultado da análise química do solo antes da implantação do experimento.....	16
Tabela 2. Perdas totais em kg N.ha-1 e percentual de perda de NH ₃ por volatilização do N aplicado nos cinco fertilizantes nitrogenados, sem calagem em bandejas, em casa de vegetação.....	22
Tabela 3. Produção de biomassa seca de parte aérea e raízes de <i>Brachiaria decumbens</i> após 120 dias de crescimento sob adubação de cobertura de nitrogênio de 200kgN.ha-1 na forma de ureia comercial (UC), ureia +KCl (UK), ureia+ácido húmico, ureia+arenito zeolítico (UZ), ureia+gesso agrícola (UG) e controle, em solo sem e com calagem.....	24
Tabela 5. Recuperação do N-fertilizante na parte aérea e raiz de plantas de <i>Brachiaria decumbens</i>	28
Tabela 6. Resultado da análise química do solo antes da implantação do experimento.....	34
Tabela 7. Tratamentos utilizados no experimento.....	35
Tabela 8. Emissões acumuladas e Fatores de emissão de N-N ₂ O provenientes da aplicação de cinco fertilizantes nitrogenados em um Planossolo cultivado com milho.....	42
Tabela 9. Volatilização de N-amônia derivados da aplicação de cinco fertilizantes nitrogenados em solo cultivados com milho.....	44
Tabela 10. Biomassa seca de palha, massa seca de grãos e N total em plantas de milho.....	45
Tabela 11. Nitrogênio total acumulado, nitrogênio proveniente do fertilizante na planta (palha e grão-NPF) e nitrogênio derivado do solo (NPS).....	47
Tabela 12. Nitrogênio do Solo derivado do fertilizante nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm após o cultivo de milho.....	49
Tabela 13. Recuperação do N-fertilizante na planta, no solo, por perdas por volatilização e por emissão de N ₂ O no ciclo total da cultivo de milho.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema do sistema coletor de N-NH ₃ semi aberto estático –SALE (ARAÚJO et al., 2009). Desenho esquemático elaborado por BARLOESIUS (2010).....	18
Figura 1: Esquema do sistema coletor de N-NH ₃ semi aberto estático –SALE (ARAÚJO et al., 2009). Desenho esquemático elaborado por BARLOESIUS (2010).....	18
Figura 2. Volatilização de N-NH ₃ em vinte e um dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (200kg N.ha-1) com ureia comercial; ureia+KCl; ureia + ácido húmico; ureia+ arenito zeolítico; ureia+ gesso agrícola e testemunha (sem aplicação de N) sem calagem (a) e com calagem (b).....	21
Figura 3: Efeito do N-volatilizado das fontes nitrogenadas aplicadas à superfície na produção de biomassa de <i>Brachiaria decumbens</i>	27
Figura 3: Efeito do N-volatilizado das fontes nitrogenadas aplicadas à superfície na produção de biomassa de <i>Brachiaria decumbens</i>	27
Figura 4. Representação da parcela experimental total, com microparcels (verde) ao centro. Em vermelho estão as linhas colhidas para determinação da produção de grãos e biomassa do milho.	35
Figura 4. Representação da parcela experimental total, com microparcels (verde) ao centro. Em vermelho estão as linhas colhidas para determinação da produção de grãos e biomassa do milho.	35

Figura 5. Precipitação, temperatura do ar, Espaço Poroso Saturado com Água (EPSA) e emissões de N ₂ O do solo com aplicação de cinco fertilizantes nitrogenados.....	40
Figura 6. Teores de NO ₃ ⁻ do solo antes e após a aplicação de cinco fertilizantes nitrogenados. A seta indica a data da aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura.....	41
Figura 7. Volatilização de N-NH ₃ em vinte e sete dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (150 kg Kg.ha ⁻¹) com ureia comercial; ureia+KCl; ureia + ácido húmico; ureia+ arenito zeolítico; ureia+ gesso agrícola.....	43
Figura 8: Efeito de N- volatilizado das fontes nitrogenadas aplicadas à superfície na produtividade do milho.....	46
Figura 9. Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado na planta de milho. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Scott-Knott.....	48
Figura 9. Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado na planta de milho. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Scott-Knott.....	48

LISTA DE ABREVIÇÕES

PV-	Perdas por volatilização
PNV-	Perdas de nitrogênio por volatilização
UC-	Ureia Comercial
UK-	Ureia + Cloreto de Potássio
UH-	Ureia + Ácido Húmico
UZ-	Ureia + Arenito Zeolítico
UG-	Ureia + Gesso Agrícola
KCl-	Cloreto de Potássio
N-	Nitrogênio
GEE-	Gases de Efeito Estufa
PAG-	Potencial de aquecimento global

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REVISÃO DE LITERATURA.....	3
1.1.Importância do Nitrogênio Para as Plantas.....	3
1.2.Demanda de fertilizantes nitrogenados pela agricultura mundial e nacional.....	3
1.3.Fertilizantes Nitrogenados.....	4
1.4.Perdas de Nitrogênio por Volatilização de N-NH ₃	5
1.5.Métodos Diretos e Indiretos para Quantificação do N-NH ₃ Volatilizado do solo.....	6
1.6. Emissões de N ₂ O e o Efeito estufa.....	7
1.7. O uso de isótopos estáveis nos estudos da dinâmica do N no solo.	9
1.8.O uso de fertilizantes de liberação lenta e controlada.....	9
1.9.Importância da Cultura do Milho.....	10
1.10.Importância do Nitrogênio para a Cultura do Milho.....	11
CAPÍTULO I.	12
aVALIAÇÃO DAS PERDAS POR VOLATILIZAÇÃO DE nH ₃ EM NOVOS FERTILIZANTES NITROGENADOS E DINÂMICA DO n EM CULTURA INDICADORA.....	12
1.11.INTRODUÇÃO.....	15
1.12.MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
1.12.1.Caracterização experimental.....	16
1.12.2.Fertilizantes Granulados.....	16
1.12.3.EXPERIMENTO 1. Avaliação da volatilização de N-NH ₃ pela aplicação superficial de ureia comercial e ureia granulada com gesso agrícola, Ácido Húmico, Arenito zeolítico ou Cloreto de potássio em condições controladas.....	17
1.12.4.EXPERIMENTO 2. Avaliação da disponibilidade do N oriundo da aplicação superficial de ureia comercial e ureia granulada com gesso agrícola, Ácido Húmico, Arenito zeolítico Nacional ou Cloreto de potássio em condições controladas usando Brachiaria decumbens como cultura indicadora.....	19
1.13.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
1.13.1.Experimento de quantificação do N volatilizado.....	21
1.13.2.Experimento de avaliação da dinâmica do N.....	24
1.14.CONCLUSÕES.....	29

CAPITULO II-	30
Avaliação da eficiência agronômica e destino do N de Novas formulações de fertilizantes nitrogenados baseados no uso da ureia, na cultura do milho (Zea Mays).....	30
1.15.INTRODUÇÃO.....	33
1.16.MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
1.16.1.Caracterização da Área:.....	34
1.16.2.Quantificação das emissões de N ₂ O derivado do solo pela aplicação dos tratamentos	35
1.16.3.Quantificação do N volatilizado (NH ₃) do fertilizante.....	37
1.16.4.Determinação da produção de biomassa aérea e grãos.....	37
1.16.5.Calculo do Nitrogênio derivado do fertilizante.....	37
1.17.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
1.17.1.Emissões de N ₂ O derivadas de aplicações de diferentes fontes de nitrogênio na cultura do milho.....	39
1.17.2.Emissões de N ₂ O acumuladas e Fatores de emissão.....	42
1.17.3.Quantificação das perdas de N-fertilizantes por volatilização de amônio.....	43
1.17.4.Biomassa, produtividade e acúmulo de N na palha e nos grãos de milho.....	45
1.17.5.Avaliação da Eficiência do uso do fertilizante nitrogenado (EUFN).	47
1.17.6. Recuperação do N proveniente da adubação nitrogenada pelo milho.....	47
2 N residual derivado do fertilizante nas camadas 0-20 e 20-40 cm, no cultivo de milho na dose de 150 kg de N.ha ⁻¹	48
2.1.CONCLUSÕES.....	51
Considerações finais.....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

INTRODUÇÃO GERAL

A produção de alimentos duplicou nas últimas quatro décadas, com o objetivo de suprir a demanda nutricional gerada pelo crescimento populacional. Esta duplicação está mais associada a um aumento na utilização de fertilizantes nas lavouras (em torno de 46%) do que o aumento da área plantada (15%) (LOPES,2007).

O modelo de agricultura moderna exige novos desafios em toda cadeia produtiva. Em função do aumento da população mundial e por conseqüência da demanda por alimentos, torna-se necessário conseguir altas produtividades e com isso intensificar as práticas agrícolas levando a um aumento da exploração do solo (STAFANATO, 2009). Pode-se considerar como condição para a rápida degradação do solo, o manejo inadequado e uso de quantidades elevadas de insumos agrícolas o que leva a diminuição do seu potencial agrícola (AMARAL SOBRINHO et al. 1992). Desta forma o conhecimento de solos, manejo e conservação tornam-se ferramenta fundamental, tanto para produção econômica, quanto para questões ambientais.

Segundo BOARETTO et al.(2007), o nitrogênio é um dos macro elementos empregados na forma de fertilizantes em grandes quantidades na agricultura moderna. Este nutriente é exigido em maior quantidade pelas plantas, fazendo parte de todos os seus aminoácidos e ácidos nucléicos além de vários outros compostos (EPSTEIN & BLOOM, 2005). No metabolismo vegetal, tem como função a regulação de muitos processos, como enchimento de grãos e teor de proteínas, além de influenciar a utilização de outros nutrientes como potássio e fósforo (BUCKMAN & BRADY, 1969). Entretanto, a complexidade dos fatores que afetam o seu aproveitamento pelas plantas faz com que ele participe de inúmeros estudos, principalmente para avaliar sua dinâmica no solo e a sua relação com a eficiência da adubação.

A atmosfera é a reserva deste elemento, assim as quantidades mais significativas do N presente no sistema solo-planta são provenientes dela. Este processo de aquisição do N atmosférico no sistema se dá por: (a) descargas elétricas na atmosfera quando o nitrogênio é reduzido a óxidos; (b) FBN por microorganismos de vida livre ou em associações com leguminosas; (c) fixação industrial do N onde, através do processo de síntese de amônia (NH_3) e ácido nítrico (HNO_3) são produzidos os vários tipos de fertilizantes nitrogenados (RAIJ,1991).

A produção de fertilizantes cresceu e tornou-se importante para a economia do país. E assim, esse processo de crescimento tornou-se insustentável. Em média 75% dos fertilizantes nitrogenados consumidos no Brasil são importados, e a importação vem aumentando numa faixa superior a 4% do consumo ao ano, desta forma, o nível de dependência pelo produto importado se tornará cada vez mais crítico (FACRE, 2007). Portanto, haverá significativo impacto negativo na balança comercial do país, além de tornar a disponibilidade deste nutriente mais suscetível a fatores externos. Com isso torna-se necessário buscar a independência do setor agrícola através de produção de insumos alternativos, reciclagem de nutrientes e, elevação da eficiência dos fertilizantes. A maior eficiência será alcançada com o desenvolvimento de novas tecnologias em acordo com as condições climáticas e as exigências das culturas para cada região (WERNECK, 2008).

A ureia é o principal adubo nitrogenado utilizado por apresentar menor custo por unidade de nutriente, além de ser altamente solúvel em água e pela boa assimilação dos seus produtos pelas plantas. Entretanto, apresenta restrições quanto às perdas de nitrogênio que podem comprometer sua eficiência (STAFANATO, 2009). Calcula-se que cerca de 50% do N aplicado aos solos não é aproveitado pelas plantas num primeiro ciclo (CANTARELLA, 2007a). O nitrogênio pode ser perdido por volatilização de amônia, lixiviação de nitrato e

desnitrificação. Segundo LARA CABEZAS et al. (1997b), as perdas por volatilização e lixiviação podem chegar mais ou menos 80% do nitrogênio da ureia aplicado.

As emissões de N_2O do solo são dependentes de vários fatores, um deles é a disponibilidade de oxigênio nos poros do solo que tem grande influência no processo de desnitrificação. Admite-se que em solos com saturação por água menor que 50-60%, os fluxos de N_2O são menores (LIU et al., 2007), sendo os fluxos mais elevados notados em níveis de saturação próximos de 80-85%. Sob temperaturas mais elevadas, os fluxos são ainda maiores. Essas duas são consideradas elementos principais em relação ao nível dos fluxos de N_2O em sistemas de produção, daí a ideia de que sob condições tropicais as emissões deste gás podem ser muito elevadas. O óxido nitroso apresenta baixa concentração na atmosfera sendo assim, é considerado como gás traço. Sua concentração vem aumentando a taxa de 0,8 ppb.ano⁻¹ (0,25%.ano⁻¹) tendo seus valores aumentado de 270 para 317 ppb de meados do século XVIII até 2003. Entretanto, é um gás muito ativo para o efeito estufa devido à sua alta capacidade de absorver radiação infravermelha e sua alta estabilidade na atmosfera. Portanto, é um dos gases mais relevantes para o efeito estufa (OLIVEIRA, 2009). Desta forma, torna-se indispensável o desenvolvimento de pesquisas sobre a real contribuição da adubação nitrogenada para o efeito estufa, além do desenvolvimento de alternativas para melhorar os fertilizantes utilizados.

Portanto, o aumento da eficiência dos fertilizantes nitrogenados, principalmente a ureia, torna-se fundamental para que haja disponibilidade suficiente do nutriente e diminuição das suas perdas para a atmosfera, reduzindo sua contribuição com a contaminação do ambiente.

A hipótese científica estabelecida para esse estudo é a de que a utilização de fertilizantes nitrogenados granulados a base de ureia é capaz de reduzir tanto as perdas de nitrogênio por volatilização de $N-NH_3$, quanto por emissão de N_2O e assim aumentar a eficiência agrônômica da ureia. Tendo como objetivo de tornar a liberação de N lenta ou gradual.

Os objetivos do estudo foram:

a) Avaliar novos fertilizantes granulados baseados no uso de ureia, com o intuito de minimizar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia, e aumentar a eficiência de recuperação do fertilizante aplicado na cultura de milho.

b) Quantificar as emissões de N_2O derivadas do uso dos fertilizantes granulados baseados no uso da ureia, na cultura do milho.

REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Importância do Nitrogênio Para as Plantas

Entre os elementos minerais, o N é essencial para a vida das plantas por fazer parte da composição da maioria dos compostos orgânicos, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, hormônios e clorofila (MALAVOLTA, 2006). Com isso, o nitrogênio é considerado o macronutriente mineral mais importante na composição química das plantas (RAIJ, 1991). Além disso, participa das principais reações bioquímicas, do metabolismo vegetal e tem importante participação nos ciclos biogeoquímicos, que são controlados por fatores físicos, químicos, e biológicos e afetado por condições climáticas de difícil previsão e controle. A redução de nitrato a amônio e a incorporação destes, nas plantas são responsáveis por um quarto do gasto energético dos vegetais (EPSTEIN & BLOOM, 2005).

De todo o nitrogênio encontrado no solo aproximadamente 98% está na forma orgânica, sendo componente dos restos vegetais e da matéria orgânica do solo em diferentes partículas e com variados graus de recalcitrância, ou ainda como parte de organismos vivos (CANTARELLA, 2007b), e somente cerca de 2% encontra-se em frações inorgânicas.

Assim, segundo CANTARELLA (2007a) mesmo com um elevado estoque de N-orgânico no solo, ele não se encontra disponibilizado para atender a demanda das plantas. Esta disponibilização é dependente da ocorrência de mineralização, ou seja, da transformação do nitrogênio da forma orgânica para a inorgânica. A mineralização depende de vários fatores que determinam a atuação dos diversos grupos de microorganismos que realizam o processo e estima-se que anualmente esta transformação não passa de 3% do N total do solo.

O nitrogênio pode ingressar no sistema solo – planta por diferentes vias; como por exemplo, deposições atmosféricas através de descargas elétricas na atmosfera, fixação biológica de N₂ por bactérias diazotróficas de vida livre, simbióticas e associadas as espécies vegetais e através de adubações químicas ou orgânicas. Em contra partida, também pode ser retirado do sistema por muitas vias, entre elas se incluem a lixiviação, volatilização de amônia e desnitrificação, além da exportação pela própria cultura (CANTARELLA, 2007a).

1.2. Demanda de fertilizantes nitrogenados pela agricultura mundial e nacional

A população mundial vem crescendo continuamente trazendo como grande desafio do setor agrícola para as próximas décadas incremento na produção de alimentos, visando atender a demanda da população. A Organização das Nações Unidas para Agricultura e a Alimentação (FAO) estima que em 2050 seja necessário aumentar em 50 a 70% a produção de cereais, como arroz, trigo e milho que representam cerca de um terço da proteína total consumida e utilizam aproximadamente 60% do N empregado como fertilizante devido o aumento da população mundial para 9,3 bilhões de habitantes. Assim, caso não haja aumento na eficiência da adubação, deverá haver um aumento similar em magnitude no uso de fertilizantes nitrogenados (BOARETTO et al, 2007). Decorre daí a necessidade de aumentar a eficiência do uso de N pelas plantas do N derivado dos fertilizantes (BOARETTO et al., 2007).

De acordo com dados da Associação internacional de Industrias de Fertilizantes (IFA), o consumo de fertilizantes nitrogenados no mundo, superou em 6 milhões de toneladas de nutrientes em 2006, o consumo ocorrido em 2005. E estimou-se que entre os anos de 2007 e 2011, o crescimento seguiria uma taxa de 2,4% anuais. A participação da ureia na produção de fertilizantes nitrogenados no Brasil e no mundo, alcançou 52% em 2006. A produção mundial foi de 134,7 milhões de toneladas de ureia, concentrando-se 49% da produção na

China e na Índia, estes países representam 54% do mercado consumidor, sendo portanto, necessário realizar importações para o suprimento da demanda pelos mesmos (FACRE, 2007).

Poucos países têm condições de elevar a produtividade das culturas, devido à falta de tecnologias sustentáveis de produção. Assim sendo, o Brasil é um dos poucos países com grandes possibilidades de participar deste processo (LOPES & BASTOS, 2007). Utiliza apenas 284 milhões de hectares, cerca de 34% de sua área total na agropecuária, sendo 64 milhões em agronomia e 220 milhões em pastagens, mantendo ainda 49% do território sob vegetação de florestas e como áreas protegidas (SCOLARI, 2009). Ocupa 4º lugar no consumo mundial de fertilizantes NPK, e o 6º lugar quando se considera somente o consumo de nitrogênio (N) (LOPES & BASTOS, 2007).

Nos anos 80 o Brasil era responsável pela produção de mais de 95% dos fertilizantes nitrogenados utilizados no país e agora produz apenas 60% de todo o fertilizante consumido (ANDA, 2006). Tem-se projetado que em 2015 o consumo de N seja em torno de 3,8 milhões de toneladas, sendo este aumento ligado muito mais ao aumento da área plantada do que o aumento médio de consumo de nutriente por ha (FACRE, 2007). Em 2007, o Brasil importou cerca de 90% da demanda de sulfato de amônio, 73% de ureia (3º maior importador mundial de ureia) e, 76,9% do nitrato de amônio. No Brasil, entre os anos de 1994 a 2007, o consumo de fertilizantes aumentou 6,32% ao ano alcançando 29,8 milhões de toneladas em 2007 (ANDA, 2006). O aumento no consumo de nutrientes pelas culturas será devido muito mais ao aumento da área plantada de 71,7 milhões de hectares em 2007 para 95,2 milhões de hectares em 2015, do que do aumento no consumo médio de nutrientes por hectare (FACRE, 2007).

A segurança alimentar já é tida como preocupação por inúmeros pesquisadores e especialistas, visto que 70% da produção mundial de adubos nitrogenados está concentrada em quatro países asiáticos, que geralmente consomem também mais ureia que a produção interna. Portanto, alternativas devem ser procuradas para conseguir aumentar a eficiência agrônômica do N derivado da ureia na agricultura tropical (WERNECK, 2008).

1.3. Fertilizantes Nitrogenados

Temos como principais fertilizantes nitrogenados de origem mineral consumidas no mundo: ureia, sulfato de amônio, nitrato de amônio, fosfato monoamônio (MAP), nitrocálcio, amônia anidra, aquamônia, uran, fosfato diamônio (DAP), nitrato de sódio, nitrato de cálcio e nitrosfosfatos. No Brasil, em 2006 o consumo de N esteve distribuído em: 49,7% na forma de ureia, 15,3% como sulfato de amônio e 14,2% como MAP (ANDA, 2006). Outras fontes de fertilizantes nitrogenados também são citados como; nitrocálcio (27% N), amônia anidra (82% N), aquamônia (20% N), uran (28 a 32% N), fosfato diamônio (DAP), nitrato de sódio (16% N), nitrato de cálcio (15 a 16% N e 19% Ca) e nitrosfosfatos, produzidos pelo tratamento de rochas fosfatadas com ácido nítrico, resultando em ácido fosfórico, nitrato de cálcio e nitrato de amônio (CANTARELLA, 2007a).

A ureia é um composto nitrogenado sólido, que se apresenta na forma de grânulos brancos e possui 46% de N na forma amídica. É o fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo, e tem como vantagens a maior concentração de N em comparação as outras fontes nitrogenadas disponíveis no mercado. Esta característica contribui para menor custo de transporte, estocagem e aplicação por unidade de N. Tem como outras características ser altamente solúvel em água, ter menor corrosividade e apresentar compatibilidade com diversos fertilizantes e defensivos (CANTARELLA, 2007a).

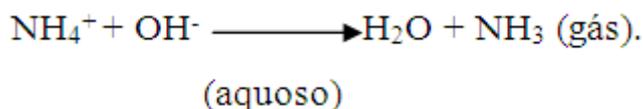
A ureia apresenta algumas desvantagens como: a elevada higroscopicidade, possibilidade de presença de biureto, elemento fitotóxico, possibilidade de perdas por lixiviação devido a sua alta solubilidade, ainda que inferiores às fontes nítricas e, principalmente, possibilidade de elevadas perdas por volatilização de NH_3 , uma vez que, depois de aplicada ao solo, sofre hidrólise enzimática, ocorrendo liberação de amônia (CANTARELLA, 2007a e 2007b).

A segunda fonte nitrogenada mais utilizada no Brasil, segundo a ANDA (2006), é o sulfato de amônio que apresenta 23% de N em sua composição e ainda contém 23% de S, apresenta algumas vantagens sobre a ureia e outras fontes de N como, baixa higroscopicidade e boas propriedades físicas, pois possui baixa tendência de perdas por volatilização de N e baixa taxa de nitrificação, além de ser uma fonte mais econômica de enxofre e aumentar a solubilidade do fósforo e do manganês do solo, melhorando o aproveitamento desses nutrientes pelas plantas aumentando a produtividade das culturas (COLLAMER et al., 2007). Tais características proporcionam vantagens agrônômicas, levando, com frequência, a rendimentos elevados e à melhoria na qualidade do produto agrícola (COLLAMER et al., 2007). Porém, seu elevado preço por unidade de N (superior ao da ureia 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).

Outra fonte é o nitrato de amônio que apresenta 33% N em sua composição sendo metade na forma nítrica e a outra metade na forma amoniacal. É a fonte nitrogenada mais utilizada em vários países do norte da Europa, e, no Brasil, corresponde a quarta fonte mais utilizada (ANDA, 2006). Por poder ser utilizado na fabricação de explosivos, sua produção, transporte e estocagem são controlados. Dessa forma, a perspectiva é que o nitrato de amônio tenha sua participação cada vez menor nos mercados (CANTARELLA, 2007a).

1.4. Perdas de Nitrogênio por Volatilização de N-NH_3

O processo de volatilização de N-NH_3 consiste na transferência de amônia gasosa do solo para a atmosfera, sendo determinado pelo conceito de equilíbrio de concentrações. Segundo DIEST (1988), o processo de volatilização é definido pela passagem do N-NH_3 presente no solo à atmosfera de acordo com a reação:



Segundo VOLK (1959), a adição de água tem influência direta na hidrólise da ureia, pois, promove o aumento na difusão ocorrendo em solos úmidos, sendo que quanto mais rápida a hidrólise, maior o potencial de perda de N-NH_3 devido ao maior contato do adubo com a urease no solo (SAVANT et al., 1987).

A perda de nitrogênio por volatilização de amônia para a atmosfera é um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência da ureia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ em fornecer nitrogênio às culturas (KIEHL, 1989). É estimado que apenas 40% do N-fertilizante aplicado ao solo são aproveitados pelas plantas cultivadas (BOARETTO et al., 2007). As perdas são influenciadas diretamente por vários fatores climáticos como: temperatura e a precipitação, além da incidência e velocidade do vento (MARTHA JÚNIOR, 2003). Fatores com trocas gasosas, evaporação da água, o conteúdo de água no solo, o pH, o poder tampão do solo, a capacidade de troca catiônica e a atividade da urease (FRENEY et al., 1985; HARGROVE, 1988) também favorecem as perdas. Em condições alagadas esta perda pode ser influenciada

pela concentração de N-NH_4^+ na água de alagamento, o pH da água e o estado vegetativo da planta (JAYAWEERA & MIKKELSEN, 1991).

As perdas de amônia são influenciadas pela temperatura que aumenta a atividade da enzima urease que catalisa a hidrólise da ureia, mantendo a taxa de atividade enzimática até 40°C (BREMNER & MULVANEY, 1978). Devido à influência do fator temperatura, conclui-se que em condições tropicais a adubação nitrogenada tem menor eficiência quando se compara a seu uso em regiões de clima subtropical ou temperado. A enzima urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, ainda, originada de restos vegetais. Portanto, fatores que afetam a integridade dos microorganismos juntamente com as características bioquímicas da enzima podem aumentar a hidrólise da ureia (REYNOLDS et al., 1987).

Outra condição para a redução das perdas gasosas é quando o NH_3 é convertido rapidamente a NH_4^+ , sendo esta transformação dependente do pH que se encontra ao redor dos grânulos de ureia (DA ROS et al., 2005). Fatores que influenciam o pH do solo irão influenciar diretamente as taxa de perdas. Desse modo, valores elevados de pH aumentam as perdas de N-NH_3 (FRENEY et al., 1985; HARGROVE, 1988).

URQUIAGA et al. (1989) relatam que as perdas do N-fertilizante quando aplicado na superfície do solo úmido e sobre solo seco seguido de irrigação são significativamente superiores (42% e 37%, respectivamente) às perdas nas aplicações sobre a superfície do solo seco ou enterrado em solo úmido (23,4% e 22%, respectivamente). Observações feitas por RODRIGUES & KIEHL (1986), mostraram que a aplicação de ureia em cobertura favoreceu a perda de quase todo nitrogênio aplicado, ao passo que, quando ela foi incorporada a 5 cm de profundidade a volatilização de amônia foi melhor controlada e quando as doses foram menores, o controle da volatilização foi também menor.

1.5. Métodos Diretos e Indiretos para Quantificação do N-NH_3 Volatilizado do solo.

Entre os métodos utilizados para a determinação das perdas por volatilização de amônia resultante da aplicação de fertilizantes nitrogenados estão os métodos indiretos ou métodos diretos. Os métodos diretos são caracterizados pelo uso de câmaras fechadas estáticas (VOLK, 1959; SOMMER & OLSEN, 1991); fechado dinâmico (KISSEL et al., 1977); e semi-aberto estático (NÔMMIK, 1973), que são baseados na captura, em meio ácido, da amônia volatilizada, sendo métodos práticos e com custos reduzidos. No entanto, apresentam a desvantagem de alterarem as condições climáticas como temperatura, umidade relativa, ventilação, comprimento e intensidade das ondas luminosas e formação de orvalho, o que afeta o processo de volatilização de NH_3 em seu interior, diferindo com o que realmente ocorre no campo (LARA CABEZAS & TRIVELIN, 1990).

Outros métodos diretos são os conhecidos como micrometeorológicos que necessitam de detectores de gases e anemômetros, o que eleva o custo material e operacional destas medições. Apresenta a vantagem de não alterar as condições climáticas próximas à superfície do solo e, conseqüentemente, não influencia no processo de volatilização. Já os métodos indiretos são baseados no uso de balanço isotópico de ^{15}N (ARAÚJO, 2008). Segundo LARA CABEZAS E TRIVELIN (1990), os métodos micrometeorológicos e o balanço isotópico de ^{15}N são os únicos que permitem quantificar o processo sem influenciar na atmosfera próxima da superfície do solo, como também nas propriedades químicas e biológicas deste. Mas, tem custo elevado e são de difícil aplicação quando utilizados em condições de campo, o balanço de ^{15}N é utilizado na calibração dos sistemas de incubação, permitindo seu uso para estimar o N-NH_3 volatilizado (ARAÚJO, 2008).

Outros métodos realizados em condição de laboratório são citados na literatura (ROCHETTE et al., 2001), são métodos mais sofisticados e de elevado custo financeiro, e não

são de fácil utilização em condições de campo. Conforme relatado por Smith et al. (2007), o método para quantificar a volatilização de N-NH₃ deve ser de fácil reprodução. LARA CABEZAS E TRIVELIN (1990), avaliaram as três técnicas utilizando as câmeras: fechada estática descrita por NÖNMIK (1973), fechada dinâmica (com túnel de vento) e micrometeorológica, e os resultados foram comparados com o método indireto com uso de ¹⁵N. As câmaras fechada dinâmica e micrometeorológica apresentaram resultados satisfatórios, porém são difíceis e de alto custo. Relataram também que a câmara fechada estática, a mais simples, subestimou a volatilização de NH₃. O sistema fechado-estático pode impedir que a volatilização aconteça de forma semelhante a que acontece em condições naturais, pois transformam o ambiente na superfície do solo, uma vez que isolam o solo do ar atmosférico. Esses autores observaram que esse coletor, mesmo após modificações, apresentou taxa de recuperação que variou de 1 a 50% do total de N-NH₃ 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-NH₃ volatilizado. Observou-se então a necessidade de se calibrar um sistema com alta eficiência, que seja prático e de baixo custo.

Assim, MARSOLA et al. (2000) desenvolveu um sistema coletor semi-aberto, consistindo de uma câmara coletora, constituída de garrafa de plástico transparente do tipo PET, com uma fita de papel embebida em solução ácida. Mesmo sem calibração da câmara feita para condições de campo, HUNGRIA et al. (2006) já vinha utilizando para quantificar a volatilização de amônia. Com o objetivo de calibrar e assim, aumentar a eficiência da câmara, ARAÚJO et al. (2009) propôs modificações no modelo original, substituindo a fita de papel por uma lâmina de espuma de poliuretano nas mesmas dimensões e adaptando o modelo para condições de campo, usando a base da garrafa de forma invertida na parte superior da garrafa impedindo assim, a interferência da entrada de água das precipitações ou da irrigação. Avaliações com uso do balanço de ¹⁵N e em condições controladas foram realizadas, mostrando que a eficiência da câmara não varia com as doses de N aplicadas. A eficiência do coletor para a recuperação do N amoniacal volatilizado foi de 57%. A real quantidade de N-volatilizado é conseguida pelo uso do fator 1,74 para correção dos resultados obtidos em condições de campo e 1,48 para condições controladas (casas de vegetação) (ARAÚJO et al., 2009).

1.6. Emissões de N₂O e o Efeito estufa

O efeito estufa é fenômeno natural, promovido pela concentração dos gases de efeito estufa (GEE), com destaque para o CO₂, CH₄ e N₂O, sendo assim responsáveis pela manutenção da temperatura média do planeta em +15°C (BAIRD, 2002). Entretanto, outros gases com potencial para contribuir com o efeito estufa não encontrados naturalmente na natureza estão sendo introduzidos na atmosfera, como os CFCs e HFCs, que agravam esse efeito.

Desde a Revolução Industrial, a utilização de combustíveis fósseis, o aumento da atividade industrial, e as mudanças de uso da terra elevaram as concentrações destes gases na atmosfera, e, conseqüentemente, uma intensificação do efeito estufa responsável pelo aquecimento do planeta, descrito como um fenômeno climático de grandes extensões, ou seja, uma elevação da temperatura média do planeta.

Atualmente um papel importante no ciclo de emissões e absorção dos gases do efeito estufa é dado aos sistemas agrícolas. Estes são responsáveis por aproximadamente um quinto do incremento anual de GEE para a atmosfera (MOSIER et al., 2004; IPCC, 2006) e pela emissão CO₂, CH₄ e N₂O (DUXBURY et al., 1994). Destes gases, o que mais contribui com o efeito estufa é o CO₂, por apresentar meia-vida em torno de 100 anos e por estar presente em

maior concentração no ambiente, enquanto o CH₄ tem meia-vida de 12 anos (IPCC, 2006). Segundo PALM et al. (2004), o CO₂ tem como principal via de entrada na atmosfera, a queima de combustíveis fósseis, biomassa vegetativa e da decomposição de matéria orgânica do solo. A concentração do CO₂ na atmosfera terrestre passou de 280 ppm em 1750 para 365 ppm, em 1998. Isso representa um aumento de 31% da concentração deste GEE na atmosfera.

A queima de combustíveis fósseis contribui com 3/4 da emissão deste gás (IPCC, 2001). No hemisfério norte esta contribuição é mais significativa devido à alta atividade industrial. Já no Brasil por apresentar elevado potencial agrícola, as queimadas e as mudanças de uso da terra são importantes fontes de emissão de CO₂ para a atmosfera. Segundo o IPCC (2006), solos de ecossistemas terrestres podem retirar cerca de 23% do CO₂ da atmosfera, incentivando a utilização de práticas adequadas de manejo.

O N₂O aumentou sua concentração na atmosfera global em 16%, passando de 270 ppb na revolução industrial para 310 ppb até 2005, e tem sido constante desde 1980 (IPCC, 2006). O óxido nitroso apresenta-se na atmosfera em baixas concentrações, entretanto por apresentar um alto potencial de aquecimento global (PAG), é considerado um gás muito ativo para o efeito estufa, devido seu tempo de vida (JANTALIA et al., 2006; ROBERTSON & GRACE, 2004). O PAG é determinado pela capacidade de uma molécula de captar a radiação infravermelha, sua concentração atual na atmosfera e seu tempo de vida na atmosfera. Assim, um gás com maior tempo de vida atmosférica terá maior PAG. Estes são expressos em termos de equivalentes de CO₂ (ROBERTSON & GRACE, 2004). Levando em consideração que o CH₄ apresenta um tempo de vida de 12 anos e o N₂O de 114 anos, os respectivos PAGs serão 25 e 298 vezes o PAG do CO₂ (IPCC, 2006). A emissão antropogênica do N₂O ocorre devido à atividade industrial, queima de biomassa e, principalmente, pelas atividades agrícolas. Estima-se que 65 a 80% das emissões totais deste gás resultam direta ou indiretamente de atividades agrícolas (IPCC, 2001). Segundo MOSIER (2004) o aumento da concentração do N₂O na atmosfera está diretamente associado à interferência do homem no ciclo N e na dinâmica em sistemas de produção, incluindo o N da matéria orgânica e o fixado química e biologicamente. De fato os sistemas agrícolas assumem um papel importante na emissão e absorção dos gases do efeito estufa e são responsáveis por aproximadamente um quinto do incremento anual dos gases com atividade radiativa para a atmosfera (IPCC, 2006).

Os cálculos das emissões globais de N₂O são em torno de 20,6 Tg N ano⁻¹ somadas todas as fontes (IPCC, 2006). Um aumento de 0,2-0,3% em suas concentrações atmosféricas contribuiria para aproximadamente 5% no aquecimento global pelo efeito estufa.

É sabido que o fornecimento de N as culturas, através da fertilização, aumenta as emissões de N₂O (SMITH et al., 1998; NOVOA & TEJEDA, 2006; SIQUEIRA NETO, 2006). Desta forma, quanto maior o fornecimento de nitrogênio em forma amoniacal via fertilizantes, maior será a intensidade de nitrificação (MOSIER et al., 2004; LIU et al., 2006). Assim sendo, as perdas por N₂O poderão ser aumentadas.

Em média, 1,25% do N aplicado na forma de ureia são perdidos como N₂O (BOUWMAN, 1996), além do N que é retornado através dos resíduos culturais e cultivo de plantas de cobertura (BAGGS et al., 2000).

Fatores como manejo, o tipo de cultura, a preparação do solo, manejo de resíduos e água também influenciam as emissões de N₂O dos solos agrícolas (PARKIN & KASPAR, 2006). Aplicações de fertilizantes nitrogenados em solos secos produzem menos N₂O que quando aplicados em solo úmido (SMITH et al., 1998). Estudos feitos por RUSER et al. (2006) mostraram que quando se utilizou uma única dose de fertilizante, o fator de emissão aumentou de acordo com a quantidade de água contida no solo. Contudo, a quantidade de N no solo é mais importante que a umidade. Mesmo em condições de alta umidade, DENMEAD et al. (2009) encontrou emissões menores quando o conteúdo de N estava reduzido.

1.7. O uso de isótopos estáveis nos estudos da dinâmica do N no solo.

Os isótopos estáveis podem ser usados nas avaliações de fertilidade e nutrição de plantas possibilitando o seguimento do nutriente em estudo nas várias partes das plantas. E assim, apresentam vantagem sobre os métodos convencionais, permitindo determinações de quantidades inferiores aos limites de detecção dos métodos tradicionais.

A técnica tem como objetivo fornecer um produto com composição isotópica diferente da que ocorre naturalmente do elemento em estudo. Considerando o princípio de que elementos existentes na natureza que possuam N em sua composição terão 0,3663% átomos de ^{15}N , sendo composto em sua maior parte por ^{14}N . Desta forma, se consegue determinar qual a contribuição de uma determinada fonte se ela for enriquecida artificialmente com ^{15}N (ALVES et al., 2005).

A principal restrição na utilização da técnica isotópica está no custo de compostos contendo isótopos e de equipamentos especiais, além de necessitar de pessoal devidamente treinado que tomarão cuidados específicos na manipulação das amostras.

O uso dos isótopos estáveis de N como traçador é fundamentado no fato que os isótopos ^{14}N e ^{15}N se apresentam naturalmente em uma razão quase constante de 273:1 átomos (0,3663 % em átomos de ^{15}N ou 3,663 ppm de ^{15}N). E assim, devido à discriminação isotópica que acontece durante as modificações do nitrogênio no sistema solo-planta, o valor de ^{15}N é um pouco maior que o observado na atmosfera (SHEARER & KOHL, 1986). As variações são bem pequenas, ajustando-se desta forma que cada unidade de delta ^{15}N seria a abundância natural dividida por mil, ou seja, 0,0003663% átomos de ^{15}N em excesso. Algumas plantas apresentam a capacidade de adquirir grande parte do nitrogênio necessário para seu desenvolvimento do ar e assim, apresentarão valores de delta ^{15}N bem próximos à zero, uma vez que a maior parte do N virá do ar. Entretanto, as cultivares que não apresentam a capacidade de fixar nitrogênio quando crescidas em mesmo solo apresentarão valores de $\delta^{15}\text{N}$ maiores e mais semelhantes e aos do solo, já que toda ou a maior parte do N necessário para a sua nutrição é derivado deste (MORAIS, 2008).

O emprego da técnica com utilização do traçador do isótopo estável ^{15}N permitem estimar as modificações do N no solo, mesmo diante das variadas transformações que acontecem concomitantemente. A metodologia determina o caminho de ambos os isótopos de N (^{15}N e ^{14}N), fornecendo informações acerca do sistema e estimando as taxas de transformação do N.

O uso da técnica vem contribuído para aumentar o entendimento sobre as transformações do nitrogênio no sistema solo-planta. O nitrogênio na planta ou no solo derivado ou proveniente do fertilizante (Ndff, Nppf ou Npdf), determinado por princípios de diluição isotópica, permite reconhecer em um composto, a contribuição da fonte aplicada ao solo, e que nesse tipo de estudo é marcada com o isótopo estável ^{15}N (ALVES et. al, 2004).

1.8. O uso de fertilizantes de liberação lenta e controlada

O uso de fertilizantes de liberação lenta constitui-se em uma das tecnologias desenvolvidas recentemente a fertilizantes utilizados em sistemas de produção. O principal objetivo é oferecer os nutrientes requeridos as plantas de forma progressiva por um período determinado, podendo aumentar a eficiência de aproveitamento dos fertilizantes a fim de reduzir a transformação do N em formas menos estáveis (CANTARELLA, 2007c). E ainda, facilita a aplicação, tornando a distribuição mais homogênea dos nutrientes no solo (KHALAF & KOO, 1983), eliminação de danos causados aos sistemas radiculares pela alta concentração de sais (GIRARDI & MOURÃO FILHO, 2003). No caso dos fertilizantes nitrogenados o principal benefício é tentar minimizar perdas de nutrientes por lixiviação,

volatilização e reduzir a imobilização. Outros benefícios são a facilidade de armazenamento, opções de formulações com períodos distintos de liberação, e mantêm um sincronismo de liberação dos nutrientes com as necessidades de crescimento e desenvolvimento das plantas.

Segundo TRENKEL (1997), não existe uma definição oficial que diferencie fertilizantes de liberação lenta e controlada. Entretanto, os fertilizantes de liberação lenta são comumente referidos no comércio como os dependentes de decomposição microbiana (ureia-formaldeído) e os revestidos ou encapsulados como de liberação controlada. Os de liberação lenta são de baixa solubilidade, sendo parte solúvel em água ficando disponível rapidamente e outra é liberada de forma gradual por um período mais longo. Já os ditos de liberação controlada são envoltos em um revestimento que controlam a entrada de água e reduzem a dissolução do nutriente e degradam-se lentamente no solo, a liberação é dependente da espessura da membrana que reveste o grânulo (TRENKEL, 1997).

Estes fertilizantes podem ser conseguidos através de características químicas e físicas especiais, como por exemplo, modificações nos processos de obtenção dos fertilizantes convencionais (FUJITA, 1996).

Existem três grupos de fertilizantes de liberação lenta e controlada: os quimicamente alterados, os recobertos ou encapsulados e os peletizados. Todos apresentam uma característica em comum: a liberação gradativa dos nutrientes para a solução do solo, porém, apresentando mecanismos distintos para tal.

Os fertilizantes quimicamente alterados transformam parte dos nutrientes em formas insolúveis que serão disponibilizadas às plantas gradativamente. Os fertilizantes recobertos ou encapsulados são compostos solúveis envolvidos por uma resina permeável à água que irá regular o processo de fornecimento dos nutrientes.

De forma geral, a liberação é dependente de variáveis como a temperatura e umidade do solo, mantendo sua liberação mais acentuada na época de maior exigência pela planta (BLAYLOCK, 2007). Os adubos peletizados, por exemplo, variam a sua solubilidade, e alguns dependem da ação microbiana.

Nos fertilizantes recobertos ou misturados a substâncias inorgânicas, o processo de disponibilização progressiva de N é diferente dos fertilizantes recobertos por resinas e derivados de ureia (SHAVIV, 2001). Assim, é fundamental o conhecimento por parte dos técnicos e dos produtores rurais sobre as características específicas do fertilizante de liberação lenta utilizado para o sucesso desta prática.

Nos fertilizantes recobertos por resinas e polímeros, a liberação de nutriente é eficiente quando existe disponibilidade de água e a temperatura ideal em torno de 21°C (CHITOLINA, 1994). A taxa de liberação de nutrientes pelos grânulos do fertilizante é diretamente proporcional à temperatura do solo ou substrato, pois à temperatura favorece a ampliação da camada de resina, causando elevação de sua permeabilidade à água.

Esse tipo de fertilizante pode apresentar ganhos agronômicos sobre os fertilizantes convencionais em vários tipos de culturas (HEFNER & TRACY, 1991; CSIZINSZKY, 1994) em diferentes tipos de solo, climas e manejos.

1.9. Importância da Cultura do Milho

Na safra 2010/2011, a produção mundial de milho foi de 818,5 milhões de toneladas de grãos em uma área de 160,3 milhões de hectares (CONAB, 2011). No Brasil, a produção deste grão esperada para a safra 2010/2011 é de 56,73 milhões de toneladas em uma área de 13388,1 mil hectares (CONAB, 2011). Mesmo estando entre os quatro maiores produtores de grãos de milho, o Brasil ainda não está dentre os que detêm grandes produtividades (FERREIRA, 2008). Os principais fatores que contribuem para as baixas produtividades são: as condições climáticas desfavoráveis de algumas regiões, a utilização de variedades ou

híbridos não adaptados a determinadas condições edafoclimáticas, o uso de sementes não certificadas, o manejo inadequado da população de plantas (espaçamento), ausência de pureza genética e o manejo incorreto de fertilizantes, principalmente dos nitrogenados (MEIRA, 2006).

O milho está presente na maioria das pequenas propriedades familiares do Brasil, e é utilizada principalmente para alimentação dos animais (pasto verde, silagem e grãos), além dos grãos representarem uma fonte de renda ao agricultor esse é utilizado na alimentação humana na forma de grãos ou farinha (BARCELLOS, 1999). Por apresentar na sua constituição elevada concentração de amido, é largamente utilizado na alimentação, servindo como fonte energética. É utilizado como matéria-prima para a indústria de produção de óleos. Outra utilidade que vem sendo pesquisada é a produção de etanol a partir deste grão, abrindo a perspectiva de demanda do cereal também para a produção de bicomcombustível (MEIRA, 2006).

1.10. Importância do Nitrogênio para a Cultura do Milho

O estágio fenológico em que ocorre a deficiência de nitrogênio para a cultura do milho é fator determinante para a resposta à adubação, este período vai da elongação até o florescimento masculino, começando aproximadamente 40 dias após a semeadura (UHART & ANDRADE, 1995). Além disso, as respostas estão associadas às cultivares e o manejo que é aplicado à cultura (LANTMANN et al., 1985). De acordo com ANGHINONI (1985), as respostas são em função do suprimento de nitrogênio do solo e da dose de fertilizante aplicada. Outros fatores que também colaboram com a resposta a adubação são a temperatura e interceptação da radiação solar (fotossíntese) (MUCHOW & SINCLAIR, 1995).

Segundo HOEFT (2003), a produtividade das culturas é influenciada pelas doses, a época e o método de aplicação dos adubos nitrogenados. Insuficiência do aproveitamento da adubação pela planta reflete com perdas diretas em produtividade e desperdício de fertilizantes, além de aumentar os custos de produção em vista da necessidade de constantes aplicações (ALVA & PARANASIVAM, 1998).

Utilização de altas doses de N no plantio poderá propiciar a salinização e/ou alcalinização da rizosfera, em função do produto utilizado, atingindo o funcionamento das raízes, a vida do solo e a taxa de absorção de micronutrientes (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

Nos últimos anos, as recomendações oficiais no Brasil para o uso de adubos nitrogenados para a cultura do milho progrediram consideravelmente. Os maiores progressos estão na recomendação de doses em função da produtividade esperada, influência do tipo de solo, manejo, época de semeadura e material genético (CANTARELLA & DUARTE, 2004).

CAPÍTULO I.

AVALIAÇÃO DAS PERDAS POR VOLATILIZAÇÃO DE NH₃ EM NOVOS FERTILIZANTES NITROGENADOS E DINÂMICA DO N EM CULTURA INDICADORA

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência agronômica de fertilizantes nitrogenados de liberação lenta obtidos através da mistura de ureia comercial (UC) com KCl (UK), ácido húmico (UH), arenito zeolítico (UZ) ou gesso agrícola (UG), com o intuito de minimizar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia (PNV) e avaliar a dinâmica do N em uma cultura indicadora. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação na área experimental da Embrapa Agrobiologia, utilizando um Planossolo Háplico coletado da camada de 0-10 cm, com ou sem calagem, mantendo o pH 6,5 e 5,4 respectivamente. No primeiro experimento aplicou-se em cobertura UC e os fertilizantes granulados de UK, UH, UZ e UG, na dose equivalente de 200 kg.ha⁻¹ em bandejas plásticas. Utilizou-se câmara semi-aberta livre estática (ARAÚJO et al., 2009). As espumas captadoras de N-NH₃ foram trocadas em intervalos de 24 horas, durante um período de três dias consecutivos, e a seguir as amostragens foram feitas aos 5, 7, 10, 13, 17 e 21 dias após a aplicação. As PNV foram de 51,5; 34,3; 47; 29,5; e 50,45% sem calagem e 66,7; 50,9; 60,1; 46,5 e 56,95% com calagem do N fornecido por UC, UK, UH, UZ e UG, respectivamente. Assim sendo, os fertilizantes UZ e UK foram mais eficientes na retenção do N no solo do que a UC, apresentando diminuição da perda de N-NH₃ de 20,2 e 15,8% sob condição de calagem e 22 e 17,2% quando sem calagem, respectivamente. Os fertilizantes UH e UG não diferiram significativamente da UC nas duas condições estudadas. Para o segundo experimento, os fertilizantes empregados foram enriquecidos com ¹⁵N, e o estudo foi em vasos, com ou sem calagem (pH 5,4 e 6,5). Em cada vaso foram plantados 3 plantas de *Brachiaria decumbens*. Determinou-se massa seca e acúmulo de N em parte aérea e de raiz e enriquecimento de ¹⁵N. Os fertilizantes UK e UG foram mais eficientes na produção de biomassa seca de parte aérea e raiz do que a ureia comercial sem calagem, apresentando aumento total de aproximadamente 149 e 146%, respectivamente. Em condição de calagem o fertilizante UH apresentou aumento de 149,3% também em relação à UC. O acúmulo total de N foi de 129,1; 279,2; 143,5; 208,5 e 270,3 mg N.vaso⁻¹ e 103,7; 186,4; 200,6; 144,1 e 207,4 mg N.vaso⁻¹ para a condição de sem e com calagem, respectivamente para os tratamentos UC, UK, UH, UZ e UG. Entretanto, a recuperação do N-fertilizante foi semelhante em todos os tratamentos nas duas condições (sem e com calagem), sendo os tratamentos UZ e UK os que apresentaram maior recuperação pelas plantas com 65,5 e 61,9% sem calagem, 60,2 e 45,7% com calagem, respectivamente.

Palavras-chave: Fertilizantes nitrogenados de liberação lenta, câmara semi-aberta livre estática, Eficiência Agronômica, Volatilização.

ABSTRACT

An experiment was conducted to evaluate the agronomic effectiveness of slow-release nitrogen fertilizers obtained by mixing urea Commercial (UC) with KCl (UK), humic acid (UH), zeolitic sandstone (UZ) or gypsum (UG), in order to minimize nitrogen losses by ammonia volatilization (PNV) and evaluate the dynamics of N in a culture indicator. The experiments were conducted in a greenhouse in the experimental area at Embrapa Agrobiologia, using a Haplic Planosol collected from 0 to 10 cm deep, with or without liming, maintaining the pH 6.5 and 5.4 respectively. In the first experiment was applied to cover UC and fertilizer granules UK, UH, UG and UZ, the equivalent dose of 200 kg ha⁻¹ in plastic trays. We used camera semi-free open static (ARAÚJO et al., 2009). The foams to capture N-NH₃ were exchanged in intervals 24 hours, during a period of three consecutive days, and follow the samplings were made at 5, 7, 10, 13, 17 and 21 days after application. The PNV were 51.5, 34.3, 47, 29.5, and 50.45% without lime, 66.7, 50.9, 60.1, 46.5 and 56.95% N with liming provided by UC, UK, UH, UG and UZ, respectively. Therefore, fertilizers UZ and UK were more efficient in retention of the N in the soil than UC, presenting reducing loss of N-NH₃ of 20.2 and 15.8% under condition of liming and 22 and 17.2% when without lime, respectively. Fertilizers UH and UG did not differ significantly from UC in both conditions studied. For the second experiment, the fertilizers used were enriched with ¹⁵N, and the study was in pots, with or without liming (pH 5.4 and 6.5). It was planted in each pot three plants of *Brachiaria decumbens*. It Was determined by dry weight and N accumulation in shoot and root and enrichment of ¹⁵N. The UK fertilizer and UG were more efficient in the production of dry biomass of shoot and root of the urea business without lime, an increase of approximately 149 full and 146% respectively. In condition of lime fertilizer UH showed an increase of 149.3% also in relation to UC. The total accumulation of N was 129.1, 279.2, 143.5, 208.5 and 270.3 mg N.vaso⁻¹ and 103.7, 186.4, 200.6, 144.1 and 207, 4 mg N.vaso⁻¹ for the condition with and without liming, respectively for the treatments UC, UK, UH, UG and UZ. However, the recovery of N-fertilizer was similar in all treatments in both conditions (without and with lime), and the treatments UZ and UK showed the highest recovery plants with 65.5 and 61.9% without lime, 60, 2 and 45.7% with lime, respectively.

Keywords: slow-release nitrogen fertilizers, free open chamber semi-static, Agronomic Efficiency, Volatilization.

1.11. INTRODUÇÃO

A ureia, responde por 60% dos fertilizantes nitrogenados empregados na agricultura brasileira (CONTIN, 2007). Devido a sua baixa eficiência quando aplicada na superfície do solo, especialmente em solos tropicais é geralmente afetada pelas perdas por volatilização de amônia. Esta após a aplicação no solo, passa pelo processo de hidrólise através da enzima urease. Esta enzima catalisa a hidrólise da ureia para dióxido de carbono, amônia e água. Parte do N-NH₃, formado pela hidrólise da ureia reage com íons H⁺ do complexo coloidal e com os íons da solução do solo, resultando no cátion NH₄⁺. Deste modo, valores elevados de pH conduzem a altas perdas de N-NH₃. Essas perdas podem atingir valores próximos a 80% do N aplicado e exercem significativa influência sobre o baixo aproveitamento das plantas cultivadas sobre o N aplicado ao solo (LARA CABEZAS et al.,1997b). Além disso, fatores como: a temperatura, a umidade, as trocas gasosas, a taxa de evaporação de água, o conteúdo de água no solo, o poder tampão, a capacidade de troca catiônica, a classe textural, a velocidade do vento, a quantidade de N aplicado e a atividade da enzima urease também são importantes e favorecem a volatilização da amônia (MARTHA JUNIOR, 2003).

A diminuição das perdas por volatilização pode ser adquirida por meio da incorporação da ureia no solo, adição de ácidos e de sais de K, Ca e Mg, modificação na granulometria ou alteração na composição para haver liberação lenta. E também por meio do uso de zeólitas misturadas aos fertilizantes (ALVES, 2006).

Para avaliação quantitativa das perdas de N-NH₃ por volatilização devem ser utilizadas técnicas com alta eficiência de recuperação do N-NH₃ perdido para a atmosfera. A técnica normalmente utilizada (NONMIK, 1973) apresenta recuperação de somente 20% do N-NH₃ volatilizado (LARA CABEZAS & TRIVELIN, 1990), sendo considerada inadequada para determinação quantitativa das perdas de N-NH₃ por volatilização.

Com o objetivo de avaliar o efeito da mistura granulada de ureia com arenito zeolítico natural, mistura granulada de ureia com cloreto de potássio, ureia granulada com gesso agrícola e ureia granulada com ácido húmico, sobre as perdas de N-NH₃ por volatilização realizou-se um experimento em casa de vegetação, utilizando a câmara semi aberta-estática modificada e calibrada por ARAÚJO et al. (2009). Além, de um experimento para avaliar a produção, acúmulo e aproveitamento do N proveniente do fertilizante na planta de *Brachiaria decumbens* do adubo aplicado em cobertura no solo.

1.12. MATERIAIS E MÉTODOS

1.12.1. Caracterização experimental

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação na área experimental da Embrapa Agrobiologia, localizada em Seropédica, RJ, em janeiro de 2010, com coordenadas 22°45'S de latitude e 43°41'W de longitude e 33m de altitude.

O solo utilizado como substrato foi coletado da camada superficial (0-10 cm) na área experimental da Embrapa Agrobiologia, e corresponde a um PLANOSSOLO HÁPLICO, textura arenosa. As suas características químicas foram analisadas no laboratório de fertilidade do solo da PESAGRO-RJ, segundo SILVA (1999) e EMBRAPA (1997). O solo coletado foi seco ao ar e peneirado com peneira de malha de 2 mm (nº10 ABNT) e homogeneizado. Os resultados das análises químicas se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da análise química do solo antes da implantação do experimento.

Profundidade	pH _{H₂O}	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	P	K ⁺	N
		-----cmolc/dm ³ -----			mg/dm ³ -----		g/kg
0-10	5,4	0	4,5	1,7	3,5	28	1,10

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com os tratamentos seguindo o arranjo experimental fatorial 6X2 onde os fatores foram os fertilizantes nitrogenados baseados em ureia e aplicação de calcário: Ureia Comercial (UC); ureia+cloreto de potássio (UK); ureia+ácido húmico (UH); ureia+arenito zeolítico (UZ) e ureia+gesso(UG) e uma testemunha absoluta (sem aplicação de N), com ou sem aplicação de calagem no solo (pH 6,5 e 5,4 respectivamente), formando 12 tratamentos, com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais.

1.12.2. Fertilizantes Granulados

Os produtos foram desenvolvidos na Embrapa Solos, no Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes pelo processo de granulação em disco pelotizador. A ureia comercial foi moída em moinho especial que não permite o aquecimento a temperaturas que possibilitem a formação de biureto (C₂H₅N₃O₂) que é um produto da decomposição termal da ureia, formado quando duas moléculas de ureia se combinam, liberando uma molécula de amônia (KURZER, 1956). Em seguida, a ureia foi passada em peneira de 1 mm, afim de facilitar a homogeneização posterior com os outros componentes da mistura.

As outras matérias-primas também foram peneiradas e pesadas em balança analítica (precisão de 0,0001g). A homogeneização das misturas foi realizada em um misturador do tipo em "V". As amostras foram levadas ao disco pelotizador para a formação dos grânulos. A inclinação do prato e a velocidade de rotação foram variáveis de acordo com a mistura. Estes fatores foram determinados por testes realizados no próprio laboratório, com a finalidade de obter grânulos com melhor diâmetro e firmeza, conseguir maior rendimento do processo. A granulometria aceitável obtida neste processo seguiu os padrões determinados para a comercialização de adubos granulados (1 a 4 mm). Após esta primeira separação, os grânulos foram espalhados em bandejas de papel e seguiram para secagem em estufas com ventilação forçada com temperatura constante de 70°C. O tempo de permanência na estufa variou de acordo com o tipo de mistura. Após a secagem foi realizada mais uma separação em

peneiras de 4, 2 e 1mm separadas por granulometria e embaladas separadamente. Para o presente estudo foram utilizados os adubos com granulometria de 2 mm.

A ureia comercial foi moída e regranulada para que passasse pelo mesmo processo que os outros produtos. A mistura de ácido húmico com ureia foi realizada com 5% p/p; ureia com arenito zeolítico com 20% p/p; ureia com gesso e ureia com cloreto de potássio com 50% p/p. Todas as misturas foram preparadas com ureia apresentando uma concentração de 41% de N. Sendo então os teores de N das formulações de mistura com zeolita 32,8%; KCl e gesso 20,5% e ácido húmico 38,9% de N em suas composições.

O ácido húmico foi preparado no laboratório da Embrapa Solos, empregando-se para sua extração hidróxido de potássio, um sal alcalino, que acredita-se solubilizar substâncias húmicas através da destruição das ligações entre os componentes inorgânicos do material extraído com a matéria orgânica e a conversão de componentes ácidos para suas formas de sais solúveis, razão pela qual o pH final do produto pode ter variado ao redor da neutralidade, comportando-se mais como humato de potássio.

1.12.3. EXPERIMENTO 1. Avaliação da volatilização de N-NH₃ pela aplicação superficial de ureia comercial e ureia granulada com gesso agrícola, Ácido Húmico, Arenito zeolítico ou Cloreto de potássio em condições controladas.

As unidades experimentais utilizadas foram bandejas plásticas de aproximadamente 0,015m³ preenchidas com 10 quilos do solo descrito acima. No tratamento com calagem foi aplicada a dose equivalente a 2 Mg calcário 100% PRNT. ha⁻¹ 20cm⁻¹ para elevar o pH a 6,5, utilizando a curva de neutralização determinada por STEFANATO,2009. Antes da aplicação dos tratamentos todas as bandejas foram submetidas a um período de incubação de 15 dias mantendo-se a umidade de 70% da capacidade de campo, e cobertas com lona plástica para manutenção da umidade. Após este período, os tratamentos com aplicação de calcário (CA), tiveram pH reavaliado para que permanecessem em 6,5. As bandejas foram então pesadas para a correção da umidade, adicionando-se água até que atingissem 70% da capacidade de campo, de acordo com o procedimento descrito por STAFANATO, 2009.

Os cinco fertilizantes foram aplicados em cobertura, na quantidade equivalente a 200 kg de N ha⁻¹. Após a adição dos fertilizantes todos os tratamentos receberam a câmara coletora com sistema semi-aberto livre estático (SALE) (**figura 1**) de captura da NH₃ perdida, adaptado e calibrado por ARAÚJO et al. (2009). O coletor confeccionado a partir de garrafa plástica transparente de politereftalato de etileno (PET), com capacidade para 2 litros. A parte inferior de cada garrafa foi removida para constituir uma câmara coletora. As câmaras possuem 10 cm de diâmetro e abrangem 0,008 m² de área. Para proteção da entrada de água de chuvas ou água de irrigação no interior do coletor foi instalada logo acima do bocal, a parte inferior da garrafa que foi cortada para produzir o coletor.

Para absorver a amônia volatilizada, uma lâmina de espuma de poliuretano embebida em solução ácida foi suspensa com o auxílio de um fio de arame rígido de 1,5 mm na posição vertical ao solo no interior das garrafas. As dimensões da espumas foram de 3 mm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento. Para embeber a espuma foi adicionado 10 ml de solução ácida (H₂SO₄ 1 M + glicerina 2% v/v) em frasco de 50 ml. A lâmina de espuma foi inserida dentro do frasco e comprimida contra o fundo do frasco para absorver a solução. O frasco com solução + espuma permaneceu fechado até o momento da colocação nas câmaras. O frasco foi preso a uma das extremidades inferior do fio rígido, com auxílio de um elástico. A lâmina de espuma teve uma das extremidades presa na parte superior do fio rígido enquanto a outra extremidade permaneceu dentro do frasco, para evitar respingos da solução. O conjunto fio rígido + frasco + espuma, foi introduzido pela parte inferior da

câmara e preso na borda superior, ficando aproximadamente 1,5 cm suspenso acima do solo. A amônia volatilizada foi captada na forma de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (MARSOLA et. al., 2000).

As espumas captadoras de N-NH_3 foram trocadas em intervalos de 24 horas, durante um período de três dias consecutivos. Em seguida, as coletas foram realizadas aos 5, 7, 10, 13, 17 e 21 dias após a aplicação. Após cada troca das espumas, as câmaras foram colocadas em outra posição da bandeja. Tal procedimento objetivou que as determinações diárias refletissem as influências de fatores relacionados ao fenômeno da volatilização de NH_3 , como temperatura atmosférica, umidade e temperatura do solo, incidência solar e ventos.

A umidade foi mantida entre 50 a 70% da capacidade de retenção nos 21 dias, com pesagens diárias das bandejas. Os frascos coletados foram conservados em geladeira até o momento da extração. Para a extração a solução ácida e a espuma foram transferidas para um Erlenmeyer de 250 ml, onde foram adicionados 10 ml de água destilada e agitado a uma rotação de 220 RPM, por 15 minutos. Posteriormente, uma alíquota de 10 ml desta solução foi transferida para tubo de destilação, a qual foi destilada com solução diluída de NaOH , e seguidamente titulada com solução de ácido sulfúrico, segundo metodologia descrita por ALVES et al. (1994).

Os resultados de volatilização de amônia foram analisados utilizando-se o sistema de análise estatística SAEG e Sisvar. Os dados foram inicialmente testados quanto à normalidade dos erros e homogeneidade de variância, utilizando-se Lilliefors e Cochran–Bartlett, respectivamente pelo sistema de análise SAEG. Realizou-se a análise de variância, e, onde as diferenças foram significativas, aplicou-se teste de Scott-Knott ($p < 0,5$) pelo sistema de análises Sisvar.

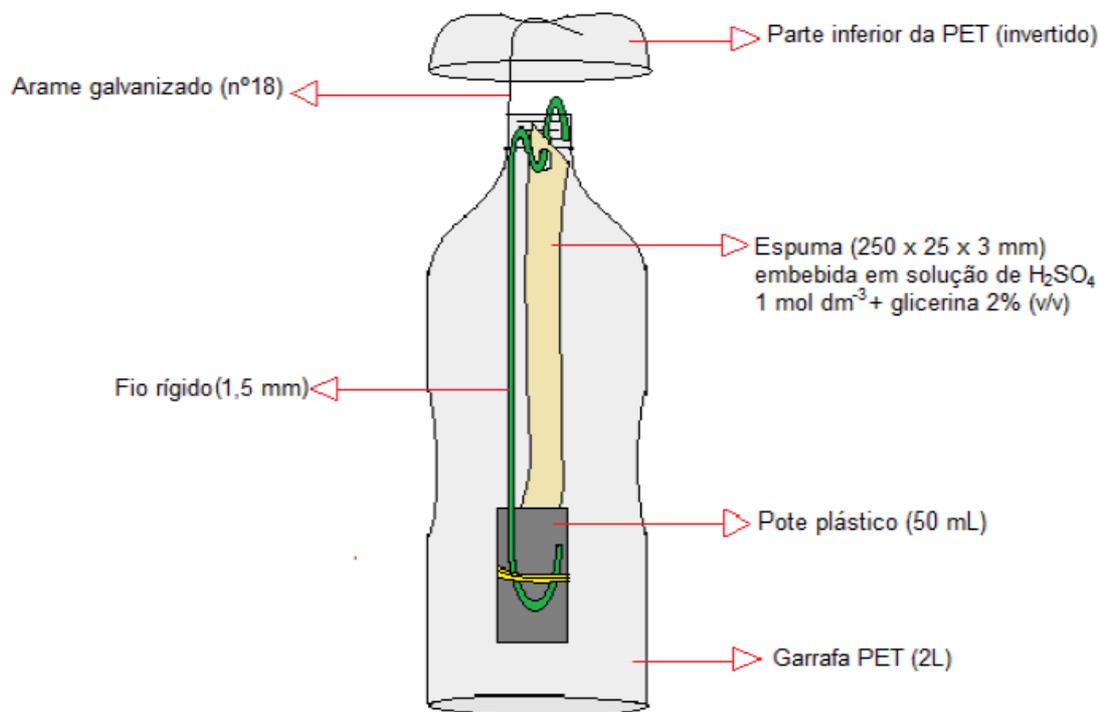


Figura 1: Esquema do sistema coletor de N-NH_3 semi aberto estático –SALE (ARAÚJO et al., 2009). Desenho esquemático elaborado por BARLOESIUS (2010).

1.12.4. EXPERIMENTO 2. Avaliação da disponibilidade do N oriundo da aplicação superficial de ureia comercial e ureia granulada com gesso agrícola, Ácido Húmico, Arenito zeolítico Nacional ou Cloreto de potássio em condições controladas usando *Brachiaria decumbens* como cultura indicadora.

O experimento foi conduzido durante 100 dias no período entre 04/02/2010 e 14/05/2010. Foram utilizados como unidades experimentais vasos plásticos com 0,0064 m³ de volume, preenchidos com 5 quilos de solo PLANOSSOLO HÁPLICO (o mesmo utilizado no experimento 1). Após o período de 15 dias de incubação do solo foi aplicada a adubação equivalente a 80 kg.ha⁻¹ de fósforo na forma de superfosfato triplo (46% P₂O₅) e 80 kg.ha⁻¹ de potássio na forma de Cloreto de potássio (48% K₂O). Foram plantadas 10 sementes de *Brachiaria decumbens*. Após a emergência das plantas foi realizado desbaste permanecendo 3 plantas por vaso. A aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura foi realizada 30 dias após a emergência das plantas na dose equivalente a 200 kg N.ha⁻¹. Os fertilizantes utilizados foram os mesmo descritos no experimento 1, sendo estes produzidos com ureia enriquecida com 1% de átomos de ¹⁵N em excesso.

Ao final do período foram realizadas amostragem da biomassa aérea, cortando-as ao nível do solo e as raízes das plantas foram recuperadas com auxílio de peneiras de 2mm (n°10 ABNT). O material coletado foi acondicionado em saco de papel e seco em estufa de circulação forçada de ar à 65°C por 72hs. A matéria seca total (g) de cada parte da planta foi determinada em balança de precisão de 3 casas decimais. As amostras foram moídas em moinho do tipo Willey e posteriormente em moinho do tipo de rolagem até a pulverização (SMITH & MYUNG, 1990). Foi determinado o teor de N-total e % atm ¹⁵N excesso nas amostras. (OKITO et al., 2004).

Segundo CARMO et al. (2000), determinou-se os teores totais de N no extrato da digestão sulfúrica, através da determinação de amônio, com destilação/titulação em semi-micro Kjeldhal (BREMNER, 1965). As amostras de 100 mg de parte aérea e 200mg de raízes foram submetidas ao método de digestão pelo ácido sulfúrico concentrado mais catalisadores a 150 °C por 1 hora e a cada 30 mim a temperatura era aumentada até 300 °C a 350° até o clareamento da solução. Estas, forão alcalinizadas com 20 ml de uma solução de NaOH a 50%, em seguida, destiladas em arraste a vapor e tituladas com solução alcoólica (ácido bórico + azul metil + vermelho metil) em destilador automático Kjeltec Auto-analyzer modelo 1030 (TECATOR, Höganäs, Sweden). De acordo com LIMA et al.(1987), a cada bloco digestor contendo 40 amostras devem ser analisadas duas amostras em branco e duas amostras-padrão para calibração.

Utilizando os valores de matéria seca e teores de N na parte aérea e raízes, determinou-se o acúmulo total de N em raiz e parte aérea.

As análises de % atm¹⁵N em excesso nas amostras foi determinada em um espectrômetro de relação de massa isotópica de fluxo contínuo (Finnigan DeltaPlus acoplado em um auto-analisador de CHN Modelo Elementar Combustion System CHNS-0, Costech Analytical Technologies Inc., Valencia, USA).

A avaliação da eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado foi calculada pela fórmula:

$$EUFN = (QNPf/QF) \times 100, \text{ em que:}$$

QNPf = quantidade de N derivado do fertilizante presente na planta;

QF= quantidade de N aplicada como fertilizante.

A QNPf foi calculada multiplicando-se a quantidade de N total da planta, pela porcentagem de N da planta, derivada do fertilizante (%NPf).

A %NPf será calculada pela fórmula:

$\%NPf = (\%^{15}Np / \%^{15}Nf) \times 100$, em que :

$\%^{15}Np$ = porcentagem de átomos de ^{15}N em excesso na planta;

$\%^{15}Nf$ é a porcentagem de átomos de ^{15}N do fertilizante em excesso (ALVES et al., 2006).

1.13. RESULTADOS E DISCUSSÕES

1.13.1. Experimento de quantificação do N volatilizado

As perdas de nitrogênio por volatilização apresentaram comportamento similar para todos os tratamentos, variando apenas em quantidade de N-NH₃ volatilizado. As maiores perdas de nitrogênio por volatilização ocorreram na quarta coleta (5º dia) após aplicação dos fertilizantes nitrogenados nas duas condições (com e sem calagem) (**Figura 2**). Após o quinto dia (quarta coleta) as perdas diminuíram sensivelmente cada dia até o 21º dia (último dia de avaliações).

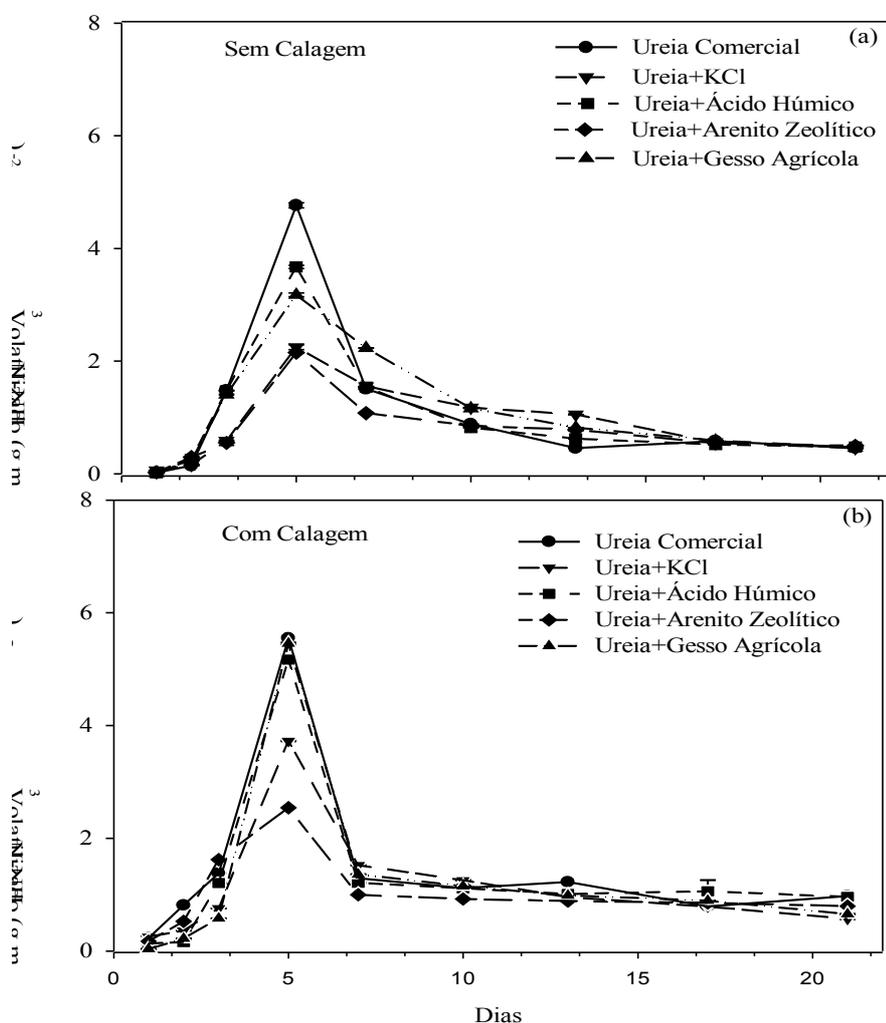


Figura 2. Volatilização de N-NH₃ em vinte e um dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura (200kg N.ha⁻¹) com ureia comercial; ureia+KCl; ureia + ácido húmico; ureia+ arenito zeolítico; ureia+ gesso agrícola e testemunha (sem aplicação de N) sem calagem (a) e com calagem (b).

Observou-se que a elevação do pH para 6,5 nos tratamentos onde foi aplicada calagem elevou as perdas por volatilização de forma significativa em todos os tratamentos (**Figura 2b**).

As perdas de N-NH₃ acumuladas nos vinte e um dias de avaliações foram menores nos tratamentos ureia+KCl e ureia + arenito zeolítico quando comparadas com a ureia comercial para as duas condições estudadas. Estas perdas chegaram a 34,3% (68,6 kg N.ha⁻¹) e 29,5% (59 kg N.ha⁻¹) em pH 5,4, e 50,9% (101,8 kg N.ha⁻¹) e 46,5% (93,3 kg N.ha⁻¹) para pH 6,5 do total de N aplicado, respectivamente, enquanto que para o tratamento ureia comercial estas perdas foram de 51,5% (103 kg N.ha⁻¹) e 66,7% (133,5 kg N.ha⁻¹), em solo sem e com calagem, respectivamente (Tabela 2).

Entre os produtos testados os que apresentaram maiores perdas, foram às misturas granuladas de ureia com ácido húmico e ureia com gesso agrícola, que mesmo apresentando redução nas perdas, estas não foram significativas, ficando muito próximas as da ureia comercial, chegando a 47% e 50,4% N volatilizado na forma de NH₃ do total de N aplicado, no solo sem calagem, respectivamente. A mistura de ureia+KCl e ureia+arenito zeolítico apresentaram reduções significativas nas perdas chegando a 17,2 e 22% em condição sem calagem, respectivamente. Do mesmo modo que na condição de pH 6,5 (com calagem), os tratamentos UK e UZ foram mais eficientes na redução das PNV quando comparados a UC, reduzindo em 15,8 e 20,2%, respectivamente.

Tabela 2. Perdas totais em kg N.ha⁻¹ e percentual de perda de NH₃ por volatilização do N aplicado nos cinco fertilizantes nitrogenados, sem calagem em bandejas, em casa de vegetação.

Fertilizantes	Sem calagem		Com calagem	
	N-total (kg.ha ⁻¹)	%	N-total (kg.ha ⁻¹)	%
Ureia Comercial	103,0A	51,5Ab	133,5A	66,7Aa
Ureia +KCl	68,6B	34,3Bb	101,8B	50,9Ba
Ureia+Ácido Húmico	94,0A	47Ab	120,3A	60,1Aa
Ureia+Arenito Zeolítico	59,0B	29,5Bb	93,3B	46,5Ba
Ureia+Gesso Agrícola	100,9A	50,45Aa	113,9A	56,95Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas colunas, não indicam diferenças entre os tratamentos para a mesma condição, enquanto diferentes letras minúscula, nas linhas, indicam diferenças entre o efeito do pH do solo, para cada fonte nitrogenada, à significância de 5% pelo teste Scott-Knott.

Alguns autores relataram que ao usarem somente ureia como fertilizantes nitrogenados encontraram semelhantes resultados quanto ao comportamento do N em relação ao período de perdas (RODRIGUES & KIEHL, 1986; MARTHA JÚNIOR, 2003; ROS et al., 2005; DUARTE, 2006). CANTARELLA (2007a) relata que os maiores fluxos de perdas de nitrogênio por volatilização normalmente ocorrem entre dois a quatro dias após aplicação da ureia. WERNECK (2008) encontrou fluxos de perdas entre as primeiras 24 às 72h após a adubação, quando comparou o uso de calagem com ou sem recobrimento com palha. Segundo CANTARELLA (2007c), as perdas por volatilização (PV) proveniente da ureia aplicada sobre o solo descoberto ocorreram principalmente nos três primeiros dias após a adubação.

Alguns estudos demonstram que a incorporação da ureia ao solo é suficiente para reduzir as perdas por volatilização (TRIVELIN et al., 2002). A aplicação de 10 a 20 mm de água já seria suficiente para que ocorresse a difusão descendente da ureia no solo (TERMAN, 1979; HARGROVE, 1988). Isto é possível devido a um maior contato entre os fertilizantes e as partes do solo favorecendo a adsorção de N-NH₄⁺ pelas cargas negativas do solo.

Entretanto, mesmo com a aplicação de água a partir do quarto dia após a aplicação dos fertilizantes para manter a umidade do solo em torno de 70% da capacidade de campo (CC), estas perdas não foram reduzidas. Provavelmente devido as propriedades do solo como a textura arenosa. Favorecendo assim o fluxo ascendente da amônia.

Observou-se então que o aumento do pH do solo favoreceu as PNV. Segundo FRENEY et al. (1985), valores elevados de pH proporcionam maiores perdas por volatilização quando a ureia é aplicada em superfície, já que a disponibilidade de íons H^+ é limitada, uma vez que o NH_3 vindo da hidrólise da ureia é transferido 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^+). Assim, com a elevação do pH dos solos pela calagem ocorre um aumento significativo da atividade das bactérias envolvidas na nitrificação do amônio. Em consequência, a maior parte do amônio presente no solo é rapidamente nitrificada.

A significativa redução das PNV para o fertilizante com mistura de ureia com arenito zeolítico pode ser explicada pela alta capacidade de troca de cátions, a alta capacidade de retenção de água livre nos poros e a alta habilidade de adsorção. Promovendo assim, a conservação do NH_4^+ no solo através da diminuição da concentração do íon em solução por troca de cátions (BERNARDI et al., 2008) e também pelo potencial do arenito zeolítico em adsorver NH_3 (troca gasosa) em solução aquosa (ENGLERT & RUBIO, 2005). BERNARDI et al. (2007) verificaram que o uso da mistura de 25% de zeólita com a ureia aumentou a produção de matéria seca do milho e proporcionou a melhor utilização do N nas doses mais elevadas de fertilizante, indicado pelo maior teor foliar do nutriente. Deve-se considerar também a reduzida acessibilidade que os microorganismos encontram sobre o NH_4^+ adsorvido na estrutura dos arenitos zeolíticos impedindo a transformação do NH_4^+ em NO_3^- e reduzindo as perdas deste elemento (MUMPTON, 1999).

A capacidade do arenito zeolítico em reduzir significativamente as perdas por volatilização em solos com características físico-químicas que as potencializam tornam o seu uso relevante como nova tecnologia para fertilizantes mais eficientes à base de ureia quando esta é aplicada em cobertura. Em experimento também em casa de vegetação, WERNECK (2008) encontrou diminuição nas perdas por volatilização em 26% quando utilizou mistura de ureia e arenito zeolítico na proporção de 15% p/p em comparação a ureia comercial também em um planossolo háplico.

Para a mistura de ureia com KCl, os resultados encontrados diferiram dos relatados por KONG et al. (1991) que observaram ligeiro aumento na volatilização de N- NH_3 em uma mistura de ureia com KCl aplicada no solo sob cana de açúcar sem queima na Austrália. De acordo com esses pesquisadores, o fenômeno ocorreu devido a alcalinidade presente no lote de KCl utilizado (pH 8,2 em solução). Em laboratório, KIEHL (1989) também obteve resultados semelhantes, onde as saís de potássio não foram efetivos na redução das perdas, chegando a aumentar em até 33% em relação à testemunha. Isso pode ser devido à forma pela qual a mistura foi realizada, podendo a técnica de granulação em disco pelotizador favorecer um melhor contato entre a ureia e o cloreto de potássio, favorecendo assim a eficiência. Reduções na taxa de hidrólise e retardo nas perdas de N- NH_3 são ocasionalmente relatadas, provavelmente quando se é utilizado altas doses de KCl (em torno de 50%) (KONG et al. 1991), como no neste trabalho. Já para as misturas de ureia + gesso agrícola e ureia + ácido húmico, os mesmos não apresentaram diferenças significativas para as PV quando comparadas com os outros tratamentos.

O baixo desempenho apresentado pelo ácido húmico, na realidade pode dever-se ao fato de tratar-se mais de um humato de potássio, pois durante sua extração empregou-se hidróxido de potássio, e devido a isso o pH do produto esteve perto da neutralidade. Esta

característica do produto não deve ter contribuído pra redução das perdas de N-ureia por volatilização de amônia.

1.13.2. Experimento de avaliação da dinâmica do N

A adubação nitrogenada aumentou a produção de massa seca total em ambas as condições (sem e com calagem) da braquiaria. Segundo a literatura, a deficiência de N restringe o potencial de perfilhamento das plantas forrageiras e, mais importante, limita o crescimento e o aparecimento das folhas individuais e a capacidade fotossintética (CORRÊA et al., 2006).

Os resultados de produção de biomassa total de parte aérea por *Brachiaria decumbens* estão apresentados na tabela 3. O ganho de matéria seca foi variável entre os tratamentos, nas duas condições estudadas, sendo maior nos tratamentos com calagem. Os tratamentos promoveram ganhos na produção de biomassa seca total de parte aérea de 29,36; 12,17; 21,03 e 32,42% quando não foi realizado calagem, e 29,04; 51,1; 18,8 e 34,12% com calagem, para os tratamentos ureia +KCl, ureia + ácido húmico, ureia + arenito zeolítico e ureia + gesso agrícola, respectivamente em comparação com o tratamento ureia comercial (Tabela 3).

Comparando o acúmulo de massa seca total em parte aérea nos tratamentos sem calagem, observa-se que não houve diferenças significativas entre o tratamento ureia + ácido húmico e ureia +arenito zeolítico e entre ureia + KCl e ureia + gesso agrícola e estes diferindo do tratamento controle e ureia comercial (Tabela 3). Quando se utilizou calagem o tratamento ureia com ácido húmico diferiu dos demais tratamentos, não sendo observadas diferenças entre os tratamentos ureia+KCl, ureia+arenito zeolítico e ureia com gesso agrícola. Para as comparações entre as duas condições para cada tratamento foram encontradas diferenças para o tratamento controle, a mistura granulada de ureia com ácido húmico e a mistura com gesso agrícola. Vários pesquisadores demonstraram respostas positivas das gramíneas forrageiras a altas doses de nitrogênio (ALVIM et al.,1998, FAGUNDES, et al., 2005).

Tabela 3. Produção de biomassa seca de parte área e raízes de *Brachiaria decumbens* após 120 dias de crescimento sob adubação de cobertura de nitrogênio de 200kgN.ha⁻¹ na forma de ureia comercial (UC), ureia +KCl (UK), ureia+ácido húmico, ureia+arenito zeolítico (UZ), ureia+gesso agrícola (UG) e controle, em solo sem e com calagem.

		Tratamentos					
		Biomassa seca de Parte Aérea (g.vaso ⁻¹)					
	Controle	UC	UK	UH	UZ	UG	
Sem Calagem	72,00Db	222,88Ca	288,33Aa	250,00Bb	269,75Ba	295,13Ab	
Com Calagem	175,75Da	244,00Ca	314,88Ba	368,68Aa	289,87Ba	327,25Ba	
		Biomassa seca de Raiz (g.vaso ⁻¹)					
	Controle	UC	UK	UH	UZ	UG	
Sem Calagem	15,78Ba	23,15Ba	51,04Aa	47,88Ba	35,70Ba	49,49Ba	
Com Calagem	14,89Ba	32,31Aa	56,40Aa	64,06Aa	54,09Aa	55,28Aa	

Médias com letras maiúsculas diferentes diferem entre os tratamentos (linha) e letras minúsculas diferem entre as condições (com e sem calagem) (coluna) pelo teste de Scott-Knott (p<0,05)

Para a produção de biomassa total de raízes, a resposta aos tratamentos foi significativamente alta, com ganhos de 120,47; 106,82; 54,21 e 113,78% para os tratamentos

sem calagem e 74,56; 98,27; 67,41 e 71,09% com calagem, para os tratamentos ureia +KCl, ureia + ácido húmico, ureia + arenito zeolítico e ureia + gesso agrícola respectivamente em comparação aos ganhos obtidos com o tratamento ureia comercial (Tabela 3).

Observou-se portanto, que para os ganhos obtidos nas raízes os resultados não apresentaram diferenças de comportamento em relação ao desenvolvimento da parte aérea. Para os tratamentos onde a calagem não foi aplicada os tratamentos ureia +KCl e ureia+gesso agrícola foram os mais eficientes para produção de biomassa seca de raiz. No entanto só foi observada diferença estatística para o tratamento UK. Já para os que receberam calagem o tratamento ureia+ácido húmico foi o que apresentou os melhores resultados, mas também não apresentou diferença estatística entre os outros.

Quando se comparou os mesmos tratamento nas duas condições (sem e com calagem) não foram observadas diferenças significativas entre nenhum dos tratamentos.

Notou-se que a calagem aumentou significativamente a produção de biomassa seca tanto de parte aérea quanto de raiz. Esta prática torna-se imprescindível para obtenção de elevadas produtividades, devido à melhoria das condições do solo, tais como elevação do pH, redução do teor de Al trocável, elevação dos teores de cálcio e magnésio disponíveis e aumento da disponibilidade de fósforo para as plantas (MELO et al., 2011). Isto é devido a elevação da disponibilidade de alguns nutrientes como K^+ na mistura de ureia com cloreto de potássio, Ca e S na mistura com ureia+gesso agrícola, além dos componentes orgânicos oriundos da mistura de ureia com ácido húmico que em quantidades adequadas aumentam a produção de massa seca.

CARVALHO et. al (1992) citam que na literatura encontram-se, sobre *Brachiaria decumbens* resultados de ausência de respostas a dose de até 4 ton.ha⁻¹ de calcário e ganhos de até 103% na produção de matéria seca, portanto, os resultados obtidos serão variáveis de acordo com as condições estudadas.

Os maiores ganhos obtidos nos tratamentos com KCl podem ser explicados pelo fato de que o K^+ exerce nas plantas, uma série de funções relacionadas com o armazenamento de energia. Entre as varias funções, citam-se melhor eficiência de uso da água, devido ao controle da abertura e fechamento dos estômatos, maior translocação de carboidratos produzidos nas folhas para os outros órgãos da planta, maior eficiência enzimática e melhoria da qualidade comercial da planta, além de ser requerido para a síntese protéica (MALAVOLTA et al., 1997). Assim sendo, favorece uma maior produtividade. A morfologia do sistema radicular e os parâmetros cinéticos de absorção são os fatores relacionados com as plantas que determinam a absorção de K^+ e, conseqüentemente, influenciam seu transporte na solução do solo em direção as raízes (ERNANI et al., 2007).

Em relação os resultados encontrados com o uso de ácido húmico, MAGGIONI et al. (1987) mostraram que os ácidos húmicos e fúlvicos podem atuar na absorção de nutrientes através de um efeito enzimático, por meio da atividade de ATPase que depende de K^+ e Mg. PINTON et al. (1992) observaram que estas substâncias húmicas atingem a atividade da ATPase microssomal e do tonoplasto confirmando as observações feitas por MAGGIONI et al. (1987). Segundo SILVA et al. (1999) a partir de 1917 já se conhecia que estas substâncias apresentavam uma ação sobre as plantas semelhante às auxinas. Além disso, como o extrator utilizado para o fracionamento foi hidróxido de potássio, o teor de potássio nestas amostras podem ter sido mais elevadas favorecendo uma maior produção de matéria seca em condição de calagem.

O tratamento que mais favoreceu o acúmulo de N foi ureia + KCl entre os que não receberam calagem chegando a 116,64 e 60,52% superior ao tratamento ureia comercial para parte aérea e raiz respectivamente. Seguido pelo tratamento ureia+gesso agrícola que apresentou valores de 110,15% para parte aérea. Estes resultados demonstram que para esta condição o acúmulo de N correspondeu ao tratamento que apresentou maior conteúdo de

massa seca. Para os tratamentos que receberam calagem o fertilizante ureia +gesso agrícola apresentou os melhores resultados com aumentos de 100,34 e 58,23% para parte aérea e raiz, respectivamente, seguido pelo tratamento ureia+ácido húmico com 93,78 e 54,43 % a mais que o tratamento de ureia comercial (Tabela 4).

Verifica-se que a maior extração ocorrida em função do efeito da mistura granulada deve-se a um aumento na produtividade total da cultura (MST), evidenciando que o efeito do fertilizante não resultou em consumo de luxo pelas plantas sobre o N disponível no sistema. Esta maior extração evidencia que houve maior eficiência no aproveitamento do N-ureia disponível quando esta foi granulada por com o KCl.

Tabela 4. N acumulado em parte aérea e raízes de *Brachiaria decumbens* após 120 dias de crescimento sob aplicação de nitrogênio em cobertura (200kgN.ha⁻¹) na forma de ureia comercial (UC), ureia +KCl (UK), ureia+ácido húmico, ureia+arenito zeolítico (UZ), ureia+gesso agrícola (UG) e controle, em solo sem e com calagem.

	Tratamentos					
	N acumulado na Parte Aérea (mg.vaso ⁻¹)					
	Controle	UC	UK	UH	UZ	UG
Sem calagem	25,06Db	128,30Ca	277,95Aa	142,61Cb	207,59Ba	269,63Aa
Com calagem	73,30Da	102,88Ca	185,47Ab	199,36Aa	143,20Bb	206,11Ab
	N acumulado na Raiz (mg.vaso ⁻¹)					
	Controle	UC	UK	UH	UZ	UG
Sem calagem	0,36Ca	0,76Ba	1,22Aa	0,89Bb	0,89Ba	0,69Bb
Com Calagem	0,59Ba	0,79Ba	0,95Bb	1,22Aa	0,91Ba	1,25Aa

Médias com letras maiúsculas diferentes diferem entre os tratamentos (linha) e letras minúsculas diferem entre as condições (com e sem calagem) (coluna) pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).

Observa-se que em condições de calagem não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos UK, UH e UG. Verificou-se também que para os tratamentos com mistura de ureia com KCl, ureia com arenito zeolítico e ureia com gesso agrícola em condição de calagem apresentaram conteúdo de N menor que os mesmos quando não receberam calagem. Evidenciando que o ganho em matéria seca não coincidiu com aumento do acúmulo de N.

Para o conteúdo de N na raiz não foi observada diferenças estatísticas entre as misturas granuladas, UH, UZ e UG nos tratamentos que não receberam calagem, apresentando diferença significativa apenas para o tratamento UK. Para os tratamentos com calagem foi verificado diferenças estatísticas apenas entre os tratamentos UH e UG. Quando se comparou cada tratamento nas duas condições foram observadas diferenças para os tratamentos ureia +ácido húmico, ureia+ KCl e ureia+gesso agrícola.

Stafanato (2009) estudando misturas físicas e granuladas de ureia com KCl e ureia com sulfato de amônio com concentrações diferentes de biureto não encontrou resultados significativos para a produção de biomassa e acúmulo de N em plantas de arroz. Entretanto, as misturas onde as concentrações de KCl e ureia eram mais equilibradas tiveram a tendência de produzir mais massa seca. Já para os tratamentos com misturas de ureia com sulfato de amônio os fertilizantes com maior concentração de enxofre também foram os que apresentaram maior acúmulo de N.

Segundo FAGERIA (1999) também estudando a cultura do arroz observou que misturas de N e K mais equilibradas tendem a resultar em maiores produtividades.

Portanto, este maior acúmulo de N nos tratamentos com ureia+KCl quando sem calagem ocorreu possivelmente devido a eficiência na diminuição das perdas por volatilização, elevando a disponibilidade de N no solo para as plantas. Além do maior equilíbrio entre as concentrações de K e N neste tratamento. É provável que a quantidade de potássio aplicada aos outros tratamentos tenha sido insuficiente para potencializar a produção vegetal e assim, pode ter favorecido a produtividade e a eficiência da adubação nitrogenada.

A **figura 3** mostra a correlação entre as perdas por volatilização de amônia e a produção de biomassa de *Brachiaria decumbens*. Verifica-se que a correlação existente não foi significativa e portanto o aumento da produção de biomassa não esteve associado com as perdas de N por volatilização de amônia.

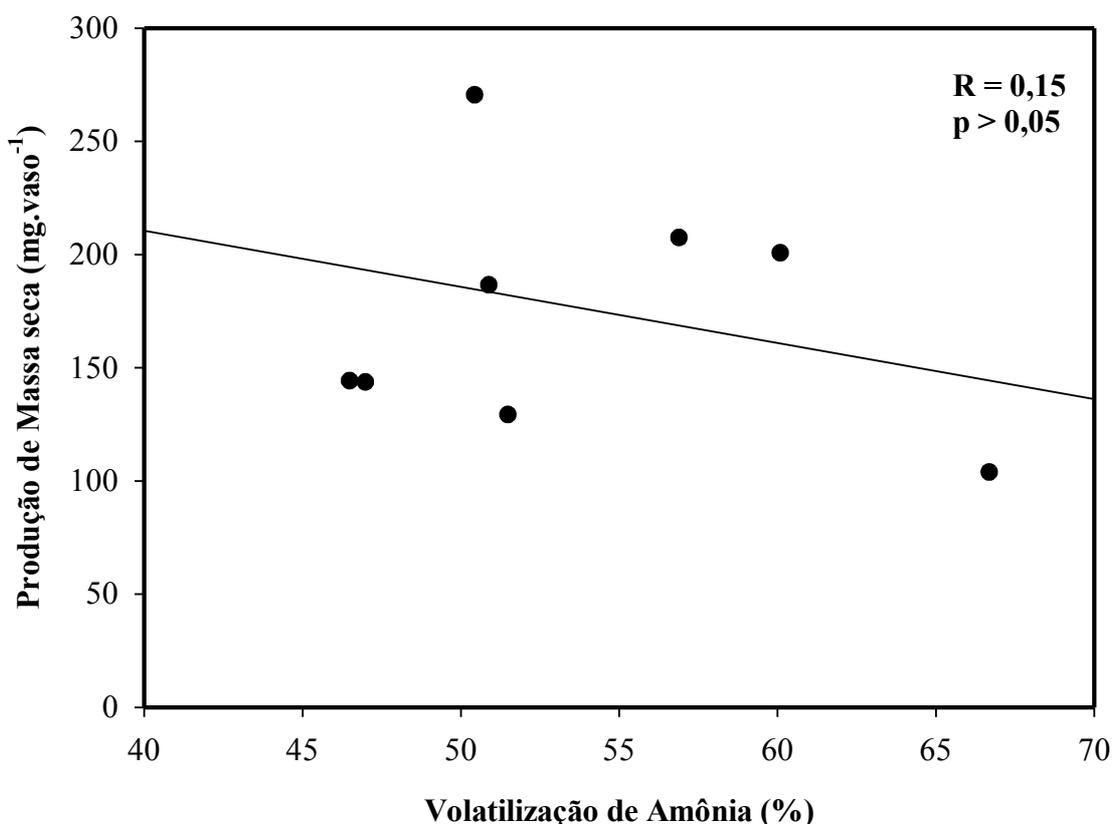


Figura 3: Efeito do N-volatilizado das fontes nitrogenadas aplicadas à superfície na produção de biomassa de *Brachiaria decumbens*.

A recuperação do N fertilizante na planta inteira (parte aérea + raiz) aplicado em cobertura variou entre 42,95 a 65,5% para os tratamentos ureia comercial e ureia com arenito zeolítico sem calagem (pH=5,4) e entre 34,43 e 60,24% também para os tratamentos ureia comercial e ureia com arenito zeolítico quando foi realizada a calagem (Tabela 5) .

Ao avaliar as partes das plantas separadamente, não se observou diferenças significativas entre os tratamentos. No somatório, os tratamentos UK e UZ diferiram estatisticamente dos demais quando não se utilizou calagem. Para os tratamentos que utilizaram calagem só foi observada diferença para o tratamento UZ. Portanto, o tratamento ureia +arenito zeolítico apresentou maior eficiência de uso do nitrogênio do fertilizante. Este resultado é devido aos efeitos do arenito zeolítico na manutenção e maior disponibilidade de

N-fertilizante no solo, fornecendo o nutriente de forma mais lenta de acordo com as demandas nutricionais da cultura.

Os resultados apresentados no presente trabalho mostram valores superiores à média relatada na revisão sobre a recuperação de ¹⁵N-fertilizante na parte aérea de gramíneas tropicais feita por MARTHA JÚNIOR (2003), onde os valores de recuperação ficaram em torno de 30%.

Tabela 5. Recuperação do N-fertilizante na parte aérea e raiz de plantas de *Brachiaria decumbens*.

		UC	UK	UH	UZ	UG
		Tratamentos (%)				
Parte Aérea	Sem calagem	39,58A	50,55A	40,01A	54,94A	45,12A
	Com calagem	32,06A	32,37A	35,87A	48,87A	38,37A
Raiz	Sem calagem	3,37A	11,37A	6,8A7	10,62A	5,62A
	Com calagem	2,37A	13,37A	8,62A	11,37A	6,37A
Total na planta	Sem calagem	42,95B	61,92A	46,88B	65,56A	50,74B
	Com calagem	34,43B	45,74B	44,49B	60,24A	44,74B

Médias seguidas por letras iguais para a mesma condição (sem e com calagem) (linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott (5%).

De acordo com os resultados obtidos no experimento 1 onde se avaliou as perdas por volatilização, permite inferir que parte do N-fertilizante não recuperado (considerando o N retido pelo solo) foi perdido basicamente por volatilização para atmosfera. Já que estas perdas foram de aproximadamente, 51, 33, 47, 26 e 50% quando não foi feita calagem e 65, 50, 57, 43 e 62% quando aplicou calagem para os tratamentos ureia comercial, ureia+KCl, ureia +ácido húmico, ureia+arenito zeolítico e ureia + gesso agrícola. Em consequência das boas características de aeração do solo, o processo de desnitrificação deve ter sido mínimo (TRIVELIN, 2000). As perdas por lixiviação também, se ocorreram, foram muito pequenas. Na prática deduz-se que muito pouco do N fertilizante ficou no solo.

Para o balanço do nitrogênio do fertilizante na planta em média, 46% e 37% do N total alocou-se na parte aérea, enquanto que 7,6% e 8,4% ficaram retidos nas raízes, respectivamente, para as condições sem e com calagem. Portanto, a maior parte do N-recuperado saiu do sistema, através da retirada da parte aérea, por cortes da pastagem. E o acumulado pelas raízes pode ser reutilizado como reservas para rebrota.

1.14. CONCLUSÕES

Os fertilizantes granulados ureia+arenito zeolítico e ureia+ KCl, em comparaçãoa ureia comercial, apresentaram menores perdas por volatilização de amônia, em valores aproximados 25 e 18% menores, respectivamente, quando aplicado em cobertura sobre o solo sem calagem, e em 22 e 15% quando se aplicou calagem.

A produção de biomassa seca das plantas de *Brachiaria decumbens*, foi maior nos tratamentos ureia+gesso agrícola e ureia + KCl, quando não se aplicou calagem. E com aplicação de calagem o melhor resultado foi obtido com o tratamento ureia + ácido húmico, comparado com a ureia comercial.

O fertilizante Ureia + KCl promoveu maior acumulação de N pela biomassa vegetal em solo sem calagem e o tratamento Ureia + gesso agrícola quando com calagem, não observando-se portanto, consumo de luxo pelas plantas já que a maior acumulação correspondeu a maior produção de biomassa.

Para as duas condições estudadas a taxa de recuperação do N-fertilizante pelas plantas foi maior para os fertilizantes ureia +arenito zeolítico e ureia +KCl. Sendo o fertilizante ureia +arenito zeolítico o que apresenta melhor eficiência de utilização do N-fertilizante.

CAPITULO II-
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E DESTINO DO N DE NOVAS
FORMULAÇÕES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS BASEADOS NO USO
DA UREIA, NA CULTURA DO MILHO (*ZEA MAYS*)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo quantificar as perdas de N por volatilização de amônia, as emissões de N₂O e a eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados (EUFN) de liberação lenta pela cultura de milho. O experimento foi realizado na área experimental da Embrapa Agrobiologia, no período de dezembro de 2010 a abril de 2011. Os tratamentos consistiram na aplicação no campo em cobertura dos fertilizantes nitrogenados Ureia comercial (UC), Ureia+KCl (UK), Ureia+Ácido Húmico (UH), Ureia+Arenito Zeolítico (UZ) e Ureia+Gesso Agrícola (UG), na dose de 150 kg N.ha⁻¹ e um tratamento controle. Deve-se destacar que as formulações foram granuladas. As medições de perdas por volatilização de amônia foram feitas com uso de câmara semi-aberta livre estática (ARAÚJO et al., 2009). As emissões de N₂O foram avaliadas utilizando-se câmaras estáticas fechadas. A EUFN foi avaliada mediante o uso dos fertilizantes nitrogenados enriquecidos com ¹⁵N, em microparcelas em cada tratamento. Amostrou-se também o solo, na profundidade de 0–40 cm com intuito de quantificar o N fertilizante residual que permaneceu no solo. Com relação às perdas por volatilização de amônia, os tratamentos onde se adicionou zeolita(UZ) e cloreto de potássio (UK) reduziram as perdas em aproximadamente 18 e 14%, respectivamente, quando aplicado em cobertura em comparação com UC. Estas perdas corresponderam em média 32 e 36% do total de N aplicado n superfície do solo. Para as emissões de N₂O os fatores de emissão direta foram de 0,98; 1,35; 0,77; 1,10 e 0,67 para os fertilizantes UC, UK, UH, UZ e UG, respectivamente. O tratamento UK apresentou maiores perdas por emissão de N₂O. Mesmo estes estando acima do valor médio (1%) proposto pelo IPCC, ainda se encontram dentro da faixa de incerteza que varia de 0,3 a 3%.

As maiores produtividades de grão foram obtidas nos tratamentos com UG e UZ (9666 e 9940 kg.ha⁻¹, respectivamente). A EUFN na parte aérea de milho (palha + grãos) foi 39,6; 64,5; 60,5; 69,13 e 51,93%, respectivamente, para ureia comercial, ureia + KCl, ureia +ácido húmico, ureia +arenito zeolítico e ureia +gesso agrícola. Foi observado que em média 12% do N do fertilizante permaneceu no solo. Dessa forma, contabilizando todo o N recuperado do fertilizante (planta + solo+ N-NH₃) estimou-se que 59,4; 96,8; 90,6; 103,7 e 77,9 kg N.ha⁻¹ de ureia comercial, ureia + KCl, ureia +ácido húmico, ureia +arenito zeolítico e ureia +gesso agrícola, respectivamente, foram recuperados no sistema solo-planta.

Palavras - chave: Óxido nitroso, ¹⁵ N, volatilização de amônia, eficiência de uso do N.

ABSTRACT

This study aimed to quantify the losses by ammonia volatilization, N₂O emissions and efficiency of nitrogen slow-release fertilizer use (EUFN) in maize crop. The experiment was conducted at Embrapa Agrobiologia, from december 2010 to April 2011. The treatments consisted of covering the field of nitrogen fertilizers UC, UK, UH, UZ and UG at a dose of 150 kg. ha⁻¹ and a control treatment. Measurements of losses by volatilization were made using semi-open chamber static free, first described by MARSOLA et al. (2000) and modified and calibrated by ARAÚJO et al. (2009). N₂O emissions were evaluated using static closed chambers. The EUFN was evaluated by the substitution of nitrogen fertilizers in the enriched ¹⁵N, in little plots in each treatment. It was sampled the soil at a depth of 0-40 cm in order to quantify the fertilizer N remained in soil. In agreement with losses by volatilization of ammonia, treatments UZ and UK reduced N-NH₃ losses by volatilization in approximately 18 and 14% respectively when applied in coverage compared to UC. These losses amounted to 32,3 and 35,7% of total N applied to the soil. For emission of the N₂O emission factors were 0,98; 1,35; 0,77; 1,10 and 0,67 for fertilizers UC, UK, UH, UZ and UG respectively. UK being the treatment presented the largest losses of N₂O emissions. Even though there are above average (1%) proposed by the IPCC, are still within the range of uncertainty ranging from 0,3 to 3%. The highest there yield of grain were obtained in treatments with UZ and UG (9666 and 9940 kg.ha⁻¹, respectively). The EUFN in shoots of corn (grain +straw) was 39,6; 64,5; 60,5; 69,13 and 51,93% respectively, for commercial urea, urea +KCl, urea + humic acid, urea +zeolítico sandstone and urea +gypsum. Having observed that on average 12% of fertilizer N remained in the soil. Thus, accounting for all the fertilizer N recovered was estimated that on average 59,4; 96,8; 90,6; 103,7 and 77,9 kg N.ha⁻¹ commercial urea, urea+KCl, urea+humic acid, urea + sandstone zeolítico and urea + gypsum, respectively found in the soil- plant system.

Keywords: Nitrous oxide, ¹⁵N, ammonia volatilization, N use efficiency.

1.15. INTRODUÇÃO

A cultura do milho é uma das mais exigentes em nutrientes, principalmente os nitrogenados. A disponibilidade de N está diretamente ligada ao desenvolvimento da área foliar (LEMAIRE & GASTAL, 1997), atuando na interceptação de radiação fotossinteticamente ativa, e conseqüentemente, aumentando a produção de biomassa. Portanto, folhas bem nutridas sintetizam mais carboidratos, resultando em maiores produtividades.

Sendo assim, para se obter produtividade economicamente viável, a nutrição mineral adequada é um fator importante. O fornecimento de nitrogênio inadequado é um dos principais problemas que limitam a produtividade de grãos no Brasil, onde a produtividade média da cultura está muito abaixo da obtida em outros países como por exemplo, os EUA. Sabe-se que o nitrogênio é o nutriente que proporciona aumento da produtividade de grãos na cultura de milho. Assim, se torna de extrema importância a sua disponibilidade no momento de maior demanda de N pela cultura.

A ureia é o principal fertilizante nitrogenado utilizado no Brasil representando 50% do total utilizado, com forte tendência de aumento (LOPES & BASTOS, 2007). No entanto, é o adubo nitrogenado com maior chance de perda por volatilização de amônia. Assim, é importante que técnicos e agricultores tenham este conhecimento, para fazer a aplicação da ureia de forma a minimizar as perdas por volatilização, lixiviação e desnitrificação, buscando assim fornecer este nutriente de forma adequada as culturas.

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de cobertura de adubos baseados na ureia na produtividade de grãos do milho, a eficiência do N-fertilizante e quantificar as perdas de N na forma de amônia e N₂O em sistema irrigado.

1.16. MATERIAIS E MÉTODOS

1.16.1. Caracterização da Área:

O experimento foi conduzido na safra 2010/11 no Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia, situado no município de Seropédica-RJ, com coordenadas 22°46' latitude Sul e 43°41' longitude Oeste e altitude de 33m. O solo foi classificado como Planossolo Háptico (EMBRAPA, 1999). O clima da região é Aw segundo a classificação de Köpen onde prevalecem verões úmidos e invernos secos com temperatura média anual de 24 °C e precipitação média de 1.500 mm, sendo os meses de julho e agosto os mais secos. As temperaturas mais altas são registradas nos meses de janeiro e fevereiro e as mais baixas no mês de julho.

A área experimental foi preparada em novembro de 2010. O preparo convencional do solo consistiu de uma passagem de arado de disco à profundidade de 18 cm, seguida por uma gradagem niveladora leve à profundidade de 10 cm. O histórico de uso da área foi o cultivo durante 7 anos de capim elefante (*Pennisetum purpureum*), que recebia adubação de manutenção de acordo com a análise de solo. Nesta etapa foi realizada a análise química do solo na profundidade de 0-20 cm (**tabela 6**).

Tabela 6. Resultado da análise química do solo antes da implantação do experimento.

SOLO	pH H ₂ O	Al	Ca*	Mg	P	K	C	MO	N
Planossolo	1:2,5cmol _c .dm ⁻³		mg.dm ³		%		
(Textura Arenosa)		3.....							
	5,3	0,5	-	0,4	2,9	17,0	0,32	0,55	0,072

*Ficaram abaixo do limite de quantificação de 0,5cmol_c.dm⁻³

As parcelas foram demarcadas e foi realizada a calagem aplicando-se 5 Mg mineral 100% PRNT. ha⁻¹, 30 dias antes da semeadura. A semeadura do milho foi manual no dia 1 de dezembro de 2010 utilizando o híbrido duplo BR-206 da empresa Riber, para obtenção de uma população de plantas de 50000 plantas.ha⁻¹. No plantio realizou-se aplicação de 100 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo, 80 kg.ha⁻¹ de K₂O, na forma de Cloreto de Potássio e 20 Kg.ha⁻¹ de N na forma de ureia para garantir que não haveria deficiência no início do desenvolvimento da cultura, de acordo com as recomendações técnicas para cultura do milho e baseados nos resultados das análises químicas de solo.

Os tratamentos consistiram na aplicação de 5 adubos nitrogenados baseados no uso da ureia e um tratamento testemunha sem adição de N (**Tabela 7**). O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com 6 tratamentos e 4 repetições totalizando 24 parcelas.

Tabela 7. Tratamentos utilizados no experimento

Identificação	TRATAMENTOS
T1- UC	Ureia Comercial
T2- UK	Ureia + Cloreto de Potássio
T3- UH	Ureia + Ácido Húmico
T4- UZ	Ureia + Arenito Zeolítico
T5- UG	Ureia + Gesso Agrícola
T6	Controle

A área total das parcelas foi de 21m^2 , com 3 m de comprimento e 7 m de largura (7 linhas espaçadas de 1m) (Figura 4), totalizando 513m^2 de área total do experimento. As avaliações foram feitas nas 3 linhas centrais descartando 1 m da bordadura inicial e final das mesmas. O metro central da linha central corresponde à microparcelas, onde foi aplicado o fertilizante marcado com 1% de átomos de ^{15}N em excesso para avaliação do destino do nitrogênio dos fertilizantes.

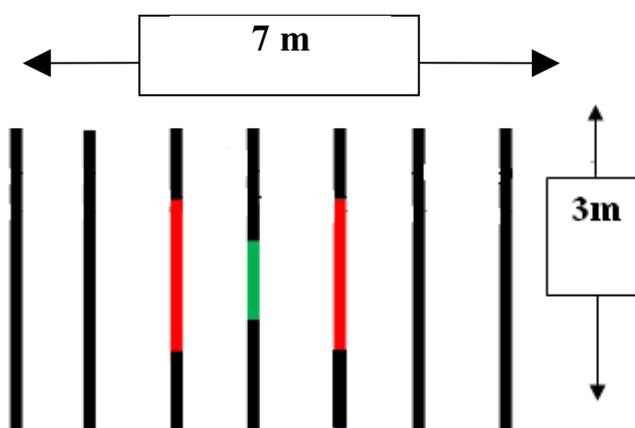


Figura 4. Representação da parcela experimental total, com microparcelas (verde) ao centro. Em vermelho estão as linhas colhidas para determinação da produção de grãos e biomassa do milho.

Todos os adubos foram granulados seguindo a metodologia descrita no capítulo 1. Com exceção da testemunha, a dose de nitrogênio aplicada na cobertura foi de $150\text{ kg de N. ha}^{-1}$, seguindo recomendação em condições irrigadas. A aplicação em cobertura foi realizada manualmente a 20 cm da linha de plantio, 30 dias após a emergência do milho, que apresentavam 4 folhas totalmente expandidas (estágio V4). Assim a aplicação total de nitrogênio nos tratamentos adubados foi de 20 kgN.ha^{-1} na sementeira e 150 kgN.ha^{-1} em cobertura. O fertilizante marcado com ^{15}N foi aplicado somente na cobertura.

O experimento foi mantido com capina manual periodicamente visando o controle das ervas daninhas, principalmente de capim colônia, que apareceu em grande quantidade na área experimental.

1.16.2. Quantificação das emissões de N_2O derivado do solo pela aplicação dos tratamentos

Para avaliar as emissões de N_2O foi utilizada uma câmara estática fechada por parcela. O comprimento da câmara cobria $2/3$ da distância da entrelinha de milho, com a largura incluindo a linha que recebeu a adubação nitrogenada.

O tipo de câmara estática foi a mesma utilizada por PAREDES (2011), composta de duas partes. Uma das partes era constituída de uma estrutura de metal retangular de 40 x 60 cm, com altura de 15 cm e foi denominada de base. Esta base da câmara foi inserida até 5 cm de profundidade no solo, permanecendo todo período de avaliações no mesmo local. A outra parte era constituída por uma chapa metálica de 45 x 65 cm, circundada por uma borracha de vedação, denominada de tampa. No centro desta tampa foi posicionada uma entrada para a válvula de três vias do tipo “luer lock” utilizada na retirada das amostras gasosas. No momento das amostragens esta tampa era pressionada na base com auxílio de seis grampos de metal, para garantir a vedação durante o período de incubação.

A frequência de amostragem seguiu o seguinte cronograma: após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura as coletas foram diárias, durante 15 dias. Após este período inicial, as amostragens passaram a ser realizadas três vezes por semana, por mais 45 dias. A exceção ocorreu em períodos com elevados índices pluviométricos, quando as amostragens foram feitas todos os dias até 3 dias após a chuva.

As amostragens eram feitas sempre no horário da manhã (entre 8 e 9 horas), tal como recomendado por JANTALIA et al. (2008). Foram coletadas amostras no fechamento das câmaras para determinar a concentração inicial de N₂O do ar e após 30 minutos. Para coleta das amostras gasosas foram utilizados frascos de vidro (20ml) lacrados com borracha butírica presas com lacres de alumínio. Foi utilizada uma bomba de vácuo manual, para garantir que os frascos estivessem evacuados com uma pressão negativa de 80 kPa, para que a transferência do ar de dentro das câmaras para os frascos ocorresse por diferença de pressão. Em cada dia de coleta, foi determinada a temperatura do ar e do solo no início e no final das coletas. A análise da concentração de N₂O foram realizadas no Laboratório de Cromatografia da Embrapa Agrobiologia, utilizando um cromatógrafo de gás (Perkin Elmer, Autosystem) equipado com uma coluna de "Porapak Q" e um detector de captura de elétrons (ECD). Antes de cada conjunto de análises, eram injetados padrões para o cálculo das concentrações de N₂O de cada amostra. Os padrões utilizados foram 410 ppbv (nmol.mol⁻¹), 800 ppbv e 1180 ppbv N₂O. Quando foi observado pico de emissão superior a 1180 ppbv, foi utilizado também o padrão de 10 ppmv para construção da curva.

Os fluxos de N₂O consistem na diferença entre a concentração inicial e final de cada incubação de 30 minutos, sendo calculados pela equação $FN_2O = dC/dt (V/A) M/V_m$, onde dC/dt é a mudança de concentração de N₂O na câmara no intervalo de incubação; V e A são respectivamente o volume da câmara e a área de solo coberta pela câmara; M é o peso molecular de N₂O e V_m é o volume molecular na temperatura de amostragem. Os fluxos foram expressos em $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Após o cálculo dos fluxos, foram estimadas as emissões para o período de dias avaliados, que neste estudo foi de 60 dias. Inicialmente, este cálculo foi feito multiplicando-se os fluxos obtidos em $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ por 24, para obter o fluxo diário. Para o cálculo dos fluxos nos intervalos de dias em que não foram feitas medições, multiplicou-se o número de dias do intervalo pela média das emissões dos dias onde houve amostragem. Com estes resultados foi calculado, descontando a emissão do controle, o fator de emissão de cada adubo nitrogenado aplicado.

Durante o período de coletas de N₂O foi realizado monitoramento os teores de NO₃⁻ na solução do solo e a umidade do solo. No período de maior intensidade de amostragem foi realizada a coleta de solo duas vezes por semana, para determinação do NO₃⁻. As determinações da umidade do solo foram sempre realizadas quando coletadas amostras para análises de N₂O, assim como as medições da temperatura do solo (10 cm) e do ar.

Para análise dos teores de nitrato, foram pesados 20 g de solo das amostras frescas em erlenmeyer e foi adicionado 60 ml de solução extratora de KCl 2M. Esta solução foi levada para agitador rotativo a 220 RPM por um período de 30 minutos. As amostras foram filtradas e a solução obtida foi preparada para ser analisada por fluxo de injeção contínuo (FIA),

utilizando a metodologia descrita por OLSEN (2008), na qual a leitura é feita utilizando-se dois comprimentos de onda em luz ultravioleta (220 nm e 275 nm). O sistema de fluxo contínuo foi composto por um espectrofotômetro digital equipado com célula para fluxo contínuo, uma bomba peristáltica com 6 canais com tubos de Tygon® com vazões especificadas para cada reagente, um computador- injetor de amostras, equipado com bobinas de reação, tubos capilares para as conexões e um registrador.

Para determinação da umidade, foram pesados 10 g de solo em cadinhos de alumínio, que permaneceram em estufa a 105 °C por 72 horas. Posteriormente o cadinho foi pesado para determinação da umidade gravimétrica. A umidade volumétrica foi calculada multiplicando-se a umidade gravimétrica pela densidade do solo. Com os dados de umidade volumétrica, calculou-se o espaço de poros saturado com água (EPSA %) pela fórmula:

$$\%EPSA = \left(\frac{\theta}{n} \right) \times 100$$

Sendo θ a umidade volumétrica, e n a porosidade do solo.

A porosidade é calculada pela fórmula:

$$n = \left[1 - \left(\frac{\rho}{2,65} \right) \right] \times 100$$

Sendo a densidade do solo, e 2,65 a densidade das partículas considerada (g cm^{-3}).

1.16.3. Quantificação do N volatilizado (NH_3) do fertilizante

Esta avaliação foi realizada de forma semelhante a descrita no capítulo 1, sendo o intervalo de coletas de 4 em 4 dias por um período total de 27 dias. Como os fertilizantes foram aplicados em linha ao lado da linha de plantio, o cálculo das perdas por volatilização foram realizados considerando a faixa que a linha do adubo ocupa no interior das câmaras de captação de amônia. Sendo assim, desconta-se da área total da câmara, a área que não contém adubo.

1.16.4. Determinação da produção de biomassa aérea e grãos

O experimento foi colhido no dia 4 de abril, aos 120 dias após o plantio. Para avaliação da produtividade, foram colhidas as plantas um metro linear das 3 linhas centrais 12 plantas por parcela. Primeiramente foram colhidas todas as espigas. Após secagem estas foram debulhadas e os grãos pesados. Os colmos e folhas foram colhidos e pesados para determinação da biomassa aérea. Foi retirada uma sub-amostra que foi pesada fresca e seca, após permanecer em estufa de circulação forçada por 72hs a 65 °C. As amostras de biomassa aérea e grãos foram pré-moídas em moinho tipo Willey (peneiras de 2 mm), para as análises de nitrogênio total.

1.16.5. Calculo do Nitrogênio derivado do fertilizante

Foram realizadas análises de enriquecimento com ^{15}N nas amostras vegetais e no solo. Para as amostras de plantas foram coletadas todas as plantas das microparcels (5 plantas) que receberam o fertilizante marcado, as espigas foram debulhadas manualmente e secas em estufa de 65°C, moídas em moinho tipo Willey (peneiras de 2 mm) e em seguida passadas em moinho de rolagem até a pulverização (SMITH & MYUNG, 1990). Após a pulverização das amostras foram determinados o enriquecimento com ^{15}N por espectrometria de massa (BODDEY et al., 1994).

Para o solo foram coletadas as amostras de solo nas entre linhas das microparcels marcadas com ^{15}N , com auxílio de um trado tipo Holandês, considerando o ponto médio da

área de influência do fertilizante na profundidade de 0,20 m e 0,40 m, para se avaliar a fração do fertilizante nitrogenado que permaneceu no solo.

O enriquecimento do N aplicado nos adubos nitrogenados foi de 1% de átomos de ^{15}N em excesso. Isso permitiu avaliar a quantidade de N derivada do fertilizante no solo e planta. Com este resultado foi possível calcular a eficiência do uso do N para o período de crescimento da cultura (ALVES et al., 2006).

A eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (%) foi calculada pela fórmula:

$\text{EUFN} = (\text{QNPSf}/\text{QF})/100$, em que:

QNPSf = quantidade de N derivado do fertilizante presente na planta, ou no solo;
QF = quantidade de N aplicada como fertilizante.

A QNPSf foi calculada multiplicando-se a quantidade de N total da planta, ou do solo, pela porcentagem de N da planta, ou do solo, derivada do fertilizante (%NPf ou %NSf).

A %NPf ou %NSf será calculada pela fórmula:

$\% \text{NSf} = (\%^{15}\text{Nps}/\%^{15}\text{Nf})/100$, em que:

$\%^{15}\text{Nps}$ = porcentagem de átomos de ^{15}N em excesso na planta, ou solo;

$\%^{15}\text{Nf}$ é a porcentagem de átomos de ^{15}N do fertilizante em excesso (ALVES et al., 2006).

1.17. RESULTADOS E DISCUSSÕES

1.17.1. Emissões de N₂O derivadas de aplicações de diferentes fontes de nitrogênio na cultura do milho.

As emissões de N₂O observadas após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados foram caracterizadas por elevados fluxos, atingindo até 1407 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ com a aplicação da mistura granulada de ureia e gesso agrícola (**figura 5**). Estas perdas foram em geral superiores aos relatados na literatura. No momento da aplicação dos fertilizantes nitrogenados o solo se encontrava com umidade elevada. Os maiores fluxos ocorreram 10 dias após a aplicação do fertilizante nitrogenado. Estas maiores emissões coincidiram com período de maior incidência de chuvas, quando a elevação da umidade do solo favoreceu condições para perdas de N pelo processo de desnitrificação. Entre os dias 21/01/2011 e 27/02/2001 as precipitações foram praticamente nulas, mas a umidade do solo foi mantida devido à irrigação. As maiores lâminas d'água ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro, com eventos superiores a 36 mm diários.

As emissões de N₂O diferiram entre os tratamentos no decorrer do experimento. Apesar de ter ocorrido aumento nas emissões após a aplicação de N, outros fatores, como a umidade do solo, também influenciaram as emissões. Anteriormente à aplicação dos fertilizantes os valores médios dos fluxos foram em torno de 37 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, com todos os tratamentos apresentando comportamento semelhante. O espaço poroso saturado com água (EPSA) variou de 38 a 68% durante o estudo (**figura 5**).

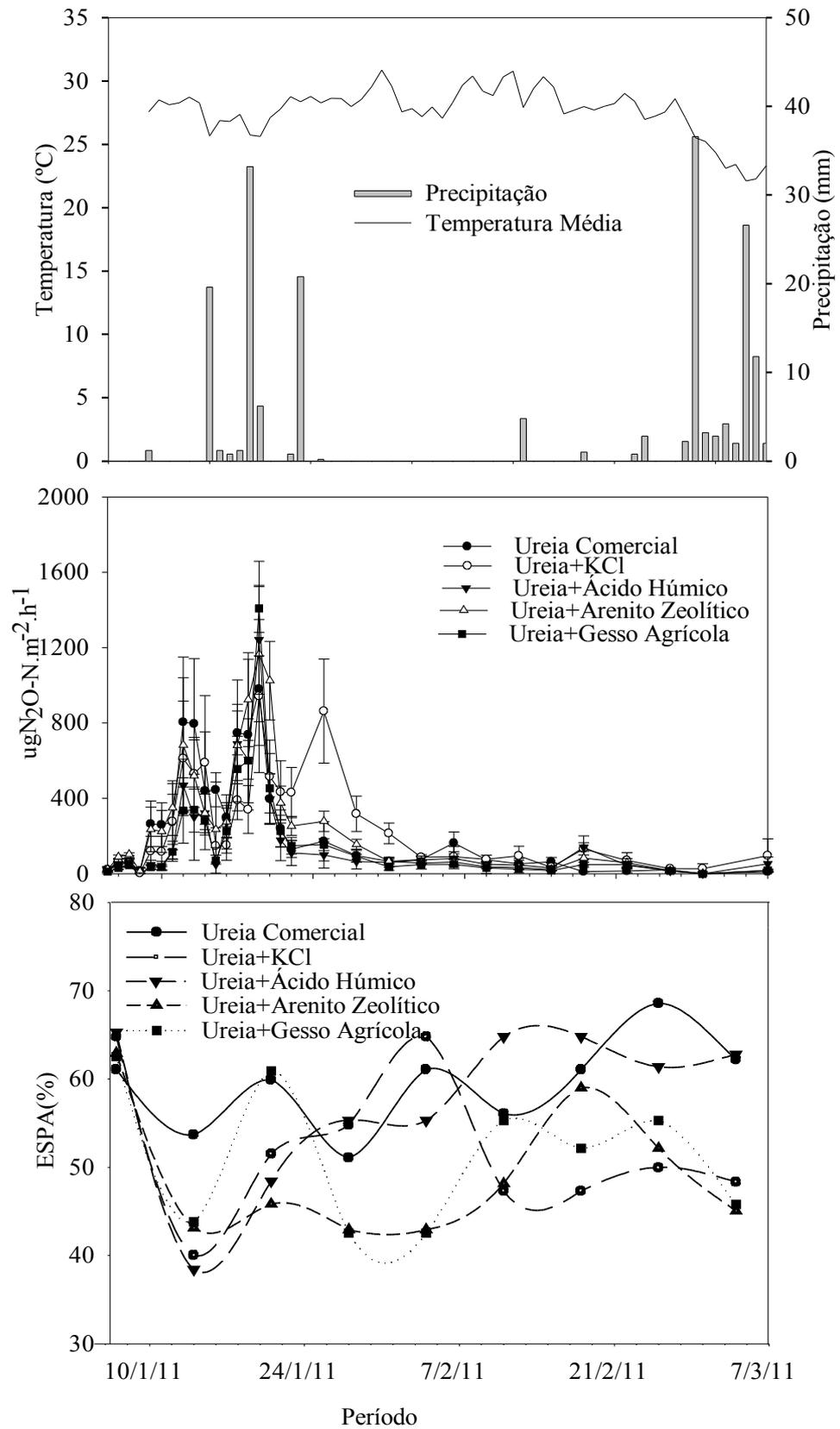


Figura 5. Precipitação, temperatura do ar, Espaço Poroso Saturado com Água (EPSA) e emissões de N_2O do solo com aplicação de cinco fertilizantes nitrogenados.

A variação total do N-NO_3^- no solo foi de 0,39 a 14,7 mg N. kg^{-1} de solo para o tratamento mistura de ureia+gesso agrícola e ureia +KCl, respectivamente, no decorrer das avaliações.

Os maiores valores se concentraram 10 dias após a adubação e variaram de 13,6, 14,07, 14,35, 13,3 e 8,8 mg N. kg^{-1} , para ureia comercial, ureia +KCl, ureia+ácido húmico, ureia+arenito zeolítico e ureia+gesso agrícola, respectivamente (**figura 6**). Já no final do experimento foram observados valores menores, 0,50, 0,66, 0,50, 0,40 e 0,39 mg N. kg^{-1} , respectivamente, para os mesmos tratamentos. Dessa forma, os maiores fluxos de N_2O obtidos, podem estar relacionados com a disponibilidade de NO_3^- , tendo em vista que os maiores fluxos coincidem com o período de maior disponibilidade (**figura 6**).

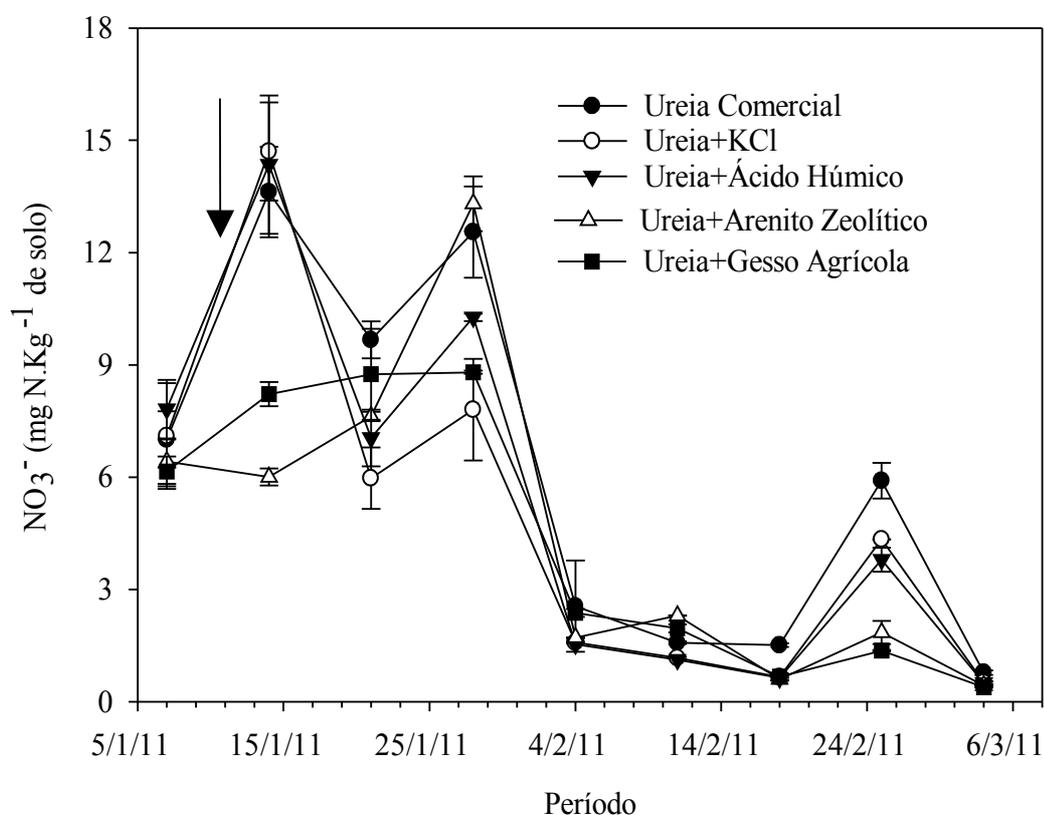


Figura 6. Teores de NO_3^- do solo antes e após a aplicação de cinco fertilizantes nitrogenados. A seta indica a data da aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura

Segundo SKIBA & SMITH (2000), a disponibilidade de N e o conteúdo de água no solo são os fatores mais relevantes e determinantes sobre os fluxos de emissões de N_2O . Os resultados deste estudo estão de acordo com muitos outros que relataram maior taxa de desnitrificação quando foi observado maior conteúdo de água no solo (DUXBURY & MCCO AUMNAUGHEY, 1986; MOSIER et al., 1986). O aumento da disponibilidade de N mineral logo após o uso de fertilizante nitrogenado pode ser explicado pelo aumento da atividade enzimática do solo pela da biomassa microbiana (GOMES, 2006). Outros trabalhos também observaram elevação dos fluxos de N_2O logo após aplicação de fertilizante nitrogenado (PARKIN & KASPAR, 2006; WEITZ et al., 2001) ou após períodos de precipitação (DICK et al., 2001; NOVOA & TEJEDA, 2006). Estas condições favoreceram o processo de desnitrificação. Como o presente estudo ocorreu em época quente com temperatura média em torno de 25° C, este fator foi relevante para perda de N pela emissão de N_2O , por interferir na

atividade e nos processos bioquímicos dos microorganismos responsáveis pelos processos de nitrificação e desnitrificação (SKIBA & SMITH, 2000).

Em experimento realizado no Sul do Brasil JANTALIA et al. (2008) não encontraram relação entre o aumento da umidade provocada por precipitações com o aumento do fluxo de N₂O. Em média o EPSA ficou em 53%. Trabalho realizado por RUSER et al. (2006) demonstraram que as maiores emissões de N₂O foram encontradas com EPSA a 90%. Além disso, eles justificam que a alta percolação da água do solo junto com a alta evapotranspiração durante o verão reduziria drasticamente o tempo do solo com EPSA acima de 50%, que poderia limitar as emissões de N₂O. Mesmo os freqüentes eventos de chuvas ocorrendo durante todo o ano não foram suficientes para mudar o EPSA. Diferentemente dos resultados encontrados por estes autores, no presente estudo mesmo com o EPSA não ultrapassando 70%, as emissões foram bastante elevadas.

Segundo HOLTGRIEVE et al. (2006) pode haver uma correlação positiva entre a disponibilidade inorgânica de N e emissões de N₂O. De fato, neste estudo, a maior concentração de NO₃⁻ no solo na profundidade 0-10 cm foi verificada no período onde ocorreu o maior fluxo de N₂O. Entretanto, a disponibilidade de NO₃⁻ foi muito baixa. Estes resultados corroboram com os encontrados por OLIVEIRA (2009). Em trabalho desenvolvidos por ROCHETTE et al. (2004), eles relataram que os conteúdos de N mineral do solo não estão claramente relacionados com os fluxos de N₂O, sugerindo que o conteúdo mineral de N do solo seja um pobre indicador da intensidade da produção de N₂O (OLIVEIRA, 2009).

1.17.2. Emissões de N₂O acumuladas e Fatores de emissão

As emissões de N₂O acumuladas apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Após aplicação dos fertilizantes em cobertura, a maior emissão acumulada foi obtida no tratamento ureia+KCl (2,02 kg N.ha⁻¹), seguido do tratamento ureia+arenito zeolítico (1,66 kg N.ha⁻¹) (Tabela 8).

Os fatores de emissão direta de N₂O do N fertilizante observados neste estudo foram de 0,98, 1,35, 0,77, 1,10 e 0,67% para os tratamentos ureia comercial, ureia +KCl, ureia+ácido húmico, ureia+arenito zeolítico e ureia+gesso agrícola, respectivamente.

Tabela 8. Emissões acumuladas e Fatores de emissão de N-N₂O provenientes da aplicação de cinco fertilizantes nitrogenados em um Planossolo cultivado com milho.

Tratamento	Emissão de N ₂ O		Fator de emissão	
	(kg N. ha ⁻¹)	Erro	(%- kg N-N ₂ O/150 kg N aplicado)	Erro
Ureia Comercial	1,48B	0,56	0,98	0,38
Ureia+KCl	2,02A	0,84	1,35	0,56
Ureia+Ácido Húmico	1,16B	0,54	0,77	0,36
Ureia+Arenito Zeolítico	1,66B	0,63	1,10	0,42
Ureia+Gesso Agrícola	1,01B	0,48	0,67	0,32

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si a nível de significância a 5% pelo teste de Scott-Knott.

Todos os tratamentos tiveram fatores elevados, mas dentro da faixa de incerteza (0,3 a 3% do N aplicado) usado como diretriz para as estimativas de perdas de N₂O por fertilizante do IPCC (2006). Desta forma, os resultados encontrados estão próximos ao fator de emissão

padrão proposto pelo IPCC (2006) que é de 1%. JANTALIA et al. (2008) e OLIVEIRA (2009) encontraram valores diferentes dos encontrados neste estudo. Eles encontraram fatores de emissão na ordem de 0,45 e 0,50, respectivamente, abaixo dos estimados pelo IPCC, e atribuíram o fato à boa drenagem desses solos. Segundo ROCHETTE et al. (2008), a taxa de desnitrificação é aumentada, como aumento do conteúdo de água ocupando mais de 50% do volume de poros, associado à baixa drenagem, provocando limitações à aeração.

1.17.3. Quantificação das perdas de N-fertilizantes por volatilização de amônio

Como foi observado no ensaio em casa de vegetação do primeiro capítulo deste trabalho, as maiores de perdas de NH_3 foram observadas nos primeiros cinco dias após a aplicação do fertilizante nitrogenado, chegando a perdas de $33,5 \text{ Kg.ha}^{-1}$ na ureia comercial nos primeiros cinco dias de aplicação dos adubos (**figura 7**).

Araújo et al. (2009), avaliaram a influência dos períodos entre as coletas na quantificação de N-NH_3 quando realizaram ensaios para calibração dos coletores, não sendo encontrada diferenças entre os intervalos. De acordo com os resultados encontrados por eles, as coletas podem ser realizadas a intervalos variando entre um a seis dias, sem que haja comprometimento na quantificação do N-NH_3 volatilizado e conseqüentemente sem interferir na eficiência do sistema. Portanto, as coletas realizadas 4 dias após a adubação não comprometem os resultados encontrados neste presente estudo.

Este comportamento também foi verificado por COSTA et al., 2003. Isto pode ser explicado pela elevação de pH em torno dos grânulos de fertilizante devido a hidrólise da ureia (OLIVEIRA, 2001). Em seguida as perdas foram diminuídas até ficarem próximos a zero. Este fato se deve provavelmente à diminuição do pH do solo e a utilização dos OH^- , durante o processo de volatilização e nitrificação de amônio (WHITEHEAD, 1995).

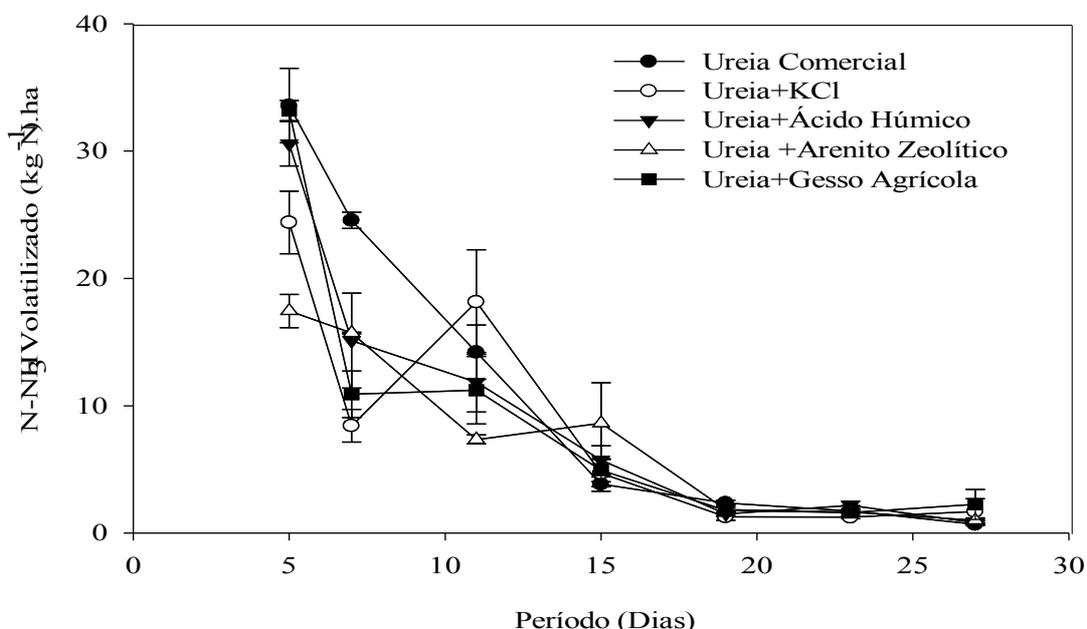


Figura 7. Volatilização de N-NH_3 em vinte e sete dias consecutivos após adubação nitrogenada de cobertura ($150 \text{ kg Kg.ha}^{-1}$) com ureia comercial; ureia+KCl; ureia + ácido húmico; ureia+ arenito zeolítico; ureia+ gesso agrícola.

As perdas totais de N-NH_3 variaram entre $53,6$ a $80,9 \text{ kg de N ha}^{-1}$, para a mistura granulada de ureia com arenito zeolítico e ureia comercial, respectivamente (Tabela 9).

As perdas foram elevadas para todos os tratamentos chegando a 36% do N total volatilizado na forma de NH₃ para a mistura de ureia com arenito zeolítico e 54% para ureia comercial. Em torno de 40% do N volatilizado foram perdidos nos cinco primeiros dias após a adubação nitrogenada, diferindo dos resultados encontrados por CANTARELLA, et al. (2003), onde mais do que 90% das perdas por volatilização do N aplicado ocorrem nos primeiros 6 dias após a aplicação do fertilizante. Neste estudo as misturas granuladas retardaram as perdas por volatilização do N aplicado em cobertura. Os tratamentos com as misturas granuladas de ureia +arenito zeolítico e ureia + KCl foram os que apresentaram as menores taxas de perdas por volatilização, chegando a redução nas perdas de 18% e 14% quando comparados com o tratamento de ureia comercial. Entretanto, só foram observadas diferenças significativas para o tratamento ureia+arenito zeolítico.

Tabela 9. Volatilização de N-amônia derivados da aplicação de cinco fertilizantes nitrogenados em solo cultivados com milho.

Tratamentos	Volatilização de N-NH ₃	Erro	% de N	Erro
	(kg N ha ⁻¹)		Volatilizado	
Ureia Comercial	80,98 A	2,75	54	1,83
Ureia+KCl	59,90A	4,89	40	3,26
Ureia+Ácido Húmico	67,77A	5,15	45	3,43
Ureia+Arenito Zeolítico	53,63B	2,87	36	1,72
Ureia+Gesso Agrícola	65,63A	4,15	44	2,77

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si a nível de significância de 5% pelo teste de Scott-Knott.

Segundo FENN (1987) o potássio adicionado à ureia (com a mistura de ureia com KCl) pode tomar o lugar do cálcio ou do magnésio no solo e prevenir as perdas por volatilização de amônia. O deslocamento do cálcio adsorvidos nos colóides e na solução do solo pelo potássio reage formando carbonato (produto da hidrólise da ureia), (LARA CABEZAS et al., 2000).

A eficiência do fertilizante nitrogenado é afetado diretamente pelas perdas por volatilização. Para condições de campo vários fatores podem influenciar estas perdas. Segundo HARGROVE, (1988) as propriedades do solo com textura e pH estabelecem o potencial de volatilização, enquanto a extensão das perdas é determinada pelas condições meteorológicas encontradas no intervalo de tempo da aplicação dos fertilizantes nitrogenados. Com o aumento da temperatura do solo e com umidade elevada, a taxa de hidrólise da ureia também aumenta (XU et al 1993; MOYO et al 1989). Segundo BREMNER & MULVANEY (1978), a hidrólise da ureia é aumentada a medida que aumenta a umidade do solo até 20%, com valores superiores a taxa de hidrólise sofre pouca alteração com o aumento da umidade do solo.

No presente estudo, a temperatura média do ar esteve próxima de 27° C. Outro fator que pode ter influenciado a maior perda de N associado a umidade e a temperatura foi à textura arenosa. Para solos de textura arenosa a água tem maior dificuldade em se associar a superfície das partículas do solo o que o torna mais suscetível aos fluxos, desta forma com o

aumento da temperatura, o NH_3 se movimenta em direção a superfície do solo juntamente com a água e assim, pode ser facilmente volatilizado (RAWLUK et al., 2001).

Os resultados encontrados neste estudo mostram que o efeito do arenito zeolítico e do KCl em reduzir as perdas ocorreram nos momentos de maior potencial de perdas por volatilização. Esta redução pode ser atribuída a capacidade do arenito zeolítico (AZ) em adsorver NH_4^+ (LOUIS, 2002). Resultados semelhantes foram encontrados por Werneck (2008) quando usou uma mistura de ureia com arenito zeolítico em cultura de roseira. E discordam dos resultados de HAIM (2009) quando avaliou as reduções na volatilização de ureia em misturas com doses de KCl.

1.17.4. Biomassa, produtividade e acúmulo de N na palha e nos grãos de milho

Na Tabela 10 são encontrados os valores referentes à biomassa aérea e de grãos e o acúmulo de N na palha e no grão do milho. A biomassa seca de parte aérea no final do ciclo teve produção média de 786,85; 1226,44; 1275,33; 1412,00; 1485,25; 1341,00 kg ha^{-1} , respectivamente, para o tratamento controle, ureia comercial, ureia +KCl, ureia + ácido húmico, ureia + arenito zeolítico e ureia + gesso agrícola. Os tratamentos ureia +arenito zeolítico seguidos do tratamento ureia +ácido húmico apresentaram as maiores médias. Entretanto não foi observada diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 10).

O N total acumulado na palha variou de 5,43 a 11,05 Kg.ha^{-1} para o tratamento controle e ureia +KCl. Também não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. A adubação com KCl resultou em um acúmulo de 103% e 28% superior ao tratamento controle e ao tratamento ureia comercial, respectivamente.

Tabela 10. Biomassa seca de palha, massa seca de grãos e N total em plantas de milho.

Tratamentos	Massa seca de Palha	N total na palha	Massa seca de grãos	N total no grão	Massa seca na planta	N total na planta
	Kg.ha^{-1}					
Controle	786,8A	5,4A	1860,0C	27,2C	2646,8C	32,6C
Ureia Comercial	1226,4A	8,6A	5649,7B	84,2B	6876,2B	92,8B
Ureia+KCl	1375,3A	11,0A	8845,5A	146,0A	10220,8A	157,0A
Ureia+Ácido Húmico	1412,0A	10,6A	8516,5A	127,8A	9928,5A	138,4A
Ureia+Arenito Zeolítico	1485,2A	10,8A	9666,0A	150,7A	11151,2A	161,5A
Ureia+Gesso Agrícola	1341,0A	10,5A	9940,0A	139,8A	11281,0A	150,3A

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si a nível de significância a 5% pelo teste de Scott-Knott.

A massa seca média de grãos dos tratamentos na cultura do milho foi de 8523 Kg ha^{-1} , quase o dobro da estimativa da média nacional para a primeira safra de 2010/11 que foi 4354 Kg.ha^{-1} (CONAB, 2011). As médias dos tratamentos foram de 1860, 5649,75, 8845,5, 8516,5, 9666 e 9940 Kg. ha^{-1} , respectivamente para os tratamentos controle, ureia comercial, ureia+KCl, ureia +ácido húmico, ureia +arenito zeolítico e ureia +gesso agrícola (Tabela 10). O tratamento com ureia+gesso agrícola foi o que apresentou maior produtividade seguido por

ureia+arenito zeolítico, ureia+KCl e ureia+ácido húmico. Em trabalho realizado por LARA CABEZAS et al. (2008) as maiores produtividades também foram encontradas nas misturas de ureia com sulfato de amônio e ureia com gesso agrícola. Possivelmente estes resultados são devido à importância do enxofre (S) para a cultura, como os teores eram mais elevados, estes foram suficientes para suprir as necessidades da cultura. Porém, verifica-se que não houve efeito significativo entre as fontes de N testadas, apresentando apenas diferenças para o tratamento controle e o que utilizou ureia comercial.

Essa alta produtividade foi alcançada provavelmente devido à presença de níveis adequados do nutriente disponível no solo e das condições climáticas favoráveis. Estes resultados corroboram aos resultados obtidos por SILVA (2001), onde se verificou que o fornecimento de N em cobertura tanto de forma parcelada ou em dose única, proporcionaram a maior produtividade de grãos.

O N acumulado nos grãos para os fertilizantes em teste variou entre 138,4 e 161,5 kg.ha⁻¹ para o tratamento ureia +ácido húmico e ureia+arenito zeolítico, respectivamente. Não foram observados diferenças significativas entre as novas tecnologias testadas. Os fertilizantes ureia+KCl, ureia +ácido húmico, ureia + arenito zeolítico e ureia+gesso agrícola apresentaram aumentos de 381,6; 324,5; 395,4; 361,0% e 69,2; 49,1; 74; 62% de acúmulo de N em comparação com os tratamentos controle e ureia comercial.

A figura 8 mostra a correlação entre a produtividade de grãos de milho e as perdas por volatilização de amônia acumuladas das respectivas fontes nitrogenadas. Observou-se efeito significativo entre a produtividade e as perdas amoniacais. CABEZAS et al (2000) também evidenciaram que o aumento das perdas leva a uma redução na produtividade de grãos de milho.

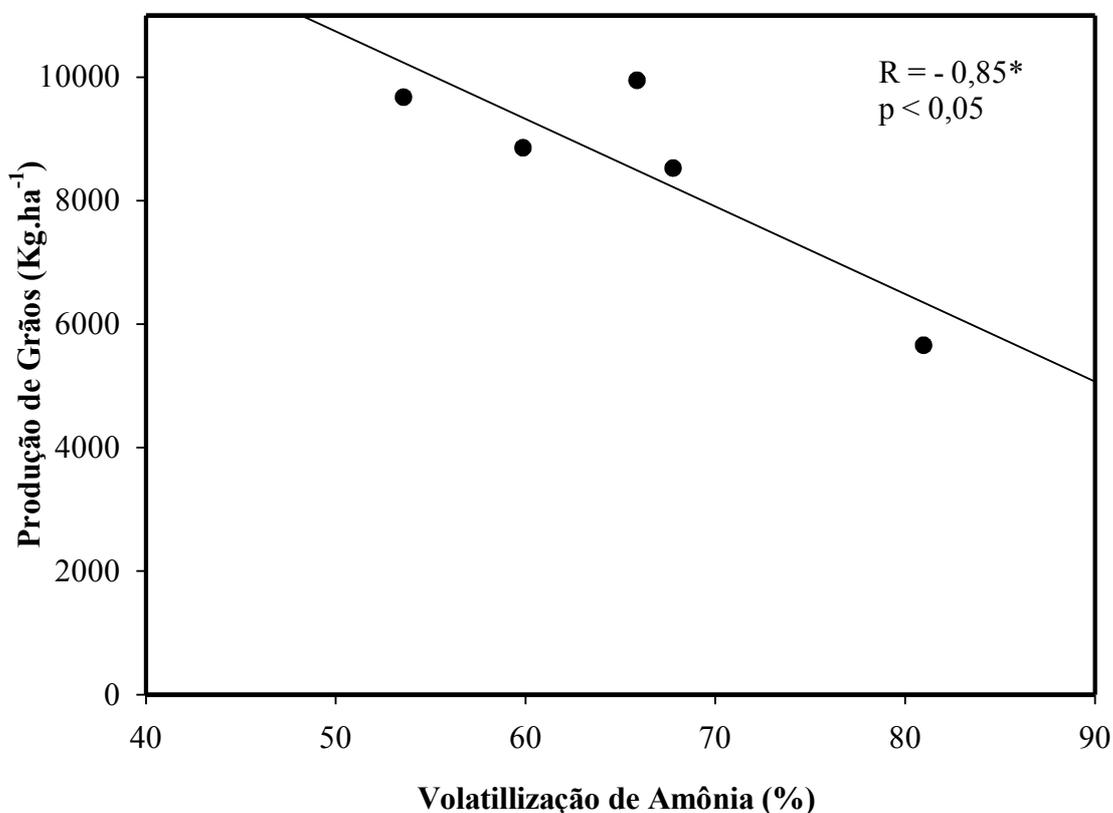


Figura 8: Efeito de N- volatilizado das fontes nitrogenadas aplicadas à superfície na produtividade do milho.

1.17.5. Avaliação da Eficiência do uso do fertilizante nitrogenado (EUFN).

1.17.6. Recuperação do N proveniente da adubação nitrogenada pelo milho.

A quantidade de N na planta derivado do fertilizante e do solo encontra-se na Tabela 11. Não foram observadas diferenças significativas entre os novos fertilizantes testados para o N derivado dos grãos e da palha. Apenas em torno de 2% do N acumulado na planta (palha + grão) se acumulou na palha e 98%, se acumulou nos grãos na média, mostrando que a maior quantidade de N acumulado na planta se concentra no grão. Resultados próximos foram encontrados por outros autores (LARA CABEZAS et al.,2000) demonstrando também que a maior parte do N-fertilizante absorvido pela planta não retorna ao solo, sendo exportado pelos grãos. E assim, pouco do N é remobilizado como resíduos culturais, podendo ser remineralizado e disponível para as culturas seguintes.

Tabela 11. Nitrogênio total acumulado, nitrogênio proveniente do fertilizante na planta (palha e grão- NPF) e nitrogênio derivado do solo (NPS).

		Tratamentos				
		UC	UK	UH	UZ	UG
		Kg.ha ⁻¹				
N total Acumulado	Grão	77,3B	147,2A	123,0A	162,7 A	142,7A
	Palha	8,6A	11,0A	10,6A	10,8A	10,5A
NPF	Grão	36,1C	58,0B	49,8B	73,3A	56,6B
	Palha	2,3A	2,6A	2,5A	2,2A	2,1A
NPS	Grão	41,2B	89,2A	73,2A	89,4A	86,1A
	Palha	6,27A	8,44A	8,14A	8,57A	8,42A

Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos (linhas) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott (5%).

A quantidade de N derivada do fertilizante na palha do milho foi de 2,3, 2,6, 2,5, 2,2 e 2,1 Kg.ha⁻¹, e 36,1; 58,0; 49,8; 73,3 e 56,6 kg.ha⁻¹ para grãos, respectivamente, para os tratamentos ureia comercial, ureia com KCl, ureia com ácido húmico, ureia com arenito zeolítico e ureia com gesso agrícola. Representando cerca de 42,6; 32,4; 37,3; 37,1; 27,3% do N total acumulado na planta de milho (palha e grão).

Observa-se que a maior quantidade de N acumulada foi derivada do solo. Estes resultados corroboram os resultados encontrados por FERNANDES (2006). Segundo HART et al. (1994), a maior porcentagem de N na planta é derivado do solo.

Verifica-se que houve diferença significativa entre o fertilizante ureia+Arenito zeolítico e os demais fertilizantes testados para a eficiência de utilização do N proveniente do fertilizante para a planta de milho (palha+grão) (Figura 9). A recuperação foi de 25,6; 40,7; 34,9; 50,2 e 39,1% para os tratamentos ureia comercial, ureia +KCl, ureia +ácido húmico, ureia +arenito zeolítico e ureia +gesso agrícola, sendo 24,1 38,7; 33,2; 48,9 e 37,7% nos grãos, restando 1,5; 2; 1,7; 1,3 e 1,4% para a palha. FERNANDES (2006) encontrou resultados de recuperação 47% em grão de milho quando usou sulfato de amônio na dose de 120Kg.ha⁻¹ parcelado em duas doses de 60 Kg.ha⁻¹. Segundo SCIVITTARO et al. (2000), a maioria dos estudos mostra que a variação do aproveitamento do N dos fertilizantes inorgânicos não ultrapassa 50%. Estudos realizados por CANTARELLA et al. (2003), apresentaram 66% de recuperação, quando o N foi aplicado todo em cobertura.

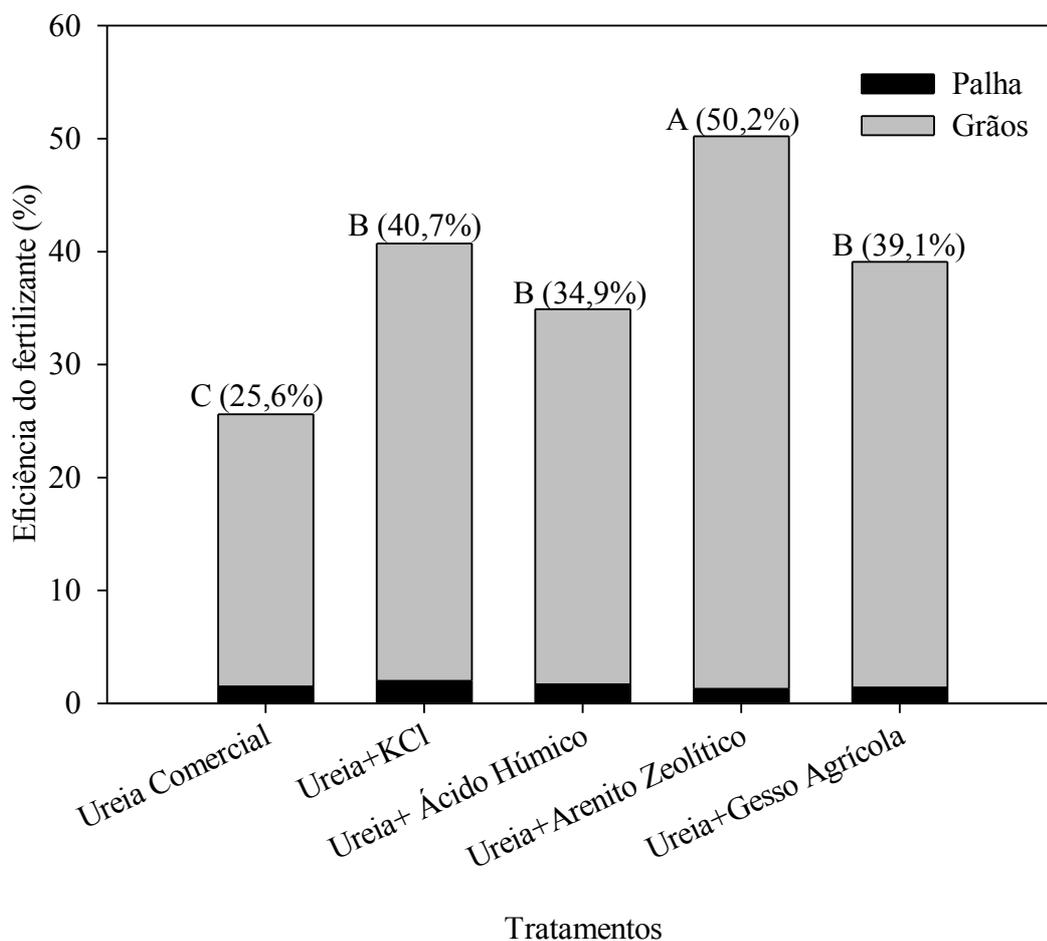


Figura 9. Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado na planta de milho. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Scott-Knott.

Estas diferenças podem ser atribuídas a diversos fatores, principalmente ao sistema de cultivo, tipo de adubo utilizado e condições climáticas e edafoclimáticas (TOBERT et al., 1992 & LARA CABEZAS et al., 2000). Discordando dos dados encontrados por FERNANDES (2006), o tratamento que proporcionou maior recuperação do N não foi o mesmo que proporcionou maior rendimento de grãos, entretanto, não foram observadas diferenças estatísticas entre as produtividades. Este resultado mostra que o tratamento ureia +arenito zeolítico apresentou melhor eficiência de aproveitamento do N-fertilizante. O menor aproveitamento do N no tratamento que obteve maior produtividade pode estar relacionado com as elevadas perdas por volatilização observadas associadas a algum fator relacionado com a assimilação de N dentro da planta.

2 N residual derivado do fertilizante nas camadas 0-20 e 20-40 cm, no cultivo de milho na dose de 150 kg de N.ha⁻¹

Na profundidade de 0-20cm foram observados que o N derivado do fertilizante variou entre 13 e 15 Kg.ha⁻¹ na profundidade de 0-20 cm para os tratamentos UZ e UH, respectivamente. Na profundidade de 20-40 cm o derivado do fertilizante variou entre 12 a 14,2 Kg.ha⁻¹ nos tratamentos UZ e UH, respectivamente (**tabela 12**). Estes resultados são

inferiores aos apresentados por GAVA (2003) que encontrou 35Kg.ha⁻¹ na profundidade de 0-40cm quando utilizou dose equivalente 125 Kg.ha⁻¹. Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos dentro e entre cada profundidade.

Observou-se a diminuição dos teores de N com o aumento da profundidade. Estes dados podem ser explicados pelo fato de em solos arenosos há maior possibilidade de movimentação do nitrogênio no perfil do solo, visto que a imobilização microbiana e a adsorção pelos colóides do solo são diminuídas (CRUZER, 1990).

CAMPOS (2004) encontrou que o uso de doses elevadas de N em cobertura ocasionou uma redução linear no teor de N do solo provavelmente devido a mineralização e a extração do nutriente pelas plantas. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por SILVA (2001), quando também verificou a diminuição dos teores de N total do solo em função do aumento da profundidade.

Tabela 12. Nitrogênio do Solo derivado do fertilizante nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm após o cultivo de milho.

	Profundidade (cm)	UC	UK	UH	UZ	UG
		Tratamentos				
% Nf no solo	0-20	9,4Aa	9,4Aa	10,0Aa	8,7Aa	9,9Aa
	20-40	8,0Aa	8,6Aa	9,4Aa	8,0Aa	9,4Aa
NPf (kg.ha ⁻¹)	0-20	14,2Aa	14,1Aa	15,0Aa	13,1Aa	14,8Aa
	20-40	12,0Aa	12,8Aa	14,2Aa	12,0Aa	14,1Aa

Médias com letras maiúsculas diferentes diferem entre os tratamentos (linha) e letras minúsculas diferem entre as condições (coluna) pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).

As médias de recuperação variaram entre de 8,7 e 10% para a profundidade de 0-20 cm e 8,0 e 9,4% para camada de 0-40cm (tabela 12).

O balanço de N no sistema solo-planta mostra que 38,4; 60,6; 52,3; 75,5 e 58,7Kg.ha⁻¹ () de N do fertilizante permaneceu na parte aérea da planta (palha +grão), sendo a maior parte exportada pelos grãos.

Tabela 13. Recuperação do N-fertilizante na planta, no solo, por perdas por volatilização e por emissão de N₂O no ciclo total da cultivo de milho

Tratamentos	Grãos	Palha	Total na	Total no Solo	Perdas	Perdas	Ñ- recuperado
			planta	(0-40 cm)	por NH ₃ -	por N ₂ O	
Kg.ha ⁻¹							
Ureia Comercial	36,1	2,3	38,4	26,1	80,9	1,5	3,10
Ureia+KCl	58,0	2,6	60,6	27,0	59,9	2	0,5
Ureia+Ácido Húmico	49,8	2,5	52,3	29,1	67,8	1,2	-0,4
Ureia+Arenito Zeolítico	73,3	2,2	75,5	25,1	53,6	1,7	-5,9
Ureia+Gesso Agrícola	56,6	2,1	58,7	29,0	65,6	1	-4,3
% de N recuperado							Total
Ureia Comercial	24,1	1,5	25,6	17,4	54,0	1,0	98,8
Ureia+KCl	38,7	2,0	40,7	18,0	40,0	1,4	100,1
Ureia+Ácido Húmico	33,2	1,7	34,9	19,4	45,0	0,8	100,1
Ureia+Arenito Zeolítico	48,9	1,3	50,2	16,8	36,0	1,1	104,1
Ureia+Gesso Agrícola	37,7	1,4	39,1	19,3	44,0	0,7	103,1

As estimativas de análise de ¹⁵N no solo mostram que 26,1; 27; 29,1; 25,1 e 29 Kg.ha⁻¹ ficaram retidos no solo nas camadas de 0-40cm de profundidade, com a maior parte ficando na camada de 0-20cm para os tratamentos ureia comercial, ureia +KCl, ureia +ácido húmico, ureia + arenito zeolítico e ureia + gesso agrícola, respectivamente. Dessa forma, contabilizando toda a quantidade de N recuperado do fertilizante calculou-se que 64,5; 87,6; 81,4; 100,6 e 87,7Kg.ha⁻¹ do N-fertilizante aplicado em cobertura foi aproveitado no sistema solo-planta. Correspondendo respectivamente a 43; 58,7; 54,3; 67 e 58,4% do N aplicado como fertilizante. Assim sendo, 85,5; 62,5; 68,6; 49,4 e 62,3 Kg.ha⁻¹ foram perdidos do sistema para os tratamentos ureia comercial, ureia +KCl, ureia +ácido húmico, ureia + arenito zeolítico e ureia + gesso agrícola, respectivamente.

Segundo SCIVITTARO et al., (2000), vários trabalhos mostram que existe uma grande variação no aproveitamento do N pela cultura do milho, geralmente não ultrapassando 50% da eficiência. Os resultados encontrados neste trabalho são similares aos encontrados por KITUR et al. (1984) quando trabalhou com doses de 168 Kg de N .ha⁻¹ (37%) e superior aos resultados encontrados por COELHO et al. (1991) com dose de 60kg de N.ha⁻¹ (23%).

Para este estudo, o N não recuperado pelo sistema solo-planta foi atribuído em maior parte às perdas por volatilização de amônia, visto que estas foram quantificadas com uso de coletores SALE (ARAÚJO, 2009), atingindo perdas de 80,98, 59,90, 67,77, 53,63 e 65,63 Kg.ha⁻¹. Outra perda medida foi por emissão de N₂O que correspondeu a perdas entre 1,01 e 2,02 Kg.ha⁻¹ entretanto, estas perdas por emissão de N₂O estão dentro da faixa estabelecida pelo IPCC e portanto pouco significativas. Assim o N-fertilizante que não foi quantificado pode ter sido perdido por lixiviação.

Observou-se portanto, que a utilização destas novas tecnologias de fertilizantes nitrogenados granulados a base de ureia foram eficientes no uso do nitrogênio da ureia.

2.1. CONCLUSÕES

Os fertilizantes granulados ureia com arenito zeolítico e ureia com KCl reduzem as perdas de N-NH₃ por volatilização em aproximadamente 18 e 14% respectivamente quando aplicado em cobertura no campo em comparação a ureia comercial.

As maiores emissões de N₂O foram observadas no fertilizante ureia +KCl, entretanto todos os fertilizantes estão abaixo ou próximos do fator de emissão direta proposto pelo IPCC que é de 1%.

Os fertilizantes granulados apresentam maior rendimento de grãos quando comparados com a ureia comercial e o tratamento controle. Sendo o tratamento ureia+arenito zeolítico o fertilizante com o melhor aproveitamento do N-fertilizante .

Os fertilizantes ureia +arenito zeolítico e ureia +KCl apresentam as maiores taxas de recuperação do N- fertilizante pelo sistema solo-planta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Outras pesquisas são necessárias para que as hipóteses levantadas neste trabalho sejam confirmadas com mais eficiência. Levando em consideração principalmente as condições edafo-climáticas experimentais, pois apresentam grande importância nos estudos de volatilização de amônia e emissão de N₂O.

Fertilizantes ditos de liberação lenta ou controlada devem apresentar diminuição de perdas e aumento da disponibilidade de nutrientes as plantas de forma significativa, para que assim seja possível a diminuição das doses, tornando estes economicamente viáveis.

Vale ressaltar, que estes novos fertilizantes apresentam um percentual menor de nitrogênio que a ureia comercial, sendo necessário realizar uma análise econômica, afim de estabelecer uma relação custo-benefício e assim, determinar se existe viabilidade econômica para uso dos mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVA, A.K.; PARAMASIVAM, S. Nitrogen management for high yield and quality of citrus in sandy soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.62, n.5, p.1335-42, 1998.

ALVES, B.J.R.; SANTOS, J.C.F.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. **Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta**. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S., (Ed.). Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. Brasília: Embrapa-SPI, (Embrapa-CNPAC. Documentos, 46), p. 409-449, 1994.

ALVES, B.J.R. ; ZOTARELLI, L.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M. ; URQUIAGA, S. Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e nitrogênio no sistema solo-planta. In: Aquino,A.M.de; Assis,R.L.de. (Org.). Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável. Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 343-368, 2005.

ALVES, A.C. **Métodos para quantificar a volatilização de N-NH₃ em solo fertilizado com ureia**. Pirassununga, Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) 41f, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2006.

ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F. M.; MACEDO, R. A. T.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.449-456, 2006.

ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F.; BOTREL, M. A.; MARTINS, C. E. Resposta do coast-cross (Cynodon dactylon (L.) Pers.) a Diferentes Doses de Nitrogênio e Intervalos de Cortes. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.27, n.5, p.833-840, 1998.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M. & VELLOSO, A.C.X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.271-276, 1992.

ANGHINONI ,I. Adubação nitrogenada nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M.B. **Adubação nitrogenada no Brasil**. CEPLAC, SBCS, p.1- 18, 1985.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO SETOR DE FERTILIZANTES 1987-2007, São Paulo, ANDA, 162 p., 2006.

ARAÚJO, E. S. Calibração e validação do modelo NUTMON para o diagnóstico do manejo agrícola: Estudo em duas propriedades familiares do estado do Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) 99f, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

ARAÚJO, E. S., MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L. H. B; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Calibração de Câmara Semiaberta Estática para Quantificação de Amônia Volatilizada do Solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.7, p.769-776, 2009.

BAGGS, E.M., REES R.M., SMITH K.A., VINTEN J.A. Nitrous legume oxide emission from soils after incorporating crop residues. **Soil Use Management**, v. 16, p. 82–87, 2000.
BAIRD, C. Química Ambiental. 2º edição. Ed: Boockam. p. 622. 2002.

BARLOESIUS, D E. **Perdas por volatilização e eficiência agrônômica da mistura de uréia com zeólita natural aplicada na cultura da roseira (*Rosa spp.*)**. Monografia de requisito de final de curso em Agronomia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2010.

BERNARDI, A.C.C.; PAIVA P.R.P.; MONTE, M.B.M. **Produção de matéria seca, e extração e utilização em aveia adubada com ureia em mistura com zeólita**. Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnica 84, p.4, 2007.

BERNARDI, A.C.C.; MONTE, M.B.M.; PAIVA P.R.P.; WERNECK, C.G.; HAIM P.C.; POLIORO, J.C., **Potencial de uso de zeólitas na agropecuária**. Embrapa Pecuária Sudeste, Série documentos 85, p.46, 2008.

BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. & URQUIAGA, S. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio associada a plantas utilizando o isótopo ¹⁵N. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S., (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Ed: Embrapa-SPI, Documentos, 46. p. 471-494. 1994.

BLAYLOCK, A. Novos fertilizantes nitrogenados: O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. **Informações Agrônômicas IPNI**, n.120, p.8-10, 2007.

BOARETTO, A.E.; MURUOKA, T.; TRIVELIN, P.C.O. Uso eficiente de nitrogênio nos fertilizantes convencionais. **Informações Agrônômicas IPNI**, n.120, p.13-14, 2007.

BOUWMAN, A. F. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. **Nutrient Cycling and Agroecosystems**, v.46, p. 53-70, 1996.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, R.L.; Urease activity in soils. In: BURNS, R.G., ed. Soil Enzymes. **Academic Press**, p. 149-196, 1978.

BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.C. The nature and properties of soils. 7.ed. New York: The Macmillan Company, p. 653. 1969.

CAMPOS, A.X. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura do milho em um solo de cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens***. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CANTARELLA, H.; MATOS, D. J.; QUAGGIO, J. A.; RIGOLIN, A. T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilizer with different N sources and the loss of applied N. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 67, p. 215-223, 2003.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa, UFV, p.139-182, 2004.

CANTARELLA, H. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados: Uso eficiente de nitrogênio em novos fertilizantes no Brasil. **Informações Agronômicas** IPNI, n.120, p.12-13, 2007a.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). Fertilidade do solo, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 375-470, 2007b.

CANTARELLA, H. Uso de inibidor da urease para aumentar a eficiência da ureia. In: IPNI – International Plant Nutrition Institute, **Informações Agronômicas** INPI, n. 117, p. 13, 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**. . Embrapa Solos, Circular Técnica n. 6, p.41, 2000.

CHITOLINA, J.C. **Fertilizantes de lenta liberação de N: conceitos**. Ureia coberta com enxofre. Piracicaba: ESALQ/USP, p.16,1994.

COELHO, A. M, FRANÇA, G.C.; BAHIA, A.F.C.; GUEDES, G.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.1,v.16, p. 61-67, 1992.

COLLAMER, J.D.; GEARHART, M.; MONESMITH, F.L. Sulfato de Amônio. **Informações Agronômicas**. IPNI, n.10, p 7-8, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. 4º levantamento. Disponível: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/4graos_06.01.11.pdf, (22 abril 2010).

CONTIN, T. L. M. Ureia tratada com o inibidor da urease nbpt na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. 55f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recurso Agroambientais) – IAC, 2007.

CORRÊA, L.A., PRIMAVESI, A.C., PRIMAVERSI, O., FREITAS, A.R; **Avaliação do efeito de fontes e doses de nitrogênio na produção e qualidade da forragem de capim croastcross**. Embrapa Pecuária Sudeste, Circular técnica 47, p.8, 2006.

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, 2003.

CSIZINSKY, A.A. Yield response of bell pepper and tomato to controlled-release fertilizers on sand. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, p.1535-1549, 1994.

Da 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**, v. 35, n. 4, p. 799-805. 2005.

DENMEAD OT, MACDONALD BCT, WHITE I, GRIFFITH DWT, BRYANT G, NAYLOR T, WILSON, S. Evaporation and carbon dioxide exchange by sugarcane crops. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**. v.31, p.116-124, 2009.

DICK, J., SKIBA, U., WILSON, J. The effect of rainfall on NO and N₂O emissions from Ugandan agroforest soils. **Phyton Annales - Rei Botanicae**, v 41, p 73–80, 2001.

DIEST, V. A. Volatilización del amoníaco en los suelos anegados, y sus repercusiones en El rendimiento de arroz. **Noticiarios de la Comisión Internacional del arroz, FAO**, n.37, p. 1-6, 1988.

DUARTE, F.M. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e eficiência da adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado. Dissertação (Mestrado) 85f. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.M. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. University of Hawaii, p. 33-67, 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. Ed. Rio de Janeiro, 212 p, 1997.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa, 412p, 1999.

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.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. **Fertilidade do solo: potássio**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 551-594, 2007.

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

FACRE, W.R. Três formas de fertilizantes nitrogenados e o futuro. **Informações Agronômicas IPNI**, n.1, p.5-6, 2007.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETTO, D. **Produção de milho**. Agropecuária, 360p, 2000.

FAGERIA, N.K. Adubação e calagem. In: VIEIRA, N.R.A.; SANTOS, A.B.; SANT'ANA, E.P. **A cultura do arroz no Brasil**. Embrapa Arroz e Feijão, p.329-353, 1999.

FAGUNDES, J.L.; FONSECA, D. M.; GOMIDE, J.A.; JUNIOR, D.N; VITOR, C. M. T.; MORAIS, R.V.; MISTURA, C.; REIS, G.C.; MASTUSCELLO, J.A. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.40, n.4, p.397-403, abr. 2005.

FENN, L.B. O Potássio auxilia na redução das perdas de amônia no campo quando da aplicação superficial de ureia. **Informações Agronômicas INPI**, n.37, p.5-6, 1987.

FERREIRA, E. A. Desempenho de híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas de milho em top crosses, em três locais do Estado de São Paulo. 76f. Dissertação (Mestrado em Melhoramento Genético Vegetal) –IAC, 2008.

FERNANDES, F.C.S. Dinâmica do nitrogênio na Cultura do milho (*Zea mays L.*), em cultivo sucessivo com aveia preta (*Avena strigosa*), sob implantação do sistema de plantio direto. Tese (Doutorado em Solos-Nutrição de plantas) 197f - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

FRENEY, J. R.; LEUNING, R.; SIMPSON, J. R.; DENMEAD, O. T; MUIRHEAD, W. A. Estimating ammonia volatilization from flooded rice fields by simplified Techniques. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, n.4, p.1049-1054, 1985.

GAVA, G.J.C. **Compartimentalização do nitrogênio no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta no ciclo da cultura do milho**. Tese (Doutorado em Ciências) 125f – Centro de Energia Nuclear na agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GIRARDI, E. A.; MOURÃO FILHO, F. A. A. Emprego de fertilizantes de liberação lenta na formação de pomares de citros. **Laranja**, v.24, n.2, p.507-518, 2003.

GOMES, J. Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) 129f – Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

HAIM, P. G. **Perdas de nitrogênio por volatilização e lixiviação provenientes de fertilizantes granulados NK e NS**. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) 75f. Instituto de Agronomia, Departamentos de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.

HARGROVE, W. I. **Soil environmental and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions**, In: BOCK, B. R.; KISSEL, D. E. (Ed.) Ammonia volatilization from urea fertilizers. NFDC, TVA, n. 2, p. 17-36, 1988.

HART, S.C.; NASON, G. E.; MYROLD, D.; PERRY, D. A. Dynamics of gross nitrogen transformations in an old-growth forest: The carbon connection. *Ecological Society of America*. v. 75. n. 4.p. 880-891. 1994.

HEFNER, S.G.; TRACY, P.W. Effects of nitrogen source, application timing and dicyaniamide on fuvron-irrigated rice. **Journal of Production Agriculture**, v.4, p.536-540, 1991.

HOEFT, R. G. Desafios para a obtenção de altas produtividades de milho e de soja nos EUA. **Informações Agronômicas**. INPI, n. 104, p. 1-4, 2003.

HOLTGRIEVE G.W., JEWETT P.K., MATSON P.A. Variations in soil N cycling and trace gas emissions in wet tropical forests. **Oecologia**, v.146, p.584–594. 2006.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; CRISPINO, C. C.; MORAES, J. Z.; SILBALDELLI, R. N. R.; MENDES, I. C. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and of N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, p. 927-939, 2006.

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION (Paris, França). Fertilizer use by crop. 5th ed. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org>>. Acesso em: novembro de 2009.

IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, USA, p. 881. 2001.

IPCC. International Panel for Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Programme**. Hayama, Japão: Institute for Global Environmental Strategies, 2006. Disponível: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm> Chapter 11. Corrected chapter(s) as of November 2008.

JANTALIA, C. P.; ZOTARELLI, L.; SANTOS, H.P.; TORRES, E.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. Em busca da mitigação da produção de óxido nitroso em sistemas agrícolas: Avaliação de práticas usadas na produção de grãos no Sul do País. In: Alves, B. et al. (Ed.) Manejo de sistemas Agrícolas. Genesis, p. 81-107, 2006.

JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the south of Brasil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 82, p. 161-173, 2008.

JAYAWERA, G. R., MIKKELSEN, D. S. Assessment of ammonia volatilizations from flooded soil systems. **Advances in Agronomy**, v. 45, p. 303-356, 1991.

KHALAF, H.A.; KOO, R.C.J. The use of controlled release nitrogen on container grown citrus seedlings. **Citrus & Vegetable Magazine**, v.46, n.9, p.10. 1983.

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

KISSEL, D. E.; BREWER, H. L.; ARKIN, G. F. Design and test of a field sampler for ammonia volatilization. **Soil Science Society of America Journal**, n. 41, p. 1133-1138, 1977.

KITUR, B.K.; SMITH, M.S.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Fate of 15 N-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage maize. **Agronomy Journal**, v.76, p.240-243, 1984.

KONG, W. P.; WOOD, A. W.; PRAMMANEE, P.; SAFFIGNA, P. G. Ammonia loss of urea/potassium chloride mixtures applied to sugarcane trash. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, n.13, p.58-65, 1991.

KURZER, F. Biuret and related compounds. **Chemical Reviews**, n. 56, p. 95-197, 1956.

LANTMANN, A.F., CAMPO, R.J., SFREDO, G.J. et al. **Micronutrientes para a cultura da soja no Estado do Paraná: zinco e molibdênio**. Comunicado Técnico, 34, p.8,1985.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da ureia 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 ureia por sulfato de amônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p.481-487, 1997a.

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.

LARA CABEZAS; W.A. R.; TRIVELIN, P.C.O.; KORNDORFER, G.H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho, m sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p.363-376, 2000.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N **N uptake and distribution in plant canopies**. In: LEMAIER, G. (Ed.). *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, p. 3-43, 1997.

LIU, X.J.; MOSIER, A.R.; HALVORSON, A.D.; ZHANG, F.S. The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from a clay loam soil. **Plant and Soil**, v.280, p.177–188, 2006.

LIU, X. J., MOSIER, A. R., HALVORSON, A. D., REULE, C. A., ZHANG, F. S. Dinitrogen and N₂O emissions in arable soils: Effect of tillage, N source and soil moisture. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 39, p. 2362–2370, 2007.

LOPES, A.S.; BASTOS, A.R.S. Fertilizantes nitrogenados no Brasil: um problema de escassez. **Informações Agronômicas INPI**, v.120, p.4-5, 2007.

LOUIS, I.C.M.J. **La zeolita natural y su papel en el manejo del nitrogeno para el cultivo Del tomate**. Tese (Mestrado), Instituto Nacional de Ciência Agrícola, Habana, 2002.

MAGGIONI, A., VARANINI, Z., NARDI, S. Action of soil humic matter on plant roots: stimulation of ion uptake and effects on (Mg²⁺ + K⁺) ATPase activity. **Science of the Total Environment**, v.62, p.355-363. 1987.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed.. POTAFOS, 319p, 1997.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. Editora Agronômica Ceres, p. 638. 2006.

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**. Tese (Doutorado) 149f, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Piracicaba, 2003.

MEIRA, F.A. **Fontes e modos de aplicação do nitrogênio na cultura do milho**. Tese (Doutorado) 45f – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2006.

MELO, L.C.A.; AVANZI, J. C.; CARVALHO, R.; SOUZA, F. S.; PEREIRA, J.L.A.R.; MENDES, A. D.R.; MACÊCDO, G.B. Nutrição e produção de matéria seca de milho submetido a calagem e adubação fosfatada. **Pesquisa agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 193-199, 2011.

MORAIS, R. F. Potencial produtivo e eficiência da fixação biológica de nitrogênio de cinco genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), para uso como fonte alternativa de energia. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) 73f. Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, L.; KING, J.; PALM, C. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. **Environment, Development and Sustainability**, v. 6, p. 11–49, 2004.

MOYO, C.C.; KISSEL, D.E.; CABRERA, M. L. Temperature effects on soil urease activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 21, p. 935–938. 1989.

MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R. Effect on nitrogen supply on maize yield: II. Field and model analysis. **Agronomy Journal**, v. 87, p.642-648, 1995.

MUMPTON FA. La roca magica: Uses of natural previous zeolites in agriculture and industry. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, v.96, p.3463-3470, 1999.

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.

NOVOA, R. S. A., TEJEDA, H. R. Evaluation of the N₂O emissions from N in plant residues as affected by environmental and management factors. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 75, p. 29 –46, 2006.

OLIVEIRA, P.P.A. **Manejo da calagem e da fertilização nitrogenada na recuperação de pastagens degradadas de Brachiaria sp.** Em solos arenosos. Tese (Doutorado) 110f- Centro de Energia Nuclear na agronomia/Universidade de São Paulo, 2001.

OLIVEIRA, W. R. D. Quantificação das emissões de N₂O resultantes de fertilizante, fixação de N₂ e resíduos de colheita em Argissolo Vermelho-Amarelo. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) 47f. Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica- RJ, 2009.

OLSEN, K. K. Multiple Wavelength Ultraviolet Determinations of Nitrate Concentration, Method Comparisons from the Preakness Brook Monitoring Project, October 2005 to October 2006. **Water Air Soil Pollut**, v.187, p. 195-202, 2008.

OKITO, A.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Isotopic fractionation during N₂ fixation by four tropical legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, p.1179-1190, 2004.

PALM, C., TOMICH, T., VAN NOORDWIJK, M., VOSTI, S., GOCKOWSKI, J., ALEGRE, J., VERCHOT, L. Mitigating GHG emissions in the humid tropics: case studies from the alternatives to slash-and-burn program (ASB). **Environment, Development and Sustainability**. v 6, p. 145-162, 2004.

PAREDES, D. S. **Emissão de óxido nitroso e metano proveniente da vinhaça em lagoas e canais de distribuição e após ferti-irrigação**. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2011.

PARKIN T. B., KASPAR T. C. Nitrous oxide emissions from corn–soybean systems in the midwest. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, p.1496 -1506, 2006.

PINTON, R., VARANINI, Z., VIZZOTTO, G. Soil humic substances affect transport properties of tonoplast vesicles isolated from oat roots. **Plant and Soil**, v.142, p.203-210, 1992.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 343p, 1991.

RAWLUK, C. D. L., GRANT, C. A., RACZ, G. J. 2001. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. **Canadian Journal of Soil Science**. v.81, p. 239–246, 2001.

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

ROBERTSON, G.P.; GRACE, P.R. Greenhouse gas fluxes in tropical and temperate agriculture: the need for a full-cost accounting of global warming potentials. **Environment, Development and Sustainability**. v.6, p.51–63, 2004.

ROCHETTE, P.; CHANTIGNY, M.H.; ANGERS, D.A.; BERTRAND, N.; CÔTÉ, D. Ammonia volatilization and soil nitrogen dynamics following fall application of pig slurry on canola crop residues. **Canadian Journal of Soil Science**, v.81, p.515- 523, 2001.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A.; BÉLANGER, G.; CHANTIGNY, M. H.; PRÉVOST, D.; LÉVESQUE G. Emissions of N₂O from alfalfa and soybean crops in Eastern Canada. **Soil Science Society American Journal**, v. 68, p. 493–506, 2004.

ROCHETTE P. No-till only increases N₂O emissions in poorly-aerated soils. **Soil & Tillage Research**, v. 101, p. 97–100, 2008.

RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de ureia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 37-43, 1986.

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

RUSSEL, W.A. Genetic improvement of maize yields. **Advances in Agronomy**, v.46, p.246-299, 1991.

RUSER, R., FLESSA, H., RUSSOW, R., SCHMIDT, G., BUEGGER, F., MUNCH, J.C. Emission of N₂O, N₂ and CO₂ from soil fertilized with nitrate: effect of compaction, soil moisture and rewetting. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, p. 263–274, 2006.

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.

SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Transformações de nitrogênio proveniente de mucuna-preta e ureia utilizados como adubo na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.917-926, 2000.

SCOLARI, D. D. G.; Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/417182/1/Producaoagricolamundial.pdf>

SHAVIV, A. Advances in controlled-release fertilizers. **Advances in Agronomy**, v.71, p.1-49, 2001.

SHEARER, G. & KOHL, D.H. N₂ fixation in field settings: estimations based on natural ¹⁵N abundance. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.13, p.699-756, 1986.

SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, **Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia**, 370p. 1999.

SILVA, SILVA, R. M.; JABLONSKI, A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Crescimento da Parte Aérea e do Sistema Radicular do Milho Cultivado em Solução Nutritiva Adicionada de Substâncias Húmicas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.5, p.101-110,1999.

SILVA, E. C. **Níveis e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto na região do cerrado**. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Faculdade de engenharia de ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2001.

SIQUEIRA NETO, M. **Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no Cerrado em Rio Verde (GO)**. Doutorado 159f. Centro de Energia Nuclear na Agricultura/Universidade de São Paulo, 2006.

SKIBA U.; SMITH K.A. The control of nitrous oxide emissions from agricultural and natural soils. **Chemosphere - Global Change Science**, v.2, p. 379-386, 2000.

SMITH J.L.; MYUNG H. Rapid procedures for preparing soil and KCl extracts for ^{15}N analysis. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 21, n. 17 and 18, p. 2173-2180, 1990.

SMITH, K. A.; THOMSON, P. E.; CLAYTON, H.; MCTAGGART, I. P.; CONEN, F. Effects of temperature, water content and nitrogen fertilization on emissions of nitrous oxide by soils. **Atmosphere and Environment**, v. 32, p. 3301–3309, 1998.

SMITH, E.; GORDON, R.; BOURQUE, C.; CAMPBELL, A. Comparison of three simple field methods for ammonia volatilization from manure. **Canadian Journal of Soil Science**, v.87, p.469-477, 2007.

STAFANATO, J. B. **Aplicação de misturas granuladas NK e NS em cultivar de arroz (*Oryza sativa*)**. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) 67f. Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica- RJ, 2009.

SOMMER, S. G.; OLSEN, J. E. Effects of dry matter content and temperature on ammonia loss from surface applied cattle slurry. **Journal of Environmental Quality**, v. 20, p. 679-683, 1991.

TERMAN, G.L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. **Advances in Agronomy**, v.31, p.189-223, 1979.

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**, v. 96, p. 5995-6000, 1999.

TRENKEL, M.E. Improving fertilizer use efficiency. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. **International Fertilizer Industry Association**, Paris, 1997.

TRIVELIN, P.C.O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: Três casos estudados com o uso do traçador ^{15}N** . Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2000. 143p. (Tese Livre-Docência).

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

TOBERT, H.A., MULAVANEY, R.M.; HEUVEL, V.; HOEFT, R.G. Soil type and moisture regime effects on fertilizer efficiency calculation methods in a nitrogen ^{15}N trace study. **Agronomy Journal**, v.84. p.66-70, 1992.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source and sink ratios. **Crop Science**, v.35, p. 183-190, 1995.

URQUIAGA, S.; VICTÓRIA, R.L.; BUITRÓN, F.; NEYRA, J.C. Perdas por volatilização do ^{15}N -ureia 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.

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. Perdas por volatilização e eficiência no aproveitamento do nitrogênio proveniente de ureia adicionada de zeolitas naturais na cultura da roseira (rosa spp.). Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) 90f. Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica- RJ, 2008.

WEITZ, A. M.; LINDER, E.; FROLKING, S.; CRILL, P. M.; KELLER, M. N₂O emissions from humid tropical agricultural soils: effects of soil moisture, texture and nitrogen availability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, p 1077-1093, 2001.

WHITHEAD, D.C. Volatilization of ammonia. **Grassland nitrogen**. CAB International, p. 397.1995.

XU, J.G; HEERAMAN, D.A; WANG, Y. Fertilizer and temperature effects on urea hydrolysis in undisturbed soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.16. p. 63–65, 1993.

ZAVASCHI, E. Volatilização de amônio e Produtividade de Milho em função de ureia revestida por polímeros. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós, 2010.