**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de uréia
revestida com polímeros**

Eduardo Zavaschi

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2010**

Eduardo Zavaschi
Engenheiro Agrônomo

**Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de uréia
revestida com polímeros**

Orientador:
Prof. Dr. **GODOFREDO CESAR VITTI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Zavaschi, Eduardo

Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de uréia revestida com polímeros / Eduardo Zavaschi. - - Piracicaba, 2010.
92 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.
Bibliografia.

1. Amônia 2. Fertilizantes nitrogenados - Revestimentos 3. Milho - Produtividade 4. Nitrogênio !
Polímeros 6. Uréia I. Título

CDD 633.15
Z39v

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Em especial dedico,

a meu pai Moacir Zavaschi (*in memorian*) que mesmo não estando presente no mundo terreno,
sempre estará em minha mente e meu coração

a minha amada mãe, Miriam Cleofe Zavaschi, por todo amor e incentivo

aos meus irmãos Cristiano e Moacir Júnior, por todo apoio e amizade

a minha sobrinha Marynna, que veio a esse mundo trazendo muita alegria a nossa família

Ofereço,

a Deus e a sociedade

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom vida, pela saúde, pela família maravilhosa que me deu, pelas pessoas e oportunidades que tem colocado em meu caminho;

A minha mãe Miriam Cleofe Zavaschi, meus irmãos Cristiano e Moacir Júnior, minha cunhada Karla e minha sobrinha Marynna, pessoas muito importantes na minha vida, por todo apoio, carinho e amor;

Ao amigo e professor Dr. Godofredo Cesar Vitti, exemplo de ser humano e profissional, pela orientação deste trabalho, amizade e confiança depositada em mim;

A minha namorada Aline Mirela da Silva, por todo amor, carinho, compreensão e companheirismo;

As minhas avós, tios e primos por tudo que são, fizeram e fazem por mim;

A equipe técnica do Grupo S/A Agroindustrial Eldorado, nas pessoas dos Engenheiros agrônomos Carlos Roberto Landerdahl e Leandro Carneiro e ao Engenheiro Florestal Ernesto Go Koike pela viabilização de área e apoio técnico que tornaram possível a realização do trabalho de campo, e ao técnico agrícola Marcelo (cawboy) pela ajuda nas coletas para avaliação de volatilização de Nitrogênio;

A Indústria Química Kimberlit LTDA, pelo fornecimento dos fertilizantes utilizados e pelo apoio financeiro em parte do projeto;

Aos exemplos de pessoas e amigos pós-graduandos Thiago (Ba-t-ria), Letícia (Eva), Elaine (Estrangeira), Diego (Guy), Antônio (Baiano), pela convivência, amizade e pela importantíssima ajuda na confecção desta dissertação;

Ao Grupo de Apoio a Pesquisa e Extensão (GAPE), pela convivência engrandecedora, amizade e pelas infinitas ajudas na condução do experimento de campo e coleta de dados;

A todos meus amigos (graças a Deus são muitos) espalhados pelo Brasil, por toda a amizade e engrandecimento que me proporcionaram;

Ao Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, pela minha formação como engenheiro agrônomo;

Ao professor Dr. Ildegardis Bertol, pela oportunidade da iniciação científica e todo apoio que me deu, contribuição muito importante para que chegasse até aqui;

Ao professor Dr. Marcos Kamogawa pela atenção, disposição e valiosa ajuda na realização de parte do trabalho;

Ao professor Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias pela ajuda nas análises estatísticas;

Aos amigos da Pensão Solar da natureza por todo tempo de convívio e amizade;

Ao programa de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP, pela oportunidade de fazer o curso de mestrado em profícua instituição de ensino;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa;

Aos mestres pelo conhecimento e sabedoria que me foi transmitido;

A todos amigos e colegas da graduação e pós-graduação do CAV/UDESC e ESALQ/USP;

A sociedade que por meio de seus impostos proporcionaram a minha formação acadêmica em boas instituições de ensino.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Importância da cultura do milho.....	19
2.2 Importância do nitrogênio para a cultura do milho	20
2.3 Perdas de Nitrogênio	25
2.4 Uréia como fonte de nitrogênio para as plantas	27
2.5 Fertilizantes revestidos	28
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Localização da área experimental e características do local.	33
3.2 Delineamento experimental	34
3.3 Descrição dos Tratamentos.....	35
3.4 Instalação do experimento	36
3.5 Avaliações	38
3.5.1 Volatilização de nitrogênio.....	38
3.5.2 Teor de amônio e nitrato no solo	42
3.5.3 Concentração de Nitrogênio foliar	42
3.5.4 Medida indireta do teor de clorofila (SPAD)	43
3.5.5 Aspectos biométricos.....	44
3.5.6 Produtividade de grãos e massa de mil grãos	45

3.5.7 Massa de 1000 grãos	46
3.5.8 Concentração de N nos grãos	46
3.6 Análise econômica	46
3.7 Análises estatísticas.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Volatilização de nitrogênio	47
4.2 Teor de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo	52
4.3 Concentração de nitrogênio nas folhas, nos grãos e medida indireta de clorofila (SPAD)	55
4.4 Aspectos biométricos e de produtividade	58
4.5 Análise econômica	61
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
REFERÊNCIAS.....	65
ANEXO.....	79

RESUMO

Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de uréia de revestida com polímeros

O milho é uma das culturas de maior importância econômica e mais estudadas. Apesar do alto potencial produtivo da cultura, o que se observa na prática é que sua produção é muito baixa e irregular devido a problemas de manejo, como o uso incorreto de fertilizante. Uma das formas de aumentar a eficiência de aproveitamento dos fertilizantes é o uso destes revestidos com polímeros. No presente experimento objetivou-se avaliar a volatilização de amônia, os teores de amônio e nitrato no solo, aspectos nutricionais e biométricos do milho e a produtividade da cultura, em função da aplicação de uréia revestida com polímeros. A área experimental foi localizada no município de Uberlândia, em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa. Os tratamentos consistiram na aplicação em cobertura no milho de uréia revestida com polímeros e uréia convencional nas doses de 45; 67,5 e 90 kg ha⁻¹ de N e um tratamento controle sem aplicação do nutriente, dispostos em blocos casualizados com quatro repetições. Foi avaliado volatilização de amônia, teor no solo de amônio e nitrato, concentração de N na folha e no grão, medida indireta de clorofila, aspectos biométricos e produtividade de grãos, da cultura além de análise econômica. As perdas de nitrogênio por volatilização foram determinadas pelo método do coletor semi-aberto. Os teores de amônio e nitrato no solo foram avaliados nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm. A medida indireta de clorofila foi realizada com clorofilômetro, modelo Minolta-SPAD 502[®]. Os aspectos biométricos consistiram na mensuração do diâmetro de colmo e altura de inserção de espiga. A análise econômica consistiu na relação entre o custo do fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura e a receita gerada pela venda dos grãos produzidos em função da aplicação do fertilizante. A aplicação de uréia revestida não influenciou as taxas de volatilização de amônia e o teor de amônio e nitrato no solo em relação à aplicação do fertilizante convencional. Para produtividade de grãos, não houve diferença significativa entre os tratamentos fertilizados com N em cobertura, independente do tipo de uréia e a dose de N aplicada. Os tratamentos com aplicação de 45 e 67, 5 kg ha⁻¹ de N com uréia convencional foram os únicos que não diferiram do controle para esta característica. Nas doses de 67,5 e 90 kg ha⁻¹ de N, não houve diferença entre os tratamentos com fertilizante revestido e convencional nos aspectos biométricos e concentração de N na folha e grão. Na dose 45 kg ha⁻¹ de N, entretanto, observou-se maior diâmetro de colmo e medida indireta de clorofila no tratamento com uréia revestida, dose na qual, este fertilizante tornou-se economicamente viável.

Palavras-chave: Perdas de nitrogênio; Teor no solo; Amônio; Nitrato; Fertilizante revestido; *Zea mays*

ABSTRACT

Volatilization of ammonia and productivity of corn due the application of polymer coated urea

Corn is one of the most economically important crops as well as the most studied one. Although its high potential of productivity, it is observed a low and irregular production because of management problems, like, for example, the incorrect use of fertilizers. This work aimed to study a better way to use fertilizers, coated with polymers. It was evaluated the volatilization, levels of ammonium and nitrate on soil, nutritional value and biometric aspects of corn and also corn's productivity, due the application of polymer coated urea. The experimental field was located in Uberlândia, Minas Gerais State, in Oxisoil. The treatments consisted on application in the coverage of the corn crop, of coated and conventional urea in doses of 45; 67,5 and 90 kg ha⁻¹ of nitrogen and a control treatment without nutrient application, designed in randomized blocks with four replications. It was evaluated the volatilization of ammonia, the level of ammonium and nitrate in the soil, the nitrogen concentration in leaf and grain, the indirect measurement of chlorophyll, the biometric aspects, the productivity of grain in the crop and the economical analysis. The loss of nitrogen by volatilization were determined by semi-open collector method. The level of ammonium and nitrate in the soil were evaluated in depth of 0-20, 20-40, and 40-60 cm. The chlorophyll portable, model Minolta-SPAD 502®, was used to verify the indirect measurement of chlorophyll. The biometric aspects was evaluated through measuring culm diameter and ear height. The economical analysis consisted in the relation between the cost of the nitrogen fertilizer applied in the coverage and the revenue from the sale of grain produced on the basis of fertilizer applied. The application of the coated urea has not changed the rate of volatilization of ammonia and the level of ammonium and nitrate in the soil when compared to the application of the conventional fertilizer. Concerning the grain productivity, there was no difference showed among the fertilized treatments using nitrogen in coverage, independent of the doses of urea nitrogen applied. The treatments with the application of nitrogen in doses of 67.5 and 45 kg ha⁻¹ with conventional urea were the ones which showed difference from the control treatment for this characteristic. In doses of 67,5 and 90 kg ha⁻¹, there was no difference observed between treatments with conventional and coated fertilizers for biometric aspects and nitrogen concentration in leaf and grain. However, in dose of 45 kg ha⁻¹, the corn showed a higher culm diameter and indirect measurement chlorophyll when treated with coated urea, making this fertilizer suitable for the market.

Keywords: Nitrogen loss; Level in the soil; Ammonium; Nitrate; Coated fertilizer; *Zea Mays*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Dados pluviiais obtidos na área experimental dos 6 quinquídios (q) de cada mês no período de outubro de 2009 a março de 2010.....	33
Figura 2 - Esquema dimensional das parcelas experimentais.....	35
Figura 3 - Uréia revestida com polímeros e uréia convencional.....	35
Figura 4- Semeadora-adubadora utilizada para plantio do experimento.....	37
Figura 5 - Visão geral da área experimental.....	38
Figura 6 - Coletor semi- aberto de PVC e a base para suporte do mesmo	39
Figura7- Precipitações pluviiais ocorridas antes e durante a avaliação da volatilização de Nitrogênio.....	40
Figura 8 - Coleta de folha para análise da concentração de nitrogênio.....	43
Figura 9 - Medida indireta de clorofila com o aparelho Minolta SPAD 502®	43
Figura10- Mensuração do diâmetro do colmo e altura da inserção da primeira espiga no colmo.....	45
Figura11- Perda diária de N-NH ₃ por volatilização em kg ha ⁻¹ após aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura.....	47
Figura12- Perda acumulada de N-NH ₃ por volatilização em kg ha ⁻¹ após aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura	50
Figura 13 - Resultado das médias de produtividade de grãos.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento.....	34
Tabela 2 - Textura do solo onde foi instalado o experimento.....	34
Tabela 3 - Descrição dos tratamentos empregados no experimento.....	36
Tabela 4 - Nitrogênio volatilizado em kg ha ⁻¹ dia ⁻¹ em vários períodos de avaliação.....	48
Tabela5- Nitrogênio volatilizado acumulado em kg ha ⁻¹ em vários períodos de avaliação.....	51
Tabela 6 - Teor médio de amônio no solo (mg kg ⁻¹) nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.....	52
Tabela 7- Teor médio de nitrato no solo (mg kg ⁻¹) nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.....	53
Tabela 8 - Resultado das médias da concentração de nitrogênio na folha e no grão do milho e da medida indireta do teor clorofila (SPAD).....	55
Tabela 9 - Resultado das médias da altura de inserção de espiga, diâmetro do colmo e massa de mil grãos.....	58
Tabela 10-Custo em reais (R\$), com dois tipos de uréia aplicados em cobertura, para gerar receita de R\$ 1,00 com a comercialização dos grãos produzidos em função da aplicação dos fertilizantes.....	62

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de grãos na safra 2008/09 foi de aproximadamente 2,2 bilhões de toneladas. O grão mais produzido foi de milho (*Zea mays* L.), que segundo estimativas teve produção de 787 milhões de toneladas (BRANDALIZZE, 2009). Os Estados Unidos são os maiores produtores, com produção no ano agrícola 2008/09 de 307,4 milhões de toneladas, seguido por China (165,5 milhões de toneladas) e Brasil (50,5 milhões de toneladas). Entre os estados brasileiros produtores de milho, o Paraná apresenta a maior produção com 11,2 milhões de toneladas seguido pelo estado do Mato Grosso com 8,1 milhões de toneladas (CONAB, 2010).

Devido ao valor nutricional de seus grãos, na forma de carboidratos (60%), principalmente amido, proteínas (10%), lipídios (4%) além de minerais e vitaminas (FANCELLI e LIMA, 1982), o milho é uma das culturas de maior importância econômica e mais estudadas, dada sua grande importância na alimentação humana e animal. O uso de seu grão para alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo (DUARTE; CRUZ; GARCIA, 2010). Apesar do alto potencial produtivo da cultura do milho, evidenciado por produtividades de 10 t ha^{-1} de grãos, alcançado no Brasil em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas, o que se observa na prática é a produção baixa e irregular: 2 a 3 t de grãos ha^{-1} . Os principais fatores que contribuem para os baixos níveis de produtividade média de milho, no Brasil, 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 (EMBRAPA, 2002).

O manejo incorreto de fertilizantes tem impacto direto na nutrição das plantas, fator essencial para obtenção de altas produtividades economicamente viáveis. Com relação a isto, deve-se dar especial atenção ao nutriente nitrogênio (N), que via de regra, proporciona os maiores efeitos no aumento da produtividade de grãos, uma vez que apresenta importância no metabolismo das plantas. Assim, se torna de extrema importância o correto manejo dos fertilizantes nitrogenados para que haja suficiente disponibilidade do nutriente para a nutrição das plantas no sistema de produção agrícola.

O manejo da adubação nitrogenada é complexo como um dos mais difíceis, devido à multiplicidade de reações químicas e biológicas no solo, dependência de condições edafoclimáticas, e vulnerabilidade a perdas ocorridas no sistema solo-planta.

De modo geral, as perdas de N para o ambiente, com o consequente menor aproveitamento pelas culturas, estão associadas à concentração na solução do solo, de formas solúveis de N em geral, ou das formas mais susceptíveis a perdas. Uma das maneiras de aumentar a eficiência de aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados é o uso de fertilizantes de liberação lenta ou controlado ou com inibidores, para evitar a rápida transformação do N contido nos fertilizantes em formas de N menos estáveis em determinados ambientes (CANTARELLA, 2007).

Os fertilizantes de liberação controlada são aqueles que atrasam a disponibilidade inicial dos nutrientes ou incrementam a sua disponibilidade no tempo, através de diferentes mecanismos, com a finalidade de disponibilizar os nutrientes para as culturas por maior período de tempo e otimizar a absorção pelas plantas, reduzindo perdas. Este tipo de fertilizante é caracterizado pelo recobrimento do seu grânulo por películas de enxofre ou polímeros de natureza diversa. O uso de polímeros no revestimento da uréia vem sendo apresentado, como nova opção na redução da volatilização do N, porém por se tratar de um produto em início das utilização, há necessidade de mais pesquisas.

Objetivou-se se avaliar a volatilização de amônia, os teores de amônio e nitrato no solo, aspectos nutricionais e biométricos do milho, e a produtividade da cultura, em função da aplicação de uréia revestida com polímeros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância da cultura do milho

O milho é uma monocotiledônea pertencente à família das poáceas, gênero *Zea*, cientificamente denominado *Zea mays* L. (FANCELLI e LIMA, 1982). É uma planta monóica, alógama, anual, robusta e ereta com $2n=2x=20$ cromossomos (PATERNIANI, 1980).

Originado aproximadamente de sete a dez mil anos atrás no México e na América Central, é considerado uma das plantas cultivadas mais antigas e um dos vegetais superiores mais estudados, possuindo caracterização genética mais detalhada dentre as espécies cultivadas (GALINAT, 1995).

Sua origem tem sido bastante estudada e várias hipóteses foram propostas, porém as mais consistentes são aquelas que demonstram que o milho descende do teosinte, que é uma gramínea com várias espigas sem sabugo, que pode cruzar naturalmente com o milho e produzir descendentes férteis (GALINAT, 1995).

Este cereal assume grande importância social e econômica, principalmente pela geração de empregos na zona urbana e rural, e por fornecer produtos largamente utilizados na alimentação humana, tanto na forma “in natura” como processado, e para a alimentação animal, representando o principal insumo para confecção de rações. Além disso, o milho e seus derivados constituem-se em matéria-prima para vários segmentos da indústria, como por exemplo, farmacêutica, têxtil, bebidas, cosméticos, papéis, curtumes, colas, etanol. (SILVA, 2005). Atualmente surge a perspectiva de demanda do cereal também para a produção de biocombustível.

No agronegócio brasileiro, em termos de área explorada, a cultura do milho é a segunda mais cultivada, após somente da cultura da soja, sendo o Brasil o terceiro produtor mundial, com 51,6 milhões de toneladas de grãos colhidos (FAO, 2010).

Dentre as principais culturas de cereais dos trópicos sub-úmidos e semi-áridos, o milho tem a mais alta produtividade em condições adequadas de água, luz e nutrientes minerais, com destaque para o N, que é o mineral absorvido em maior quantidade, e essencial para o crescimento e desenvolvimento da planta (BÜLL, 1993).

2.2 Importância do nitrogênio para a cultura do milho

O nitrogênio (N) é o nutriente mais exigido pelas culturas, superando em quantidade o potássio e fósforo (RAIJ, 1991). O elemento representa 78% dos gases da atmosfera; entretanto, a despeito dessa abundância, há a escassez desse nutriente em formas disponíveis para as plantas, o que pode ser explicado pela extraordinária estabilidade do N_2 , que ao contrário de outras moléculas diatômicas, como o O_2 , NO ou CO, praticamente não é passível de reações químicas em condições naturais (SOUZA e FERNANDES, 2006).

Existem dois mecanismos de ocorrência natural que garantem o suprimento de N no solo. O primeiro é a transformação ocorrida na atmosfera, em que o N_2 é convertido em óxidos através de descargas elétricas. Esses óxidos são convertidos em ácido nítrico e penetram no solo pela água da chuva, ficando disponíveis para a planta na forma de nitratos. A outra forma, é a fixação biológica do N presente no ar. Este processo se dá por meio de microorganismos como fungos, bactérias e algas, porém com maior destaque para as bactérias *Rizobium*, *Azobacter* e *Beijerinckia* (RAIJ, 1991). Outro método de adição de nitrogênio ao solo é através da fertilização mineral ou orgânica (MALAVOLTA, 2006).

Sabe-se que o N tem alto dinamismo no solo, sofrendo diversas transformações químicas e biológicas. Devido seu baixo efeito residual, e sua alta exigência pelas culturas, a adubação nitrogenada é feita em maior quantidade, e com mais frequência que os demais nutrientes (LANGE, 2002).

O nitrogênio pode ser absorvido pelas plantas em duas formas distintas: como ânion (NO_3^-) e como cátion (NH_4^+). Segundo Yamada (1996) o nitrato é a forma mais absorvida pelas raízes das plantas devido à presença das bactérias nitrificadoras no solo (*Nitrossomonas* e *Nitrobacter*) que oxidam rapidamente o amônio a nitrato.

O nitrogênio encontrado na forma orgânica, para que seja absorvido pelas plantas é necessário ser convertido na forma inorgânica. O processo de transformação de N orgânico em nitrato é chamado de mineralização e é composto pelos processos de amonificação e nitrificação. Já, a imobilização se caracteriza pela utilização do N mineral disponível durante o processo microbiano, ocorrendo simultaneamente a mineralização (MELLO et al., 1985).

A nitrificação, ou oxidação do nitrogênio amoniacal (NH_4^+) para nitrato (NO_3^-), é realizada no solo por bactérias quimioautotróficas, que obtêm energia no processo e que podem

sintetizar a biomassa microbiana a partir do CO₂. Havendo carbono (C) disponível, o nitrogênio na forma amoniacal no solo é rapidamente assimilado por microrganismos à biomassa microbiana. Porém, em solos, a limitação de carbono e de energia são mais comuns e, com estas condições, o amônio (NH₄⁺) é consumido pelos microrganismos nitrificadores e rapidamente oxidado para nitrito (NO₂⁻) e, em seguida para nitrato (NO₃⁻), ocorrendo a predominância de N nesta forma nos solos em condições aeróbias (CANTARELLA, 2007).

Tisdale et al. (2005) citaram que, em solos úmidos com temperaturas amenas e disponibilidade adequada de oxigênio, a quantidade de nitrato na solução do solo é geralmente maior do que a de amônio.

Em relação ao tempo, solos em condições aeróbias e de altas temperaturas, oxidam o N amoniacal para nitrato em poucos dias (15 a 30 dias). Assim sendo, solos adubados com N amoniacal estarão em curto prazo com aporte de nitrogênio predominantemente na forma de nitrato (CANTARELLA, 2007). Sousa e Lobato (2002) citam que, o nitrogênio na forma amoniacal, depois de aplicado ao solo, é convertido para a forma nítrica em pequeno intervalo de tempo, em torno de três semanas.

Complementando os relatos sobre o assunto, Moreira e Siqueira (2002) citam que, as bactérias responsáveis pela nitrificação são Gram negativas da família Nitrobacteriaceae, capazes de crescer à custa da energia ou nitrito existentes nos solos. Esta oxidação do amônio ocorre em duas etapas. A primeira etapa é a nitrificação com transformação do amônio para nitrito, mediada, por exemplo, por bactérias do gênero *Nitrosomonas*. A segunda etapa é a nitratação, que é a transformação do nitrito para nitrato, realizada por bactérias do gênero *Nitrobacter*. Além do gênero *Nitrosomonas*, bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Corynebacterium* e *Achromobacter*, também são capazes de realizar a nitrificação em solos. Além da diversidade biológica destes organismos edáficos, ainda existe alta diversidade metabólica e fisiológica, resultando em extrema versatilidade para a ocupação dos diversos nichos ecológicos.

O nitrogênio é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pela cultura do milho, o que o torna um dos mais importantes e estudados por pesquisadores em todo o mundo. Sua importância é conhecida pelas funções exercidas no metabolismo das plantas, participando como constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, citocromos, moléculas de clorofila, atuando diretamente no processo de divisão e expansão celular (MARCHNER, 1995). Segundo Fancelli (2000) para a produção de 1 tonelada de grãos por hectare de milho são

absorvidos de 18 a 20 kg de nitrogênio pela planta dos quais 15 kg migram ao grão, portanto exportados da área.

De acordo com Cobucci (1991) o nitrogênio é um dos nutrientes que proporciona os maiores efeitos nos componentes de produção e produtividade da cultura do milho, sendo que, sua aplicação pode interferir em diversas características da planta, relacionadas ao crescimento e desenvolvimento, as quais direta ou indiretamente, afetam a produtividade da cultura.

O nitrogênio é absorvido pelas plantas de milho, principalmente, na forma nítrica, que posteriormente é reduzida à amônio, num processo onde estão envolvidas duas enzimas, a redutase de nitrato (ativada pelo molibdênio) e a redutase de nitrito (ativada pelo enxofre), sendo que a primeira é responsável pela transformação de nitrato (NO_3^-) em nitrito (NO_2^-) e a segunda pela transformação de nitrito (NO_2^-) em amônio (NH_4^+), para posterior assimilação em aminoácidos (YAMADA, 1996). Sua absorção pelo milho é mais intensa no período entre 40 e 60 dias após a germinação, mas a planta ainda absorve pequena quantidade na germinação e após o início do florescimento, caracterizando dessa forma três fases para absorção: uma fase no crescimento inicial lento (germinação), uma fase no crescimento rápido onde 70 a 80% de toda a matéria seca é acumulada, e uma última fase de absorção na qual o crescimento é novamente lento acumulando cerca de 10% de massa seca total da planta (MAGALHÃES, 1979; MACHADO et al., 1982; FRANÇA et al., 1994; VASCONCELLOS; VIANA; FERREIRA, 1998). Portanto, as exigências de nitrogênio pelo milho são mínimas nos estádios iniciais, aumentando com a elevação da taxa de crescimento e alcançando um pico durante o florescimento até o início de formação dos grãos (ARNON, 1975).

Tyner (1946) verificou que o N, mais que qualquer outro nutriente, possui potencial para determinar a produtividade de grãos. A produtividade do milho está associada com a atividade metabólica do carbono e do nitrogênio, tendo este papel direto na acumulação de massa seca nos grãos (MACHADO et al., 1992).

A disponibilidade de nitrogênio afeta diretamente o desenvolvimento da área foliar, a taxa de fotossíntese (GODOY JÚNIOR; GRANER, 1964; LEMAIRE; GASTAL, 1997), conseqüentemente, atua na interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, bem como no uso eficiente desta e na produção de biomassa seca (SINCLAIR; HORIE, 1989; UHART; ANDRADE, 1995). Conseqüentemente, folhas bem nutridas em nitrogênio têm capacidade de assimilar CO_2 e sintetizar carboidratos durante a fotossíntese, resultando em maior acúmulo de

biomassa seca e maior rendimento de grãos. Em compilação de diversos autores feita por Büll (1993), tem-se que as concentrações foliares de nitrogênio adequados para a cultura do milho estão entre 27,5 e 32,5 g kg⁻¹.

O nitrogênio atua também no crescimento do sistema radicular, sanidade de grão, além de componentes da produtividade como a massa de 1000 grãos e número de espigas por planta (MELGAR et al., 1991); a altura de plantas (DAVIDE, 1967); o comprimento da espiga (BALCO e RUSSEL, 1980); o diâmetro do colmo (PEREIRA FILHO, 1977); a inserção da espiga, e o número de plantas acamadas e quebradas (GODOY JÚNIOR; GRANER, 1964). Portanto, a deficiência de nitrogênio limita o crescimento das plantas (BLACK, 1975; MALAVOLTA, 1977), diminui a densidade de grãos entre 9 e 25% e a produtividade de grãos, entre 14 e 80%, porque esse elemento, além de afetar a determinação do número de células endospermáticas e de grânulos de amido, pode reduzir a fonte de fotoassimilados, devido à diminuição do índice e duração de área foliar (NEHMI et al., 2004), além de reduzir o teor de amido e proteínas das plantas (FERREIRA, 1997). Contudo, o efeito sobre essas variáveis depende do grau e estágio fenológico em que ocorrer a deficiência (UHART e ANDRADE, 1995).

As respostas do milho à adubação nitrogenada, tal como as de outras culturas, estão relacionadas às cultivares utilizadas, ao manejo da cultura (densidade de semeadura, uso do solo, clima, etc.) e para Anghinoni (1985), é função do suprimento de nitrogênio no solo e da dose aplicada. A estes fatores podem ser acrescentadas, temperatura e interceptação da radiação solar (fotossíntese) (MUCHOW e SINCLAIR, 1995).

Na última década, as recomendações oficiais de adubação para a cultura do milho evoluíram consideravelmente no Brasil. As principais inovações estão na recomendação de doses de acordo com a produtividade esperada, influência do tipo de solo, manejo, época de semeadura e material genético (CANTARELLA e DUARTE, 2004), bem como a época de aplicação do fertilizante nitrogenado (FANCELLI, 2000).

Quanto ao modo e a posição de aplicação do fertilizante nitrogenado na cultura do milho, Yamada (1996) relatou que parte do N deve ser aplicado por ocasião da semeadura, posicionado cinco centímetros abaixo e cinco centímetros ao lado da semente, e o restante em cobertura após a emergência das plantas, pois, de acordo com o trabalho desenvolvido por Zublena e Anderson (1994), o fertilizante nitrogenado se aplicado muito próximo das sementes, pode reduzir a

emergência devido à salinização ou à toxidez por amônia. De acordo com Oliveira (1995), a aplicação em cobertura de nitrogênio deve ser localizada em faixa, na entrelinha da cultura, e não a lanço, a fim de evitar o contato do fertilizante com as folhas da planta o que pode provocar a desidratação e morte das células da epiderme, e conseqüentemente, o aparecimento de lesões.

A quantidade utilizada de nitrogênio no Brasil é, em média, de 60, enquanto na China é de 130 e nos Estados Unidos, de 150 kg ha⁻¹ (INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION, 2006). Entre os fatores responsáveis pela alta produtividade da cultura do milho nos EUA, está o aumento expressivo do uso dos fertilizantes nitrogenados.

Yamada (1996) ressalta que, para uma produtividade esperada de 10 toneladas de grãos por hectare, deve-se aplicar entre 150 e 200 kg de N ha⁻¹, concordando com os dados de extração apresentados por Fancelli (2000) supracitados.

De acordo com Bull (1993) a maioria dos estudos realizados mostra que os melhores resultados são obtidos com a aplicação de 30 kg de N ha⁻¹ na semeadura e de 90 a 120 kg de N ha⁻¹ entre 30 e 45 dias após a germinação, totalizando entre 120 e 150 kg de N ha⁻¹.

Estes números corroboram com Fancelli e Tsumanuma (2007) que citam que a recomendação de nitrogênio na semeadura ou pré-semeadura refere-se ao fornecimento de 25 a 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio, salientando que doses elevadas (superiores a 60 kg há⁻¹) no sulco de semeadura poderá favorecer a salinização e/ou alcalinização da rizosfera, em função da fonte empregada, afetando o funcionamento das raízes, a vida do solo e a taxa de absorção de micronutrientes. Ainda com relação a adubação nitrogenada em semeadura Fancelli e Dourado Neto (2000) mencionam que a demanda de N e a atividade das raízes aumentam com a temperatura, e por essa razão o melhor desempenho inicial de plantas de milho cultivadas em regiões e épocas quentes tem sido obtido com o uso de 40 a 50 kg ha⁻¹ na semeadura. Com relação à adubação em cobertura, Fancelli; Dourado Neto; Casadei; (2002) conduzindo experimento com adubações nitrogenadas em diversos estádios fenológicos, obtiveram as maiores produtividades de grãos nos tratamentos em que foi colocado 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio em semeadura e 120 kg ha⁻¹ do nutriente quando as plantas apresentavam 4 e 6 folhas expandidas.

Raij et al. (1981) conduzindo experimentos com aplicação nitrogênio, observaram maiores produtividades da cultura do milho em 16 deles, sendo que, em alguns casos, o aumento da produtividade de grãos com a aplicação de 120 kg de N ha⁻¹ atingiu 5.000 kg ha⁻¹. Nesse

trabalho, o aumento médio de produtividade, para o conjunto de experimentos conduzidos, foi de aproximadamente 1.500 kg ha⁻¹ de grãos para aplicações de até 120 kg de N ha⁻¹.

2.3 Perdas de Nitrogênio

Por ser elemento muito dinâmico no solo o nitrogênio pode sofrer perdas por um ou diversos processos como volatilização, lixiviação, denitrificação, escoamento superficial e pela remoção das culturas (DE DATTA, 1981).

A perda de nitrogênio (N) por volatilização de amônia (NH₃) para a atmosfera é um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência da uréia aplicada sobre a superfície do solo (BOUWMEESTER; VLEK; STUMPE; 1985). Este processo consiste na passagem da amônia presente no solo à atmosfera (DIEST, 1988), conforme a seguinte relação:

A Amônia (NH₃) perdida por volatilização é proveniente da mineralização da matéria orgânica ou do fertilizante aplicado, sendo este o fenômeno mais intenso, mediante o aumento no pH do solo (MELO, 1978).

O processo de volatilização de amônia com a aplicação de uréia envolve, inicialmente, a hidrólise da fonte nitrogenada por meio da urease, resultando na formação de carbonato de amônio. A urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, ainda, de origem em restos vegetais. A uréia aplicada pode ser rapidamente hidrolisada em 2 ou 3 dias, dependendo da temperatura e umidade do solo, quantidade e forma pela qual a uréia é aplicada. Estes fatores influenciam diretamente a atividade dos microrganismos presentes no solo e na palha, promovendo grande variação na taxa de hidrólise para diferentes solos (REYNOLDS; WOLF; ARMBRUSTER, 1987).

O carbonato de amônio resultante da hidrólise da uréia não é estável e desdobra-se em NH₃, CO₂ e água (RAIJ, 1991). Parte da NH₃ formada reage com íons H⁺ da solução do solo e com íons H⁺ dissociáveis do complexo coloidal, resultando no cátion NH₄⁺. Entretanto, a neutralização da acidez potencial determina a elevação do pH, que pode atingir valores acima de 7 na região próxima aos grânulos do fertilizante aplicado (RODRIGUES e KIEHL, 1992).

Valores elevados de pH conduzem à volatilização de amônia, devido a baixa formação de íons NH_4^+ . Portanto, todos fatores que tem influência sobre o pH do sistema solo-água vão influenciar a taxa de perdas. Deste modo, valores elevados de pH conduzem à maior volatilização de N-NH_3 da uréia aplicada em superfície (FRENEY et al., 1985; HARGROVE, 1988; BYRNES, 2000), a qual pode representar entre 50 a 80% do total de nitrogênio aplicado (VOLK, 1959, LARA CABEZAS, 1997b), dependendo das condições climáticas e de solo.

Outros fatores também afetam sobremaneira a volatilização de N-NH_3 como a temperatura, a umidade, as trocas gasosas, a taxa de evaporação de água, o conteúdo de água no solo, o pH, o poder tampão, a capacidade de troca catiônica, a classe textural, teor de matéria orgânica, cobertura vegetal e a atividade da urease (TISDALE 1984, FRENEY et al., 1985; HARGROVE, 1988; BYRNES, 2000).

A presença de resíduos culturais sobre a superfície do solo influencia a quantidade de nitrogênio que se perde através da volatilização de amônia, especialmente quando a uréia é aplicada superficialmente (VARSA et al., 1995). Isto é relevante principalmente no sistema de plantio direto (SPD), onde grande parte dos agricultores efetua a adubação de cobertura com uréia, em aplicações superficiais e a lanço. Além disso, o incremento do conteúdo de matéria orgânica (MO), verificado nas camadas superficiais do solo cultivado em SPD, tende a aumentar a população microbiana e a capacidade de troca catiônica (CTC) (BAYER e MIELNICZUK, 1997). Com isto, tem-se maior atividade da urease, que catalisa a hidrólise da uréia, favorecendo a volatilização de NH_3 . Trabalhos (ESPIRONELO et al.; 1987; TRIVELIN et al., 2002;) mostram que a maneira mais eficiente de reduzir ou eliminar as perdas por volatilização é a incorporação da uréia ao solo. Só que é uma operação que acarreta em custo adicional, que pode ser elevado em solos cobertos com grande quantidade de palha (CANTARELLA, 2007). A incorporação da uréia ao solo, graças a alta solubilidade desse fertilizante, pode ser feita por meio da água da chuva ou da irrigação (HARGROVE, 1988).

Outra importante forma de perda de nitrogênio é a lixiviação do nitrato (NO_3^-), que é a forma mineral de nitrogênio predominante nos solos sem restrição de oxigênio. Devido ao predomínio de cargas negativas na camada arável, a sua adsorção eletrostática é insignificante. Desta forma, o nitrato permanece na solução do solo, o que favorece sua lixiviação no perfil para profundidades inexploradas pelas raízes (CERETTA e FRIES, 1997).

Neste sentido, Trivelin et al. (1988) trabalhando com material marcado (^{15}N), uréia e aquamônia, encontraram perdas totais de 72,1 e 58,8 kg N ha⁻¹ que incluíam 7,0 e 35,0 kg ha⁻¹ de N como perdas por lixiviação, respectivamente. Bologna et al. (2006) afirmam que as perdas de nitrogênio por lixiviação podem levar a problemas de queda da fertilidade do solo e até mesmo a contaminação do lençol freático.

Em estudos de Coelho et al. (1991) e Camargo (1989) observou-se que a maior parte do N lixiviado provem da mineralização da matéria orgânica e não do fertilizante aplicado.

No entanto, no Brasil, são poucos os casos de altas perdas por lixiviação relatados na literatura. As doses de N relativamente baixas, a textura argilosa da maioria dos locais e o parcelamento da adubação nitrogenada, no qual a maior parte do N é aplicada no período de ativa absorção de N pelas plantas, ajudam a explicar as limitadas perdas de N observadas nos estudos realizados no Brasil (CANTARELLA, 2007). Este relato corrobora com Vitti (2003) que concluiu que as perdas por lixiviação são pouco relevantes nas condições brasileiras, geralmente inferior a 5% do N aplicado. A Imobilização pela microbiota do solo de parte do N também colabora para reduzir a lixiviação (COELHO et al., 1991).

2.4 Uréia como fonte de nitrogênio para as plantas

Existem várias possibilidades de escolha da fonte de nitrogênio (N) a ser utilizada. Em geral, para a escolha do fertilizante nitrogenado, o produtor baseia-se, geralmente, no custo da unidade de N, na disponibilidade e na eficiência da fonte aplicada. Porém, durante o processo de escolha da fonte nitrogenada deve-se atentar para a forma de aplicação que confere a melhor performance (TAVARES JÚNIOR e DALTO, 2004).

Os adubos nitrogenados mais comercializados e utilizados no Brasil são a Uréia, o nitrato de amônio, o sulfato de amônio, diamonifosfato (DAP) e o monoamônio fosfato (MAP) (IPNI, 2008).

A uréia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] é caracterizada como fertilizante sólido granulado com concentração por volta de 45% de nitrogênio na forma amídica. Dentre as vantagens da uréia, além da elevada concentração de N, pode-se mencionar o menor custo com fabricação, transporte, armazenagem e aplicação, alta solubilidade, baixa corrosividade e facilidade de mistura com outras fontes.

Porém, apresenta alta higroscopicidade e é a fonte que apresenta maior potencial de perda de nitrogênio por volatilização (MELGAR et al., 1999).

A uréia ao ser adicionada ao solo é hidrolisada pela ação da enzima urease produzida por bactérias e actinomicetos presentes no solo, depois sofre amonificação com a formação de carbonato de amônio, que é um sal instável que se decompõem em gás carbônico e amônia (gás), podendo haver perdas por volatilização do NH_3 , provocando uma forte elevação do pH próximo ao local onde ocorreram reações. Se a uréia não for incorporada ao solo ou irrigada logo após aplicação, as perdas do N amoniacal por volatilização serão mais elevadas. No final deste processo, o N se transforma na forma amoniacal (MELLO, 1987). O íon NH_4^+ , por ser um cátion, pode ser retido temporariamente e superficialmente no complexo coloidal (adsorvido), passando depois para a solução do solo, podendo ser absorvido pelas plantas, lixiviado ou transformado em nitrato.

Esforços tecnológicos têm sido realizados para diminuir a magnitude da volatilização de amônia, logo após a aplicação da Uréia, seja, apesar do maior custo, pelo recobrimento da Uréia com enxofre, pela utilização de novos polímeros, pelo uso de inibidores de urease e de uréia supergrânulo, e pelas misturas com outros sais inorgânicos (SAVANT e STANGEL, 1990; SENGIK e KIEHL, 1995; CARROW, 1997).

2.5 Fertilizantes revestidos

Os fertilizantes revestidos, chamados de fertilizante de liberação controlada ou de liberação lenta são aqueles que atrasam a disponibilidade inicial dos nutrientes ou incrementam a sua disponibilidade no tempo através de diferentes mecanismos. Não há uma diferenciação oficial entre fertilizantes de liberação controlada e liberação lenta. Entretanto os produtos de degradação microbiana, como ureia-formaldeído e outros ureia-aldeídos são comercialmente designados como fertilizantes de liberação lenta (“slow-release fertilizer”). Aqueles que são revestidos por películas de enxofre ou polímeros de natureza diversa são designados de fertilizantes de liberação controlada (“controlled release fertilizer”) (TRENKEL, 1997).

O emprego de fertilizantes revestidos, tem por finalidade disponibilizar os nutrientes para as culturas por um maior período de tempo e otimizar a absorção pelas plantas reduzindo perdas por lixiviação (MORGAN et al., 2009).

Genericamente, os fertilizantes de liberação lenta ou controlada são classificados em grupos, estabelecidos com base nos processos envolvidos na liberação de nutrientes, quais sejam: peletizados, quimicamente alterados e recobertos. O primeiro grupo compreende compostos de baixa solubilidade, apresentados na forma de “pellets”, cuja liberação de nutrientes depende da ação microbiana (fertilizantes de liberação controlada). No segundo grupo, estão incluídos fertilizantes modificados, de maneira a converter parte dos nutrientes em formas insolúveis em água, liberadas ao meio de forma gradativa. Os fertilizantes recobertos incluem compostos solúveis envolvidos por uma membrana semi-permeável, que controla a liberação de nutrientes ao meio de cultivo (fertilizantes de liberação controlada) (BENNETT, 1996). O processo de encapsulação influi diretamente no mecanismo e intensidade do processo de liberação. A espessura e a natureza química da resina de recobrimento, a quantidade de microfissuras em sua superfície e o tamanho do grânulo de fertilizante também contribuem para determinar a curva de liberação de nutrientes ao longo do tempo (TRENKEL, 1997).

Os adubos designados no comércio de liberação lenta são produtos de baixa solubilidade que resultam da condensação da ureia. A ureia-formaldeído é uma das formulações mais importantes. Resulta da reação do formaldeído com excesso de ureia da qual resulta uma mistura de metileno-ureias com polímeros de cadeia longa (formam-se várias moléculas com cadeias de diferentes comprimento). Parte é solúvel em água e fica rapidamente disponível e outra parte é libertada de forma gradual por um período mais longo. O processo de liberação dos nutrientes fica dependente da degradação microbiana e indiretamente da temperatura, umidade, pH e oxigênio (TRENKEL, 1997).

Dentro dos fertilizantes chamados de liberação controlada, os que resultam de revestimentos da uréia com enxofre (“sulfur coated urea”, SCU) foram os primeiros a serem desenvolvidos em escala comercial. Os SCU são fertilizantes solúveis cujos grânulos são envoltos num revestimento de proteção para controlar a entrada de água e reduzir a dissolução do nutriente e degradam-se lentamente no solo por processos microbiológicos, químicos e físicos. A liberação de nutrientes depende da espessura da membrana relativamente ao tamanho do grânulo. O processo de revestimento reduz a concentração de nitrogênio da uréia de 45 para 30 a

42%. São comercializados desde a década de 1970 e tem a vantagem do enxofre ser um nutriente importante e um produto barato (TRENKEL, 1997).

Nos fertilizantes revestidos com polímeros usam-se membranas impermeáveis ou semi-impermeáveis com poros finos (poliuretanos, poliésteres, resinas). A maior parte dos polímeros decompõem-se muito lentamente. O material utilizado no revestimento (tipo de polímero) e à técnica de revestimento varia muito entre as empresas que fabricam esse tipo de fertilizante. A liberação de nutrientes fica dependente da temperatura e da permeabilidade da membrana à água. Muitos tem problemas de resíduos no solo, pois são de difícil biodegradação. São produtos que tendenciam a ser bem mais caros que os convencionais (TRENKEL, 1997).

A liberação eficiente de nutrientes dos fertilizantes de liberação controlada se dá quando há disponibilidade de água e temperatura adequada do solo, por volta de 21°C (CHITOLINA, 1994), sendo a taxa de liberação de nutrientes pelos grânulos de fertilizante diretamente proporcional à temperatura do solo ou substrato, uma vez que a temperatura promove expansão da camada de resina, provocando aumento de sua permeabilidade à água. Esse processo ocorre independentemente da permeabilidade, pH ou atividade microbológica do solo, podendo variar de poucos meses até quase 20 meses para liberação total, sendo a longevidade específica de cada formulação do fertilizante (OERTLI, 1980). A conjugação dessas propriedades faz com que esses fertilizantes em específico sejam denominados fertilizantes de liberação controlada, uma vez que técnicas de manejo que levem à manipulação de umidade e temperatura podem modificar a intensidade de liberação de nutrientes.

As principais vantagens dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada, segundo Shaviv (2001), são: fornecimento regular e contínuo de nutrientes na época necessária para as plantas; menor frequência de aplicações; redução de perdas de nutriente por lixiviação, denitrificação, imobilização e ainda volatilização; eliminação de danos causados a sementes e raízes devido à alta concentração de sais; maior praticidade no manuseio dos fertilizantes; redução da poluição ambiental pelo NO_3^- , atribuindo valor ecológico à atividade agrícola (menor contaminação de águas subterrâneas e superficiais); redução nos custos de produção.

Dessa maneira, a eficiência da adubação nitrogenada pode ser ampliada através do uso de fertilizantes de liberação lenta, com significativa redução de perdas de N e melhor disponibilização às plantas. Barati et al. (2006), comparando a eficiência de três fontes de N, cloreto de amônio, uréia e uréia revestida com enxofre, observaram que a recuperação de N foi

maior quando se utilizou o fertilizante revestido. Grande parte dos trabalhos com adubos de liberação lenta tem se centrado na utilização de uréia revestida com enxofre e ureia-formaldeído, os quais estão disponíveis no mercado há 40 anos (GUERTAL, 2009). Segundo resultados obtidos por Boman e Battikhi (2007), o uso do fertilizante nitrogenado de liberação lenta reduz a necessidade de parcelamento das adubações.

Owens; Edwards; Van Keuren, (1999); e Pack; Hutchinson; Simonne; (2006) observaram a redução da lixiviação de NO_3 com a utilização de fertilizantes de liberação controlada em relação a uréia convencional

Leão (2008) verificou redução da volatilização de nitrogênio e da atividade da urease para os tratamentos onde foi utilizada a uréia revestida com polímeros quando comparada com a uréia convencional na adubação em cobertura na cultura do milho.

Noellsch et al., 2009 comparando a eficiência da aplicação de 168 kg ha^{-1} de N de uréia revestida com polímeros com uréia convencional em milho no nordeste de Missouri, observaram que houve maior absorção de nitrogênio e maior produtividade de grãos no tratamento com uréia polimerizada, salientando que a liberação mais lenta do nutriente pelo fertilizante incorre a menores perdas do mesmo, portanto sendo mais absorvido pela planta.

Sato e Morgan (2008); Medina et al., (2008) citam que as perdas de N para o ambiente são reduzidas com o uso de adubos de liberação controlada, corroborando com Cole et al., (2007) que mencionam que em geral os fertilizantes revestidos produzem maior crescimento das plantas e menor lixiviação de nitrogênio que os mesmos não encapsulados.

Apesar do alto potencial dos fertilizantes de liberação lenta para aumentar a eficiência de aproveitamento de fertilizantes nitrogenados, o uso de tais produtos é limitado pelo alto custo em comparação com os fertilizantes tradicionais (CANTARELLA, 2007).

O uso de polímeros no revestimento da uréia vem sendo apresentado como uma nova opção na redução da volatilização do N, porém por se tratar de um produto em início das pesquisas pouco se sabe sobre seu comportamento. Um exemplo é o produto KimCoat LGU que possui o grão de uréia revestido com três camadas de polímero de alta densidade de carga (NutriSphere-Nou NSN) (REIS JÚNIOR, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental e características do local.

O experimento foi instalado na safra 2009/10 na Fazenda Beija-Flor II do Grupo S/A Agroindustrial Eldorado, localizada no município de Uberlândia (MG), sendo as coordenadas do local: 19° 25' de latitude sul e 47° 59' de longitude oeste e altitude por volta de 500 metros.

O clima da região é classificado como Cwa (Köepen), com inverno seco, verão chuvoso e temperatura média entre 18 e 22°C.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) de textura argilosa. A área onde foi instalado o experimento tem tempo de cultivo de cerca de 10 anos, sendo praticado o plantio direto e rotação de cultura. Na safra anterior ao experimento foi cultivado soja e sorgo na safra e safrinha respectivamente. Os dados pluviométricos do ano agrícola em que foi realizado o experimento são visualizados na figura 1.

Figura 1 - Dados pluviométricos obtidos na área experimental dos 6 quinquidécios (q) de cada mês no período de outubro de 2009 a março de 2010

Antes da instalação do experimento fez-se amostragem de solo para caracterização química e textural da área nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm. As análises químicas foram conforme metodologias descritas em e Raij et al. (2001) e Vitti (1989) para o enxofre e as texturais conforme descrito em Camargo et al. (1986).

As características químicas e texturais do solo encontram-se nas tabelas 1 e 2 respectivamente.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento

Prof.	pH	M.O	P	S	K	Mg	Ca	H+Al	CTC	V	m
Cm	CaCl ₂	gdm ⁻³	---mg dm ⁻³ --		-----mmol dm ⁻³ -----				----%---		
0-10	5,7	29	35	35	2,0	8	34	20	64	69	0
10-20	5,2	27	33	36	1,8	4	19	20	45	55	2

Tabela 2 - Textura do solo onde foi instalado o experimento

Profundidade	Argila	Silte	Areia	Classe textural
cm	-----g kg ⁻¹ -----			
0 -10	517	245	238	Argilosa
10 -20	588	205	207	Argilosa

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 7 tratamentos e quatro repetições, totalizando 28 parcelas. Cada parcela apresentava 10 metros de comprimento e 4,9 de largura (7 linhas da cultura espaçadas em 0,7 m). A área total do experimento foi de 1372 m². A área da parcela onde foram feitas as avaliações correspondia às três linhas centrais descartando 2 metros iniciais e finais das mesmas, conforme ilustrado na figura 2.

Figura 2 - Esquema dimensional das parcelas experimentais

3.3 Descrição dos Tratamentos

Os tratamentos consistiram na aplicação de uréia revestida com polímeros (figura 3a) e uréia convencional (figura 3b), cujos fertilizantes contém 41 e 45% de nitrogênio respectivamente. As duas formas do fertilizante foram testadas em três doses de nitrogênio.

(a)

(b)

Figura 3 – Uréia de revestida com polímeros (a) e uréia convencional (b)

As doses utilizadas foram 90 kg ha^{-1} de N, que é a padrão recomendada para a cultura, e a sua redução em 25 e 50%, que corresponde a $67,5$ e 45 kg ha^{-1} de N respectivamente, além de um tratamento controle sem aplicação do nutriente (tabela 3).

Tabela 3 - Descrição dos tratamentos utilizados em cobertura

Tratamento	Fertilizante	Dose de nitrogênio (kg ha^{-1})
1	-	0
2	Uréia revestida	90,0
3	Uréia revestida	67,5
4	Uréia revestida	45,0
5	Uréia convencional	90,0
6	Uréia convencional	67,5
7	Uréia convencional	45,0

Os fertilizantes foram aplicados manualmente em faixa e sem incorporação a aproximadamente 10 cm das plantas de milho, quando estas apresentavam quatro folhas totalmente expandidas (estádio fenológico V4).

A uréia revestida utilizada no presente experimento é um produto cujo grão do fertilizante é revestido por três camadas de um polímero de alta densidade de carga (NutriSphere-Nou NSN).

3.4 Instalação do experimento

No dia 27 de outubro de 2009 fez-se a semeadura da cultura do milho, usando o híbrido simples P30F53 HX da empresa PIONNER, para obtenção de população de 67000 plantas por hectare com espaçamento entre linhas de 0,7 m.

A adubação no momento da semeadura e de potássio em cobertura foi a mesma para todos os tratamentos. Foram aplicados 40 , 152 e 48 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O respectivamente na semeadura e 30 kg ha^{-1} de K_2O em cobertura junto com a adubação nitrogenada. A semeadura foi feita mecanicamente com uso de uma semeadora-adubadora (figura 4).

Figura 4 - Semeadora-adubadora utilizada para plantio do experimento

Quinze dias antes da semeadura do milho, fez-se a dessecação da área experimental, para a implantação da cultura com $3,4 \text{ l ha}^{-1}$ de glifosate (620 g l^{-1}) e $0,8 \text{ l ha}^{-1}$ de ácido 2,4 diclorofenoxibenzeno (806 g l^{-1}). Nesta mesma operação aplicou-se 4 kg ha^{-1} ácido bórico (17% de boro) e os inseticidas Metamidofós – (600 g l^{-1}) e Fipronil (200 g l^{-1}) nas doses de 0,71 e 0,02 l ha^{-1} respectivamente além de óleo mineral na dose de $0,4 \text{ l ha}^{-1}$. O tratamento de semente foi feito com o inseticida Imidacloprido (150 g l^{-1}) + Tiodicarbe (450 g l^{-1}) e 100 g ha^{-1} de zinco (Zn).

Para o controle de plantas invasoras em pré-emergência foi aplicado 4 l ha^{-1} de Atrazine (400 g l^{-1}) + óleo mineral 10 dias após a semeadura. Devido o híbrido do milho utilizado no experimento possuir a biotecnologia de transgenia Bt (inserção no genoma da planta de um gene proveniente da bactéria *Bacillus thuringiensis*), que confere ao milho resistência ao ataque dos seus principais insetos praga, não houve a necessidade de aplicação de inseticidas. Para o controle de fungos fitopatogênicos foram realizadas aplicações do fungicida epoxiconazol (50 g l^{-1}) + triflostrobina (133 g l^{-1}), em V8 e pré-pendoamento. Com relação à adubação foliar foram aplicados 150 g ha^{-1} de manganês (Mn) nos estádios fenológicos V4, V8 e pré-pendoamento, 100 g ha^{-1} de zinco (Zn) e 50 g ha^{-1} de Cobre (Cu) no quando as plantas encontravam-se com 4 folhas totalmente expandidas (V4).

Na figura 5 tem-se uma visão geral da área experimental, na época de aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura.

Figura 5 - Visão geral da área experimental

3.5 Avaliações

3.5.1 Volatilização de nitrogênio

As perdas de nitrogênio por volatilização foram determinadas pelo método do coletor semi-aberto desenvolvido por Nönmik (1973) e adaptado por Lara Cabezas (1999).

Os coletores foram instalados na área imediatamente após a adubação nitrogenada de cobertura. Os mesmos consistiram-se de uma estrutura tubular de PVC transparente flexível (0,35 m de altura x 0,15 m de diâmetro interno x 1 mm de espessura) (figura 6a), montada sobre suportes de PVC (figura 6b) colocados a aproximadamente 10 centímetros (cm) da linha central da parcela e enterrados no solo a profundidade de 3 a 5 cm. Na extremidade oposta ao solo, colocou-se um chapéu de PVC transparente, para evitar a incidência de chuvas no interior do coletor, a uma distância que permitia entrada e saída de gases. No entanto, em vez de uma base de suporte para cada coletor, usada no método original, foram utilizadas cinco bases sobre as

quais os coletores foram periodicamente rotacionados, conforme modificação sugerida por Cantarella et al. (1999).

Figura 6 – Coletor semi- aberto de PVC (a) e a base para suporte do mesmo (b)

Cada coletor apresentava suportes no seu interior para sustentar duas espumas (densidade $0,02 \text{ g/cm}^3$), que antes de serem instaladas nos coletores foram embebidas com 60 ml de uma solução com ácido fosfórico (50 ml L^{-1}) e glicerina (40 ml L^{-1}) com o objetivo de absorver o nitrogênio na forma de amônia (N-NH_3). A espuma superior, posicionada a aproximadamente 30 cm do solo, permite a coleta da N-NH_3 da atmosfera, evitando que a espuma inferior (aproximadamente 15 cm do solo), que capta o N-NH_3 volatilizando da superfície do solo, seja contaminada (LARA CABEZAS e TRIVELIN, 1990). Em cada momento de amostragem, novas espumas embebidas em ácido fosfórico e glicerina foram repostas e os coletores mudados para a base seguinte para minimizar as diferenças ambientais entre o fertilizante avaliado (que estava dentro da base e protegido pelo coletor) e o aplicado na linha da cultura.

Inicialmente as 10 medidas de volatilização de N-NH_3 foram planejadas para ocorrer 1, 3, 5, 7, 11, 15, 19, 23, 27 e 31 dias após a adubação nitrogenada de cobertura, ou seja, as 4 primeiras coletas em intervalos de dois dias e as 6 últimas em intervalo de 4 dias. Porém, em

razão das chuvas que ocorreram no final do período de avaliação, as cinco últimas coletas tiveram seus dias alterados sendo feitas nos dias subsequentes as chuvas. Esse procedimento é feito para mudar os coletores para a base seguinte pelos motivos supracitados. Devido a essas mudanças as coletas foram realizadas a 1, 3, 5, 7, 11, 13, 15, 16, 17 e 18 dias após a aplicação do fertilizante. As precipitações pluviárias diárias ocorridas dias antes e durante o período de avaliação de volatilização de N-NH_3 estão ilustradas na figura 7.

Figura 7 – Precipitações pluviárias ocorridas antes e durante a avaliação da volatilização de Nitrogênio

Em cada período de coleta, as espumas que capturaram o N-NH_3 volatilizado do solo (inferiores), foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados, que foram vedados e armazenados sob refrigeração até o momento da análise. No laboratório, as espumas foram retiradas individualmente do refrigerador para extração forçada de N-NH_3 . Neste procedimento, cada espuma foi colocada sobre um funil de porcelana e, com o auxílio de uma bomba de vácuo, lavou-se a espuma, com aproximadamente, 400 mL de água desionizada. Durante este processo, a manipulação das espumas foi feita com auxílio de uma pinça e os materiais que entraram em contato com a espuma, lavados com água desionizada, no sentido de evitar a contaminação do material subsequente analisado.

Da solução extraída de cada espuma (cerca de 400 ml) uma alíquota de 150 ml foi colocada em um pote plástico e levado a refrigeração (4°C) até o momento da determinação. A determinação de N-NH₃ foi feita por destilação e titulação, usando-se 20 ml da solução extraída de cada espuma que foi transferida para balão de destilação onde adicionou-se NaOH (50%) para elevar o pH da solução. O destilado foi recolhido em Erlenmeyer contendo 10 ml de solução de ácido bórico a 4% mais indicador e, posteriormente titulado com ácido sulfúrico a 0,01N.

Uma das principais críticas a coletores fechados e semi-abertos de N-NH₃ refere-se à geração de condições artificiais no interior do coletor, o que prejudica os fluxos de N-NH₃ da superfície do solo para a atmosfera (SHARPE e HARPER, 1995), podendo ocorrer, inclusive, a reabsorção de N-NH₃ pelo solo.

Para o cálculo de nitrogênio utilizou-se a seguinte equação:

$$\text{mg N} = (\text{Vol. H}_2\text{SO}_4 - \text{Vol. Branco}) \times \text{N} \times 14 \times \frac{20}{\text{Vol. espuma}}$$

mg N = miligrama de nitrogênio volatilizado por coletor

Vol. H₂SO₄ = Volume de ácido sulfúrico utilizado na titulação das alíquotas da solução extraída das espumas utilizadas nos coletores

Vol. Branco = Volume de ácido sulfúrico utilizado na titulação das alíquotas extraídas da solução de espumas não levadas a campo

N = Normalidade do ácido sulfúrico

Vol. espuma = Volume de solução extraída da espuma

14 = Peso molecular do nitrogênio

Para cálculo do nitrogênio perdido em kg ha⁻¹, multiplicou-se o valor perdido em mg por coletor pelo fator 0,0952381.

3.5.2 Teor de amônio e nitrato no solo

Para determinação do teor de nitrogênio amoniacal e nítrico do solo, fez-se amostragem de solo com trado holandês nas profundidades de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm. Foram amostrados três pontos por unidade experimental. A coleta de amostra de solo foi realizada dia 06/01/2010, 53 dias após a adubação de cobertura, sendo realizada concomitantemente a coleta de folhas.

Após a coleta, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos e colocadas em caixa térmica contendo gelo para minimizar alterações nas concentrações de amônio e nitrato, durante o transporte do campo ao laboratório, conforme indicações de Mattos Júnior; Cantarella; Raij (1995). Em seguida essas amostras foram armazenadas em congelador até a extração e determinação de amônio e nitrato. A extração foi realizada com KCl 2mol/l seguindo a metodologia proposta por Tedesco et al. (1985). As determinações das concentrações de amônio (N-NH_4) e nitrato (N-NO_3^-) no solo foram feitas conforme descrito em Kamogawa e Teixeira (2009) e Su et al, (1998) respectivamente pelo método de análise de injeção em fluxo (FIA – “Flow injection analysis”).

3.5.3 Concentração de Nitrogênio foliar

Para determinação da concentração de nitrogênio foliar, foram coletadas 20 folhas por parcela na ocasião do aparecimento da inflorescência feminina, sendo coletada a folha oposta e abaixo da espiga principal (figura 8) como recomendado por Malavolta; Vitti; Oliveira; (1997). Antes de levar para a análise retirou-se a nervura central e os terços superiores e inferiores, onde analisou-se o terço central das folhas segundo metodologia descrita em Raij et al. (1997). O material colhido foi devidamente lavado, levado ao laboratório, seco a 65°C em estufas com circulação forçada de ar por 72 horas, passado em moinho tipo Wiley e realizada a determinação das concentrações de N, segundo metodologia descrita em Malavolta; Vitti; Oliveira (1997).

Figura 8 – Coleta de folha para análise da concentração de nitrogênio

3.5.4 Medida indireta do teor de clorofila (SPAD)

As medidas indiretas de clorofila foram realizadas com o aparelho Minolta SPAD 502® (figura 9).

Figura 9 – Medida indireta de clorofila com o aparelho Minolta SPAD 502®

O Minolta SPAD-502®, denominado clorofilômetro, permite a obtenção de valores indiretos do teor de clorofila presente na folha de modo não destrutivo, rápido e simples. Esse equipamento possui diodos que emitem luz a 650 nm (vermelho) e a 940 nm (infravermelho). A luz em 650 nm situa-se próxima dos dois comprimentos primários de onda associados à atividade da clorofila (645 e 663 nm). O comprimento de onda de 940 nm serve como referência interna para compensar as diferenças na espessura ou no conteúdo de água da folha ou devidas a outros fatores (WASKOM *et al.*, 1996). A luz que passa através da amostra da folha atinge um receptor (fotodiodo de silicone) que converte a luz transmitida em sinais elétricos analógicos. Esses sinais são convertidos em sinais digitais por meio do conversor A/D (MINOLTA, 1989) e são usados por um microprocessador para calcular os valores SPAD (“Soil Plant Analysis Development”), que são mostrados num visor. Os valores obtidos são proporcionais ao teor de clorofila presente na folha (RAMBO *et al.* 2004).

Segundo Argenta *et al.* (2001) em plantas de milho, a concentração de N, de clorofila e as medidas fornecidas pelo SPAD-502 estão positivamente correlacionadas, exceto nos estádios iniciais de desenvolvimento em que a medida realizada com o SPAD tem sua precisão reduzida.

Para determinação indireta do teor de clorofila foram analisadas 10 folhas por unidade experimental, na ocasião do aparecimento da inflorescência feminina. A medida foi realizada na folha oposta e abaixo da espiga principal, sendo o aparelho posicionado no terço médio, entre a borda e nervura central da mesma (Figura 9).

3.5.5 Aspectos biométricos

A determinação do aspecto biométrico consistiu na mensuração da altura de inserção de espiga e diâmetro do colmo do milho.

Para determinar o diâmetro médio do colmo, mensurou-se com o auxílio de um paquímetro o diâmetro do segundo entrenó a partir da base da planta (figura 10a), em cinco plantas dentro da área útil de cada parcela na ocasião da colheita da cultura.

A altura de inserção da espiga foi determinada medindo-se com o auxílio de uma trena de escala graduada a distância entre a superfície do solo e o ponto de inserção da primeira espiga com o colmo (figura 10b), em cinco plantas da área útil de cada parcela, no momento da colheita da cultura.

Figura 10 - Mensuração do diâmetro do colmo (a) e altura da inserção da primeira espiga no colmo (b)

3.5.6 Produtividade de grãos e massa de mil grãos

A produtividade de grãos (kg ha^{-1}) foi obtida a partir da debulha e pesagem dos grãos oriundos de todas as espigas colhidas em 5 metros lineares de cada linha localizada na área útil da parcela, totalizando 15 metros lineares. Os grãos foram pesados em balança digital de precisão centesimal e concomitantemente aferida à umidade dos mesmos para correção da sua massa a um teor de água de 13%.

3.5.7 Massa de 1000 grãos

Após a debulha de todas as espigas colhidas para determinação de produtividade, pegou-se uma amostra de grãos de cada unidade experimental e através de contagem manual determinou-se a massa de 1000 grãos, com pesagem em balança digital com precisão centesimal, sendo a massa obtida corrigida para uma umidade de 13%.

3.5.8 Concentração de N nos grãos

A determinação da concentração de N nos grãos foi realizada segundo metodologia descrita em Malavolta; Vitti; Oliveira, (1997). Para isso, no momento da colheita da cultura, em cada unidade experimental, recolheu-se uma amostra dos grãos, secou-a em estufa de circulação forçada e posteriormente moagem. Desta amostra moída, utilizou-se 100 miligramas para a determinação da concentração de N no grão.

3.6 Análise econômica

A análise econômica foi realizada calculando-se a receita produzida pela venda de grãos produzidos em função da aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura. Para isso calculou-se a relação entre o custo com fertilizante e a receita gerada pela venda de grãos produzidos a mais do que o tratamento controle. Utilizou-se os preços praticados em junho de 2010 no estado de São Paulo do fertilizante revestido e convencional, e do grão de milho.

3.7 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a análise de variância aplicando-se o teste F ($p \leq 0,05$). Houve comparação de médias pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$). Foi utilizado o programa de Análise Estatística SAS (Statistical Analysis System).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Volatilização de nitrogênio

As perdas de nitrogênio por volatilização para todos os tratamentos com aplicação de fertilizantes nitrogenados tiveram uma curva de comportamento semelhante (Figura 11). Houve baixas perdas até a sexta avaliação, e um pico ao 15º dia após a aplicação do fertilizante (sétima avaliação) tornando-se baixas novamente, até a última avaliação. Esses resultados corroboram com Leão (2008) que ao comparar as taxas de volatilização entre uréia e uréia revestida de polímero, observou o mesmo comportamento entre os tratamentos, onde os picos de perdas ocorreram simultaneamente.

Figura 11 – Perda diária de N-NH₃ por volatilização em kg ha⁻¹ após aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura. T1 – Controle; T2 - Uréia revestida (90 kg ha⁻¹ de N); T3 - Uréia revestida (67,5 kg ha⁻¹ de N); T4 - Uréia revestida (45 kg ha⁻¹ de N); T5 - Uréia convencional (90 kg ha⁻¹ de N); T6 - Uréia convencional (67,5 kg ha⁻¹ de N); T7 - Uréia convencional (45 kg ha⁻¹ de N)

Ao observar as taxas diárias de volatilização de nitrogênio nota-se que até o décimo quinto dia após a aplicação do fertilizante, as perdas foram praticamente nulas, onde apenas o tratamento controle diferiu dos demais, em todas as coletas (Tabela 4).

Tabela 4 - Nitrogênio volatilizado em $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ em vários períodos de avaliação

Trat	Período de avaliação (dias após aplicação do fertilizante)									
	1	3	5	7	11	13	15	16	17	18
	----- $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de N-NH_3 volatilizado -----									
1	0,02 b	0,02 b	0,01 b	0,01 b	0,03 c	0,03 b	0,02 c	0,03 c	0,01 e	0,01 a
2	0,04 ab	0,21 a	0,98 a	0,66 a	0,57 a	0,67 a	9,92 ab	0,73 a	0,16 ab	0,05 a
3	0,07 a	0,62 a	1,40 a	1,15 a	0,50 ab	0,17 a	5,94 ab	0,25 ab	0,10 bc	0,03 a
4	0,06 ab	0,33 a	1,05 a	0,50 a	0,37 ab	0,34 a	7,52 ab	0,15 abc	0,04 cd	0,04 a
5	0,05 ab	0,48 a	1,12 a	0,54 a	0,26 b	0,41 a	12,25 a	0,22 ab	0,22 a	0,06 a
6	0,06 ab	0,56 a	0,42 a	0,61 a	0,49 ab	0,29 a	12,79 a	0,28 ab	0,04 cd	0,01 a
7	0,04 ab	0,30 a	1,08 a	0,65 a	0,30 b	0,16 a	5,40 b	0,06 bc	0,03 de	0,01 a
CV(%)	20,7	45,4	82,4	66,5	27,7	49,2	43,7	43,5	22,4	16,9

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação e letras referentes a análises de variância são baseados nas correções pertinentes da análise exploratória dos dados. T1 – Controle; T2 - Uréia revestida (90 kg ha^{-1} de N); T3 - Uréia revestida ($67,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N); T4 - Uréia revestida (45 kg ha^{-1} de N); T5 - Uréia convencional (90 kg ha^{-1} de N); T6 - Uréia convencional ($67,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N); T7 - Uréia convencional (45 kg ha^{-1} de N).

Na quinta avaliação, aos 11 dias após a aplicação do fertilizante, as perdas dos tratamentos com aplicação de uréia convencional, nas doses de 45 e 90 kg ha^{-1} de N, diferiram estatisticamente do tratamento fertilizado com 90 kg ha^{-1} de N com uréia revestida, porém os valores absolutos das perdas foram irrisórios (Tabela 4). Essas baixas taxas de perda de N gasoso podem ser explicadas pela baixa umidade no solo, devido à ausência de precipitação, que já vinha ocorrendo antes da aplicação do fertilizante, assim como no início do período de avaliação (Figura 7), corroborando com McInnes (1986) e Lara Cabezas (1992) que observaram que a hidrólise da uréia em solo seco, é praticamente nula.

Na sétima avaliação que correspondeu ao 15º dia após a adubação em cobertura, houve pico de volatilização que pode ser explicado por duas precipitações de 12 mm que ocorreram 2 e 3 dias antes da avaliação (Figura 7). Esse volume de água teria sido suficiente para elevar a umidade do solo, possibilitando hidrólise da uréia, e por consequência a volatilização da amônia

(NH_3), mas não o suficiente para “incorporar” o fertilizante ao solo, como afirmou Kong et al., (1991), que chuviscos insuficientes podem incrementar as perdas de NH_3 por fornecer umidade, sem no entanto incorporar a uréia. Segundo Cantarella (2007), o pico das perdas gasosas de N ocorre geralmente entre 2 a 4 dias após a uréia ser aplicada e haver condições de umidade e temperatura para sua volatilização, o que justificaria também o pico de perda no 15º após a fertilização em cobertura.

Nas coletas seguintes as perdas por volatilização voltaram a patamares pequenos, onde o controle e o tratamento com a menor dose de uréia convencional tiveram as menores perdas. Na última coleta a volatilização oriunda do fertilizante foi praticamente cessada, ao observar que não houve diferença estatística de nenhum tratamento fertilizado com o controle. As precipitações pluviais de 8, 70 e 25 mm ocorridas no 15º, 16º e 17º dia respectivamente após a fertilização com nitrogênio em cobertura (Figura 7) justificam essas taxas, pois segundo Lara Cabezas et al. (1997a) se a água for suficiente para diluir a concentração de oxidrilas (OH^-), ao redor dos grânulos de uréia, que foram produzidos na reação de hidrólise, além de proporcionar a “incorporação” da uréia no solo há diminuição da volatilização da amônia. Além disso, segundo SILVA et al. (1995) há aumento do contato entre o fertilizante e as partículas de solo, com consequente incremento da adsorção de NH_4^+ às cargas negativas do solo, o que dificulta sua transformação a NH_3 , forma na qual o N é perdido por volatilização.

Com relação às perdas acumuladas de nitrogênio por volatilização, nota-se que da mesma forma que as taxas diárias de volatilização, as curvas de comportamento foram similares para todos os tratamentos fertilizados (Figura 12). Isso é justificado pela similaridade das perdas diárias de amônia volatilizada entre estes tratamentos (Tabela 4).

Figura 12 - Perda acumulada de N – NH₃ por volatilização em kg há⁻¹ após aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura. T1 – Controle; T2 - Uréia revestida (90 kg há⁻¹ de N); T3 - Uréia revestida (67,5 kg há⁻¹ de N); T4 - Uréia revestida (45 kg há⁻¹ de N); T5 - Uréia convencional (90 kg há⁻¹ de N); T6 - Uréia convencional (67,5 kg há⁻¹ de N); T7 - Uréia convencional (45 kg há⁻¹ de N)

Comparando os resultados obtidos até o 13º dia após a aplicação do fertilizante, observou-se que as perdas acumuladas de nitrogênio não diferiram entre os tratamentos fertilizados, com exceção da segunda coleta, onde o tratamento com uréia revestida na dose de 67,5 kg há⁻¹ de N diferiu dos tratamentos com aplicação 45 e 90 kg há⁻¹ de N com fertilizante revestido e convencional respectivamente (Tabela 5). Já no décimo quinto dia após a aplicação do fertilizante em cobertura, quando houve o pico de volatilização, o tratamento onde aplicou-se 45 kg há⁻¹ de N com uréia convencional apresentou menor perda significativa ao mesmo tipo de fertilizante nas doses maiores, porém não diferiu estatisticamente dos tratamentos com uréia revestida, permanecendo este comportamento até a última avaliação (Tabela 5).

Todos os tratamentos fertilizados tiveram perdas acumuladas significativamente maior que o controle em todos os períodos avaliados.

Tabela 5 - Nitrogênio volatilizado acumulado em kg ha^{-1} em vários períodos de avaliação

Trat	Período de avaliação (dias após aplicação do fertilizante)									
	1	3	5	7	11	13	15	16	17	18
	----- kg ha^{-1} de N- NH_3 volatilizado -----									
1	0,02 b	0,04 c	0,05 b	0,06 b	0,09 b	0,13 b	0,15 c	0,18 c	0,19 c	0,20 c
2	0,04 ab	0,24 b	1,22 a	1,88 a	2,46 a	3,13 a	13,04 ab	13,78 ab	13,93 ab	13,98 ab
3	0,07 a	0,69 a	1,09 a	3,24 a	3,75 a	3,91 a	9,85 ab	10,10 ab	10,20 ab	10,23 ab
4	0,06 ab	0,39 ab	1,44 a	1,94 a	2,32 a	2,65 a	10,17 ab	10,32 ab	10,37 ab	10,40 ab
5	0,05 ab	0,53 ab	1,64 a	2,19 a	2,45 a	2,86 a	15,11 a	15,33 a	15,56 a	15,61 a
6	0,06 ab	0,61 ab	1,04 a	1,65 a	2,14 a	2,43 a	15,22 a	15,50 a	15,54 a	15,55 a
7	0,04 ab	0,33 b	1,41 a	2,06 a	2,36 a	2,52 a	7,92 b	7,98 b	8,01 b	8,02 b
CV	20,7	42,0	85,3	87,3	81,4	16,3	20,9	19,1	18,7	21,2

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação e letras referentes a análises de variância são baseados nas correções pertinentes da análise exploratória dos dados. T1 – Controle; T2 - Uréia revestida (90 kg ha^{-1} de N); T3 - Uréia revestida ($67,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N); T4 - Uréia revestida (45 kg ha^{-1} de N); T5 - Uréia convencional (90 kg ha^{-1} de N); T6 - Uréia convencional ($67,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N); T7 - Uréia convencional (45 kg ha^{-1} de N).

Com relação ao total de nitrogênio perdido por volatilização no período de avaliação, os tratamentos que tiveram as maiores perdas foram os fertilizados com uréia sem revestimento nas doses de $67,5$ e 90 kg ha^{-1} de N, porém diferindo estatisticamente apenas do tratamento onde foi aplicado o mesmo fertilizante na menor dose e do controle (Tabela 5). Esses resultados discordam de Leão (2008) que observou diferenças significativas nas taxas de volatilização acumulada, onde a uréia polimerizada teve perdas até 45% menores em relação à uréia convencional.

Calculando-se a relação entre o N total perdido por volatilização e o N aplicado, obteve-se que os tratamentos com aplicação de 45 kg ha^{-1} de N com uréia revestida e $67,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N com convencional tiveram as maiores perdas, ou seja de 23%. Os tratamentos fertilizados com uréia convencional nas doses de 45 e 90 kg ha^{-1} de N tiveram perdas de 17,8 e 17,3% respectivamente, e os tratamentos com aplicação das maiores doses de N testadas com uréia polimerizada tiveram as menores perdas relativas, pouco acima de 15%. Esses valores relativos de volatilização estão dentro do relatado na literatura, que segundo Volk (1959) e Lara Cabezas (1997b) pode representar até 50 a 80% do total de nitrogênio aplicado. Esses dados mostram que o fertilizante

revestido teve melhor eficiência relativa nas doses mais altas, porém não apresentando uma diferença significativa como encontrada por Leão (2008).

Em função dos resultados obtidos, infere-se que para as condições edafoclimáticas do presente experimento, o fertilizante revestido não alterou significativamente a dinâmica e a quantidade de nitrogênio volatilizado, sendo a pluviometria ocorrida no período, o principal fator que influenciou essas perdas esse comportamento.

4.2 Teor de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo

O teor de amônio nos estratos de solo avaliados, não foi influenciado pelo revestimento e a dose do fertilizante. A única diferença significativa encontrada foi entre o tratamento com aplicação de uréia convencional, na dose de $67,5 \text{ kg ha}^{-1}$, e os tratamentos com e sem uréia revestida na dose de 45 kg ha^{-1} de N, na camada de 20 a 40 cm (Tabela 6). Esses resultados discordam de Vale (2009) que observou aumento no teor de amônio no solo à medida que aumentava a dose de uréia aplicada.

Tabela 6 – Teor médio de amônio no solo (mg kg^{-1}) nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm

Tratamento	0-20	20-40	40-60	CV (%)
	-----cm-----			
	----- NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)-----			
1	6,68 aA	12,07 abA	19,63 aA	57,2
2	19,80 aA	10,02 abA	16,01 aA	30,4
3	13,03 aA	11,58 abA	12,52 aA	56,2
4	12,68 aA	16,95 aA	26,80 aA	37,2
5	7,69 aA	15,91 abA	12,92 aA	58,5
6	10,34 aA	2,25 bA	19,19 aA	63,3
7	15,15 aA	23,22 aA	18,62 aA	40,7
CV(%)	38,1	42,8	36,6	

Médias seguidas de letras minúsculas (na coluna) e maiúsculas (na linha) iguais não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação e letras referentes a análises de variância são baseados nas correções pertinentes da análise exploratória dos dados. T1 – Controle; T2 - Uréia revestida (90 kg ha^{-1} de N); T3 - Uréia revestida ($67,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N); T4 - Uréia revestida (45 kg ha^{-1} de N); T5 - Uréia convencional (90 kg ha^{-1} de N); T6 - Uréia convencional ($67,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N); T7 - Uréia convencional (45 kg ha^{-1} de N).

Ao comparar o teor de amônio entre os estratos do solo avaliados dentro de cada tratamento, observou-se que não houve diferença significativa (Tabela 6). Esses resultados corroboram com Primavesi et al. (2005) que observaram que a aplicação de N (0 a 200 kg ha⁻¹) em capim coast-cross não alterou as concentrações de amônio no solo em diferentes profundidades, porém discordam de Vale (2009) que observou diminuição nos teores de amônio nas maiores profundidades do solo após 6 meses da aplicação de uréia no solo cultivado com cana-de-açúcar.

O revestimento, e a dose de uréia não influenciaram no teor de nitrato no solo (Tabela 7). A única diferença estatística encontrada foi entre os tratamentos com aplicação de 67,5 e 45 kg ha⁻¹ de N com uréia convencional, na profundidade de 20 a 40 cm (Tabela 7). Esses resultados discordam de Primavesi (2005) e Vale (2009), que em experimentos com capim coast-cross e cana-de-açúcar respectivamente observaram aumento no teor de nitrato no solo, com aplicação de uréia.

Tabela 7 – Teor médio de nitrato no solo (mg kg⁻¹) nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm

Tratamento	0-20	20-40	40-60	CV (%)
	-----cm-----			
	-----NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)-----			
1	32,66 aA	38,97 abA	55,27 aA	49,2
2	54,87 aA	38,18 abB	50,36 aAB	13,8
3	50,46 aA	46,51 abA	47,60 aA	56,1
4	52,91 aA	63,88 abA	87,46 aA	27,4
5	44,40 aA	45,18 abA	67,45 aA	48,2
6	35,61 aA	32,63 bA	44,57 aA	47,9
7	63,80 aA	86,44 aA	72,62 aA	34,1
CV(%)	46,4	49,4	36,3	

Médias seguidas de letras minúsculas (na coluna) e maiúsculas (na linha) iguais não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação e letras referentes a análises de variância são baseados nas correções pertinentes da análise exploratória dos dados. T1 – Controle; T2 - Uréia revestida (90 kg ha⁻¹ de N); T3 - Uréia revestida (67,5 kg ha⁻¹ de N); T4 - Uréia revestida (45 kg ha⁻¹ de N); T5 - Uréia convencional (90 kg ha⁻¹ de N); T6 - Uréia convencional (67,5 kg ha⁻¹ de N); T7 - Uréia convencional (45 kg ha⁻¹ de N).

Ao observar a camada mais profunda do solo avaliada (40 - 60 cm) e verificar a inexistência de diferença no teor de nitrato entre controle e os tratamentos fertilizados, infere-se que a maior parte do N lixiviado para essa camada é oriundo da matéria orgânica, como observado em ensaios por Coelho et al. (1991) e Camargo (1989).

Comparando os estratos avaliados em cada tratamento, observou-se que a única diferença significativa encontrada foi no tratamento com uréia revestida na dose de 90 kg ha^{-1} de N, entre as profundidades 0-20 e 20-40 cm. Com base nisto infere-se que não houve lixiviação de nitrato no perfil do solo oriundo do adubo. Esses dados corroboram com Vitti (2003) e Cantarella (2007) que concluíram que as perdas por lixiviação são pouco relevantes nas condições brasileiras.

Avaliando os valores e a distribuição dos teores de amônio e nitrato no perfil do solo observou-se que o fertilizante revestido não alterou esses parâmetros em relação à uréia convencional e que nenhum tratamento fertilizado diferiu do controle. Com base nisso infere-se que todo N fornecido, via fertilizante, foi parte absorvido pela planta e parte perdida, principalmente por volatilização, antes da amostragem de solo, pois conforme Magalhães (1979), Machado et al. (1982), França et al. (1994), Vasconcellos et al. (1998) a absorção mais intensa de N pela planta se dá 40 a 60 dias após a emergência, período em que acumula de 70 a 80% de sua massa seca. Isso pode ser justificado pelas intensas precipitações pluviais observadas no período entre a adubação e a amostragem de solo (Figura 4). Este fato promoveu umidade no solo suficiente, para que todo o nitrogênio do fertilizante revestido fosse liberado para a solução do solo, e da mesma forma que o fertilizante convencional, absorvido pela planta antes da amostragem do solo, pois segundo Chitolina (1994) a quantidade de água no solo e a temperatura do mesmo são os principais fatores responsáveis pelas taxas de liberação dos nutrientes dos fertilizantes encapsulados. Portanto infere-se que o amônio e nitrato encontrado no solo no momento da sua amostragem, foram possivelmente oriundos da mineralização da matéria orgânica.

Vale ressaltar que os coeficientes de variação encontrados para os resultados das médias do teor de amônio e nitrato no solo nas profundidades avaliadas foram altos, podendo também justificar a ausência de diferença estatística entre os tratamentos para essas características.

Comparando os valores de amônio e nitrato, observa-se que o segundo, apresentou um teor no solo, em média, quatro vezes maior. Isso é justificado pelas boas condições de aeração do solo, pois segundo Tisdale et al. (2005), em solos úmidos e com disponibilidade adequada de

oxigênio, a quantidade de nitrato na solução do solo é geralmente maior do que a de amônio pelo fato, segundo Silva e Vale (2000), do amônio presente no solo poder ser oxidado a nitrato, em reação realizada por bactérias autotróficas, processo denominado de nitrificação. Neste sentido, Amor Asunción (1965) verificou que existe relação direta entre bactérias autotróficas e teor de nitrato no solo.

4.3 Concentração de nitrogênio nas folhas, nos grãos e medida indireta de clorofila (SPAD)

O tratamento controle, e com a menor dose avaliada de N com uréia convencional, foram os que tiveram as menores concentrações de N na folha, apresentado diferença significativa para os tratamentos com as maiores doses de N, com exceção do tratamento com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N da uréia revestida. Este diferiu dos tratamentos que receberam 67,5 kg há⁻¹ de N de ambos tipos de uréia, e tiveram as maiores concentrações de N foliar (Tabela 8).

Tabela 8 - Resultado das médias da concentração de nitrogênio na folha e no grão do milho e da medida indireta do teor clorofila (SPAD).

Tratamento	Concentração de	Concentração de	Medida SPAD
	N foliar	N no grão	
	-----g kg ⁻¹ -----		
1	26,94 c	10,61a	39 b
2	27,76 bc	11,10a	42 a
3	30,67 a	11,24a	43 a
4	28,32 abc	10,93a	43 a
5	29,59 ab	11,77a	44 a
6	30,69 a	11,17a	42 a
7	26,22 c	11,21a	39 b
CV (%)	5,1	6,2	4,7

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. T1 – Controle; T2 - Uréia revestida (90 kg ha⁻¹ de N); T3 - Uréia revestida (67,5 kg ha⁻¹ de N); T4 - Uréia revestida (45 kg ha⁻¹ de N); T5 - Uréia convencional (90 kg ha⁻¹ de N); T6 - Uréia convencional (67,5 kg ha⁻¹ de N); T7 - Uréia convencional (45 kg ha⁻¹ de N).

Nos tratamentos em que as plantas tiveram as menores concentrações de N na folha observou-se que os valores encontrados, foram pouco abaixo do valor mínimo considerado adequado, que segundo Büll (1993) é de 27,5 g kg⁻¹. Essas menores concentrações de N foliar

ocorreram provavelmente a ausência e a menor fertilização nitrogenada em tais tratamentos em relação aos demais, pois segundo Rambo (2004) a concentração de N na folha pode indicar o nível do nutriente na planta, partindo do princípio que as folhas são os órgãos da planta que melhor refletem o estado nutricional da mesma, respondendo mais rapidamente às variações no suprimento de nutrientes do solo e dos fertilizantes.

Esses resultados corroboram com Orioli (2008) e com Leão (2008) que estudando aplicação de doses de N em pré-semeadura e comparando a eficiência entre uréia revestida e convencional respectivamente, observaram menor concentração de N foliar nos tratamentos com ausência e com as menores doses de N testadas. Entretanto, no estudo de Leão (2008) o menor valor da concentração de N na folha foi no tratamento onde se aplicou o fertilizante revestido.

Segundo Büll (1993), as variações encontradas para as concentrações de N no tecido foliar de plantas de milho podem ser atribuídas às diferenças de material genético, de fertilidade de solo e, principalmente às mudanças nas condições climáticas.

Para Santos e Pereira (1994), o incremento da concentração de N foliar proporciona maior crescimento e desenvolvimento da planta e, conseqüentemente maior índice de área foliar, conferindo maior síntese de carboidratos pela fotossíntese.

Com relação à medida SPAD observou-se que, da mesma forma que a concentração de N foliar, os tratamentos controle e com 45 kg ha⁻¹ de N com uréia convencional tiveram os menores valores (39), diferindo estatisticamente de todos os demais (Tabela 8). Estes resultados são justificados segundo Argenta (2001), pelo fato que a concentração de N foliar e as medidas fornecidas pelo SPAD-502 serem positivamente correlacionadas. Essa relação é atribuída, principalmente, ao fato de que 50 a 70 % do N total das folhas ser integrante de enzimas (CHAPMAN e BARRETO, 1997) que estão associadas aos cloroplastos (STOCKING e ONGUN, 1962).

Orioli (2008), testando doses de nitrogênio (0 a 150 kg ha⁻¹) aplicados na pré-semeadura no milho verificou que a medida SPAD aumentou linearmente à quando se aumentou as doses, onde os valores variaram de 27 a 54,2.

Os resultados encontrados por Orioli (2008) assim como os encontrados no presente experimento, estão abaixo do considerado adequado segundo Argenta (2002), que considera como crítico o valor SPAD de 58 para folhas mensuradas na época de florescimento. Para Rambo (2004) a utilização da metodologia de determinação de níveis críticos do teor relativo de clorofila

pode ter alguns problemas, pois outros fatores além da disponibilidade de N no solo podem afetar a intensidade da coloração verde da folha e a respectiva leitura pelo clorofilômetro. Dentre estes fatores, baseado em diversas bibliografias, o mesmo autor cita: tipo de híbrido (SUNDERMAN; PONTUS; LAWLESS., 1997, VARVEL; SCHEPERS; FRANCIS., 1997); irradiação (HOEL e SOLHAUG, 1998), local de cultivo (PIEKIELEK e FOX, 1992; SMEAL e ZHANG, 1994; WASKOM et al., 1996); ano de cultivo (SUNDERMAN; PONTUS; LAWLESS., 1997); níveis de outros nutrientes (AL-ABBAS et al., 1974); ataque de insetos (SMEAL e ZHANG, 1994); estresse hídrico (SCHEPERS et al., 1992); temperatura do ar (DWYER et al., 1995); estágio de desenvolvimento da cultura (SMEAL e ZHANG, 1994); arranjo de plantas (HASHEMI-DEZFOULI e HERBERT, 1992, BLACKMER; SCHEPERS; VIGIL; 1993); tipo, espessura e parte da folha onde é realizada a medida (CHAPMAN e BARRETO, 1997) e aplicação de herbicidas (MAYASICH; MAYASICH; REBEILZ., 1990; SANTOS; PITELLI; BANZATOO., 1999). Além disso, os níveis críticos variam em função do teto de rendimento de grãos dos experimentos, sendo recomendada a realização de experimentos em diferentes ambientes e em distintas situações de manejo (BREDEMEIER, 1999).

Segundo Argenta et al. (2002) e Zotarelli et al. (2003), o método de medida pelo SPAD na cultura do milho produz resultados coerentes com o estado nutricional da planta.

Para a concentração de N no grão não houve diferença significativa para os tratamentos (Tabela 8). Os valores encontrados, de 10,61 a 11,77 g kg⁻¹, ficaram próximos aos encontrados por Campos (2004) e Serra (2006), entre 11 e 13 g kg⁻¹, menores que os de Meira (2006), na faixa de 15,4 a 15,8 g kg⁻¹ e maiores do que os encontrados por Orioli (2008), na faixa de 5,5 a 8,5 g kg⁻¹ e bem abaixo dos 17 g kg⁻¹, descritos como adequados segundo Raij (1991). Contudo dados de pesquisa realizada por Coelho et al. (1992) indicaram que a concentração de N no grão de milho para produções máximas é por volta de 11,8 g kg⁻¹, número próximo aos encontrados no presente experimento.

Fernandes et.al. (1999), constataram que de 71 a 77% da quantidade total de N, acumulados na matéria seca da parte aérea das plantas de milho encontram-se nos grãos.

Analisando os resultados obtidos para a concentração de N e medida indireta de clorofila (SPAD) na folha do milho, observou-se que ao aplicar a menor dose de N avaliada, houve uma melhor nutrição com N nas plantas fertilizadas com uréia revestida. Isto é justificado por estas

plantas apresentarem concentração de N foliar dentro do recomendado e um maior valor da medida SPAD.

4.4 Aspectos biométricos e de produtividade

A altura de inserção de espiga das plantas não teve diferença significativa entre os tratamentos, com valores variando de 1,13 (controle) a 1,20 m (Tabela 9). Estes resultados concordam com Meira (2006), que testando doses nitrogênio de em determinadas épocas de aplicação e diferentes fontes nitrogenadas, não observou diferença estatística entre os tratamentos para altura de inserção de espiga, onde obteve resultados entre 1,18 a 1,22 m.

Tabela 9 - Resultado das médias da altura de inserção de espiga, diâmetro do colmo e massa de mil grãos

Tratamento	Altura de inserção de espiga	Diâmetro do colmo	Massa de mil grãos (g)
	-----cm-----		
1	113 a	1,8 b	275,6 b
2	120 a	2,0 a	337,8 a
3	119 a	2,0 a	296,6 ab
4	119 a	2,1 a	291,3 ab
5	120 a	2,0 a	310,4 ab
6	119 a	2,0 a	290,7 ab
7	120 a	1,9 ab	288,7 b
CV(%)	6,2	6,9	1,5

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. T1 – Controle; T2 - Uréia revestida (90 kg ha⁻¹ de N); T3 - Uréia revestida (67,5 kg ha⁻¹ de N); T4 - Uréia revestida (45 kg ha⁻¹ de N); T5 - Uréia convencional (90 kg ha⁻¹ de N); T6 - Uréia convencional (67,5 kg ha⁻¹ de N); T7 - Uréia convencional (45 kg ha⁻¹ de N).

Leão (2008) ao comparar uréia revestida com convencional observou diferença significativa para altura de inserção de espiga, apenas entre o tratamento controle e os fertilizados com N, sendo que entre estes, independente da dose e da natureza do fertilizante, não foi encontrada diferença. Soares (2003) testando doses nitrogênio (0, 120 e 240 kg ha⁻¹) em milho observou aumento na altura de inserção de espiga em mais de 30 %, em função da aplicação de doses crescentes de nitrogênio.

Arnon (1975), afirmou que plantas mal nutridas em nitrogênio apresentam menor capacidade de assimilar CO_2 e de sintetizar carboidratos durante a fotossíntese, resultando em menor acúmulo de biomassa e em retardamento na divisão celular nos pontos de crescimento, o que tem como consequência a redução na altura da planta, que é um atributo intimamente associado à altura de inserção de espiga.

Para diâmetro do colmo, apenas o tratamento com aplicação de 45 kg ha^{-1} de N do fertilizante convencional não diferiu estatisticamente do controle (Tabela 9), mostrando ser um fator influenciado pela fertilização nitrogenada, como observado por Pereira Filho (1977). Os valores encontrados variaram de 1,8 a 2,1 cm, concordando com Soares (2003), que obteve resultados similares (1,89 a 2,37 cm), observando diferença estatística entre os tratamentos fertilizados com nitrogênio e o controle sem fertilização.

De acordo com Fancelli e Dourado Neto (2000), o crescimento do colmo das plantas de milho ocorre principalmente a partir da emissão da oitava folha, se prolongando até o florescimento, sendo que o colmo não somente atua como suporte de folhas e inflorescências, mas principalmente como estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis que serão utilizados na formação dos grãos.

Para massa de mil grãos o tratamento controle e o fertilizado com a menor dose de N de uréia convencional, diferiram do tratamento com aplicação de 90 kg ha^{-1} de N do fertilizante revestido (Tabela 9). Isso reflete em má nutrição proporcionada pela ausência e pela redução de dose em um fertilizante sem revestimento, pois segundo Nehmi et al. (2004), a deficiência de nitrogênio diminui a densidade de grãos. Leão (2008) não encontrou diferença para essa característica entre os tratamentos fertilizados, onde apenas nas parcelas com aplicação da maior dose da uréia polimerizada e a menor dose da convencional, diferiram significativamente do tratamento controle. Para Ulger; Becker; Kant; (1995) a massa de grãos, é um componente que está relacionado diretamente com a produtividade de grãos, e que provavelmente, se relaciona a maior concentração de N nas folhas, o que poderia, em parte, justificar os menores valores encontrados para massa de 1000 grãos nos tratamentos controle e com aplicação de uréia convencional na dose de 45 kg ha^{-1} de N.

Com relação à produtividade, os tratamentos com fertilizante revestido e com a maior dose da uréia convencional diferiram significativamente do controle (Figura 13).

Figura 13 – Resultado das médias de produtividade de grãos. Médias seguidas por letras iguais, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. T1 – Controle; T2 - Uréia revestida (90 kg ha⁻¹ de N); T3 - Uréia revestida (67,5 kg ha⁻¹ de N); T4 - Uréia revestida (45 kg ha⁻¹ de N); T5 - Uréia convencional (90 kg ha⁻¹ de N); T6 - Uréia convencional (67,5 kg ha⁻¹ de N); T7 - Uréia convencional (45 kg ha⁻¹ de N)

Ao não verificar diferença estatística em produtividade no tratamento com aplicação de uréia comum nas doses de 67,5 e 45 kg ha⁻¹ de N e o tratamento controle, infere-se que a fertilização com doses reduzidas da uréia convencional afetou o desempenho produtivo da planta. Isso pode ser justificado ao observar que entre os tratamentos fertilizados, onde se aplicou 45 kg ha⁻¹ de N da uréia não revestida as plantas apresentaram os menores valores de concentração de N na folha, medida indireta de clorofila (Tabela 8), diâmetro de colmo e peso de mil grãos (Tabela 9), fatores correlacionados a produtividade e indicativos de bom estado nutricional da planta.

Um dos motivos da não significância estatística em produtividade entre os tratamentos fertilizados com N pode ser o fato das precipitações intensas ocorridas no momento da condução do experimento (Figura 2) terem liberado o fertilizante revestido a uma taxa similar ao convencional, além de não ter havido diferenças significativas na volatilização de N (Tabela 5). Este resultado corrobora com Leão (2008) que não encontrou diferença significativa em produtividade entre os tratamentos fertilizados com uréia polimerizada e a convencional.

Noellsch et al. (2009) comparando a eficiência da aplicação de 168 kg ha^{-1} de N com uréia revestida com polímeros e uréia convencional em milho, observou na média de dois anos, produtividade de 1670 kg ha^{-1} maior no tratamento com fertilizante revestido, justificando que o teor de umidade do solo afetou a taxa de liberação e perdas por volatilização entre os fertilizantes. O autor salientou que o fertilizante revestido por ter custo mais elevado, pode ter seu uso limitado, a não ser que possibilite diminuição de perdas de N para o ambiente, o que permitiria reduções de doses, devendo entretanto a necessidade de mais para comprovar essa eficiência.

4.5 Análise econômica

Considerando o preço praticado em junho de 2010 no estado de São Paulo de R\$ 1150,00 e R\$ 810,00 por tonelada do fertilizante revestido e convencional respectivamente, fez-se uma análise econômica calculando-se a relação entre o custo com fertilizante e a receita gerada pela venda de grãos produzidos a mais do que o tratamento controle, ou seja, em função da aplicação do fertilizante. Vale ressaltar que o fertilizante revestido com polímeros e o convencional possuem 41 e 45% de N respectivamente. Foi considerado o preço de R\$ 14,50 por 60 kg de grãos de milho.

O tratamento onde aplicou-se a dose de 45 kg ha^{-1} de N do fertilizante revestido apresentou o menor custo para gerar uma receita de R\$ 1,00 com a venda de grãos (Tabela 10). Isso é justificado pela redução da dose sem decréscimo na produtividade. Esses dados corroboram com o que foi citado anteriormente por Noellsch et al. (2009).

A aplicação de $67,5$ e 90 kg ha^{-1} de N da uréia revestida e convencional respectivamente tiveram o mesmo custo para gerar receita de R\$ 1,00 (Tabela 10). Os tratamentos com aplicação do fertilizante convencional nas doses de 45 e $67,5 \text{ kg ha}^{-1}$ foram os menos eficientes por apresentarem os maiores custos para gerar a receita de R\$ 1,00 com a venda dos grãos (Tabela 10). Isto deve-se ao pequeno aumento em produtividade, nesses tratamentos em relação ao sem fertilização de uréia em cobertura. Em função desta análise infere-se que a redução da dose do fertilizante revestido foi uma alternativa economicamente viável nas condições desse experimento.

Tabela 10 – Custo em reais (R\$), com dois tipos de uréia aplicados em cobertura, para gerar receita de R\$ 1,00 com a comercialização dos grãos produzidos em função da aplicação dos fertilizantes

Tratamento	Custo com fertilizante (R\$) para gerar R\$ 1,00 em receita
UR (90,0 kg ha ⁻¹ de N)	0,88
UR (67,5 kg ha ⁻¹ de N)	0,61
UR (45,0 kg ha ⁻¹ de N)	0,49
UC (90,0 kg ha ⁻¹ de N)	0,61
UC (67,5 kg ha ⁻¹ de N)	0,95
UC (45,0 kg ha ⁻¹ de N)	0,95

UR - Uréia revestida; UC - Uréia convencional

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de uréia revestida (UR) com polímeros, não reduziu significativamente as perdas de amônia por volatilização, e os teores de amônio e nitrato no solo;

Não houve diferença significativa na produtividade de grãos, entre os tratamentos fertilizados com ambos os tipos de uréia;

Nos tratamentos com aplicação dose de 45 kg ha^{-1} de N, o correspondente ao uso de uréia revestida (UR), apresentou diferença significativa na produção de grãos de milho, em relação ao tratamento controle, enquanto que no uso de uréia convencional (UC) não ocorreu essa diferença;

A aplicação da dose de 45 kg ha^{-1} de N do fertilizante revestido proporcionou o menor custo de produção de grãos, em relação aos tratamentos que receberam adubação de N em cobertura;

O recobrimento do fertilizante com polímeros, por ter custo mais elevado, deve proporcionar diminuição das perdas e o prolongamento do tempo de disponibilidade de nutrientes as plantas, para que possíveis reduções de doses possam ser efetuadas, tornando o fertilizante economicamente viável.

REFERÊNCIAS

- AL-ABBAS, A.H.; BARR R.; HALL, J.D.; CRANE F. L.; BAUMGARDNER M.F. Spectra of normal and nutrient-deficient maize leaves. **Agronomy Journal**, Madison, v.66, n.1, p.16-20, 1974.
- AMOR ASSUNCIÓN, M.J. Determinación de Azotobacter em caixas de solico-gel sin secado. **Ciencia Y Investigacion Agraria**, Santiago, v. 21, p. 368-370, 1965.
- ANGHINONI, I. **Adubação nitrogenada nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. In: SANTANA, M.B. (Ed.). Adubação nitrogenada no Brasil. Ilhéus: CEPLAC; SBCS, 1985. p.1-18.
- ARGENTA, G.; SILVA, P R.F. da; BARTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; STRIEDER, M.L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; MIELNICZUK, J.; BORTOLINI, C.G. Parâmetros de planta como indicadores de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.4, p.519-527, 2002.
- ARNON, I. **Mineral nutrition maize**. Bern: International Potash Institute, 1975. 452p.
- BALKO, L.G.; RUSSELL, W.A. Response of maize inbred lines to N fertilizer. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, n.5, p.723-732, 1980.
- BARATI, V.; EMAM, Y.; MAFTOUN, M. Responses of two lowland: Rice cultivars to the different sources and levels of nitrogen. **Agrochimica**, Pisa, v. 50, n. 3/4, p. 158-164, 2006.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.105-112, 1997.
- BENNETT, E. Slow-release fertilizers. **Virginia GardenerNewsletter**, Blacksburg, v.11, n.4, 1996. Disponível em: <www.ext.vt.edu/departments/envirohort/articles/misc/slowrels.html>. Acesso em: 1 out. 2004. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Inovações tecnológicas no manejo do nitrogênio para o arroz irrigado**. Pelotas, dez. 2006. p.17-20. (EMBRAPA/clima temperado. Documentos, 170).
- BLACK, A.S.; SHERLOCK, R.R.; SMITH, N.P. Effect of timing of simulated rainfall on ammonia volatilisation from urea applied to soil of varying moisture content. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.38, n.4, p.679-688, 1987.
- BLACK, C.A. **Relaciones agua-suelo-planta**. Buenos Aires: Ed. Hemisferio Sur, 1975.v.2 865p.

BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S.; VIGIL, M.F. Chlorophyll meter readings in corn as affected by plant spacing. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.24, n.17/18, p.2507-2516, 1993.

BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; LANGE, A.; TRIVELIN, P.C.O. Perdas de nitrogênio pela parte aérea de plantas de trigo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p.1106-1111, 2006.

BOMAN, B.J.; BATTIKHI, A.M. Growth, evapotranspiration, and nitrogen leaching from young lysimeter-grown orange trees. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York v. 133, n. 4, p. 350-358, 2007.

BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J. M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from an urea-fertilized soil. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.49, p.376-381, 1985.

BRANDALIZZE, V. Mercado de milho: Realidade e Perspectivas. In: FANCELLI, A. L; DOURADO NETO, D; (Ed.). **Milho: Manejo e Produtividade**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2009. p. 01.

BREDEMEIER, C. **Predição da necessidade de nitrogênio em cobertura em trigo e aveia**. 1999. 101p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

BÜLL, L.T. Nutrição do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. 63p.

BYRNES, B.H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: _____ **Fertilizer manual**. Alabama: Kluwer Academic, 2000. p.20-44.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solo do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (Boletim técnico, 106).

CAMARGO, P.B. **Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes: Uréia (^{15}N) e aquamônia (^{15}N) incorporados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. 1989. 104p. (Dissertação de Mestrado na área de Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

CAMPOS, A.X. de **Fertilização com sulfato de amônia na cultura do milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens***. 2004. 119 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

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

- 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, 2004. p.139-182.
- CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M.J.; RESENDE, L.C.L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7., 1999. Londrina, **Anais...** Londrina: Álcool Subpr., 1999. p.82-87.
- CARROW, R.N. Turfgrass response to slow-release nitrogen fertilizers. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 491-496, 1997.
- CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. **Plantio Direto: Conceitos fundamentos e práticas culturais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1997. cap.7, p.111-120.
- CHAPMAN, S.C. ; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 557-562, 1997.
- CHITOLINA, J.C. **Fertilizantes de lenta liberação de N: conceitos**. Uréia coberta com enxofre. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 16p.
- COBUCCI, T. **Efeitos de doses e épocas de aplicação em cobertura do adubo nitrogenado no consórcio milho-feijão**. 1991. 94p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. Piracicaba: Arquivo do Agrônomo, 1995.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C. ; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio (15N) em um latossolo vermelho-escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.187-193, 1991.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. de; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v.16, p.61-67, 1992.
- COLE, J.C.; DOLE, J.M. Temperature and phosphorus source affect phosphorus retention by a pine bark-based container medium. **HortScience**, v. 32, n. 2, p. 236-240, 1997.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=131> Acesso em: 23 mar.2010.
- DAVIDE, J.G. The effect of fertilizer and population density on the grow and yield of corn in the Philippines. **Philippine Agriculturist**, Laguna, v.14, n.10, p.573-580, 1967.

DE DATTA, S.K. **Principles and practices of rice production**. New York:John Wiley, 1981. 618 p.

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**, v. 37, p. 1-6, 1988.

DUARTE, J.O.; CRUZ, J.C.; GARCIA, J.C. Economia da produção e utilização do milho. In: **Cultivo do milho**. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Sistema de produção, 1. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/economiadaprodu.htm>. Acesso em: 5 mar. 2010.

DWYER, L.M.; ANDERSON, AM MA.BL, STEWART, DW, TOLLENAAR, M., GREGORICH, E., Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.75, n.1, p.179-182, 1995.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2002. Disponível em:<<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/importancia.htm>>Acesso em: 21 set. 2009.

ESPINOSELO, A.; CANTARELLA, H.; IGUE, T.; NELLI, E.J.; COLETI, J.T.; BOVI, V.E RAMOS, M.T.B. Aplicação de aquamônia, uréia, nitrato de amônio e cloreto de potássio em cinco níveis, em três socas de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 4., 1987. Olinda. **Anais...** Piracicaba: Sociedade dos técnicos açucareiros e alcooleiros do Brasil, 1987. p.94-102.

FANCELLI, A.L. **Nutrição e adubação de milho**. Piracicaba: Departamento de Agricultura; ESALQ/USP, 2000. p. 43

FANCELLI, A.L.; LIMA, U.A. **Milho: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial**. São Paulo: SICCI; PROMOCET; FEALQ, 1982. 112p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Editora agropecuária, 2000. 360p.

FANCELLI, A.L.; TSUMANUMA, G.M.; Nitrogênio e enxofre nas culturas de milho e feijão In: YAMADA, T.; ABDALLA. S.R.S.; VITTI, G.C.; **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. v 4.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D.; CASADEI, R.A. Desempenho da cultura do milho em funções de doses de nitrogênio aplicadas em diferentes estádios fenológicos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Resumos...** Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2002. v.1

FAO. **FAOSTAT database results**. Disponível em www.fao.org, acessado em 23/03/2010.
 FERNANDES, L.A.; VASCONCELLOS, C.A.; FURTINI NETO, A.E.; ROSCOE, R.;
 GUEDES, G.A. de A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n.9, p. 1691-1698, 1999.

FERREIRA, A.C.B. **Efeitos da adubação com N, Mo e Zn sobre a produção, qualidade dos grãos e concentração de nutrientes no milho**. 1997 Tese (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

FRANÇA, G.E.; COELHO, A.M.; RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A.F.C. Parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho irrigado. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo: 1992-1993**. Sete Lagoas, 1994. p.28-29.

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

GALINAT, W.C. The origin of maize: grain of humanity. New York: **New York Botanical Garden Journal**, New York, v. 44, p.3-12, 1995.

GODOY JÚNIOR, C.; GRANER, E.A. Milho: adubação mineral nitrogenada. IV Parcelamento do calnitro. **Revista de Agricultura**, v.39, p.185-189, 1964.

GUERTAL, E.A. **Slow-release nitrogen fertilizers in vegetable production: a review**. Horttechnology, Alexandria, v. 19, n. 1, p. 16-19, 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**. Alabama: NFDC, TVA, 1988. cap. 2 p.17-36.

HASHEMI-DEZFOULI, A.; HERBERT, S.J. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.4, p.574-551, 1992.

HOEL, O.B.; SOLHAUG, K.A. Effect of irradiance on chlorophyll estimation with the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. **Annals of Botany**, London, v.82, p.389-392, 1998.

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION (Paris, França). **Fertilizer use by crop**. 5th ed. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org>>. Acesso em: 5 set. 2006.
 IPNI 2008,
[http://www.potafos.org/ppiweb/BRAZIL.NSF/\\$webindex/7B5F5AD5871DDB7B83256B1200620BBA?opendocument&navigator=home+page](http://www.potafos.org/ppiweb/BRAZIL.NSF/$webindex/7B5F5AD5871DDB7B83256B1200620BBA?opendocument&navigator=home+page). Acesso em: 15 maio 2010.

KAMOGAWA, M.Y. ; TEIXEIRA M.A. Autoamostrador de baixo custo para análise por injeção em fluxo. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, p. 1644 -1646, 2009.

KONG, W.P.; WOOD, A.W.; PRAMMANEE, P.; SAFFIGNA, P.G.; SMITH, J.W.B. ; FRENEY, J.R. Ammonia loss of urea/potassium chloride mixture applied to sugarcane trash. Proc. **Australian Society of Sugar Cane Technology**, cidade, v. 13, p. 56-65, 1991.

LANGE, A. **Palhada e nitrogênio afetando propriedades do solo e rendimento de milho em sistema plantio direto no Cerrado**. Lavras: UFLA, 2002. 148p.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, n.3, p.345-352, 1990.

LARA-CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E. Efeito do tamanho do grânulo e relação N/S da uréia aplicada em superfície na volatilização da amônia sob diferentes umidade iniciais do solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa, v. 16, p. 409-413, 1992.

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

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.489-496, 1997b.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A. ;GASCHO, G.J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, New York, v. 30, n. 3 / 4, p. 389-406, 1999.

LEÃO, A.F. **Volatilização de amônia resultante da aplicação de uréia na cultura de milho**. Jataí, 2008. 8p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás - Campus Jataí, 2008.

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

MACHADO, E.C.; SILVEIRA, J.A.G.; VITORELLO, V.A.; RODRIGUES, J.L.M. Fotossíntese, remobilização de reservas e crescimento de grãos em dois híbridos de milho sob deficiência hídrica na fase de enchimento dos grãos. **Bragantia**, Campinas, v.51, n.2, p.151-159, 1992.

- MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHL, J.I.; ARRUDA, H.V.; SILVA, W.J.; TEIXEIRA, J.P.F. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, p.825-833, 1982.
- MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. (Ed.) **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, 1979. v.1, p.331-349.
- MALAVOLTA, E. **O potássio e a planta**. Piracicaba, Instituto do Potássio e do Fosfato, 1977. 60p. (Boletim técnico, 1)
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 130p.
- MALAVOLTA, E. ; VITTI, G. C. ; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2.ed. Potafós: Piracicaba, SP. 1997. 319 p.
- MARCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995.
- MATOS JÚNIOR, D.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B. V. Manuseio e conservação de amostras de solo para preservação do nitrogênio inorgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 423-431, 1995.
- MAYASICH, J.M.; MAYASICH, S.A.; REBEILZ, C.A. Response of corn (*Zea mays*), soybean (*Glycine max*), and several weed species to dark-applied photodynamic herbicide modulators. **Weed Science**, Champaign, v.38, n.1, p.10-15, 1990.
- MCINNES, K.J.; FERGUSON, R.B.; KISSEL, D.E.; KANEMASU, E.T. Field measurements of ammonia loss from surface application of urea solution to bare soil. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, p. 192-196, 1986.
- MEDINA, L.C.; OBREZA, T.A.; SARTAIN, J.B.; ROUSE, R.E. Nitrogen release patterns of a mixed controlled-release fertilizer and its components. **Horttechnology**, Alexandria, v. 18, n. 3, p. 475-480, 2008.
- MEIRA, F.A. **Fontes e modos de aplicação do nitrogênio na cultura do milho**. Ilha Solteira, 2006. 2p. Dissertação de Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2006.
- MELGAR, R.J.; CAMOZZI, M.E.; FIGUEROA, M.M. **Guia de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales**. Buenos Aires: Instituto Nacional de tecnologia agropecuária, 1999. cap.1, p. 13-25: Nitrogenados.
- MELGAR, R.J.; SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S.; SANCHEZ, P.A. Doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado para milho em latossolo da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n.3, p.289-296, 1991.
- MELLO, F.A.F. **Uréia fertilizante**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 192p.

MELLO, F.A.F.; SOBRINHO, M.O.O.B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; NETTO, A.C; KIEHL, J.C. **Fertilidade do Solo**. São Paulo: Nobel, 1985.

MELO, W.J. **Matéria orgânica, nitrogênio e enxofre: curso de atualização em fertilidade do solo**. Jaboticabal: ANDA, 1978. 66p.

MINOLTA CAMERA **Manual for chlorophyll meter SPAD 502**. Osaka: Minolta, Radiometric Instruments Divisions, 1989. 22p.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626p.

MORGAN, K.T.; CUSHMAN, K.E.; SATO, S. Release mechanisms for slow- and controlled-release fertilizers and strategies for their use in vegetable production. **Horttechnology**, Alexandria, v. 19, n. 1, p. 10-12, 2009.

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

NHEMI, I.M.D.; FERRAZ, J.V.; NHEMI FILHO, V.A., SILVA, M.L.M. Milho: a diferença aparece no manejo. In: _____. **Agrianual 2004: Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Argos, 2004. p.377 – 378.

NOELLSCH A.J.; MOTAVALLI P.P.; NELSON K.A.; Kitchen N.R. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a claypan landscape. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, p. 607-614, 2009.

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

OERTLI, J.J. Controlled-release fertilizers. **Fertilizer Research**, The Hague, v.1, p.103-123, 1980.

OLIVEIRA, E.F. Eficiência do modo de aplicação do sulfato de amônio e uréia nas culturas de milho e algodão. In: **Organização ds cooperativas do estado do Paraná**. Cascavel, 1995. p.40-46.(Resultados de pesquisa 1/95.)

ORIOLI, F.P. **Antecipação da adubação nitrogenada na cultura do milho sob pastagem de capim braquiária**. Brasília, 2008. 26p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Faculdade de Agronomia e Veterinária . Universidade de Brasília, 2008.

OWENS, L B., WM. EDWARDS,; R.W. VAN KEUREN. Nitrate leaching from grassed lysimeters treated with ammonium nitrate or slow-release nitrogen fertilizer. **Journal of environmental quality** , Madison, v. 28, p. 1810–1816, 1999.

PACK, J.E.; HUTCHINSON, C.M.; SIMONNE, E.H.; Evaluation of controlled-release fertilizers for Northeast Florida chip potato production. **Journal of Plant Nutrition**, New York. v.29, p. 1301–1313, 2006

PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção do milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargil, 1980. vol. único 650p.

PEREIRA FILHO, I.A. **Comportamento dos cultivares de milho (*Zea mays* L.) ‘Piranão’ e ‘Centralmex’ em diferentes condições de ambientes, espaçamentos e níveis de nitrogênio**. 1977. 84p. (Dissertação – Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1977.

PIEKIELEK, W.P.; FOX, R.H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.1, p.59-65, 1992.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A. CANTARELLA, H.; SILVA, A.G. absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross adubado com uréia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 247-253, 2005.

RAIJ, B. van; **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343p

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285p. (Boletim técnico, 100)

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P.; DECHEN, A.R.; ALVES, S.; SORDI, G.; VEIGA, A.A.; CAMPANA, M.P.; PETINELLI, A.; NERY, C. A análise de solo para discriminar respostas à adubação para a cultura do milho. **Bragantia**, Campinas, v.40, p.57-75, 1981.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L. Parâmetros de planta para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p 1637-1645, 2004.

REIS JÚNIOR, RA; KimCoat - Uma nova ferramenta para otimização do uso de fertilizantes. In: YAMADA T; ABDALLA S.R.S. **Informações Agronômicas, IPNI**, Piracicaba, n.117, p. 13, 2007.

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

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

SANTOS, D.M.M. dos; PITELLI, R.A.; BANZATTO, D.A. Efeito de herbicidas nos teores de clorofilas de *Spirodela punctata*. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v.17, n.2, p.175-182, 1999.

SANTOS, H.P.; PEREIRA, L.R. Efeito de sistemas de sucessão de cultura de inverno sobre algumas características agronômicas de milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.1691-1694, 1994.

SATO, S.; MORGAN, K. T. Nitrogen recovery and transformation from a surface or sub-surface application of controlled-release fertilizer on a sandy soil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 31, n. 12, p. 2214-2231, 2008.

SAVANT, N.K. ;STANGEL, P.J. Deep placement of urea supergranules in transplanted rice: Principles and practices. **Journal of Nutricional Cycles Agroecology**, v. 25, p. 1-83, 1990.

SCHEPERS, J.S. FRANCI, D.D; VIGIL, M.; BELOW, F.E Comparations of corn leaf nitrogren and clhorophyll meter readings. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.23, n.17/20, p.2173-2187, 1992.

SENGIK, E.; KIEHL J.C. Controle da volatilização de amônia em terra tratada com uréia e turfa pelo emprego de sais inorgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p. 455-461, 1995.

SHARPE, R.R.; HARPER, L.A. Soil, plant and atmospheric conditions as they relate to ammonia volatilization. **Fertilizer Research**, The Hague, v.42, n.1/3, p.149-158, 1995

SERRA, D.D. **Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o milho (*zea mays*) em solo do Distrito Federal**. 2006. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Agronomia e Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

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

SILVA, A.J.; LIMA JÚNIOR, M.A.; FERREIRA, N.C.M.; FRAGA, V.S. Perdas de amônia por volatilização proveniente da uréia aplicada a solos dos trópicos úmidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.141-144, 1995.

SILVA, C.A.; VALE, F.R. Disponibilidade de nitrato em solo brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2461-2471, 2000.

SILVA, E.C. **Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) da uréia, do milho e da crotalária pelo milho sob semeadura direta em solo de cerrado**. 2005. 111p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Centro de Energia Nuclear na Agricultura , Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SINCLAIR, T.R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, Madison, v.29, p.90-98, 1989.

SMEAL, D.; ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, n.9/10, p.1495-1503, 1994.

SOARES, M.A. **Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura de milho (*zea mays* L.)** 2003. 60p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2002. 416p.

SOUZA, R.S.; FERNANDES M.S.; Nitrogênio In: FERNANDES M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência dos Solos. 2006. p. 216.

STOKING, C.R.; ONGUN, A. The intracellular distribution of some metallic elements in leaves. **American Journal of Botany**, Columbus, v.49, p. 284- 289, 1962.

SU, X.L. CHEN, P.; QU, X. G.; WEI, W.Z; YAO, S. Z.; A novel flow-injection system for simultaneous determination of nitrate and nitrite based on the use of a zinc reductor and a bulk acoustic wave impedance detector. **Microchemical Journal**, Changsra, v. 59, p. 341-350, 1998.

SUNDERMAN, H.D.; PONTUS, J.S. LAWLESS, J.R. Variability in leaf chlorophyll concentration among full-fertilized corn hybrids. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.28, n.19, p.1793-1803, 1997.

TAVARES JÚNIOR, J.E.; DALTO, G. **Manejo eficiente da adubação nitrogenada**. Divulgação técnica, 22, n.165, jan/fev/mar. 2004.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros minerais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 188p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. New York : Macmillan, 1984. 753p.

TISDALE, S.L.; NELSON, N.L.; BEATON, J.D. ; HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizer : An introduction to nutrient management**. 7th ed. New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2005. 515p.

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

TRIVELIN, P.C.O.; CARVALHO, J.G.; SILVA, A.Q.; PRIMAVESI, A. C.P.A.; CAMACHO, E.; EIMORI, I.E.; GUILHERME, M.R. Adubação foliar de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): Absorção e translocação de uréia-¹⁵N. **Energia Nuclear e Agricultura**, Piracicaba, v. 9, n. 2, p. 52-65, 1988.

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

TYNER, E.H. The relation of corn yields to leaf nitrogen, phosphorus, and potassium content. **Proceedings Soil Science Society of America**, v.11, p.317-323, 1946.

UHART, A.S.; ANDRADE, F.H. **Nitrogen deficiency in maize: I - Effects on crop, growth, development, dry matter partitioning and kernel sets.** **Crop Science**, Madison, v.35, p.1376-1383, 1995.

ULGER, A.C.; BECKER, A.C.; KANT, G. Response of various maize inbred line and hybrids to increasing rates of nitrogen fertilizer. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Madison, v.159, p.157-163, 1995.

VALE, D.W. **Efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo, na nutrição e na produção de cana-de-açúcar.** , 2009. 40p. – Dissertação de (Mestrado em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista” Júlio de Mesquita Filho,” Jaboticabal, 2009.

VARSA, E.C. **Nitrogen placement in no-till corn.** In: NORTH CENTRAL EXTENSION INDUSTRY SOIL FERTILITY CONFERENCE, 1995. St.Louis. **Proceedings...** St. Louis : Potash & Phosphate Institute, 1995. p.69-74.

VARVEL, G.E.; SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. Ability for inseason correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.4, p.1233-1239, 1997.

VASCONCELLOS, C.A.; VIANA, M.C.M.; FERREIRA, J.J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p.1835-1945, 1998.

VITTI, A.C. **Aplicação de nitrogênio da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: Manejo e efeito na produtividade.** 2003. 114p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta.** Jaboticabal: Funep, 1989. 37 p.

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

WASKOM, R.M.; WESTFALL, D.G.; SPELLMAN, D.E.; SOLTANPOUR, P.N. Monitoring nitrogen status of corn with portable chlorophyll meter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, n.3, p.545-560, 1996.

YAMADA, T. Adubação nitrogenada do milho. Quanto, como e quando aplicar? **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 74, p.1-5, 1996.

ZOTARELLI, L. CARDOSO, E. G. PICCININ, J.L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; TORRES, E.; ALVES, B.J.R. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1117-1122, Sept. 2003.

ZUBLENA, J.P.; ANDERSON, J.R. **Soil facts:** Starter fertilizers for corn production. North Carolina Cooperative Extension Service, 1994. 8p.

.

ANEXO

Tabela 1 – Análise de variância dos resultados das perdas de volatilização de amônia obtidas no primeiro dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	1,43	< 0,2563
Bloco	3	0,61	< 0,6191
Resíduo	18		
CV (%)	20,7		

Tabela 2 – Análise de variância dos resultados das perdas de volatilização de amônia obtidas no terceiro dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	10,80	< 0,0001
Bloco	3	1,73	< 0,1971
Resíduo	18		
CV (%)	45,4		

Tabela 3 – Análise de variância dos resultados das perdas de volatilização de amônia obtidas no quinto dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	24,52	< 0,0001
Bloco	3	4,08	< 0,0226
Resíduo	18		
CV (%)	82,4		

Tabela 4 – Análise de variância dos resultados das perdas de volatilização de amônia obtidas no sétimo dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	15,77	< 0,0001
Bloco	3	0,10	< 0,9611
Resíduo	18		
CV (%)	84		

Tabela 5 – Análise de variância dos resultados das perdas de volatilização de amônia obtidas no décimo primeiro dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	28,57	< 0,0001
Bloco	3	0,85	< 0,4835
Resíduo	18		
CV (%)	27,7		

Tabela 6 – Análise de variância dos resultados das perdas de volatilização de amônia obtidas no décimo terceiro dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	3,57	< 0,0165
Bloco	3	0,56	< 0,6480
Resíduo	18		
CV (%)	49,2		

Tabela 7 – Análise de variância dos resultados das perdas de volatilização de amônia obtidas no décimo quinto dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	83,99	< 0,0001
Bloco	3	2,45	< 0,0967
Resíduo	18		
CV (%)	43,7		

Tabela 8 – Análise de variância dos resultados das perdas de volatilização de amônia obtidas no décimo sexto após dia a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	3,38	< 0,0145
Bloco	3	3,68	< 0,0411
Resíduo	18		
CV (%)	43,5		

Tabela 9 – Análise de variância dos resultados das perdas de volatilização de amônia obtidas no décimo sétimo dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	8,51	< 0,9860
Bloco	3	0,05	< 0,0002
Resíduo	18		
CV (%)	22,35		

Tabela 10 – Análise de variância dos resultados das perdas de volatilização de amônia obtidas no décimo oitavo dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	0,74	< 0,4307
Bloco	3	0,97	< 0,6212
Resíduo	18		
CV (%)	16,9		

Tabela 11 – Análise de variância dos resultados das perdas acumulada de volatilização de amônia obtidas no primeiro dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	1,43	< 0,2563
Bloco	3	0,61	< 0,6191
Resíduo	18		
CV (%)	20,7		

Tabela 12 – Análise de variância dos resultados das perdas acumuladas de volatilização de amônia obtidas no terceiro dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	10,58	< 0,0362
Bloco	3	3,52	< 0,0001
Resíduo	18		
CV (%)	42,0		

Tabela 13 – Análise de variância dos resultados das perdas acumuladas de volatilização de amônia obtidas no quinto dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	18,51	< 0,0001
Bloco	3	3,98	< 0,0244
Resíduo	18		
CV (%)	82,4		

Tabela 14 – Análise de variância dos resultados das perdas acumuladas de volatilização de amônia obtidas no sétimo dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	25,01	< 0,0001
Bloco	3	2,45	< 0,0970
Resíduo	18		
CV (%)	84		

Tabela 15 – Análise de variância dos resultados das perdas acumuladas de volatilização de amônia obtidas no décimo primeiro dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	28,62	< 0,0001
Bloco	3	2,33	< 0,1086
Resíduo	18		
CV (%)	27,7		

Tabela 16 – Análise de variância dos resultados das perdas acumuladas de volatilização de amônia obtidas no décimo terceiro dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	117,57	< 0,0001
Bloco	3	2,96	< 0,0602
Resíduo	18		
CV (%)	16,2		

Tabela 17 – Análise de variância dos resultados das perdas acumuladas de volatilização de amônia obtidas no décimo quinto dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	79,05	< 0,0001
Bloco	3	0,98	< 0,4260
Resíduo	18		
CV (%)	20,8		

Tabela 18 – Análise de variância dos resultados das perdas acumuladas de volatilização de amônia obtidas no décimo sexto após dia a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	84,12	< 0,0001
Bloco	3	1,57	< 0,2305
Resíduo	18		
CV (%)	19,1		

Tabela 19 – Análise de variância dos resultados das perdas acumuladas de volatilização de amônia obtidas no décimo sétimo dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	82,85	< 0,0001
Bloco	3	1,58	< 0,2294
Resíduo	18		
CV (%)	18,7		

Tabela 20 – Análise de variância dos resultados das perdas acumuladas de volatilização de amônia obtidas no décimo oitavo dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	54,38	< 0,0001
Bloco	3	1,49	< 0,2522
Resíduo	18		
CV (%)	21,2		

Tabela 21 – Análise de variância dos resultados da concentração de nitrogênio nas folhas de milho

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	5,53	< 0,0024
Bloco	3	0,76	< 0,5344
Resíduo	18		
CV (%)	7,1		

Tabela 22 – Análise de variância dos resultados da concentração de nitrogênio no grão

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	3,33	< 0,0220
Bloco	3	0,40	< 0,7556
Resíduo	18		
CV (%)	3,5		

Tabela 23 – Análise de variância dos resultados da medida indireta de clorofila (SPAD)

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	4,59	< 0,0054
Bloco	3	1,28	< 0,3125
Resíduo	18		
CV (%)	4,7		

Tabela 24 – Análise de variância dos resultados da altura de inserção de espiga

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	0,47	< 0,8242
Bloco	3	0,37	< 0,7762
Resíduo	18		
CV (%)	6,22		

Tabela 25 – Análise de variância dos resultados de diâmetro do colmo

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	1,71	< 0,1754
Bloco	3	0,89	< 0,4629
Resíduo	18		
CV (%)	6,9		

Tabela 26 – Análise de variância dos resultados de massa de mil grãos

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	2,29	< 0,0812
Bloco	3	1,06	< 0,3905
Resíduo	18		
CV (%)	8,9		

Tabela 27 – Análise de variância dos resultados de produtividade

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	2,69	< 0,0480
Bloco	3	1,14	< 0,3595
Resíduo	18		
CV (%)	8,6		

Tabela 28 – Análise de variância dos resultados da concentração de amônio no solo na camada de 0 – 20 cm

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	0,58	< 0,7375
Bloco	2	0,52	< 0,6065
Resíduo	12		
CV (%)	38,0		

Tabela 29 – Análise de variância dos resultados da concentração de amônio no solo na camada 20 – 40 cm

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	1,97	< 0,1493
Bloco	2	0,43	< 0,6613
Resíduo	12		
CV (%)	42,8		

Tabela 30 – Análise de variância dos resultados da concentração de amônio no solo na camada de 40 – 60 cm

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	0,51	< 0,7909
Bloco	2	0,31	< 0,7381
Resíduo	12		
CV (%)	36,6		

Tabela 31 – Análise de variância dos resultados da concentração de amônio nas três profundidades de solo avaliadas do tratamento 1

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	2	0,95	< 0,4604
Bloco	2	0,14	< 0,8701
Resíduo	4		
CV (%)	57,2		

Tabela 32 – Análise de variância dos resultados da concentração de amônio nas três profundidades de solo avaliadas do tratamento 2

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	2	9,72	< 0,0291
Bloco	2	3,37	< 0,1389
Resíduo	4		
CV (%)	30,4		

Tabela 33 – Análise de variância dos resultados da concentração de amônio nas três profundidades de solo avaliadas do tratamento 3

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	2	0,01	< 0,9879
Bloco	2	0,88	< 0,4819
Resíduo	4		
CV (%)	56,2		

Tabela 34 – Análise de variância dos resultados da concentração de amônio nas três profundidades de solo avaliadas do tratamento 4

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	2	3,22	< 0,1469
Bloco	2	2,26	< 0,2205
Resíduo	4		
CV (%)	37,2		

Tabela 35 – Análise de variância dos resultados da concentração de amônio nas três profundidades de solo avaliadas do tratamento 5

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	2	0,35	< 0,7272
Bloco	2	0,02	< 0,9851
Resíduo	4		
CV (%)	58,5		

Tabela 36 – Análise de variância dos resultados da concentração de amônio nas três profundidades de solo avaliadas do tratamento 6

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	2	0,12	< 0,8893
Bloco	2	1,21	< 0,3876
Resíduo	4		
CV (%)	63,3		

Tabela 37 – Análise de variância dos resultados da concentração de amônio nas três profundidades de solo avaliadas do tratamento 7

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	2	0,82	< 0,5024
Bloco	2	0,87	< 0,4855
Resíduo	4		
CV (%)	40,7		

Tabela 38 – Análise de variância dos resultados da concentração de nitrato no solo na camada de 0 – 20 cm

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	0,74	< 0,6278
Bloco	2	0,75	< 0,4919
Resíduo	12		
CV (%)	46,39		

Tabela 39 – Análise de variância dos resultados da concentração de nitrato no solo na camada 20 – 40 cm

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	1,72	< 0,2002
Bloco	2	0,02	< 0,9815
Resíduo	12		
CV (%)	49,41		

Tabela 40 – Análise de variância dos resultados da concentração de nitrato no solo na camada de 40 – 60 cm

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	6	1,51	< 0,2541
Bloco	2	0,23	< 0,8012
Resíduo	12		
CV (%)	36,27		

Tabela 41 – Análise de variância dos resultados da concentração de nitrato nas três profundidades de solo avaliadas do tratamento 1

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	2	0,94	< 0,4613
Bloco	2	0,30	< 0,7540
Resíduo	4		
CV (%)	49,2		

Tabela 42 – Análise de variância dos resultados da concentração de nitrato nas três profundidades de solo avaliadas do tratamento 2

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	2	5,16	< 0,0781
Bloco	3	14,45	< 0,0148
Resíduo	4		
CV (%)	13,8		

Tabela 43 – Análise de variância dos resultados da concentração de nitrato nas três profundidades de solo avaliadas do tratamento 3

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	2	0,02	< 0,9832
Bloco	2	0,95	< 0,4603
Resíduo	4		
CV (%)	56,1		

Tabela 44 – Análise de variância dos resultados da concentração de nitrato nas três profundidades de solo avaliadas do tratamento 4

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	2	2,69	< 0,1817
Bloco	2	3,13	< 0,1518
Resíduo	4		
CV (%)	27,4		

Tabela 45 – Análise de variância dos resultados da concentração de nitrato nas três profundidades de solo avaliadas do tratamento 5

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	2	0,81	< 0,5082
Bloco	2	1,01	< 0,4423
Resíduo	4		
CV (%)	48,3		

Tabela 46 – Análise de variância dos resultados da concentração de nitrato nas três profundidades de solo avaliadas do tratamento 6

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	2	0,36	< 0,7201
Bloco	2	0,39	< 0,6993
Resíduo	4		
CV (%)	47,9		

Tabela 47 – Análise de variância dos resultados da concentração de nitrato nas três profundidades de solo avaliadas do tratamento 7

Fontes de variação	G. L.	Valor F	Pr >F
Tratamento	2	0,61	< 0,5883
Bloco	2	0,67	< 0,5617
Resíduo	4		
CV (%)	34,1		