

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DOSES, ÉPOCAS E MODOS DE APLICAÇÃO DA URÉIA
COMUM E REVESTIDA NA CULTURA DO MILHO**

**Isaac Silva Martins
Engenheiro Agrônomo**

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DOSES, ÉPOCAS E MODOS DE APLICAÇÃO DA URÉIA
COMUM E REVESTIDA NA CULTURA DO MILHO**

Isaac Silva Martins

Orientador: Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

2013

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Isaac Silva Martins – Nasceu em 11 de Junho de 1987, na cidade de Campina Verde, Minas Gerais. Em Dezembro de 2005 obteve o título de Técnico em Agropecuária pela escola agrícola Adolfo Alves Rezende, Campina Verde – MG. Em Dezembro de 2010 obteve o título de Engenheiro Agrônomo pelo Instituto Educacional de Ituiutaba, Associada à Universidade Estadual de Minas Gerais – Ituiutaba - MG. Ingressou em 2011 no programa de Pós-Graduando em Agronomia (Ciências do Solo), da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal – SP, sob a orientação Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta.

“Cada escolha, por menor que seja, é uma forma de semente que lançamos sobre o canteiro que somos. Um dia, tudo o que agora silenciosamente plantamos, ou deixamos plantar em nós, será plantação que poderá ser vista de longe...”.

Pe. Fábio de Mello

EM ESPECIAL DEDICO,

Aos meus pais, José Darci e Ana Leontina, pelo exemplo de humildade e de trabalho.

Aos meus irmãos, Israel e Isaiás.

A minha tia e madrinha Luzia

Pelo apoio dado, mostrando o real caminho da vida, com trabalho, conhecimento, e alegria.

Com estas pessoas formei meu caráter, obtive minha força e expressei meu amor.

Muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

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

Ao meu sobrinho Enzo minha fonte inspiração;

A todos os meus familiares que de alguma forma torceram por mim;

A minha namorada Carine pelo apoio, companheirismo e credibilidade que deposita em mim;

Ao amigo e professor Jairo Osvaldo Cazetta, pela orientação deste trabalho, respeito, amizade e confiança depositada em mim;

À Banca Examinadora pelas sugestões e correções.

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

Aos amigos da república ARAPUKA por todo tempo de convívio, amizade, companheirismo e principalmente pelos momentos de descontração;

A Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – FCAV/UNESP, pela oportunidade de realização desse trabalho e a obtenção do título de Mestre.

Aos colegas de convívio durante o mestrado;

Aos funcionários do Departamento de Tecnologia, por toda ajuda e dedicação em todas as etapas do trabalho e principalmente pela amizade;

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho e que ficaram no anonimato, meus sinceros agradecimentos.

MUITO OBRIGADO

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Aspectos gerais e importância da cultura do milho.....	3
2.2. Nitrogênio e sua importância para cultura do milho.....	5
2.3. Dinâmica do nitrogênio no solo-planta.....	9
2.4. Uréia.....	11
2.5. Uso eficiente do nitrogênio e fertilizantes de liberação lenta e controlada e dos fertilizantes estabilizados.....	12
2.6. Recomendações de doses, modos e épocas de aplicação de nitrogênio.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1. Local e caracterização da área experimental.....	24
3.2. Descrição do clima e dados de precipitação.....	24
3.3. Caracterização química do solo.....	25
3.4. Instalação dos experimentos.....	26
3.5. Delineamento experimental e Caracterização dos tratamentos.....	27
3.5.1. Experimento I.....	27
3.5.2. Experimento II.....	28
3.6. Condução dos experimentos.....	28
3.7. Avaliações dos experimentos.....	29
3.7.1. Diagnose foliar nitrogenada.....	29
3.7.2. Altura de plantas.....	29
3.7.3. Altura de inserção da primeira espiga.....	29

3.7.4.	Diâmetro do colmo.....	29
3.7.5.	Massa de cem grãos	30
3.7.6.	Produção de massa seca da parte aérea total	30
3.7.7.	Teor de nitrogênio e nitrogênio acumulado na parte área da matéria seca.....	30
3.7.8.	Teor de nitrogênio e nitrogênio acumulado nos grãos.....	30
3.7.9.	Teor de proteína bruta nos grãos (%).....	31
3.7.10.	Acúmulo total de nitrogênio	31
3.7.11.	Produtividade de grãos.....	31
3.7.12.	Índice de colheita	31
3.8.	Análise estatística	32
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1.	Resultados do experimento I.....	33
4.2.	Resultados do experimento II.....	37
5.	CONCLUSÕES	52
6.	REFERÊNCIAS	53

DOSES, ÉPOCAS E MODOS DE APLICAÇÃO DA URÉIA COMUM E REVESTIDA NA CULTURA DO MILHO

RESUMO - O nitrogênio é o nutriente mais absorvido pelo milho, sendo também o mais caro e o mais sujeito às perdas no ambiente. Por isso, o uso de uréia revestida com polímeros tem sido proposto para aumentar a eficiência desse fertilizante. Entretanto, os estudos têm revelado resultados inconsistentes, cujos motivos ainda não estão claros. Então, este trabalho foi idealizado com o objetivo de verificar em quais situações o uso da uréia revestida com polímeros é mais vantajoso na produção do milho. Para isso foram conduzidos dois experimentos em campo e observações microscópicas do comportamento dos grânulos de uréia. O primeiro experimento foi constituído por dois tipos de uréia (comum e revestida), dois modos de aplicação (em linha e área total) e duas épocas de aplicação (total em pós-semeadura e parcelado) e um controle (sem N). No segundo experimento essas duas formas de uréia foram aplicadas em cinco doses (75; 122,5; 170; 217,5; 265 kg ha⁻¹ N) e um controle (sem N). A uréia revestida induz maior produtividade que a uréia comum quando aplicada em período de baixa precipitação pluviométrica e a diferença aumenta com a elevação da dose utilizada. A uréia revestida com polímeros tem comportamento semelhante ao da uréia comum quando aplicada em meio a período chuvoso. O modo de aplicação dos diferentes tipos de uréia (a lanço em área total ou em linha) não influencia a produtividade de grãos. O parcelamento da adubação nitrogenada aumenta a produtividade de grãos, independentemente do tipo de uréia utilizada.

Palavras-chave: *zea mays* L., nitrogênio, adubação, métodos, épocas, doses.

RATES, TIMING AND APPLICATION METHODS OF COMMON AND POLYMER-COATED UREA IN MAIZE CROP

ABSTRACT - The nitrogen is the most extracted nutrient by maize plants, the most expensive and one of the most subjected to losses in the environment. Thus, the use of polymer-coated urea has been proposed as a way to increase the fertilizer efficiency. However, studies with polymer-coated urea have shown inconsistent results, and the reasons still remain unclear. Then, it was idealized this work with the objective of determine in which conditions the polymer-coated urea is more advantageous compared to regular urea in maize crop. Thus, it was carried out two field experiments and microscope observations of the urea granules behavior. The first experiment was composed by two urea types (common, and polymer-coated urea), combined with two application methods (scattered and furrow-localized), and two application timing (total at post-seeding and splitting) and a control (without N). In the second experiment, were combined those two sources of N with five N rates (75, 122.5, 170, 217.5, 265 kg ha⁻¹ N) and a control (without N). The results revealed that the Polymer-coated urea overcome the regular urea on maize productivity, when applied on dry soil surface in periods of low rainfall. The polymer-coated urea behaves similarly to common urea when applied in the midst rainy period. The different tested methods of urea application does not influence grain yield. The splitting N fertilization increases the grain yield, regardless of the urea type.

Keywords: *zea mays L.*, nitrogen, fertilization, methods, timing, rates.

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Resultados da análise química do solo antes da instalação do experimento.	25
Tabela 2. Análise granulométrica do solo onde foi instalado o experimento.	26
Tabela 3. Valores referentes às fontes de fertilizantes, modos e épocas que foram aplicados.....	27
Tabela 4. Valores referentes fontes de fertilizantes e doses.....	28
Tabela 5. Médias da altura da planta (A.P), da altura da inserção da espiga (A.I.E), do diâmetro de colmo (D.C), do teor de N na massa seca parte aérea (T.N.M.S.P.A) e do teor de N nos grãos (T.N.G) da cultura do milho em função das fontes, modos e épocas de aplicação do N.....	33
Tabela 6. Médias do teor de N foliar (T.N.F), da massa de cem grãos (M.C.G), da massa seca da parte aérea (M.S.P.A), de produtividade de grãos (P.G), da massa seca total e do índice de colheita (I.C) da cultura do milho em função das fontes, modos e épocas de aplicação do N.....	35
Tabela 7. Desdobramento da interação dos modos de aplicações x épocas de aplicações referente ao teor de N foliar do milho, no ano agrícola 2011/2012.....	35
Tabela 8. Médias do teor de proteínas nos grãos (T.P.G), do acúmulo de N na massa seca da parte aérea (A.N.M.S), do acúmulo de N no grãos (A.N.G) e do acúmulo de N total (A.N.T) da cultura do milho em função das fontes, modos e épocas de aplicação do N.....	36

- Tabela 9.** Médias da altura da planta (A.P), da altura da inserção da espiga (A.I.E), do diâmetro do colmo (D.M), do teor de N na massa seca da parte aérea (T.N.M.S.P.A) e do teor de N nos grãos (T.N.G) da cultura do milho em função das fontes e doses de aplicação de N.....38
- Tabela 10.** Médias do N foliar (N.F), da massa de cem grãos (M.C.G), da massa seca da parte aérea (M.S.P.A), de produtividade de grãos (P.G), da massa seca total (M.S.T) e do índice colheita (I.C) da cultura do milho em função das fontes e doses de N.....40
- Tabela 11.** Médias do teor de proteínas nos grãos (T.P.G), do acúmulo de N na massa seca (A.N.M.S.P.A), do acúmulo de N no grãos (A.N.G) e do acúmulo de N total (A.N.T) da cultura do milho em função das fontes e doses de N.....43

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm), temperaturas (°C) máximas e mínimas diárias ocorridas no período de dezembro de 2011 a abril de 2012, na área experimental, acompanhadas da indicação das datas de semeadura, aplicação dos tratamentos, pendoamento e colheita. Jaboticabal (SP), 2012.....	25
Figura 2. Teor de N na massa seca da parte aérea em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicados de uma vez a lanço, no estágio V ₂	39
Figura 3. Teor de N nos grãos em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicados de uma vez, a lanço, no estágio V ₂	39
Figura 4. Produtividade de grãos de milho em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicados de uma vez a lanço, no estágio V ₂	41
Figura 5. Massa de cem grãos de milho em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicadas de uma vez, a lanço, no estágio V ₂	42
Figura 6. Teor de proteína nos grãos em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicados de uma vez a lanço, no estágio V ₂	44
Figura 7. Acúmulo de N na massa seca da parte aérea em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicados de uma vez a lanço, no estágio V ₂	44

- Figura 8.** Acúmulo de N nos grãos em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicados de uma vez a lanço, no estádio V₂.....45
- Figura 9.** Efeito médio de doses sobre o acúmulo de N total em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicados de uma vez a lanço, no estádio V₂.....46
- Figura 10.** Fotomicrografias de grânulos de uréia: (a) Uréia comum (grânulo branco) e de uréia revestida por polímeros (grânulo cor-de-rosa), antes de tomar contato com a água; (b) Depois de decorrido o tempo de 1,5 minutos em contato com a água; (c) Depois de decorrido o tempo de 3,0 minutos em contato com a água; (d) Depois de decorrido o tempo de 4,5 minutos em contato com a água, a 25°C. Jaboticabal (SP), 2012.48

1. INTRODUÇÃO

Entre os cereais cultivados no Brasil, o milho é o mais expressivo em termos de produtividade. De acordo com suas características fisiológicas, a cultura do milho tem alto potencial produtivo. No entanto, o nível médio nacional de produtividade é baixo, os diferentes sistemas de produção de milho deverão ser ainda bastante aprimorados para se obter aumento na produtividade e na rentabilidade dos produtores. Um dos fatores, que podem contribuir para o aumento da produtividade e melhorar a eficiência são os fertilizantes nitrogenados.

O nitrogênio é o elemento mais demandado quantitativamente pela cultura do milho e o que mais onera a produção. O manejo da adubação nitrogenada é complexo, devido à dinâmica do N no sistema solo-planta-atmosfera. A maioria dos fertilizantes nitrogenados é solúvel em água e rapidamente transformada em íons lixiviáveis e sujeitas a perdas por volatilização, proporcionando baixas eficiências de utilização dos fertilizantes nitrogenados em cereais (FAN et al., 2004). Devido a esses fatos, há necessidade de estratégias de gestão adequadas para reduzir a perda de N do solo e aumento da sua eficiência de uso pelas plantas (MOTAVALLI et al., 2008). Para isso tem sido proposto o uso de fertilizantes de liberação controlada como os recobertos por polímeros, visando diminuir perdas, sincronizar a liberação de nutrientes com a demanda das culturas (SHOJI et al., 2001 e MORGAN et al., 2009) e possibilitar o aumento da eficiência de recuperação do N aplicado no solo (MOTAVALLI et al., 2008 e GRANT; WU, 2008).

Os fertilizantes revestidos com polímeros são compostos solúveis, envoltos por uma resina permeável à água, que regula o processo de liberação dos nutrientes (VIEIRA; TEIXEIRA, 2008). A busca pelo aumento de produtividade do milho requer o estabelecimento de estratégias de manejo adequadas às condições locais. Por isso são necessários, estudos no Brasil para gerar conhecimentos suficientes para avaliar e adequar essa tecnologia as condições de produção de milho. Entretanto, as pesquisas referentes ao emprego de adubos polimerizados na cultura do milho ainda são muito restritas. Existem poucos estudos que comprovam a eficácia da adubação

de liberação controlada, porém a busca por esse tipo de manejo tem se intensificado e precisa ser adequado a cada condição de cultivo.

Dentro desse contexto, foi idealizado este trabalho com o objetivo de determinar quais são as situações em que o uso da uréia revestida com polímeros se sobressai em relação à fertilização com a uréia comum. Também visa contribuir com informações que ajudem a compreender os fenômenos responsáveis pelos variados e inconsistentes resultados encontrados na literatura, com a aplicação desse tipo alternativo de fertilizante.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais e importância da cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma monocotiledônea pertencente à família das Poaceas (Gramíneas) (FORNASIERI FILHO, 2007). É uma planta monóica, alógama, anual, robusta e ereta com $2n=2x=20$ cromossomos (PATERNIANI, 1980). O milho é originário da América, mais provavelmente na região onde situa-se o México (América Central), é considerada uma das plantas cultivadas mais antigas e um dos vegetais mais estudados, dispõem de aspecto genético mais minucioso dentre as espécies cultivadas (GALINAT, 1995). Sua procedência foi consideravelmente pesquisada e diversas teorias foram sugeridas, contudo as mais plausíveis foram aquelas que evidenciaram 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 (FORNASIERI FILHO, 2007).

Segundo Fornasieri Filho (2007), estruturalmente, a planta do milho é constituída por uma haste cilíndrica, com nós e entrenós compactos. Cada nó abaixo do solo produz raízes, e nós, no nível do solo ou imediatamente acima, podem produzir perfilhos e raízes-suporte (esporões). As folhas e as ramificações que podem permanecer no estado rudimentar ou desenvolver-se para forma as inflorescências femininas (espigas) são produzidas a partir dos nós acima do solo. Os colmos compactos terminam numa inflorescência masculina.

No ambiente brasileiro de cultivo, o milho manifesta ciclo variável de 110 dias a 180 dias, com base nos híbridos e variedades que são classificados como, precoce, normal ou tardio, com base nos estádios de desenvolvimento (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). O ciclo do milho é dividido em duas fases: vegetativa (V) e reprodutiva (R) para facilitar o manejo e as pesquisas, bem como objetivar o estabelecimento de correlações entre elementos fisiológicos, climatológicos, fitogenéticos, entomológicos e fitotécnicos com o desempenho da planta. Para Fornasieri Filho (2007), as subdivisões (estádios fenológicos) da fase vegetativa são designadas numericamente como V_1 , V_2 , V_3 , etc., até V_n , em que n representa o

estádio de última folha antes do pendoamento. O primeiro e o último estágio são designados como V_E (emergência) e V_T (pendoamento). As seis subdivisões da fase reprodutiva são designadas numericamente em R_1 (florescimento), R_2 (grão bolha de água), R_3 (grão leitoso), R_4 (grão pastoso), R_5 (grão farináceo) e R_6 (maturidade fisiológica), respectivamente. Os estádios a seguir foram descritos por Fornasieri Filho (2007). (i) germinação e emergência (V_E); (ii) três folhas completamente desenvolvidas (estádio V_3); (iii) crescimento acima da superfície do solo (estádio V_6); (iv) desenvolvimento de órgãos florais (estádio V_9); (x) o número de óvulos e o tamanho da espiga (estádio V_{12}); (xi) estilos-estigmas iniciam o crescimento nas espigas (estádio V_{15}); (xii) planta encontra-se a uma semana do florescimento (estádio V_{18}); (xiii) pendoamento (estádio V_T); (ix) florescimento feminino ou “embonecamento” (estádio R_1); (xi) grão em bolha (10 a 14 dias após R_1) (estádio R_2); (xii) grão leitoso (18 a 22 dias após R_1) (estádio R_3); (xiii) grão pastoso (24 a 28 dias após R_1) (estádio R_4); (xiv) grão com “dente” (35 a 42 dias após R_1) (estádio R_5); (xv) grão em maturidade fisiológica (55 a 65 dias após R_1) (estádio R_6).

O milho é uma das mais importantes culturas do mundo. Segundo o relatório USDA (2013), revela que a produção mundial de milho atingirá 854 milhões de toneladas na atual temporada. O Brasil é o terceiro maior produtor de milho no ranking mundial, com expectativa de produzir 72,5 milhões de toneladas de grãos, sendo superado apenas pelos Estados Unidos com a produção de 273 milhões e pela China com a produção de 208 milhões de toneladas de grãos.

De acordo com a Conab (2013), o milho figura como uma das mais importantes culturas agrícolas do país, destacando-se, entre os grãos, como o segundo em maior volume produzido e valor da produção, sendo superado apenas pela soja, tendo relevante papel na agricultura nacional. Estão previstas para a safra 2012/2013 produção de 77,99 milhões de toneladas, originada pela soma de 34,81 milhões de toneladas da primeira safra, com 43,18 milhões de toneladas da safrinha.

O seu cultivo tem grande importância econômica, uma vez que pode ser utilizado como base na alimentação humana, participando na produção de matéria-prima para cerca de 600 produtos industriais e para nutrição animal (PEREIRA et al., 2009). Conforme Souza e Braga (2004), o destaque da produção de milho para alimentação animal brasileira resulta na utilização de 80% do total que produzido no

país para uso na forma de ração e silagem. A cultura do milho apresenta alto potencial produtivo nas conformações climáticas do Brasil, atingindo 10 t ha⁻¹ de grãos em condições experimentais e por agricultores que empregam técnicas apropriadas de cultivo (CARVALHO et al., 2004). No entanto, o que se observa na prática são produtividades muito baixas e irregulares, uma vez que a média da produtividade brasileira de 4.972 kg ha⁻¹ de grãos (CONAB, 2013).

A baixa produtividade média de milho no Brasil não traduz o bom nível tecnológico obtido por boa parte dos agricultores voltados para cultivo comerciais, visto que a média nacional envolve o cultivo nas mais distintas regiões e distintos tipos de agricultores, incluindo os de subsistência, que utilizam as mais diferentes técnicas de manejo e propósito. Assim, para aumento da produtividade é necessário que em parte das propriedades sejam adotadas técnicas básicas, incluindo manejo correto de corretivo e dos fertilizantes, principalmente dos nitrogenados (MATTOSO; MELO FILHO, 2006).

2.2. Nitrogênio e sua importância para cultura do milho

O nitrogênio 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 N₂, que ao contrário de outras moléculas diatômicas, como o O₂, NO ou CO, praticamente não é passível de reações químicas em condições naturais (SOUZA; FERNANDES, 2006).

Existem três processos que podem ser utilizados para o fornecimento de N no solo. O primeiro é a fixação atmosférica, refere-se às cargas elétricas, comum na época chuvosa, que unem N e O₂, formando óxidos que se podem decompor ou unir à água, atingindo o solo pela ação da chuva. A segunda forma é pela fixação biológica, o que apresenta maior taxa de benefício/custo. Esta fixação é feita pelas algas, bactérias e fungos, pelo sistema livre em cultivo de arroz inundado (*Azotobacter* e *Beijerinckia*) e pelo sistema simbiótico pela associação específica entre bactérias do gênero *Rhizobium* e leguminosas. O último processo de fornecimento de N no solo é a fixação industrial que se refere à produção de fertilizantes nitrogenados (PRADO, 2008).

O nitrogênio está acessível no solo em variáveis condições, incluindo amônio, nitrato, aminoácidos, peptídios e formas complexa insolúveis. As espécies vegetais diferem na sua preferência por fontes de N, mas o absorvem principalmente sob formas inorgânicas, como nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+) (WILLIAMS; MILLER, 2001). Segundo Prado (2008) o nitrato é a forma mais absorvida pelas plantas, por ser a mais abundante na solução do solo, pela alta atividade da microbiota em solos tropicais, em desenvolver o processo de nitrificação.

O grande estoque de N no solo ocorre em forma orgânica, como parte da MOS (matéria orgânica do solo), cuja relevância para a fertilidade do solo é bem estabelecida. A mineralização da matéria orgânica (MO) libera N inorgânico, o qual constitui a principal fonte de N para as plantas em muitos sistemas agrícolas. A disponibilização de N orgânico do solo para as plantas passa pelo processo de mineralização, definido como a transformação do N da forma orgânica para a inorgânica (NO_3^- ou NH_4^+). O processo é realizado por microrganismos heterotróficos do solo, que utilizam os compostos orgânicos como fonte de energia. A imobilização do N é um processo que ocorre concomitantemente com a mineralização, porém no sentido inverso. A imobilização é definida como a transformação do N inorgânico em N orgânico. Os responsáveis são microrganismos que incorporam o N inorgânico disponível no solo às suas células. Ao morrerem, o N assimilado pode voltar a ser mineralizado ou ser incorporado às suas células de outros microrganismos e seguir o caminho da síntese de compostos nitrogenados mais complexos que, gradualmente, formam a MOS (CANTARELLA, 2007).

No solo o nitrogênio amoniacal é oxidado para nitrato, em solos bem drenados ocorre o processo de nitrificação por meio de ação microbiana, transformando-o em nitrato, reação no qual também pode ocorrer a formação de NO_2^- (nitrito), que pode ser perdido para atmosfera (CANTARELLA, 2007). Burger e Jackson (2003), descrevem que a taxa de alteração do NH_4^+ em NO_3^- e o grande destino dos nutrientes nitrogenados no solo. Esta oxidação do amônio acontece em duas etapas distintas, sendo a primeira etapa denominada de nitrificação, onde o amônio (NH_4^+) é transformado a nitrito (NO_2^-) por um grupo de bactérias conhecidas como *Nitrossomonas sp*, e a segunda etapa denominada nitratação, onde o nitrito (NO_2^-) é transformado a nitrato (NO_3^-) por meio de um grupo de bactérias *Nitrobacter*

sp (BURTON; PROSSER, 2001 e CANTARELLA 2007). Com relação ao período, o N amoniacal no solo (NH_4^+) estará em um pequeno intervalo de tempo na forma de nitrato (NO_3^-), em torno de três semanas (CANTARELLA, 2007 e SOUSA; LOBATO 2002).

O N é um dos elementos minerais requeridos em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o crescimento (SOUZA; FERNANANDES, 2006). O nitrogênio faz parte do constituinte de moléculas de proteína, enzimas, ácido nucléicos e citocromos, além de sua importante função como integrante da molécula de clorofila, atua diretamente no processo de divisão e expansão celular (BULL, 1993). Desta forma, o nitrogênio exerce essencial função, do qual, determina o aumento da produtividade de grãos na cultura do milho. A deficiência de nitrogênio prejudica de modo direto na diminuição do desenvolvimento do índice de área foliar e a taxa de fotossíntese, que refleti na produção de matéria seca e na produção de grãos (LEMAIRE; GASTAL, 1997). No entanto, a eficiência sobre essas variáveis depende da fase vegetativa, ou seja, do estágio fenológico em que acontece a deficiência (UHART; ANDRADE, 1995). Conforme Fancelli (2000) são necessários ser absorvidos de 18 a 20 kg de nitrogênio para obter a produção de uma tonelada de grãos.

A constituição de grãos na cultura do milho está literalmente associada com a translocação de açúcares (CRAWFORD et al., 1982) e de N (KARLEN et al., 1988) de órgãos vegetativos, especialmente das folhas, para os órgãos. Desta forma, é perceptível a relação entre a área foliar verde e a produção de grãos (BULL, 1993). O mesmo autor explica que isto ocorre principalmente pela maior eficiência que as folhas bem nutridas têm de assimilar CO_2 e sintetizar carboidratos durante a fotossíntese, resultando em maior acúmulo de biomassa. Visto que aumento da produtividade de grãos e decorrente da aplicação de nitrogênio, assim podendo inferir efeitos no crescimento do sistema radicular, aumento do comprimento espiga e do número de espigas por planta (FRANCELLI; DOURADO NETO, 2000 e BULL, 1993).

O nitrogênio para ser absorvido é preciso que antes ocorra o contato do nutriente com a raiz, esse contato e governado pelo fenômeno de fluxo de massa (movimento de íons “junto com” água). As formas de absorção de nitrogênio pelas

plantas são por fixação biológica, aminoácidos e nas formas mais predominantes NH_4^+ e NO_3^- . Portanto, a absorção do amônio ocorre pelo transportador uniporte que resulta na liberação de prótons (H^+) para o meio, bombeado pelas H^+ -ATPases das membranas, enquanto a absorção do nitrato requer energia pelo transportador simporte pelo processo de co-transporte de prótons (2H^+) (PRADO, 2008).

A absorção de nitrato (NO_3^-) sofre ação sequencial das enzimas redutase de nitrato (ativada pelo molibdênio) e a redutase de nitrito (ativada pelo enxofre), o nitrato (NO_3^-) é reduzido à amônia (NH_3). O nitrato é metabolizado pelas raízes ou transportado para a parte aérea. O transporte do nitrato ocorre pelo xilema, no entanto a redistribuição ocorre especialmente na forma de aminoácidos, por meio do floema. A absorção na forma amônio (NH_4^+) ou da redução do nitrato (NO_3^-) é transportado para a parte aérea, posteriormente é incorporado em esqueletos de carbono, mediante das enzimas da via desidrogenase glutâmica (GDH) e da via glutamina sintetase e glutamato sintase (GS-GOGAT). A redução assimilatória do nitrato é indispensável para que ocorra a incorporação do nitrogênio a um composto orgânico na planta é processo dependentes de energia (ATP), poder redutor (NADH, NADPH e a ferredoxina reduzida), e de esqueletos de carbono proveniente do ciclo de Krebs (PRADO, 2008; SOUZA e FERNANDES, 2006). As exigências de N pelo milho variam consideravelmente com os diferentes estádios de desenvolvimento da planta, segundo Cantarella (1993), a absorção de N pelas plantas de milho é mais intensa no período de 40 a 60 dias após a emergência, correspondendo à exigência de cerca de 50% do N requerido pela cultura, sendo que o restante pode ser absorvido após o início do florescimento. 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 (OKUMURA et al., 2011 e MEIRA et al., 2009). A maioria dos tecidos das plantas contém 5% de nutrientes minerais na matéria seca (RAIJ, 2011), sendo que para avaliação do estado nutricional das plantas de milho, considera-se como teor adequado a faixa entre 27 a 35 g N/kg de matéria seca (CANTARELLA et al., 1997).

Além da sua eficiência sobre a produtividade de grãos (ARAÚJO et al., 2004 e GOMES et al., 2007), o nitrogênio influencia outros aspectos associados ao desenvolvimento da cultura do milho. Na literatura encontra vários trabalhos sobre o

empenho do nitrogênio no aumento da altura de plantas e de inserção de espigas (ARAÚJO et al., 2004; SILVA; SILVA, 2002), na produção de matéria seca (ARAÚJO et al., 2004), no peso de grãos (SANGOI; ALMEIDA, 1994 e AMARAL FILHO et al., 2005), no número de espiga por planta (SCHIAVINATTI, et al., 2011), no comprimento da espiga (BÜLL, 1993 e CARMO et al., 2012), no diâmetro do colmo (CARMO et al., 2012), e do crescimento radicular (BÜLL, 1993).

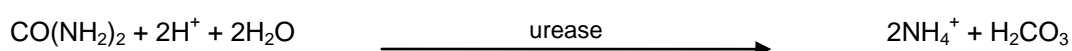
2.3. Dinâmica do nitrogênio no solo-planta

A dinâmica do N na natureza é de suma importância à vida das plantas, a quantidade de N disponível no solo pode sofrer perdas em função de alterações os processos de adição. Essas perdas envolve processo como volatilização, lixiviação, desnitrificação e escoamento superficial (CANTARELLA, 2007).

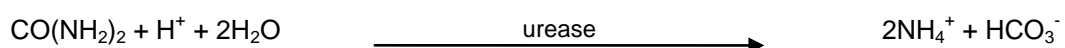
As perdas por volatilização de amônia em solos dependem do pH. O equilíbrio entre o íon amônio (NH_4^+) e na forma gasosa, amônia (NH_3), é dado pela expressão:



Quando aplicada uréia no solo é rapidamente hidrolisada e produz carbonato de amônio, um molécula instável que em condições adversas de temperatura e umidade libera todo N na forma de NH_3 (CANTARELLA, 2007). Em solos com pH menor do que 6,3 – maioria dos solos brasileiros – a reação predominante é (KAELLIKER; KISSEL, (1988), citado por CANTARELLA, 2007).



Em solos com pH mais elevado ($\geq 6,3$), a reação é:



A explicação que os coloides do solo incorporados com uréia tendem a apresentar uma elevação do pH, devido ao consumo de prótons (H^+) na produção de amônio (NH_4^+) (SANTOS et al., 2007). Overrein e Moe (1967), observaram que o pH

6,5 atingiu um ponto máximo de 8,8 três dias após a aplicação de uréia. Respostas parecidas foram verificadas por outros pesquisadores em diferentes ambientes (KISSEL et al., 1988). Esses autores demonstram a importância do carbono inorgânico a partir da hidrólise de uréia em proporcionar resistência a um aumento do pH acima de 8,2. Primavesi et al. (2001), observaram que as perdas de nitrogênio por volatilização da amônia são maiores com o aumento das doses de N aplicadas, quando a umidade do solo é elevada, isto é, quando chove antes da aplicação, e nos três primeiros dias após a aplicação superficial, e são reduzidas quando ocorrem chuvas nos três primeiros dias após a aplicação.

O processo de volatilização de amônia (NH_3) utilizando-se uréia participa inicialmente a hidrólise da fonte nitrogenada por intermédio da urease. A urease é uma enzima extracelular proveniente da síntese realizada por bactérias, actinomicetos e fungos do solo, ou ainda, de restos de vegetais. Conforme a ação da hidrólise tem-se a formação de carbonato de amônio e, em função das propriedades da urease, razão que influenciam a hidrólise da uréia, provocando ampla transformação na taxa de hidrólise para distintas características de solos (REYNOLDS; WOLF, 1987). Segundo Volk (1959), a hidrólise ocorre em solo com altos teores de umidade, em solo seco a taxa de hidrólise da uréia é baixa.

A volatilização de amônia (NH_3) são influenciados pelo pH do solo, pela capacidade de troca de cátions (CTC), o poder tampão e a matéria orgânica (TRIVELIN et al., 1994; FENN; HOSSNER, 1985). O pH altera o equilíbrio entre NH_4^+ e NH_3 na solução do solo, de forma que em solos com baixos valores de pH, a forma de N amoniacal predominante é NH_4^+ e o potencial de volatilização é baixo, já em solos com altos valores de pH a forma predominante é o NH_3 e o potencial de volatilização é alto (HARRISON; WEBB, 2001). Pesquisas realizadas por Espironelo et al. (1987) e Trivelin et al. (2002), revelam que a forma mais eficiente de reduzir ou eliminar as perdas por volatilização é a incorporação da uréia ao solo. De acordo com Hargrove (1988) a incorporação da uréia pode ser feita pela água de chuva, mencionando que em áreas de solo descoberto, 10 a 20 mm são considerados suficientes para incorporar a uréia e reduzir ou mesmo eliminar as perdas de NH_3 .

A outra forma de perda de nitrogênio é por meio do ânion nitrato que tem baixa interação química com os minerais do solo. A predominância de carga

negativas no solo, ou pelo menos nas camadas superficiais no solos tropicais, e a baixa interação química NO_3^- com os minerais do solo fazem com que o NO_3^- esteja sujeito à lixiviação para as camadas mais profundas, podendo atingir águas superficiais ou o lençol freático (CANTARELLA, 2007).

No Brasil existem poucos trabalhos com altas perdas por lixiviação. 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). O nitrogênio fertilizante é imobilizado na matéria orgânica do solo, assim reduzindo a lixiviação (COELHO et al., 1991). As maiores quantidade de N lixiviados são provenientes da mineralização da matéria orgânica do perfil do solo, ou mesmo devido ao movimento ascendente do nitrato pelo fluxo de água no solo (COELHO et al., 1991). Kanwar et al. (1988), conduziram trabalho simulando volumes de precipitação, notaram que em solo com alto volume de água, a lixiviação do nitrogênio pode chegar a 30% para o sistema de plantio convencional, enquanto um solo de sistema de plantio direto é da ordem de 6%, destacando a importância da matéria orgânica do solo na consolidação estrutural do solo.

2.4. Uréia

A principal fonte de nitrogênio no Brasil e a uréia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] é caracterizada como fertilizante sólido granulado com concentração por volta de 44 e 46% de nitrogênio na forma amídica (CANTARELLA, 2007).

A uréia apresenta outras vantagens, além da elevada concentração de N, podendo citar menor custo com fabricação, transporte, armazenagem, aplicação, alta solubilidade, baixa corrosividade e facilidade de mistura com outras fontes. Porém, como desvantagens da uréia, destaca-se elevada higroscopicidade que é a tendência de absorver umidade do ar atmosférico e maior susceptibilidade à volatilização. Se aplicar a uréia em ambiente com umidade decorre a decomposição e a liberação da uréia. Ao entrar em contato com a urease existente no solo e em resíduos vegetais, a uréia sofre hidrólise, gerando carbonato de amônio [$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$].

O acúmulo de carbonato de amônio gera o aumento no pH e essa ocorrência favorece a perda pela volatilização (NH_3) (MELGAR et al., 1999). Nas regiões de cultivo onde o solo é seco, alta saturação de base, alta temperatura e a baixa umidade relativa nestas condições ocasionam maiores perdas de N por volatilização na utilização da uréia (NUMMER FILHO; HENTSCHEKE, 2002).

Independentemente do pH do solo a uréia necessita da participação da uréase ativa e da umidade adequada para ser hidrolisada a $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Além do mais, quando utiliza uréia na superfície de solo calcários e carentes de matéria orgânica, a fonte de uréia pode expandir através da umidade do solo, isto é, ser arrastado pela água da chuva ou irrigação para camadas profundas do solo, antes que se tenha concluído a hidrólise na superfície do solo. Desta forma reduzem-se as perdas de N-NH_3 (GASSER, 1964; TERMAN, 1979 citado por URQUIAGA et al., 1989).

2.5. Uso eficiente do nitrogênio e fertilizantes de liberação lenta e controlada e dos fertilizantes estabilizados

A crescente demanda por alimentos, e a busca por maiores produtividades das plantas cultivadas, provocou em drástico aumento no emprego de fertilizantes nitrogenados (FERREIRA, 2012). A maior parte dos fertilizantes nitrogenados comumente utilizados na agricultura brasileira para a cultura do milho é solúvel em água, tais como a uréia, o sulfato de amônio e o nitrato de amônio, e liberam rapidamente no solo as formas de N prontamente assimiláveis pelas plantas, nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), que também são as formas de N mais susceptíveis a perdas do sistema agrícola (CANTARELLA; MARCELINO, 2008).

Para diminuir perdas por lixiviação, recomenda-se o parcelamento da adubação nitrogenada, cuja a maior parte do N deve ser aplicada no período de maior demanda pelas plantas (RAIJ et al., 1997). Para evitar perdas da uréia por volatilização recomenda-se fazer incorporação no solo, a uma profundidade mínima de 3 a 5 cm, por meio mecânico ou irrigação (CANTARELLA; MARCELINO, 2008; CANTARELLA, 2007). Apesar disso, o manejo da uréia, é complicada em razão das condições climáticas, custo operacional para sua incorporação, espaçamento

estreito entre as linhas para passagem de máquinas, sistema de cultivo (plântio direto ou plântio convencional) entre outros fatores. Neste caso existem outras formas de aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados pelas culturas, uma vez que requer o uso de composto de baixa solubilidade, fertilizantes de liberação lenta ou controlada e fertilizantes estabilizados (CANTARELLA, 2007).

Bono et al. (2008), propôs fonte de N alternativa que reduzissem perdas por lixiviação e volatilização, que possibilitassem a liberação lenta e gradativa da uréia e aumentasse sua eficácia no uso das plantas. Shaviv e Mikkelsen (1993), indicaram o uso de fertilizantes revestidos de liberação gradual que, possibilitariam a liberação do que o nitrogênio gradativamente no solo, conforme o aumento da demanda da cultura pelo elemento.

Associado a este contexto, a Associação Americana Oficial de Controle de Nutrição de Plantas (AAPFCO), caracterizou que os "Fertilizantes com Eficiência Aumentada" (Enhanced-Efficiency Fertilizers), que podem ser classificados em: (a) "Fertilizantes de Liberação Lenta ou Controlada" e (b) "Fertilizantes estabilizados" (HALL, 2005).

Considerado essa classificação os fertilizantes de liberação lenta ou controlada e os fertilizantes estabilizados foram divididos na seguinte forma (TRENKEL, 1997; TRENKEL, 2010; CANTARELLA; MARCELINO 2008 e CANTARELLA, 2007)

- 1)** Fertilizantes de liberação lenta ou controlada, com baixa solubilidade em referência a uma fonte solúvel.
 - a)** Compostos de condensação de uréia e uréia-aldeídos: ureaformaldeído (38% de N), isobutilidene diuréia (IBDU, 31% de N), crotonilidene diuréia (CDU, 32% de N);
 - b)** Produtos encapsulados ou recobertos, ou de liberação controlada: uréia recoberta com enxofre (SCU) e uréia recoberta com polímeros (Osmocote, Meister, Nutricote e outros).
- 2)** Fertilizantes estabilizados, que contêm aditivos para aumentar o tempo de disponibilidade no solo:
 - a)** Inibidores de nitrificação: nitrapirina [2-cloro-6-(triclorometil) piridina] (NP), dicianodiamida (DCD), DMPP (fosfato de 3,4 dimetil pirazole) e outros.

- b)** Inibidores de urease: fenil-fosforodiamidato (PPD) e tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBPT).

Os adubos de liberação lenta ou controlada e adubos estabilizados são fertilizantes que retardam ou prolongam o tempo de disponibilidade contínua dos nutrientes, podendo ocorrer por meio de vários mecanismos. Não existe diferenciação oficial entre liberação lenta e controlada. No entanto, os produtos microbiologicamente degradáveis, como ureia-formaldeído e ureia-aldeídos são normalmente designados comercialmente como adubos de liberação lenta (slow-release fertilizers). Os fertilizantes revestidos por enxofre ou polímeros de características distintas são designados de fertilizantes de liberação controlada (coated or encapsulated controlled release fertilizers) (TRENKEL, 1997). Nos fertilizantes estabilizados são adicionadas substâncias estabilizadoras que prolongam o tempo de liberação do nitrogênio no solo permanecendo na forma N-uréia ou amoniacal (TRENKEL, 2010).

Os fertilizantes estabilizados são classificados em duas classes, sendo inibidores de nitrificação e inibidores de urease. Inibidores da nitrificação são compostos que retardam a oxidação bacteriana do íon amônio (NH_4^+), permitindo a atividade de bactérias *Nitrosomonas* no solo ao longo de certo período de tempo. Assim, eles controlam a lixiviação de nitrato, mantendo a forma mais longa do amônio, e impedindo a desnitrificação de nitratos (TRENKEL, 2010). Inibidores de urease previnem ou diminuem a transformação do nitrogênio uréia em amida e hidróxido de amônio ao longo de um certo período de tempo, através da inibição da ação hidrolítica da ureia pela urease, assim, evitam ou reduzem as perdas de volatilização do amoníaco (TRENKEL, 2010).

Os fertilizantes de liberação lenta derivam da condensação da uréia. A uréia-formaldeído é uma das mais antigas fontes de uréia, sendo comercializados desde 1955. Resulta da mistura de metileno-ureias com polímeros de cadeia longa. Apresenta diferentes solubilidades, sendo que parte é solúvel em água e outra parte é liberada de forma gradual. A liberação dos nutrientes fica dependente da decomposição da atividade microbiana que são afetados pela temperatura do solo, umidade do solo, pH do solo e disponibilidade de oxigênio. A isobutilideno-diurea

(IBDU), deriva da combinação da condensação de líquido isobutiraldeído e uréia. Este produto é produzido no Japão (Mitsubishi) e na Alemanha (BASF). O nitrogênio IBDU é liberado por hidrólise, que é afetada pela umidade e temperatura do solo e pelo tamanho da partícula. A formulação crotonilidenoüreia (CDU) são derivados da uréia com aldeído acético (Japão) ou crotonaldeído (Alemanha). A liberação depende da hidrólise e da atividade microbiana. Os fertilizantes IBDU e CDU são os menos utilizados uma vez que seus custos de fabricação são mais elevados (TRENKEL, 2010).

Os fertilizantes revestidos são do grupo de maior crescimento entre os fertilizantes de liberação lenta e controlada nos Estados Unidos e Japão. O aumento é devido a uma melhoria na economia da produção, a possibilidade de controlar a liberação de nutrientes e uma maior flexibilidade na determinação do padrão de liberação de nutrientes. Dentro dos fertilizantes revestidos ou encapsulados de liberação controlada destaca-se com importância comercial o revestido de enxofre e o revestido de polímero (TRENKEL, 2010).

Os fertilizantes provenientes do revestimento da uréia com enxofre (sulfur coated urea, SCU), foram os primeiros a ser desenvolvidos à escala comercial. O revestimento de enxofre pode ser considerado impermeável à membrana, que degrada-se lentamente no solo através dos processos microbiológicos, químicos e físicos. A liberação de nutrientes depende da espessura do revestimento em relação ao tamanho do grânulo. O teor de N total de uréia revestida com enxofre diminui de 46 % para 30 a 42 %. Possui as vantagens de que o enxofre é um nutriente e um produto de baixo custo. A qualidade do revestimento da uréia com enxofre (SCU) é caracterizado pela porcentagem de liberação na solução do solo em sete dias (TRENKEL, 2010).

Os fertilizantes revestidos com polímeros possuem membranas impermeáveis ou semi-impermeáveis com poros finos (poliuretanos, poliésteres, resinas e outros). Têm sido desenvolvidos vários tipos de polímeros, no qual a taxa de liberação de nutrientes pode ser alterada através da composição e da espessura do revestimento, dando longevidades desde um a 24 meses. A maioria dos polímeros utilizados como revestimento decompõe-se muito devagar, deixando resíduos. Isto pode ser considerado como desvantagem ambiental. Pesquisas estão sendo

realizadas para o desenvolvimento de polímeros biodegradáveis após aplicação, no caso de polietileno, polipropileno e copolímeros de etileno. A tecnologia de revestimento de polímero é diferente entre as empresa (tipo de polímero). São fertilizantes considerados mais caros em relação às fontes convencionais (TRENKEL, 2010).

A diferença existente entre as fontes de fertilizantes comuns e os de liberação lenta ou controlada são que, á medida que os fertilizantes comuns tem sua disponibilização total no solo dependente das condições, os fertilizantes de liberação lenta ou controlada possibilitam prever, dentro de certos limites, a liberação dos elementos (TRENKEL, 2010).

Os principais benefícios dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada, segundo Shaviv (2001) e Trenkel (2010) são: menor necessidade de parcelamento em cobertura; fornecimento regular e contínuo de nutrientes para as planta, melhor rendimento operacional no transporte interno e plantio; bons rendimentos de produtividade; menor espaço de armazenamento; redução nos custos de produção; reduz a toxicidade e permitindo a aplicação de doses maiores de fertilizantes, em comparação aos fertilizantes comuns; redução de perdas de nutriente por lixiviação e volatilização; reduzem as perdas por evaporação de amônia; 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 nitrato (menor contaminação de águas subterrâneas e superficiais); contribuem para a redução das emissões de gases ambientalmente relevantes (N_2O). Como desvantagens sobre do uso dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada relata-se não há métodos padronizados para determinação confiável de liberação de nutrientes disponíveis; a fonte de nitrogênio pode ser liberada na solução do solo muito lentamente, ou então, não ser liberada; fertilizantes revestidos com enxofre podem ser liberados rapidamente e causa danos a cultura; fertilizantes revestidos com polímeros podem deixar resíduos indesejáveis nos campos; o custo de produção e consideravelmente mais elevado do que dos adubos minerais comuns (TRENKEL, 2010).

Nos Estados Unidos existe um órgão que regula a sua própria política agrícola, incluindo fertilizantes. Na Europa Ocidental, não existia ainda regulamentos gerais do Comitê Europeu sobre fertilizantes de liberação lenta e controlada. Para

alcançar a normalização europeia, a Task Force Slow-Release Fertilizers (TFsrf) foi criada com o objetivo de definir as condições em que tipo de fertilizante e integrado na lista de tipo de fertilizante da União Europeia pode ser recém categorizados como fertilizantes de liberação lenta ou de liberação controlada (TRENKEL, 1997).

De acordo com Kloth (1996), citado por Trenkel (2010), o Comitê Europeu de Normalização (CEN) para fertilizantes de liberação lenta (Slow-Release-Fertilizer) expos que:

1. Liberação: A transformação de uma substância química em uma forma disponível para as plantas (por exemplo, dissolução, hidrólise, degradação etc);
2. Liberação lenta: A taxa de liberação de um nutriente do fertilizante deve ser mais lenta do que a partir de um fertilizante em que o nutriente está prontamente disponível para absorção pelas plantas. Por exemplo, para um fertilizante nitrogenado de liberação lenta, a liberação, de acordo com a taxa de resposta da planta, deve ser menor do que a partir de uma aplicação de ureia, ou amônio, ou solução de nitrato.

Um fertilizante pode ser descrito como de liberação lenta se o(s) nutriente(s) que o compõem, declarados como de liberação lenta (controlada), sob condições definidas, inclusive sob temperatura de 25°C, seguir cada um dos critérios (KLOTH, 1996):

- i. Liberação menor que 15% em 24 horas;
- ii. Liberação menor que 75% em 28 dias; e
- iii. Liberação menor que 75% ao final do tempo indicado para liberação.

Segundo Vieira e Texeira (2004), fertilizantes revestidos por polímeros, comparados com as fontes solúveis não diferem quanto à época de aplicação. As alterações acontecem de um modo que maximiza a sua eficiência de utilização, pois fertilizantes com polímeros minimiza perdas de nutrientes por lixiviação e volatilização, e viabilizando a diminuição na dose aplicada (ZHRANI, 2000).

A eficiência do revestimento por polímeros é influenciada pela estrutura dos grânulos fertilizados, que, ao entrarem em contato com solo absorvem água, solubilizando os nutrientes no interior das cápsulas e sua liberação (SHAVIV, 1999; TOMASZEWSKA et al., 2002).

A liberação dos fertilizantes revestidos por polímeros é influenciada pela temperatura do solo, umidade e espessura do revestimento de polímero. Com o aumento da temperatura ocorrerá liberação mais intensa e reduzirá o tempo de longevidade do fertilizante. Segundo Trenkel (1997), o revestimento influencia diretamente no mecanismo e na intensidade do processo de liberação. Assim a espessura do revestimento, sua natureza química, a quantidade de microfissuras e o tamanho do grânulo de fertilizante, interferem na liberação do nitrogênio no solo.

O uso de uréia revestida com polímeros é uma nova tecnologia que vem oferecendo alternativa para diminuição das perdas de N, porém há poucos trabalhos de pesquisa sobre sua avaliação agrônômica no Brasil. O produto de liberação gradativa Kimcoat LGU é uma uréia protegida com três camadas de polímeros envolvendo o grão do fertilizante (REIS JÚNIOR, 2007).

Em relação à eficiência de uréia revestida na cultura da cevada foi observada melhor desenvolvimento radicular (ZHANG et al., 2000). No Canadá em cultura com trigo, demonstraram que a eficiência de sementes aplicadas juntas a uréia revestida foram semelhantes aos rendimentos com uréia comum, resultando em eficiência de utilização de 4,2% maior (HADERLEIN et al., 2001). Bono et al. (2008) obtiveram respostas benéficas na qualidade fisiológica das sementes de milho com a utilização de uréia revestida com polímero quando aplicada em comparação com a adubação parcelada.

Barati et al. (2006), avaliaram a eficiência de fontes de nitrogênio (cloreto de amônio, uréia e uréia revestida) e observaram que a recuperação de nitrogênio foi maior quando se utilizou a uréia revestida. Por sua vez Boman e Battikhi (2007), observaram que a aplicação de fertilizante nitrogenado de liberação lenta diminui a necessidade de parcelamento das adubações. Gioacchini et al. (2002), verificaram redução da volatilização de nitrogênio pelo uso de inibidores, estes não reproduziram em maiores rendimentos, quando comparados à ureia na colheita de grãos da aveia. Já Rozas et al. (1999), em área sob plantio direto, certificaram que a aplicação de uréia com NBPT (inibidor de urease), não interferiu na produtividade do milho, quando comparado à ureia.

Trabalhos sobre a eficiência dos fertilizantes nitrogenados de liberação lenta e fertilizantes estabilizados, em comparação com formas mais solúveis (uréia e sulfato

de amônio) foram feitos por vários autores (SILVA et al., 2012, SCHIAVINATTI et al., 2011 e SOUZA et al., 2011) e em geral, havendo condições satisfatórias de umidade do solo, não tem sido encontradas diferenças na eficiência destas fontes sob condições de campo, por exemplo, na produtividade de milho (CARDOSO et al., 2011, MEIRA et al., 2009, SORATTO et al., 2011, SORATTO et al., 2010 e KAPPES et al., 2009), e de trigo (TEIXEIRA FILHO et al., 2010).

Quanto à uréia revestida com polímeros vários experimentos demonstram que o sua utilização aumenta a eficiência de uso do N e a produtividade do milho (BLAYLOCK et al., 2005). Em Minnesota (EUA), o uso da uréia revestida com polímero, demonstrou possível redução na necessidade de dividir a aplicação de N para a batata (WILSON et al., 2009). Em milho (EUA), obteve-se maior absorção de nitrogênio e maior produtividade de grãos quando a adubação foi feita com uréia polímerizada (NOELLSCH et al., 2009). Na China, em trigo de inverno também se observou aumento da eficiência de uso de nitrogênio aplicado na forma de uréia revestida com polímero (FAN et al., 2004; YANG et al., 2011), e da batata no Japão (SHOJI et al., 2001).

A despeito dos resultados positivos, acima mencionados, também se encontram na literatura internacional relatos de resultados de produção agrícola contraditórios. Na Carolina do Norte (EUA), ao utilizar uréia formaldeído como fonte de N, a produtividade de grãos para o trigo de inverno e milho foram estatisticamente semelhantes ou inferiores ao do uso uréia ou nitrato de amônio convencional (CAHILL et al., 2007). Também na Carolina do Norte (EUA), relatou-se que fontes alternativas polímerizadas proporcionaram pouco benefício agrônômico para produção de grãos de trigo e milho (CAHILL et al., 2010). Pesquisa realizada na Província de Alberta (Canadá), possibilitou verificar que a liberação de N da uréia revestida com polímero promoveu a diminuição do rendimento de grãos de trigo (MCKENZIE et al., 2010), o mesmo sendo observado em trigo de inverno (MCKENZIE et al., 2007). Outros estudos realizados nos EUA, usando uréia revestida com polímeros, não observaram aumento na produtividade de grãos de trigo (FARMAHA; SIMS, 2012; NASH et al., 2012), e de milho (NELSON et al., 2009).

No Brasil, existem poucos trabalhos com uréia revestida com polímeros, mas eles não têm proporcionado retornos nas condições em que vem sendo testados. Em estudo com milho safrinha em Rio Verde-GO, verificaram não haver diferença na produtividade de grãos com a utilização de uréia revestida com polímeros (PEREIRA et al., 2009). Experimento realizado em Selvíria-MS, não observou efeito significativo da uréia revestida com polímeros sobre o rendimento de grãos de feijão (VALDERRAMA et al., 2009). De maneira semelhante, estudo com uréia revestida com polímero em milho irrigado, também não verificaram vantagem sobre o rendimento de grãos (VALDERRAMA et al., 2011). Em Jataí-GO, em Neossolo Quartzarênio órtico, comparando uréia revestida com polímero aplicado a lanço e uréia convencional incorporada, a aplicação da uréia incorporada evidenciou maior enchimento de grãos e maior produtividade de grãos em comparação uréia revestida aplicada em superfície (CIVARDI et al., 2011). Em Latossolo Vermelho distrófico, no município de Palmeiras de Goiás-GO, também não indicou haver influência das fontes de nitrogênio para produtividade de milho doce (CARMO et al., 2012).

2.6. Recomendações de doses, modos e épocas de aplicação de nitrogênio

Nos últimos anos, as recomendações de adubação para cultura do milho progrediram substancialmente no Brasil. As principais inovações estão na recomendação de doses de acordo com a produtividade esperada, tipo de solo, manejo, época de semeadura e genótipo (CANTARELLA; DUARTE, 2004).

De acordo com Yamada (1996) e Fornasieri Filho (2007), aplicação do N, nas condições brasileiras, deve ser aplicado por ocasião da semeadura do milho quanto ao modo e a posição de aplicação do N na cultura do milho deve ser aplicado junto à semeadura, posicionado cinco centímetros abaixo e cinco centímetros ao lado da semente, e a outra parte em uma ou duas coberturas após a emergência das plantas.

Para obtenção da produtividade esperada de 10 toneladas de grãos por hectare, deve aplicar entre 150 a 200 kg ha⁻¹ de N (YAMADA, 1996). De acordo com Cantarella (1993) a maioria das pesquisas efetuadas evidência que os melhores resultados ocorreram com aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e de 90 a 120

kg ha⁻¹ de N entre 30 e 45 dias após a germinação, totalizando entre 120 e 150 kg ha⁻¹ de N.

De acordo com Fornasieri Filho (2007), a recomendação da adubação nitrogenada há falta de um método de análise que reflita o comportamento do nutriente no solo. O mesmo autor relata que nos EUA, a dose de nitrogênio é recomendada de acordo com a necessidade da cultura, o fornecimento pelo solo e a eficiência de utilização do N. Assim para produção de 10.000 kg de grãos são precisos de 250 kg ha⁻¹ de N, o que representa 25 kg de N por tonelada de grãos, neste contexto, um solo com 3% de matéria orgânica seria possível complementar 60 kg de N ha⁻¹ (creditando-se 20 kg de N para cada 1% de matéria orgânica), além de 30% de N envolvido na palhada da cultura de milho anterior, isto é, mais 33 kg ha⁻¹ de N, somando um total de 93 kg ha⁻¹ de N. Desta forma a quantidade a ser aplicada na adubação será: 250 - 93= 157 kg de N, que dividida pelo fator de eficiência de 75% concederá a dose de 210 kg ha⁻¹ de N, que será recomendada, isso em sucessão com milho, se for em sucessão com a soja recomenda reduzir 30 a 40 kg ha⁻¹ de N.

Conforme Yamada (1997) o nitrogênio é um dos nutrientes absorvido em maior quantidade pelo milho, aproximadamente, 190 kg ha⁻¹ de N. Nota-se produtividade de grãos na ordem de 9.500 kg ha⁻¹ com base na aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura, suplementados com acréscimo de 80 kg ha⁻¹ a 100 kg ha⁻¹ em cobertura, no estágio V₄. O aumento da aplicação na dose de N, na maioria das vezes, confere aumento na produtividade de grãos da cultura do milho (CANTARELLA; DUARTE, 2004). Os autores recomendam aplicar 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e o restante, quando inferior a 100 kg ha⁻¹ de N, no estágio de V₇ a V₈ para o sistema de plantio convencional e V₄ a V₆ para sistema de plantio direto.

De acordo com Valderrama et al. (2011), trabalhando com o efeito de doses de N na cultura do milho, verificaram que aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N proporcionou a maior produtividade de grãos. Soratto et al. (2011), estudando doses crescentes de nitrogênio, verificaram aumento da produtividade do milho até a dose de 124 kg ha⁻¹ de N. Souza et al. (2011), observaram um aumento linear na produtividade com o acréscimo das doses de N, sendo que a dose de 120 kg ha⁻¹ proporcionou o maior incremento na produtividade. Silva et al. (2012) encontraram

acréscimo na produtividade do milho, com o aumento das dose de N na cultura do milho, demonstrando que a quantidade de N exerce influencia na produtividade. Queiroz et al. (2011) também observou resposta positiva da adubação nitrogenada no milho, sendo a maior produtividade de grão obtida com a dose de 160 kg ha^{-1} de N.

A recomendação de nitrogênio para a cultura do milho no Estado do Rio Grande do Sul é de Santa Catarina e realizada com base no teor de matéria orgânica do solo e na expectativa de produtividade de grãos de quatro toneladas por hectare, para expectativa de rendimento maior que 4 t ha^{-1} , acrescentarem 15 kg ha^{-1} de N por tonelada adicional (CFS-RS/SC, 1995), o tipo de cultura antecedente, levando em conta três tipos: leguminosa, consorciação ou pousio e gramínea. As quantidades indicadas são estimativas de produção média de massa seca. A contribuição no fornecimento de N para o milho pelas leguminosas é calculada em função da quantidade da matéria seca produzida; para as gramíneas este é considerado como muito pequeno ou nulo. Além disso, quando o milho é cultivado em rotação com a soja, recomenda-se reduzir a dose de N em 20% (AMADO et al., 2002).

No Estado de Minas Gerais a recomendação de nitrogênio é realizada de acordo com a produtividade esperada, aplicando-se 10 a 20 kg ha^{-1} de N na semeadura para plantio convencional e 30 kg ha^{-1} de N para sistema de plantio direto. Em cobertura, a recomendação é de 60 kg ha^{-1} de N para produtividade esperada de quatro a seis toneladas por hectare, 100 kg ha^{-1} de N para produtividade esperada de seis a oito toneladas por hectare e de 140 kg ha^{-1} de N para produtividade acima de oito toneladas de grãos. Para as semeaduras em sucessão e, ou, em rotação com a soja, recomenda-se reduzir 20 kg ha^{-1} de N da adubação de cobertura (ALVES et al., 1999).

No estado de São Paulo a recomendação de nitrogênio é realizada de acordo com a produtividade esperada e também com a classe de resposta do nitrogênio. Consiste especialmente no histórico de uso e manejo da área, tendo como exemplo, cultivo de leguminosas, uso de adubos orgânicos, solos ácidos, sistema de plantio direto, cultivo de gramíneas, solos corrigidos, plantio contínuo de milho e outras. Recomenda-se de 10 kg ha^{-1} de N na semeadura para produtividade esperada de

duas a quatro toneladas por hectare, 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura para produtividade esperada de quatro a seis toneladas de grãos por hectare e 30 kg ha⁻¹ de N para seis a doze toneladas de grãos por hectare. A adubação de cobertura varia de 20 a 140 kg ha⁻¹ de N, em função da produtividade esperada e da classe de resposta esperada de nitrogênio, classificada como baixa, média ou alta (RAIJ et al., 1997).

Visto que na literatura nacional são encontrados vários trabalhos de pesquisa sobre recomendações para cultura do milho nos diferentes manejos e doses de nitrogênio, para explicação desses resultados devem ser levados em conta alguns fatores tais como: condições climáticas; material genético; sistema de cultivo; tipo de solo; época de aplicação; modo de aplicação; época de semeadura; rotação de cultura; teor de matéria orgânica; nível tecnológico do produtor; produtividade esperada; recurso financeiro e fontes de nitrogênio a serem utilizadas. Esses fatores caracterizam que as especificações sobre as recomendações de nitrogênio devem ser mais esclarecidas e não generalizadas. Nesse contexto, nada foi encontrado com relação à calibração da dose de N aplicada na forma de fertilizante revestido.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local e caracterização da área experimental

Foram conduzidos dois experimentos em condições de campo, no ano agrícola de 2011/2012, na área experimental da Fazenda de Ensino e Pesquisa, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal (SP), apresentando como coordenadas geográficas 21°24'64" latitude Sul e 48°28'78" longitude Oeste, com altitude média de 566 metros.

3.2. Descrição do clima e dados de precipitação

O clima é do tipo mesotérmico de inverno seco, sendo classificado pelo Sistema Internacional de Koppen como Aw, subtropical úmido com estiagem no inverno. A precipitação pluviométrica média anual é de 1424,6 mm. A temperatura média anual é de 22,2 °C, de acordo com a Estação Agroclimatológica da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal.

Como pode ser observado na Figura 1, no dia 08/12/2011 foi realizada a semeadura do milho que foi imediatamente seguida de chuvas que somaram 38 mm. Quando foram aplicados os tratamentos em pós-semeadura (15/12/12), embora o interior da camada arável do solo ainda estivesse úmido, a superfície exposta estava praticamente seca, pois tinha ocorrido apenas uma precipitação de 3 mm no dia anterior. A partir de então transcorreram 15 dias antes da ocorrência de novo período com chuvas intensas. Nos tratamentos em que as uréias foram aplicadas de forma parcelada, a primeira cobertura foi realizada em 03/01/12 e a segunda em 17/01/12, ambas em meio a um período em que ocorreram chuvas significativas e freqüentes.

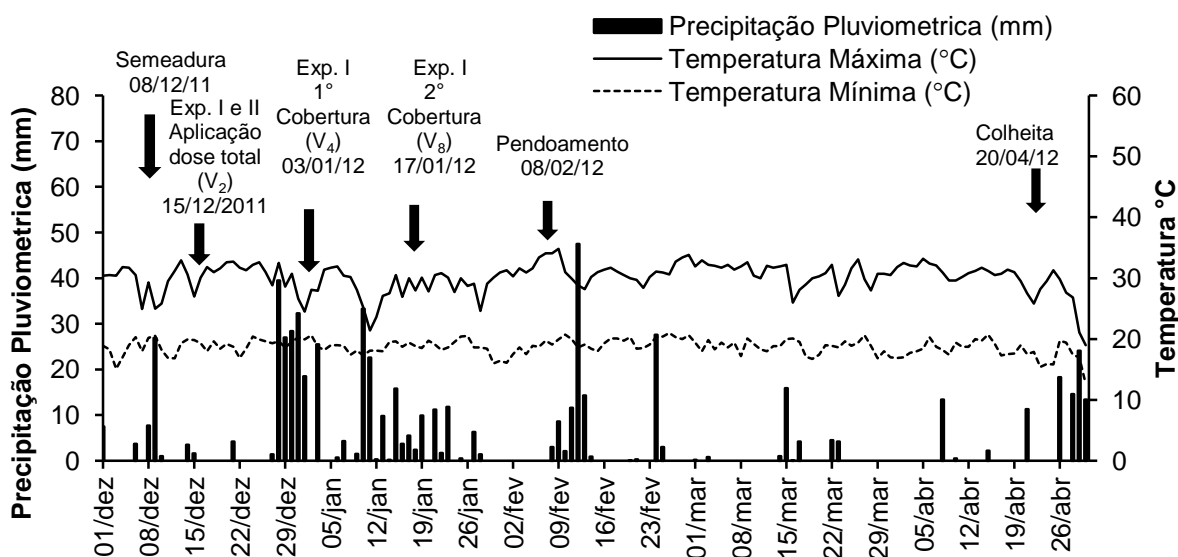


Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm), temperaturas (°C) máximas e mínimas diárias ocorridas no período de dezembro de 2011 a abril de 2012, na área experimental, acompanhadas da indicação das datas de semeadura, aplicação dos tratamentos, pendoamento e colheita. Jaboticabal (SP), 2012.

3.3. Caracterização química do solo

O solo da área experimental é um Latossolo vermelho eutrófico, textura argilosa, A moderado, caulinitico, hipoférrico, de relevo suave ondulado (ANDRIOLI; CENTURION, 1999).

Antes da instalação do experimento fez-se amostragem de solo para caracterização química e textural da área nas profundidades de 0 a 20 cm. As análises químicas foram conforme metodologias descritas por (RAIJ et al., 2001) e as texturais conforme descrito em (CAMARGO et al., 1986).

As características químicas e texturais do solo encontram-se na Tabela 1 e 2 respectivamente.

Tabela 1. Resultados da análise química do solo antes da instalação do experimento.

Prof. cm	pH CaCl ₂	P resina mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	M.O	V
			----- mmolc dm ⁻³						g dm ⁻³	%
0-20	5,6	74	4,7	45	30	31	79,7	110,7	25	72

Tabela 2. Análise granulométrica do solo onde foi instalado o experimento.

Prof. cm	Argila	Limo	Areia		Classe Textural
			Fina	Grosso	
0 – 20	592	161	136	111	Argilosa

3.4. Instalação dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos sob sistema plantio convencional em área anteriormente ocupada com a cultura do milho, devido a falta de área existente para o sistema de plantio direto estabilizada na fazenda experimental da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal. Nos dias que antecederam a semeadura foi realizado o preparo do solo, que se constatou de gradagem pesada e, ainda, de uma gradagem de nivelamento. Com base na análise de solo não foi necessário realizar aplicação de calcário, visto que a porcentagem da saturação por base estava conforme a recomendação (70%) (RAIJ; CANTARELLA, 1997).

Com base nos atributos químicos do solo a adubação foi realizada de acordo com Boletim Técnico 100 para a produtividade esperada de 10-12 t ha⁻¹ (RAIJ; CANTARELLA, 1997). A adubação de semeadura foi constituída por 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de K₂O, na forma de fosfato monoamônio (48% P₂O₅ e 9% N) e cloreto de potássio (58% de K₂O). A adubação nitrogenada foi realizada de acordo com a recomendação, sendo 170 kg ha⁻¹ de N distribuídos em diferentes estádios fenológicos da cultura milho, respectivamente.

No dia 08 de dezembro de 2011 fez-se a semeadura do milho híbrido simples DKB 390, realizada mecanicamente, à profundidade de cinco centímetros, objetivando estande final de 60.000 plantas por hectare. As parcelas foram constituídas por cinco linhas de 5 m de comprimento, com espaçamento de 0,90 m entre linhas, com a área útil correspondendo às três linhas centrais, e descartando 1 metro de bordadura nas extremidades.

3.5. Delineamento experimental e Caracterização dos tratamentos

3.5.1. Experimento I

No experimento I, o delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2 + 1$, os tratamentos foram constituídos pela combinação de duas fontes de uréia [convencional (46% de N) e revestida com polímeros (41% de N), Kimcoat N[®] (Kimberlit: Olimpia-SP)], dois modos de aplicação (em linha e a lanço) e duas épocas de aplicação (total em pós-semeadura no estádio V_2 e aplicação parcelada nos estádios $V_2 + V_4 + V_8$), bem como um controle (sem N), perfazendo 9 tratamentos que, foram instalados em quatro repetições. Nos tratamentos com aplicação total foram aplicados $170 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ no estádio V_2 . Nos tratamentos parcelados foram aplicados $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ no estádio V_2 e posteriormente foi realizado as 2 aplicações de coberturas, sendo a primeira no estádio V_4 na dose de $70 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, e a segunda no estádio V_8 com a dose de $70 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$. As aplicações foram feitas em linha, a uma distância de 20 cm do colmo das plantas de milho, ou a lanço, ambas sem incorporação (Tabela 3).

Tabela 3. Valores referentes às fontes de fertilizantes, modos e épocas que foram aplicados.

TRATAMENTOS	DOSES		
	Estádio Fenológico V_2	Estádio Fenológico V_4	Estádio Fenológico V_8
	----- $\text{kg ha}^{-1} \text{ N}$ -----		
T ₁ – Comum/Lanço/Pós-semeadura	170	00	00
T ₂ – Comum/Lanço/Parcelado	30	70	70
T ₃ – Comum/Linha/Pós-semeadura	170	00	00
T ₄ – Comum/Linha/Parcelado	30	70	70
T ₅ – Polimerizado/Lanço/Pós-semeadura	170	00	00
T ₆ – Polimerizado/Lanço/Parcelado	30	70	70
T ₇ – Polimerizado/Linha/Pós-semeadura	170	00	00
T ₈ – Polimerizado/Linha/Parcelado	30	70	70
T ₉ – Controle (sem uréia)	00	00	00

3.5.2. Experimento II

No experimento II, o delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2x5+1, os tratamentos foram constituídos pela combinação de duas fontes de uréia [convencional (46% de N) e revestida com polímeros (41% de N), Kimcoat N[®] (Kimberlit: Olimpia-SP)] e cinco doses de nitrogênio (75; 122,5; 170; 217,5 e 265 kg ha⁻¹ N), que foram aplicados no estágio V₂, a lanço sem incorporação, bem como um controle (sem N), perfazendo 11 tratamentos que, foram instalados em quatro repetições (Tabela 4).

Tabela 4. Valores referentes fontes de fertilizantes e doses.

TRATAMENTOS	DOSES
	Estádio Fenológico V ₂
	----- kg ha ⁻¹ N -----
T ₁ – Comum/Lanço	75
T ₂ – Comum/Lanço	122,5
T ₃ – Comum/Lanço	170
T ₄ – Comum/Lanço	237,5
T ₅ – Comum/Lanço	265
T ₆ – Polimerizado/Lanço	75
T ₇ – Polimerizado/Lanço	122,5
T ₈ – Polimerizado/Lanço	170
T ₉ – Polimerizado/Lanço	217,5
T ₁₀ – Polimerizado/Lanço	265
T ₁₁ – Controle (sem adubação)	00

3.6. Condução dos experimentos

O controle de plantas daninhas foi realizado, através da utilização do herbicida pós-emergente atrazine + tembotriona (2,5 l ha⁻¹ + 250 ml ha⁻¹ i.a respectivamente), aplicado através de pulverizador tratorizado após a semeadura. Devido o híbrido do milho utilizado no proveniente experimento possuir a biotecnologia de transgenia *Bt*, que confere ao milho resistência ao ataque dos seus principais insetos praga, não houve a necessidade de aplicação de inseticidas.

3.7. Avaliações dos experimentos

3.7.1. Diagnose foliar nitrogenada

A diagnose foliar foi realizada para a avaliação do estado nutricional das plantas em relação ao teor de nitrogênio. Foi coletado por ocasião do florescimento feminino, o terço central de 8 folhas da base da espiga principal na área útil da parcela. As amostras foram lavadas com água deionizada. Em seguida, foram colocadas em estufa com circulação forçada de ar e mantida a 65°C até obtenção da massa seca constante. Após secas, as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey e determinado o teor de N, adotando-se os critérios sugeridos por MALAVOLTA et al., (1997).

3.7.2. Altura de plantas

A altura de cinco plantas da área útil de cada parcela foi determinada no estágio de maturação fisiológica do milho, utilizando-se de trena graduada em centímetros, medindo-se desde o nível do solo até a inserção da folha bandeira.

3.7.3. Altura de inserção da primeira espiga

A altura de inserção da espiga de cinco plantas da área útil de cada parcela foi determinada no estágio de maturação fisiológica do milho, utilizando-se de trena graduada em centímetros, medindo-se desde o nível do solo até o ponto de inserção da primeira espiga,

3.7.4. Diâmetro do colmo

O diâmetro do colmo de cinco plantas da área útil de cada parcela foi determinado no estágio de maturação fisiológica do milho, utilizando-se um paquímetro, medindo a 20 centímetros do nível do solo.

3.7.5. Massa de cem grãos

Após a trilha das espigas, foi separada uma porção de aproximadamente 500 gramas de grãos, onde foi determinada a média da somatória das pesagens de quatro sub-amostras de cem grãos, com dados expressos em gramas, corrigidos para 13% de teor de umidade.

3.7.6. Produção de massa seca da parte aérea total

Foram coletadas, no estágio de maturação fisiológica do milho, cinco plantas por parcela, as quais foram separadas em folha, colmo, palha da espiga, sabugo e grão. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa a 65 °C até peso constante e posteriormente para estimativa da produção de matéria seca (M.S.P.A.T), após secagem, os valores de massa secas obtidos foram transformados em kg ha⁻¹.

3.7.7. Teor de nitrogênio e nitrogênio acumulado na parte aérea da matéria seca

O material utilizado para determinação da matéria seca foi submetido à análise para determinação dos teores de N, segundo os métodos descritos por MALAVOLTA et al., (1997). Foi utilizado folhas, palha da espiga, colmo, pendão ou inflorescência masculina e sabugo. O N acumulado foi estimado pela multiplicação do teor N na MS e da produção estimada de MS por área.

3.7.8. Teor de nitrogênio e nitrogênio acumulado nos grãos

Amostras dos grãos de cada parcela foram coletadas e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C, moídas e posteriormente analisadas para determinação dos teores de N nos grãos, adotando-se os critérios sugeridos por MALAVOLTA et al., (1997). O N acumulado foi estimado pela multiplicação do teor N nos grãos e da produção estimada de grãos por área.

3.7.9. Teor de proteína bruta nos grãos (%)

Após a secagem em estufa de ventilação dos grãos e da análise do teor de N, segundo MALAVOLTA et al., (1997). O conteúdo percentual de nitrogênio foi então, multiplicado por 6,25 (AOAC, 1990) de modo a obter o valor correspondente ao teor de proteína bruta em porcentagem.

3.7.10. Acúmulo total de nitrogênio

O acúmulo total de nitrogênio foi estimado pela soma do acúmulo de nitrogênio na massa seca da parte aérea com o acúmulo de nitrogênio nos grãos.

3.7.11. Produtividade de grãos

Para a variável produtividade, foram colhidas as espigas das três linhas centrais, descartando um metro de cada extremidade da parcela experimental, após o momento em que a cultura atingiu o ponto de colheita e o teor de umidade próximo de 18%. As espigas foram trilhadas em seguida os grãos foram pesados em balança digital de precisão. Dos grãos trilhados, retirou-se uma amostra para determinação do teor de água de cada parcela, que foi obtido pelo método da estufa a 105°C por 24 horas. A produtividade de grãos foi transformada em kg ha⁻¹, corrigindo-se para 13% de umidade.

3.7.12. Índice de colheita

Relação entre a produção de matéria seca de grãos e a produção de matéria seca total da parte aérea. Foram coletados cinco plantas por tratamento. Após a colheita foi determinado a produção das plantas, bem como, a determinação da matéria seca total dessas plantas para o cálculo do IC (índice de colheita), através da equação:

$$\text{IC}(\%) = \text{Produção de grãos (t ha}^{-1}\text{)} / \text{MStotal (t ha}^{-1}\text{)} \times 100$$

onde,

IC = índice de colheita;

MS = peso de matéria seca total da planta + grãos + sabugos

3.8. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, pelo teste F. Nos tratamentos qualitativos as médias foram comparadas pelo teste Tukey (5%) e nos tratamentos quantitativos (doses) os dados foram submetidos à regressão polinomial. As análises estatísticas foram processadas utilizando-se o programa AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados do experimento I

Conforme os resultados apresentados na Tabela 5, a altura da planta, a altura da inserção da espiga e o diâmetro do colmo não foram influenciados pelas fontes de N, modos e épocas de aplicação.

Tabela 5. Médias da altura da planta (A.P), da altura da inserção da espiga (A.I.E), do diâmetro de colmo (D.C), do teor de N na massa seca parte aérea (T.N.M.S.P.A) e do teor de N nos grãos (T.N.G) da cultura do milho em função das fontes, modos e épocas de aplicação do N.

TRATAMENTOS	A.P	A.I.E	D.C	T.N.M.S.P.A	T.N.G
	M	m	cm	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Fontes de N (F)					
Uréia Comum	2,36a	1,39a	2,25a	14a	13a
Uréia Revestida	2,35a	1,38a	2,24a	14a	13a
Modos de aplicação (M)					
Lanço	2,36a	1,38a	2,26a	14a	13a
Linha	2,35a	1,39a	2,24a	14a	13a
Épocas de aplicação (E)					
Pós-semeadura (V ₂) ⁽¹⁾	2,36a	1,40a	2,25a	14a	13a
Parcelado (V ₂ + V ₄ + V ₈) ⁽²⁾	2,36a	1,37a	2,24a	14a	13a
D.M.S (5%)	0,030	0,039	0,056	0,852	0,443
Média do fatorial	2,36a	1,38a	2,25a	14a	13a
Média do controle	2,32a	1,37a	2,09b	11b	12b
Média geral	2,35	1,38	2,23	13	13
Fontes de variação					
Fonte (F)	0,08 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,00 ^{ns}	2,14 ^{ns}
Modo (M)	0,91 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Época (E)	0,00 ^{ns}	1,49 ^{ns}	0,10 ^{ns}	3,90 ^{ns}	0,97 ^{ns}
Interação F x M	1,87 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Interação F x E	0,08 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,38 ^{ns}
Interação M x E	0,91 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Interação F x M x E	0,14 ^{ns}	0,10 ^{ns}	5,44 [*]	0,05 ^{ns}	0,36 ^{ns}
Controle x Fatorial	2,44 ^{ns}	0,20 ^{ns}	14,76 ^{**}	15,54 ^{**}	12,65 ^{**}
CV (%)	1,80	3,96	3,45	8,46	4,63

Médias dos tratamentos (na coluna) seguidas da mesma letra, não diferem entre si, pelo teste Tukey (p<0,05); ** = Teste F significativo a p<0,01; * = Teste F significativo a p<0,05 e ^{ns} = Não significativo pelo teste F (p>0,05); ⁽¹⁾ Pós-semeadura = aplicação de 170 kg ha⁻¹ N no estágio V₂, no meio de um período sem chuva; ⁽²⁾ Parcelado = aplicação de 30 kg ha⁻¹ N no estágio V₂ em solo seco, 70 kg ha⁻¹ N no estágio V₄ e 70 kg ha⁻¹ N no estágio V₈, ambas em período chuvoso.

No entanto, o diâmetro do colmo das plantas apresentou interação tripla significativa ($p < 0,05$) para fontes de N, modos e épocas de aplicações (Tabela 5). Entretanto, esse tipo de interação é difícil de ser analisado.

As fontes de N testadas nos modos e nas épocas de aplicação não interferiram no teor de N na massa seca e no teor de N nos grãos (Tabela 5). O tratamento controle foi o que teve o menor teor de N na massa seca da parte aérea e nos grãos (Tabela 5).

Não se observou diferença significativa ($p > 0,05$) entre as fontes de N, modos e épocas de aplicação, no teor de N foliar, na matéria seca total e no índice colheita (Tabela 6). O modo de aplicação em linha induziu um pequeno aumento apenas na massa de cem grãos. O uso da fonte de N convencional viabilizou aumento na produção de massa seca da parte aérea. A aplicação parcelada possibilitou a obtenção de produtividade 5% mais elevada em relação à aplicação total em pós-semeadura (Tabela 6).

Embora o teor de N foliar não tenha sido afetado de forma independente pelas fontes, modos e épocas de aplicação da uréia (Tabela 6), foi observada interação significativa entre modo e época de aplicação (Tabela 6). Analisando os dados dessa interação (Tabela 7), observou-se que as fontes nitrogenadas, quando aplicadas a lanço, proporcionaram maior teor de N foliar quando fornecida no estágio V₂. Por sua vez, o parcelamento do N aplicado a lanço induziu menor teor de N foliar quando comparado à aplicação em linha.

Deve ser destacado que durante o desenvolvimento dos experimentos a temperatura ambiente permaneceu relativamente elevada (mínima de 25°C e máxima de 40°C) que, associada com chuvas bastante intensas (Figura 1), deve ter favorecido as perdas de nitrogênio do solo. Essa situação é o que deve ter favorecido a resposta do milho à adubação parcelada em detrimento às aplicações em dose única (pós-semeadura - V₂), pois já se sabe que essas são as condições favoráveis às perdas, nas quais o parcelamento da adubação nitrogenada é recomendado (LARA CABEZAS et al., 2005). De qualquer maneira, os teores de N nas folhas permaneceram dentro da faixa considerada adequada para cultura do milho, que é de 27-35 g kg⁻¹ (CANTARELLA et al., 1997), mesmo na ausência da adubação nitrogenada (tratamento controle).

Tabela 6. Médias do teor de N foliar (T.N.F), da massa de cem grãos (M.C.G), da massa seca da parte aérea (M.S.P.A), de produtividade de grãos (P.G), da massa seca total e do índice de colheita (I.C) da cultura do milho em função das fontes, modos e épocas de aplicação do N.

TRATAMENTOS	T.N.F	M.C.G	M.S.P.A	P.G	M.S.T	I.C
	g kg ⁻¹	g	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%
Fontes de N (F)						
Uréia Comum	32a	38a	8.799a	8.401a	17.200a	48a
Uréia Revestida	32a	37a	8.371b	8.518a	16.890a	50a
Modos de aplicação (M)						
Lanço	32a	37b	8.629a	8.420a	17.050a	49a
Linha	32a	38a	8.541a	8.498a	17.040a	49a
Épocas de aplicação (E)						
Pós-semeadura (V ₂) ⁽¹⁾	32a	37a	8.527a	8.238b	16.766a	49a
Parcelado (V ₂ + V ₄ + V ₈) ⁽²⁾	31a	37a	8.643a	8.680a	17.324a	50a
D.M.S (5%)	1,34	0,74	402	364	563	1,72
Média do fatorial	32a	37a	8.585a	8.459a	17.045a	49a
Média do controle	31a	37a	8.492a	7.459b	15.952a	46a
Média geral	32	37	8.575	8.348	16.923	49
Fontes de variação						
Fonte (F)	0,17 ^{ns}	2,64 ^{ns}	4,75 ^{**}	0,43 ^{ns}	0,85 ^{ns}	3,58 ^{ns}
Modo (M)	0,45 ^{ns}	10,62 ^{**}	0,20 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,27 ^{ns}
Época (E)	3,57 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,35 ^{ns}	6,21 [*]	2,77 ^{ns}	1,54 ^{ns}
Interação F x M	0,57 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Interação F x E	0,15 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Interação M x E	6,48 [*]	1,33 ^{ns}	0,02 ^{ns}	3,51 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,02 ^{ns}
Interação F x M x E	0,00 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Controle x Fatorial	3,28 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,10 ^{ns}	14,12 ^{**}	4,72 ^{ns}	5,13 ^{ns}
CV (%)	5,75	2,75	6,47	6,01	5,61	4,81

Médias dos tratamentos (na coluna) seguidas da mesma letra, não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p < 0,05$); ** = Teste F significativo a $p < 0,01$; * = Teste F significativo a $p < 0,05$ e ^{ns} = Não significativo pelo teste F ($p > 0,05$); ⁽¹⁾ Pós-semeadura = aplicação de 170 kg ha⁻¹ N no estádio V₂, no meio de um período sem chuva; ⁽²⁾ Parcelado = aplicação de 30 kg ha⁻¹ N no estádio V₂ em solo seco, 70 kg ha⁻¹ N no estádio V₄ e 70 kg ha⁻¹ N no estádio V₈, ambas em período chuvoso.

Tabela 7. Desdobramento da interação dos modos de aplicações x épocas de aplicações referente ao teor de N foliar do milho, no ano agrícola 2011/2012.

Modo de aplicação	Época de aplicação	
	Pós-semeadura (V ₂) ⁽¹⁾	Parcelado (V ₂ + V ₄ + V ₈) ⁽²⁾
Teor de N foliar (g kg ⁻¹)		
Lanço	33,58 aA	30,67 bB
Linha	32,35 aA	32,78 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam as médias dentro das colunas e, maiúsculas, dentro das linhas; ⁽¹⁾ Pós-semeadura = aplicação de 170 kg ha⁻¹ N no estádio V₂, no meio de um período sem chuva; ⁽²⁾ Parcelado = aplicação de 30 kg ha⁻¹ N no estádio V₂ em solo seco, 70 kg ha⁻¹ N no estádio V₄ e 70 kg ha⁻¹ N no estádio V₈, ambas em período chuvoso.

O teor de proteína nos grãos, o acúmulo de N na massa seca, o acúmulo de N nos grãos e o acúmulo de N total são apresentadas na Tabela 8. Análise desses resultados revela que ocorreram diferenças significativas ($p > 0,05$) no teor de proteína nos grãos nos modos e épocas de aplicação e tampouco no uso das fontes de N (Tabela 8). Analisando o acúmulo de nitrogênio nas plantas (Tabela 8), verifica-se que ocorreu equiparação nas médias das fontes testadas e dos modos de aplicação. No entanto, observa-se que a aplicação do N parcelado proporcionou maior acúmulo de N na planta do que a aplicação no estádio V_2 (Tabela 8).

Tabela 8. Médias do teor de proteínas nos grãos (T.P.G), do acúmulo de N na massa seca da parte aérea (A.N.M.S), do acúmulo de N no grãos (A.N.G) e do acúmulo de N total (A.N.T) da cultura do milho em função das fontes, modos e épocas de aplicação do N.

TRATAMENTOS	T.P.G	A.N.M.S.P.A	A.N.G	A.N.T
	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
Fontes de N (F)				
Uréia Comum	12a	124a	110a	234a
Uréia Revestida	12a	118a	114a	233a
Modos de aplicação (M)				
Lanço	12a	121a	111a	232a
Linha	12a	121a	113a	235a
Épocas de aplicação (E)				
Pós-semeadura (V_2) ⁽¹⁾	12a	117a	108b	225b
Parcelado ($V_2 + V_4 + V_8$) ⁽²⁾	12a	125a	116a	242a
D.M.S (5%)	0,444	9,41	6,35	13
Média do fatorial	12a	121a	112a	234a
Média do controle	11b	100b	90b	190b
Média geral	12	118	110	229
Fontes de variação				
Fonte (F)	0,52 ^{ns}	1,75 ^{ns}	1,88 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Modo (M)	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Época (E)	0,82 ^{ns}	3,48 ^{ns}	6,26 [*]	6,77 [*]
Interação F x M	0,29 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Interação F x E	0,03 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,99 ^{ns}
Interação M x E	0,13 ^{ns}	0,10 ^{ns}	2,61 ^{ns}	1,11 ^{ns}
Interação F x M x E	0,53 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Controle x Fatorial	12,18 ^{**}	9,62 ^{**}	22,56 ^{**}	21,04 ^{**}
CV (%)	4,96	10,90	7,95	7,76

Médias dos tratamentos (na coluna) seguidas da mesma letra, não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p < 0,05$); ** = Teste F significativo a $p < 0,01$; * = Teste F significativo a $p < 0,05$ e ^{ns} = Não significativo pelo teste F ($p > 0,05$); ⁽¹⁾ Pós-semeadura = aplicação de 170 kg ha⁻¹ N no estádio V_2 , no meio de um período sem chuva; ⁽²⁾ Parcelado = aplicação de 30 kg ha⁻¹ N no estádio V_2 em solo seco, 70 kg ha⁻¹ N no estádio V_4 e 70 kg ha⁻¹ N no estádio V_8 , ambas em período chuvoso.

4.2. Resultados do experimento II

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 9, observou-se que não houve influência das fontes de N e nem das doses sobre a altura de planta, altura de inserção de espiga e do diâmetro do colmo.

Em relação à altura de planta, de inserção de espiga e de diâmetro de colmo pode-se constatar que em ambos os experimentos as plantas não encontraram restrições para seu pleno desenvolvimento, pois as médias obtidas nos diferentes tratamentos ficaram dentro do esperado para o genótipo DKB 390 (VAZQUEZ, et al., 2012). Estas características podem ser altamente influenciadas pelo genótipo (MEIRA et al., 2009), sendo essas características dependentes não só da genética, como também das práticas de manejo e condições climáticas (GERAGE, 1991), dentre as quais se destaca a disponibilidade hídrica.

O teor de N na massa seca da parte aérea e o teor de N nos grãos para fontes de N não diferiram entre si. Embora os valores de N não tenham diferido em função das fontes avaliadas, verificou-se influência de doses de N para teor de N da massa seca da parte aérea e do teor de N nos grãos (Tabela 9). Como este fator é quantitativo, foi realizada análise de regressão, cujos resultados estão representados nas Figuras 2 e 3.

Os teores de nitrogênio apresentados na massa seca da parte área e nos grãos de milho apresentaram pequena variação em ambos os experimentos (Tabela 5 e 9), sendo os teores de N nos grãos menores que os encontrados na literatura (VILLAS BÔAS et al., 1999, ARAÚJO et al., 2004 e MEIRA et al., 2009)

Tabela 9. Médias da altura da planta (A.P), da altura da inserção da espiga (A.I.E), do diâmetro do colmo (D.M), do teor de N na massa seca da parte aérea (T.N.M.S.P.A) e do teor de N nos grãos (T.N.G) da cultura do milho em função das fontes e doses de aplicação de N.

TRATAMENTOS	A.P	A.I.E	D.M	T.N.M.S.P.A	T.N.G
	m	m	cm	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Fontes de N (F)					
Uréia Comum	2,33a	1,36a	2,27a	11a	13a
Uréia Revestida	2,34a	1,36a	2,26a	11a	13a
D.M.S (5%)	0,035	0,033	0,044	0,91	0,281
Doses de N (kg ha⁻¹) (D)					
75	2,32	1,33	2,26	10	13
122,5	2,33	1,36	2,25	11	13
170	2,31	1,37	2,22	11	13
217,5	2,35	1,36	2,27	12	13
265	2,37	1,38	2,28	13	14
D.M.S (5%)	0,079	0,074	0,098	2,05	0,631
Média do fatorial	2,33a	1,36a	2,26a	12a	13a
Média do Controle	2,25b	1,33a	2,21a	10a	12b
Média geral	2,33	1,36	2,26	11,70	13,59
Fontes de variação					
Fontes (F)	0,53 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,02 ^{ns}	2,86 ^{ns}
Doses (D)	1,53 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,24 ^{ns}	3,86 [*]	3,84 [*]
Interação F x D	0,40 ^{ns}	0,28 ^{ns}	1,55 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,53 ^{ns}
Controle x Fatorial	9,75 ^{**}	1,09 ^{ns}	2,30 ^{ns}	1,67 ^{ns}	25,66 ^{**}
CV (%)	2,33	3,77	3,00	12,07	3,20

Médias dos tratamentos (na coluna) seguidas da mesma letra, não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p < 0,05$); ** = Teste F significativo a $p < 0,01$; * = Teste F significativo a $p < 0,05$ e ns = Não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

O teor de N na massa seca da parte aérea se ajustou a uma função linear, quando se usou a uréia revestida e a uréia convencional, alcançado o valor expressivo na dose de 265 kg ha⁻¹ de N (Figura 2).

Com relação ao teor de N nos grãos, verifica-se que nas duas fontes de N houve aumento linear com o incremento da adubação nitrogenada até na dose de 265 kg ha⁻¹ de N (Figura 3).

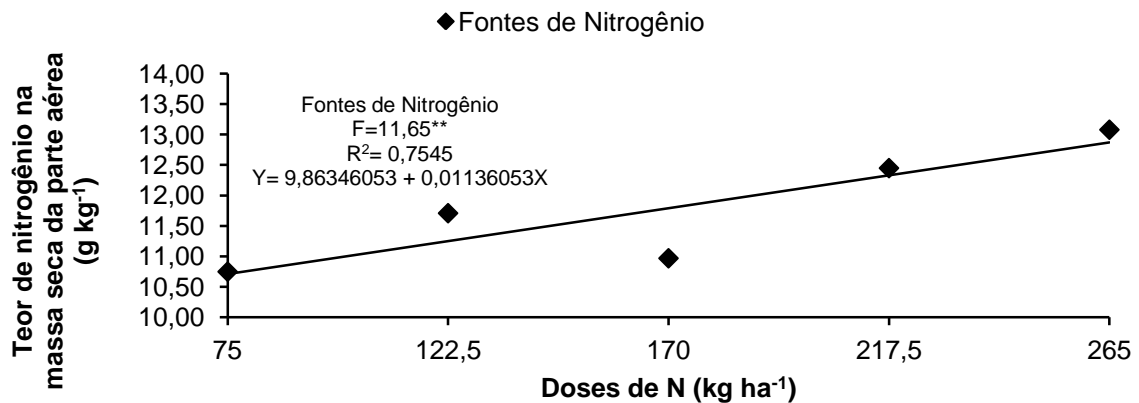


Figura 2. Teor de N na massa seca da parte aérea em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicados de uma vez a lanço, no estágio V₂.

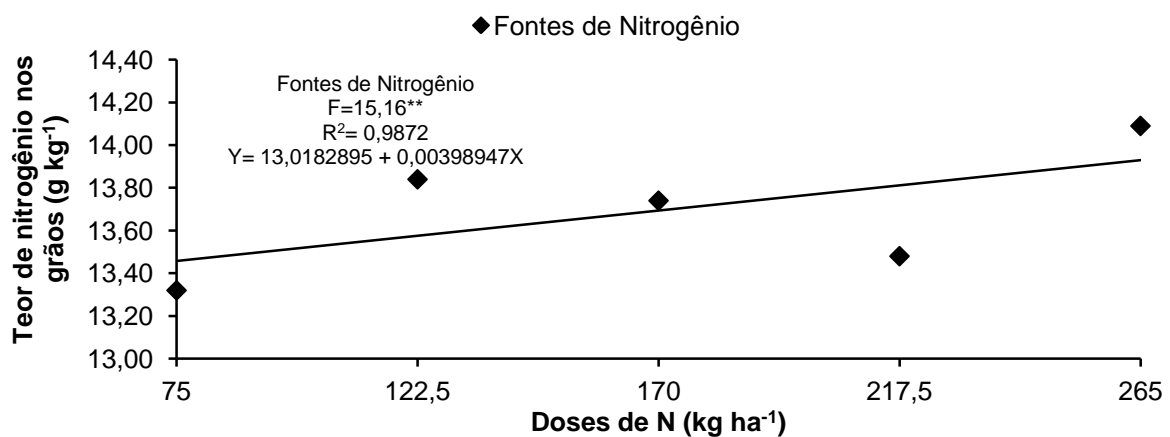


Figura 3. Teor de N nos grãos em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicados de uma vez, a lanço, no estágio V₂.

Ao se avaliar a influência de fontes de N quando fornecidas sob diferentes doses de N, aplicados a lanço no estágio V₂, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 10. A análise de tais dados revela que o teor de N foliar e a massa de cem grãos não foram influenciados pelas fontes de N, enquanto que a massa seca da parte aérea, a produtividade de grãos, a massa seca total e o índice colheita foram maiores quando as plantas foram adubadas com uréia revestida com polímeros (Tabela 10). Nessa tabela pode-se verificar que as doses não influenciaram o teor de N foliar, a massa seca, a massa seca total e nem o índice

colheita. Os efeitos das doses sobre a produtividade de grãos e a massa de cem grãos podem ser observados nas figuras 4 e 5, respectivamente.

Os resultados apresentados nas Tabelas 6 e 10, referentes à quantidade de massa seca da parte aérea, demonstram que no experimento I não houve influência da fonte revestida, enquanto no experimento II que a uréia revestida foi melhor. Uma vez que os dois experimentos foram conduzidos simultaneamente, a única explicação para essa diferença se deve às diferentes épocas de aplicação e às condições ambientais específicas reinantes no momento de cada aplicação.

Tabela 10. Médias do N foliar (N.F), da massa de cem grãos (M.C.G), da massa seca da parte aérea (M.S.P.A), de produtividade de grãos (P.G), da massa seca total (M.S.T) e do índice colheita (I.C) da cultura do milho em função das fontes e doses de N.

TRATAMENTOS	T.N.F	M.C.G	M.S.P.A	P.G	M.S.T	I.C
	g kg ⁻¹	g	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%
Fonte de N (F)						
Uréia Comum	34a	38a	17.100b	8.534b	17.100b	49b
Uréia Revestida	35a	39a	17.664a	9.124a	17.664a	51a
D.M.S (5%)	1,15	0,58	510	347	510	1,50
Doses de N (kg ha⁻¹) (D)						
75	34	38	16.544	8.252	16.544	49
122,5	35	38	17.413	8.778	17.413	50
170	35	38	15.412	8.919	15.412	51
217,5	34	38	17.591	8.991	17.591	51
265	35	40	17.948	9.208	17.948	51
D.M.S (5%)	2,58	1,31	1.180	779	1.180	3,64
Média do fatorial	34a	38a	17.381a	8.829a	17.381a	50a
Média do Controle	30b	37b	15.371b	7.231b	15.371b	47b
Média geral	34	38	17.199	8.684	17.199	50
Fontes de variação						
Fontes (F)	4,05 ^{ns}	3,65 ^{ns}	5,05 ^{**}	12,04 ^{**}	5,05 [*]	5,76 ^{**}
Doses (D)	1,01 ^{ns}	4,88 ^{**}	3,39 ^{ns}	3,55 [*]	3,39 ^{ns}	0,53 ^{ns}
Interação F x D	1,01 ^{ns}	1,75 ^{ns}	1,60 ^{ns}	1,38 ^{ns}	1,60 ^{ns}	1,24 ^{ns}
Controle x Fatorial	25,08 ^{**}	3,35 ^{**}	23,37 ^{**}	32,15 ^{**}	23,37 ^{**}	9,23 ^{**}
CV (%)	5,16	2,36	4,61	6,19	4,61	4,64

Médias dos tratamentos (na coluna) seguidas da mesma letra, não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p < 0,05$); ** = Teste F significativo a $p < 0,01$; * = Teste F significativo a $p < 0,05$ e ns = Não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

A amplitude de variação do índice colheita no experimento I e II foi relativamente pequena (Tabela 6 e 10) e os valores obtidos para essa variável

ficaram próximos da faixa adequada para o milho e obtidos por outros autores, quando trabalhando em condições similares (DEMETRIO et al., 2008).

Ocorreu um aumento linear da produtividade com crescentes doses da uréia revestida com polímero, o que não ocorreu com o uso da uréia comum (Figura 4), quando ambas foram aplicadas em área total, a lanço, em um período praticamente sem chuvas significativas (Figura 1).

Os resultados também revelaram que a aplicação de fontes de N, também induziu maior massa de cem grãos, com uma resposta que se ajustou numa equação quadrática que possui um ponto de mínimo na dose de 146 kg ha^{-1} de N, a partir da qual se observou um aumento expressivo até a dose de 265 kg ha^{-1} de N (Figura 3). Para Ulger et al. (1995) a massa de grãos é um componente que está relacionado diretamente com a produtividade de grãos e que, provavelmente, se relaciona com a maior concentração de N nas folhas, o que poderia, em parte, justificar os menores valores encontrados para massa de 100 grãos no tratamento controle.

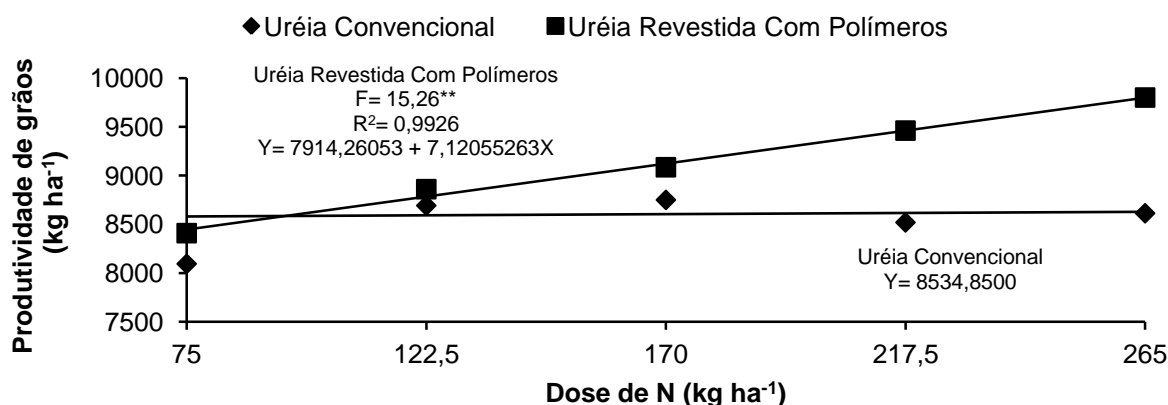


Figura 4. Produtividade de grãos de milho em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicados de uma vez a lanço, no estádio V_2 .

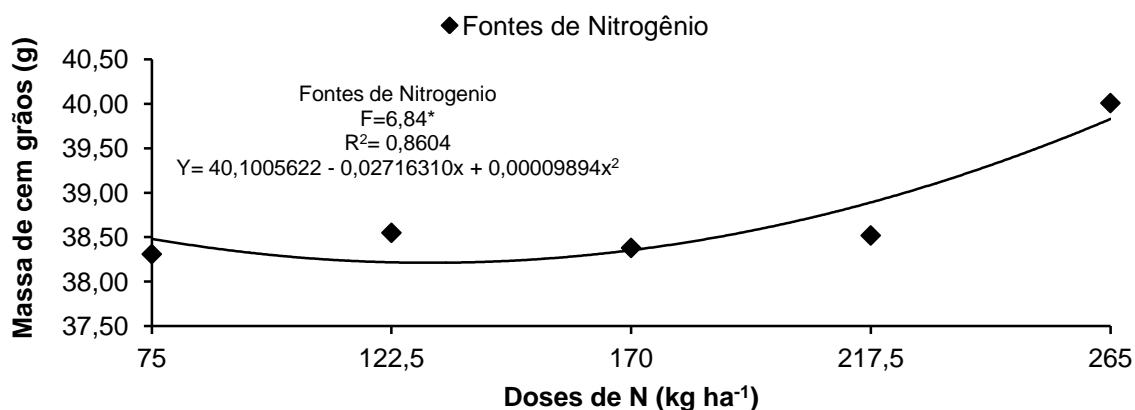


Figura 5. Massa de cem grãos de milho em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicadas de uma vez, a lanço, no estágio V₂.

Na tabela 11 são apresentados os resultados de teor de proteína nos grãos, de acúmulo de massa seca nos diferentes órgãos da planta e planta inteira de milho em função dos tratamentos. Com relação à porcentagem de proteína nos grãos, observou-se que esta foi influenciada positivamente pelo uso de uréia revestida. Para o acúmulo de N nos grãos ocorreu aumento para uréia revestida, enquanto o acúmulo de N na massa seca da parte aérea e o acúmulo de N total foram praticamente os mesmos (Tabela 11).

Houve efeito de doses de N no teor de proteínas nos grãos, no acúmulo de N na massa seca da parte aérea, no acúmulo de N nos grãos e no acúmulo de N na massa seca total das plantas de milho com resposta linear ao aumento das doses de N empregadas (Figuras 6, 7, 8 e 9).

O comportamento apresentado pela uréia comum e pela uréia revestida com polímeros no acúmulo de N na massa seca nos experimentos I e II (Tabela 8 e 11), sugere que a uréia revestida não apresentou a característica de controlada liberação, visto que durante os períodos de desenvolvimento da cultura ocorreu igual disponibilidade do nutriente ao milho.

A disponibilização dos fertilizantes de liberação controlada se realiza graças a disponibilidade de água e temperatura adequada do solo, acima 21°C, por esta provocarem a dilatação dos polímeros, promovendo aumento de sua permeabilidade. A razão pela qual a resposta de N em uréia revestida ter sido igual à uréia comum, seria a pequena proteção dos polímeros nas condições do

experimento I (Figura 1), onde reinou alta umidade e temperatura do ambiente entre 25 a 40°C, o que levou aumento da permeabilidade do polímero (CHITOLINA, 1994).

Os valores de teor de proteína e o acúmulo de N nos grãos no experimento I (Tabela 8) não foram influenciados pelos tratamentos com a aplicação parcelada proporcionando maiores acúmulo de nitrogênio nos grãos e acúmulo de nitrogênio total. A justificativa para este resultado é que a aplicação do N parcelado em cobertura possibilitou menor perda de N do solo e melhor utilização pelas plantas. Nelson et al. (2009), verificaram pouca diferença no acúmulo e absorção de N pelas plantas de milho quando foi testada uréia revestida em comparação a uréia comum. Já no experimento II (Tabela 11), foi observado que os valores de teor de proteína nos grãos e de N acumulado no tratamento com de uréia revestida com polímeros foram superiores ao uso de uréia comum.

Tabela 11. Médias do teor de proteínas nos grãos (T.P.G), do acúmulo de N na massa seca (A.N.M.S.P.A), do acúmulo de N no grãos (A.N.G) e do acúmulo de N total (A.N.T) da cultura do milho em função das fontes e doses de N.

TRATAMENTOS	T.P.G	A.N.M.S.P.A	A.N.G	A.N.T
	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
Fontes de N (F)				
Uréia Comum	12b	100a	116b	216a
Uréia Revestida	12a	100a	126a	226a
D.M.S (5%)	0,279	8,02	4,87	10,60
Doses de N (kg ha⁻¹) (D)				
75	12	88	109	198
122,5	12	100	118	219
170	12	93	122	215
217,5	12	107	124	232
265	12	114	129	244
D.M.S (5%)	0,628	18	10,94	23,82
Média do fatorial	12a	100a	120a	221a
Média do Controle	11b	87a	90b	178b
Média geral	12	99	118	217
Fontes de variação				
Fontes (F)	6,30*	0,00 ^{ns}	18,98**	3,93 ^{ns}
Doses (D)	3,91*	5,46**	7,81**	8,77**
Interação F x D	1,20 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,11 ^{ns}
Controle x Fatorial	13,77**	4,05 ^{ns}	60,14**	25,38**
CV (%)	3,49	12,47	6,38	7,53

Médias dos tratamentos (na coluna) seguidas da mesma letra, não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p < 0,05$); ** = Teste F significativo a $p < 0,01$; * = Teste F significativo a $p < 0,05$ e ns = Não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

Para o teor de proteína nos grãos, nota-se aumento linear com o incremento da adubação nitrogenada. No entanto, na média, a uréia revestida com polímeros apresentou produtividade superior a uréia comum (Figura 6).

Houve um aumento linear no acúmulo de N na massa seca da parte aérea com o aumento da dose de N. Neste caso, a maior dose foi obtida com aplicação de 265 kg ha⁻¹ de N (Figura 7). Porém, como não foi alcançado o máximo acúmulo com a maior dose de N aplicada, não se pôde determinar o intervalo entre o acúmulo máximo e mínimo. Comportamento semelhante foi observado para o teor de N na massa seca da parte aérea (Figura 2).

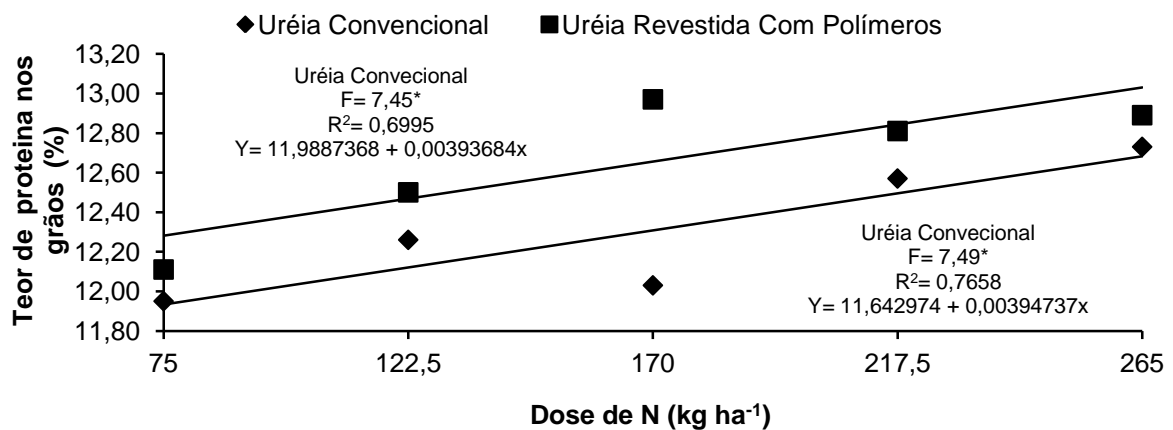


Figura 6. Teor de proteína nos grãos em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicados de uma vez a lanço, no estádio V₂.

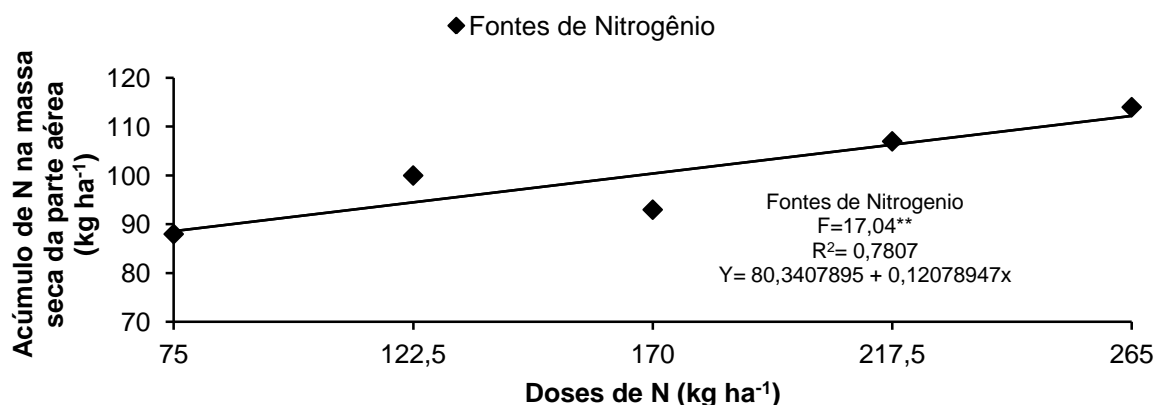


Figura 7. Acúmulo de N na massa seca da parte aérea em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicados de uma vez a lanço, no estádio V₂.

Observando o desdobramento da interação das fontes e doses de N (Figura 8), verifica-se que, embora houvesse comportamento linear para acúmulo de N nos grãos em função do aumento das doses de N, nas duas fontes de uréias, a linha da uréia revestida possui uma maior inclinação, significando que as plantas responderam melhor a essa fonte de N. As doses de N aplicadas tiveram efeitos significativos no acúmulo de N no grão de milho para fontes de N. Observa-se que neste caso, o teor de N nos grãos aumentou linearmente com a adubação nitrogenada. Isso é importante, pois, segundo VASCONCELLOS (1989), o nitrogênio influi na qualidade da produção aumentando o teor de proteína dos grãos.

Com relação ao acúmulo de N no total da parte aérea, nota-se que houve aumento linear com o incremento da adubação nitrogenada para as duas fontes testadas (Figura 9). Também foi observado comportamento semelhante para teor de N na massa seca da parte aérea e acúmulo de N na massa seca da parte aera (Figura 2 e 7)

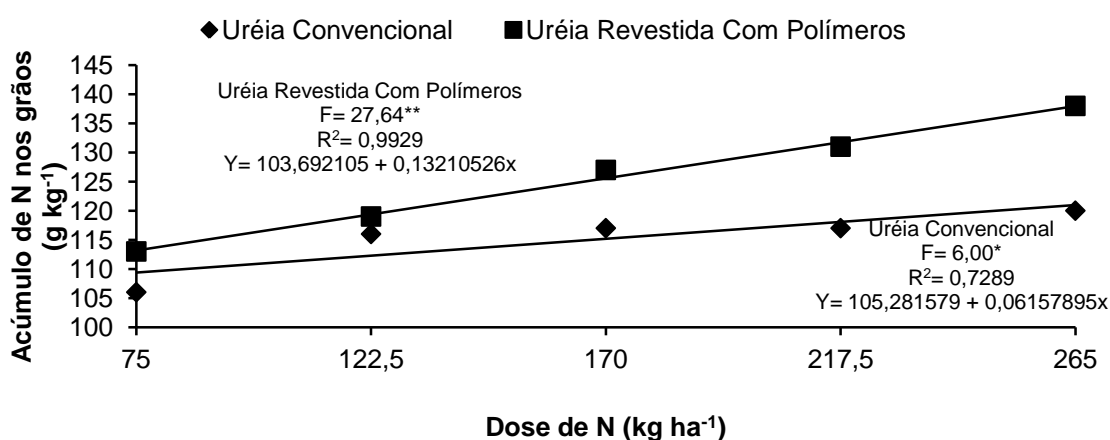


Figura 8. Acúmulo de N nos grãos em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicados de uma vez a lanço, no estádio V₂.

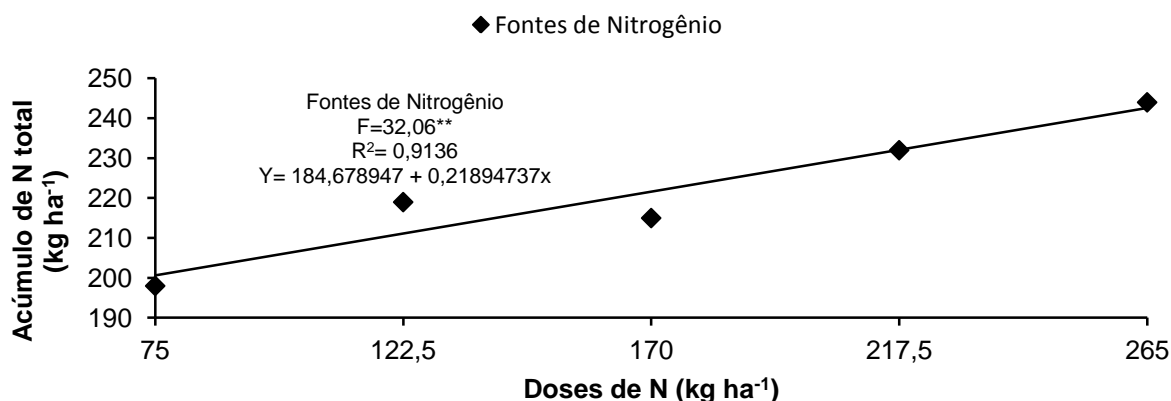


Figura 9. Efeito médio de doses sobre o acúmulo de N total em função das doses de uréia comum e uréia revestida com polímeros, quando aplicados de uma vez a lanço, no estádio V₂.

Evidencia-se que os resultados de doses crescentes de uréia se ajustaram melhor ao modelo de regressão linear crescente (Figuras 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9), indicando insuficiência das doses aplicadas, pois mesmo a maior dose não permitiu mudanças de declividade das curvas. Em razão de o modelo linear ter sido o que melhor se ajustou a máxima produtividade e acúmulos não foram obtidos com a maior dose de N (265 kg ha⁻¹ de N). Nesse caso, pode ter ocorrido alto requerimento do nutriente durante o período de desenvolvimento das plantas de milho como o suprimento de N, como já mencionado por Duete (2000), corroborando com resultados da literatura em que são relatadas respostas crescentes no acúmulo de massa seca pela cultura, em função de doses elevadas de N (AMADO et al., 2002, ARAUJO et al., 2004 e MALHI et al., 2003) e no rendimento de grãos de milho (SANGOI; ALMEIDA 1994 e ARAÚJO et al., 2004). São discordantes dos verificados por Fernandes et al. (1998) e Silva et al. (2005, 2006), que constataram ajuste quadrático para produtividade de grãos com o incremento da dose de N. A utilização de doses crescentes de uréia revestida com polímeros foi superior ao uso de uréia convencional (Figuras 4, 6 e 8), ou seja, a uréia convencional disponibilizam rapidamente o nutriente, favorecendo as perdas de N do sistema, que se acentua com as maiores doses de N

Considerando que o uso de uréia revestida com polímeros é uma alternativa preconizada para minimizar as perdas de N decorrentes de adubações de N amídico

na superfície do solo (VIEIRA; TEIXEIRA, 2008) em especial quando doses elevadas são aplicadas nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura (VLEK et al., 1980).

Esperava-se que, no experimento I, com uso da uréia revestida com polímeros induzisse maior produtividade da cultura que a uréia comum, pois, apesar de estar claro que a liberação de N da uréia revestida é aumentada com o aumento da umidade e da temperatura (FUJINUMA et al., 2009), supostamente o revestimento deveria ter retardado a liberação e a incorporação do fertilizante no solo e, assim, este estaria menos susceptível às perdas. Entretanto, os dados obtidos revelaram similaridade de comportamento dos dois tipos de uréia testados (Tabela 6).

Considerando o fato de que a uréia comum está sujeita à grandes perdas no ambiente (FAN et al., 2004, VIEIRA; TEIXEIRA, 2008, GRANT; WU, 2008, MOTAVALLI et al., 2008, NOELLSCH et al., 2009, NELSON et al., 2009, CAHILL et al., 2010 e MCKENZIE et al., 2010), o resultado similar obtido com uréia revestida sugere que esta deve ter apresentado as mesmas perdas. Se esse raciocínio está correto, a única explicação plausível é a de que o fertilizante revestido disponibilizou a uréia no ambiente mais cedo do que se esperava. Essa teoria é reforçada pelos resultados obtidos por Nelson et al. (2009) e Valderrama et al. (2011), que trabalhando em condições de irrigação, portanto com adequada umidade do solo, também não encontraram diferenças que merecessem destaque entre os fertilizantes comuns e os revestidos por polímeros. Da mesma forma, Civardi et al. (2011) também não encontraram vantagens do uso de uréia revestida por polímeros quando aplicada em cobertura, em meio a período chuvoso. Em conjunto, tais resultados sugerem que esse tipo de revestimento deve proteger o fertilizante enquanto o mesmo está depositado sobre a superfície seca do solo, mas que ocorrendo chuva ou irrigação, libera rapidamente o conteúdo interno e, a partir de então, deve se comportar como a uréia comum.

Por outro lado, no experimento II, que foi conduzido simultaneamente ao experimento I, foi observado aumento da produção de grãos quando se usou uréia revestida (Tabela 10 e Figura 4) o que, aparentemente, foi um resultado contrastante com o observado no experimento I e nos trabalhos de NELSON et al., (2009),

CIVARDI et al., (2011) e VALDERRAMA et al., (2011). Para ajudar a esclarecer esses resultados distintos, resolvemos colocar os grânulos dos dois tipos de uréia em contato com a água e observar o comportamento dos mesmos com o auxílio de microscópio estereoscópico. Como pode ser visualizada na Figura 10, a uréia do interior das camadas de polímeros se dissolveu ao mesmo tempo da uréia comum, de modo que após 4,5 minutos restava apenas a estrutura vazia das camadas de polímeros que recobriam a uréia revestida (Figura 4d).

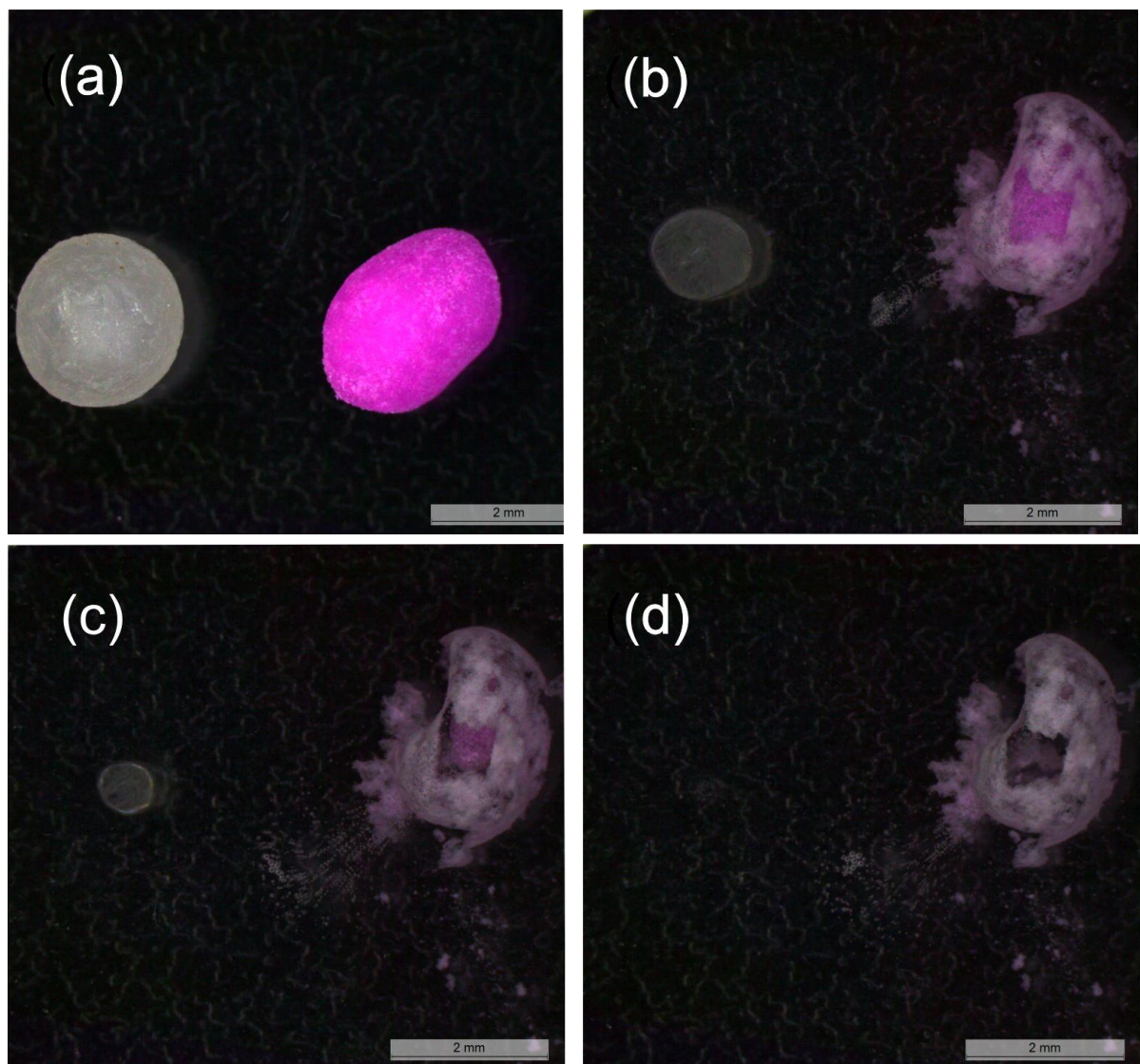


Figura 10. Fotomicrografias de grânulos de uréia: (a) Uréia comum (grânulo branco) e de uréia revestida por polímeros (grânulo cor-de-rosa), antes de tomar contato com a água; (b) Depois de decorrido o tempo de 1,5 minutos em contato com a água; (c) Depois de decorrido o tempo de 3,0 minutos em contato com a água; (d) Depois de decorrido o tempo de 4,5 minutos em contato com a água, a 25°C. Jaboticabal (SP), 2012.

A análise dos resultados dos experimentos I e II, em associação com o apresentado pelas imagens da Figura 10, sugere que o polímero deve proteger o fertilizante enquanto o mesmo está depositado sobre a superfície seca do solo, mas, ocorrendo chuva ou irrigação que capaz de manter a superfície do solo encharcada, em menos de 5 minutos todo o conteúdo interno do fertilizante revestido estaria solubilizado, à semelhança da uréia comum. Provavelmente, esse comportamento é o que tem causado resultados inconsistentes que são relatados sobre a eficiência de fertilizantes recobertos por polímeros, por isto depender das condições edafo-climáticas específicas que ocorrem imediatamente antes, durante e após a aplicação desses fertilizantes.

Tudo indica que esse tipo de fertilizante revestido pode apresentar vantagens na produtividade da cultura quando aplicado em solo seco, em cultivos sem irrigação. Nessa situação o fertilizante permaneceria praticamente intacto no interior do grânulo, ficando protegido da luz direta do sol durante o dia, bem como do aumento da umidade relativa do ar que ocorre no período noturno, até que a presença das chuvas possa induzir a liberação do fertilizante e sua incorporação no solo. Essa idéia é reforçada pelos resultados obtidos no experimento II, quando a aplicação da dose total de N, nas duas formas de uréia, foi realizada a lanço e sem incorporação no estágio V₂, o que ocorreu praticamente no meio de um período sem chuva (Figura 1).

A análise dos resultados apresentados na Tabela 10 e Figura 4, revela que naquelas condições a uréia revestida promoveu maior produtividade de grãos e de massa seca da parte aérea das plantas que com a aplicação de uréia comum, sugerindo que nessas condições específicas as perdas de N foram menores com a uréia revestida. A explicação plausível para essa diferença, quando a aplicação dos fertilizantes foi realizada em um período praticamente sem chuva, é que as camadas de polímeros em volta dos grânulos da uréia devem ter protegido o fertilizante da exposição à luz solar, calor e umidade do ar, o que deve ter retardado sua solubilização e reduzido sua exposição a mecanismos de perda até que as chuvas ocorridas cerca de duas semana após a aplicação tenham promovido liberação do fertilizante.

A partir do momento que iniciou novo período de chuvas significativas (15 dias após a aplicação) deve ter imediatamente ocorrido a incorporação da uréia no solo pela água, conforme o preconizado por MCKENZIE et al., (2010), bem como a disponibilidade do N para as plantas. Também NOELLSCH et al. (2009) observaram haver maior absorção de nitrogênio e maior produtividade de grãos para uréia revestida com polímeros, quando aplicada num período com deficiência hídrica moderada e posterior melhores condições de umidade. A elevada umidade também favorece a movimentação desse elemento no solo por fluxo de massa, bem como a absorção pelas plantas, o que também ajuda a explicar o melhor desempenho da uréia revestida, nas condições em que foi aplicada nesse experimento II.

Como se observa nos resultados do presente trabalho, o uso da uréia revestida com polímeros não proporcionaram respostas superiores em relação ao uso de uréia convencional quando as condições de umidade e temperatura estavam adequadas para solubilizar os fertilizantes e favorecer o desenvolvimento das plantas, o que aparentemente não revela vantagens para o uso desse tipo de fertilizante. Entretanto, Nelson et al. (2009) alertam que, mesmo não ocorrendo aumento na produtividade de grãos, alguns outros benefícios podem, eventualmente, justificar o uso de fertilizantes de liberação controlada, como a diminuição da lixiviação que pode contaminar a água do lençol freático, o aumento da eficiência do uso de N pelas plantas e diminuição dos custos de produção. No que se refere a este último aspecto, tem sido verificado na prática que, apesar do maior custo da uréia revestida em relação ao da convencional, muitos agricultores que cultivam grandes áreas têm optado pelo uso de uréia revestida. Isso tem ocorrido pelo fato de se observar, na prática, que esta tem a característica de não empedrar dentro da embalagem, dentro dos recipientes dos meios de transporte e durante o armazenamento, bem como não causar entupimento das semeadora-adubadoras. Essa característica parece atrair a atenção dos agricultores, pois deve facilitar o processo de abastecimento das máquinas, deve permitir uma melhor fluidez do adubo nos mecanismos da adubadora, melhorar a distribuição do fertilizante ao longo do sulco de plantio e evitar paradas freqüentes para limpeza e manutenção das semeadoras-adubadoras. Essas vantagens devem refletir em maior eficiência e

menor tempo na operação de semeadura o que, talvez compense pelo menos em parte o maior custo do fertilizante revestido.

5. CONCLUSÕES

- A uréia revestida induz maior produtividade que a uréia comum quando aplicada em período de baixa precipitação pluviométrica e a diferença aumenta com a elevação da dose utilizada.
- A uréia revestida com polímeros tem comportamento semelhante ao da uréia comum quando aplicada em meio a período chuvoso.
- O modo de aplicação dos diferentes tipos de uréia (a lanço em área total ou em linha) não influencia a produtividade de grãos.
- O parcelamento da adubação nitrogenada aumenta a produtividade de grãos, independentemente do tipo de uréia utilizada.

6. REFERÊNCIAS

- ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A.; FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, G. E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J. M.; VIEIRA, J. R.; LOUREIRO, J. E. Milho. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 314-316.
- AMADO, T. J. C.; MILNICZUK, J.; FERNANDEZ, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fonte de nitrogênio para o milho em sistemas de reparo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, v. 24, p.179-189, 2002.
- AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p.467-473, 2005.
- ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Brasília, 1999. **Anais...** Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1999. p. 1-4.
- AOAC. Association of official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis**. 15th ed. Arlington, 1990. v. 1, 1298 p.
- ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 8, p. 771-777, 2004.
- 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.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Versão 1.0. Jaboticabal: Departamento de Ciências Exatas, 2010.
- BLAYLOCK, A. D.; KAUFMANN, J.; DOWBENKO, R. D. Nitrogen fertilizer technologies. In: **Western Nutrient Management Conf.**, Salt Lake City, Utah. 2005. p. 8-13.
- 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.

BONO, J. A. M.; RODRIGUES, A. P. D. A. C.; MAUAD, M.; ALUQUERQUE, J. C. de.; YAMAMOTO, C. R.; CHERMOUTH, K. S.; FREITAS, M. E. DE. Modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiologia de sementes de milho. **Agrarian**, Dourados, v. 1, n. 2, p. 91-102, 2008.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. p. 63-145.

BURGER, M.; JACKSON, L. E. Microbial immobilization of ammonium and nitrate in relation to ammonification and nitrification rates in organic and conventional cropping systems. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.35, n. 1, p. 29–36, 2003.

BURTON, S. A. Q.; PROSSER, J. I. Autotrophic ammonia oxidation at low pH through urea hydrolysis. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 67, n. 7, p. 2952-2957, 2001.

CAHILL, S.; OSMOND, D.; CROZIER, C.; ISRAEL, D.; WEISZ, R. Winter wheat and corn response to urea ammonium nitrate and a new urea formaldehyde polymer fertilizer. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 6, p. 1645-1653. 2007.

CAHILL, S.; OSMOND, D.; WEISZ, R.; HEINIGER, R. Evaluation of alternative nitrogen fertilizers for corn and winter wheat production. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 4, p. 1226-1236, 2010.

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

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed). **Cultura do milho. Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, POTAFOS, 1993. p. 147-196.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. V.; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed., Campinas: IAC, 1997. p. 45-47 (Boletim técnico, 100).

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

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.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. In: FANCELLI, A. L. (ed). **Milho - Nutrição e Adubação**. Piracicaba, FEALQ, p. 36-55, 2008.

CARDOSO, S. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, A. H.; MENDONÇA, C. G. Fontes e parcelamento do nitrogênio em cobertura, na cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 23-28. 2011.

CARMO, S. M.; CRUZ, S. C. S.; SOUZA, E. J.; CAMPOS, L. F. C.; MACHADO, C. G. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura do milho doce (*Zea mays* convar. *Saccharata* var. *rugosa*). **Bioscience Journal**, v. 28, Supplement 1, p. 223-231. 2012.

CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O.; SÁ, M. E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 47-53, 2004.

CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Uréia de liberação lenta aplicada superficialmente e uréia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 52-59, 2011.

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

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C. ; GUEDES, G. A. A. Balanço de nitrogênio (^{15}N) em um latossolo vermelho-escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.187-193, 1991.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA (CFS-RS/SC, 1995). **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS – Núcleo Regional Sul, 1995. 224p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – **CONAB**. Nono Levantamento de avaliação da safra 2012/13 – Setembro/2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_06_06_09_09_27_boletim_graos_-_junho_2013.pdf>. Acesso em: 30 maio de 2013.

CRAWFORD, T. W.; RENDIG, V.V.; BROADBENT, F. E. Sources, fluxes, and sinks of nitrogen during early reproductive growth of maize (*zea mays* L.). **Plant Physiology**, Lancaster, 70;1.654-60, 1982.

DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1691-1697, 2008.

DUETE, R. C. D. **Estudo de doses, parcelamento e formas de nitrogênio na adubação de milho usando 15^N**. 2000. 152 f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear da Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

ESPINORELO, 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.

FAN, X.; Li, F.; Liu, F.; KUMAR, D. Fertilization with a new type of coated urea: Evaluation for nitrogen efficiency and yield in winter wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, n. 5, p. 853-865, 2004.

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

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

FARMAHA, B. S.; SIMS, A. L. Yield and Protein Response of Wheat Cultivars to Polymer-Coated Urea and Urea. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 1, p. 229-236. 2012.

FENN, L. B.; HOSSNER, L.R.; Ammonia volatilization from ammonium or ammonium-forming nitrogen fertilizers. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, p. 123-169. 1985.

FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; VASCONCELOS, C. A.; GUEDES, G. A. A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade de milho em latossolo sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 22, p. 247-254, 1998.

FERREIRA, D. A. **Eficiência agrônômica da uréia revestida com polímero na adubação do milho**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576p.

FUJINUMA, R.; BALSTER, N. J.; NORMAN, J. M. An improved model of nitrogen release for surface-applied controlled-release fertilizer. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, n. 6, p. 2043-2050, 2009.

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.

GERAGE, A.C. (1991) - Cultivares. In: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná - **A cultura do milho no Paraná**. Londrina, IAPAR, p. 71-82.

GIOACCHINI, P.; NASTRI, A. GIOVANNINI, C. M. C.; GESSA, L. V. A.C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 36, n. 2, p. 129-135, 2002.

GRANT, C.; WU, R. **Enhanced-efficiency fertilizers for use on the Canadian prairies**. 2008. Disponível em:<
<http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/cm/symposium/enhanced/efficiency/>>.
 Acesso em: 17 de jan. 2013.

GOMES, R. F.; SILVA, A. G.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.931-938, 2007.

HADERLEIN, L.; JENSEN, T. L.; DOWBENLO, R. E.; BLAYLOCK, A. D. Controlled release urea as a nitrogen source for spring wheat in western Canada: Yield, grain N content, and N use efficiency. In: INTERNATIONAL NITROGEN CONFERENCE ON SCIENCE AND POLICY: of the 2 end. The Scientific World 1(S2). A.A. 2001. Exton **Proceedings...** Lisse: Balkema and Publishers and The Scientific World, 2001. P. 114-121.

HALL, W. Benefits of enhanced-efficiency fertilizers for the environment. In: **INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS**, Frankfurt, 2005. Proceedings: Paris, International Fertilizer Industry Association, 2005. 9p.

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.

HARRISON, R.; WEBB, J. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. **Advances in Agronomy**, New York, v. 73, p. 65-108. 2001.

KANWAR, R. S.; BAKER, J. L.; BAKER, D. G. Tillage and split N-fertilization effects on subsurface drainage water quality and crop yields. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 31, n. 2, p. 453-460, 1988.

KAPPES, C.; CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; SILVA, J. A. N. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 251-259. 2009.

KARLEN, J. R.; FLANNERY, R. L.; SADLER, 8.E. J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 232-242, 1988.

KISSEL, D. E.; CABRERA, M. L.; FERGUSON, R. B. Reactions of ammonia and urea hydrolysis products with soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 52, p. 1793-1796, 1988.

KLOTH, B. Aglukon Spezialdünger GmbH: **Reply to the request on controlled-release fertilizers. Personal communication. 1996.**

KOELLIKER, J. K.; KISSEL, D. E. Chemical equilibria affecting ammonia volatilization. In: BOCK, B. R. KISSEL, D. E., (ed.) **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Muscle Shoals, Natl. Fert. Dev. Center, 1988. p.37-52. (Bull. Y-206).

LARA CABEZAS, W. A. R.; ARRUDA, M. R.; CANTARELLA, H.; PAULETTI, V.; TRIVELIN, P. C. O.; BENDASSOLLI, J. A. Imobilização de nitrogênio da uréia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura e em cobertura na cultura do milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 215-226, 2005.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Metodologia para análise de elementos em material vegetal. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. (Ed.). **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. p. 231-308.

MALHI, S. S.; OLIVER, E.; MAYERLE, G.; KRUGER, G.; GILL, K.S. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, n. 11, p. 1709-1727, 2003.

MATTOSO, M. J.; MELO FILHO, G. A. de. **Coefficientes técnicos**. 4. ed. In: CRUZ, J. C. (Ed.). Cultivo do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 1). Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/coeficientestecnicos.htm. Acessado em: 10 maio de 2013.

MCKENZIE, R. H.; BREMER, E.; MIDDLETON, A. B.; PFIFFNER, P. G.; DOWBENKO, R. E. Controlled-release urea for winter wheat in southern Alberta. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 87, p. 85-91. 2007.

MCKENZIE, R. H.; MIDDLETON, A. B.; PFIFFNER, P. G.; BREMER, E. Evaluation of polymer-coated urea and urease inhibitor for winter wheat in Southern Alberta. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 4, p. 1210-1216, 2010.

MEIRA, F. A.; BUZETTI, S.; ANREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M, E.; ANDRADE, J. A. C. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 2, p. 275-284. 2009.

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.

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**, v. 19, n. 1, p. 10-12, 2009.

MOTAVALLI, P. P.; GOYNE, K. W.; UDAWATTA, R. Environmental impacts of enhanced-efficiency nitrogen fertilizers. **Crop Management**. Disponível em: < <http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/cm/symposium/enhanced/impacts/>> Acesso em: 22 de jan. 2008.

NASH, P.R.; NELSON, K .A.; MOTAVALLI, P. P.; MEINHARDT, C. G. Effects of Polymer-Coated Urea Application Ratios and Dates on Wheat and Subsequent Double-Crop Soybean. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 4, p. 1074-1084. 2012.

NELSON, K. A.; PANIAGUA, S. M.; MOTAVALLI, P. P. Effect of polymer coated urea, irrigation, and drainage on nitrogen utilization and yield of corn in a claypan soil. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 3, p. 681-687, 2009.

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**, v. 101, n.3, p. 607-614, 2009.

NUMMER FILHO, I.; HENTSCHKE, C. **Nitrogênio Força para o Milho**. Caderno Técnico. Cultivar Grande Culturas. Nº. 43. Setembro- 2002.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 4, n. 2, p. 226-244, 2011.

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

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

PEREIRA, H. S.; LEÃO, A. F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M. A. C. Ammonia volatilization of urea in the the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1685-1694, 2009.

PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; PRIMAVEI, A .C.; CANTARELLA, H.; ARMLIN, M. J. A.; SILVA, A. G.; FREITAS, A.R. **Adução com uréia em pastagem de Cynodon dactylon cv. Coastcross sob manejo rotacionado: eficiência e perdas**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 42p. (Circular Técnica, 30).

PRADO, R. M. **Manual de nutrição de plantas forrageiras**. Jaboticabal: FUNEP, 2008. 500p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H. 1997. Milho para grãos e silagem. In: 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: IAC, 1997. p.56-59. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 284p.

REIS JÚNIOR, R. A. Kimcoat - **Uma nova ferramenta para otimização do uso de fertilizantes**. Informações Agrônomicas. Piracicaba: INPI, 2007. p. 17.

REYNOLDS, C. M., WOLF, D. C. Effects of soil moisture and air relative humidity on ammonia volatilization from surfaces-applied urea. **Soil Science**, v. 143, n. 2, p. 144-152, 1987.

ROZAS, H. S. et al. No-till maize nitrogen uptake and yield: effect of urease inhibitor and application time. **Agronomy Journal**, Madison, v. 91, n. 6, p. 950-955, 1999.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 1, p. 13-24, 1994.

SANTOS, P. M.; BERNARDI, A. C. C.; NOGUEIRA, A. R. A.; MENDONÇA, F. C.; LEMOS, S. G.; MENEZES, E. A.; TORRE-NETO, A. Uso de nitrogênio em pastagens: estratégias de aplicação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 24., 2007, Piracicaba. **Anais...**Piracicaba: FEALQ, 2007. p.131-152.

SCHIAVINATTI, A. F.; ANDREOTTI, M.; BENETT, C. G. S.; PARIS, C. M.; LODO, B. N.; BUZZETTI, S. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no cerrado. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 295-230, 2011.

SILVA, P. S.; SILVA, P. I. B. Efeitos de épocas de aplicação de nitrogênio no rendimento de grãos do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1057-1064, 2002.

SILVA, E. C.; BUZZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 353-362, 2005.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S. & TRIVELIN, P. C. O. Manejo de nitrogênio no milho em Latossolo Vermelho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 477-486, 2006.

SILVA, A. A.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P.; LANA, R. M. Q. Aplicação de diferentes fontes de uréia de liberação gradual na cultura do milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 104-111. 2012.

SHAVIV, A.; MIKKELSEN, R. L. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation – a review. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 35, n. 1/2, p. 1-12, 1993.

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

SHOJI, S.; DELGADO, J.; MOSIER, A.; MIURA, Y. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 32, p. 1051-1070. 2001.

SORATTO, R. P.; PEREIRA, M.; COSTA, T. A. M.; LAMPERT, V. N. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão a soja. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 4, p. 511-518. 2010.

SORATTO, R. P.; SILVA, A. H.; CARDOSO, S. M.; MENDONÇA, C. G. Doses e fontes alternativas de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo arenoso. **Ciência Agrotécnica**, v. 35, n. 1, p. 62-70. 2011.

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

SOUZA, P. M. de; BRAGA, M. J. Aspectos econômicos da produção e comercialização do milho no Brasil. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. (Eds) **Tecnologia de produção do milho**. 20. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004, v.1, p.13-53, 2004.

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.

SOUZA, J. A.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ANDREOTTI, M.; SÁ, M. E.; ARF, O. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 447-454, 2011.

TEXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 8, p. 797-804, 2010.

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

TRENKEL, M. E. **Slow – and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture**. Second edition, IFA, Paris, France, 2010.

TRIVELIN, P. C. O.; LARA CABEZAS, W. A. R.; BOARETTO, A. E. Dinâmica do nitrogênio de fertilizantes fluidos no sistema solo-planta. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: Potafós, 1994. p. 314-330.

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.

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**. Andac, v. 159, n. 3, p. 157-63, 1995.

URQUIAGA, S.; VICTORIA, R. L.; BUITRÓN, F. ; NEYRA, J. C. **Perdas por volatilização do N-ureia e N-sulfato de amônio num solo calcário da parte central 77 da região costeira do Peru**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Vol. 24, Nº. 5, p. 607-613. Brasília- DF. Maio, 1989.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. 2013. **GAZETA DO POVO**. Disponível em: <<http://agro.gazetadopovo.com.br/noticias/agricultura/soja/relatorio-do-usda-nao-deve-mostrar-impacto-do-plantio-atrasado/>>. Acesso em 15 maio de 2013.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ.; M. E. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 52-54, 2009.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

VASCONCELLOS, C. A. Importância da adubação na qualidade do milho e do sorgo. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO E QUALIDADE DOS PRODUTOS AGRÍCOLAS, 1., Ilha Solteira, 1989. **Anais**. Ilha Solteira: FEIS, 1989. p.1-20.

VAZQUEZ, G. H.; ARF, O.; SARGI, B. A.; PESSOA, A. C. O. Influência do tamanho e da forma da semente de milho sobre o desenvolvimento da planta e a produtividade de grãos. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 16-24, 2012

VIEIRA, B. A. R. M.; TEIXEIRA, M. M. Adubação de liberação controlada chega como solução. **Revista Campo e Negócios**, Uberlândia, v.41, n.3, p.4-8, 2004.

VIEIRA, B. A. R. M.; TEIXEIRA, M. M. Adubação de liberação controlada chega como solução. **Revista Campo e Negócios**, n. 68, p. 52-54, 2008.

VILLAS BÔAS, R. L.; BOARETTO, A. E.; BULL, L. T.; GUERRINI, I. A. Parcelamento e largura da faixa de aplicação da uréia na recuperação do nitrogênio pela planta de milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1177-1184, 1999.

VLEK, P. L. G.; STUMPE, J. M.; BYRNES, B. H. Urease activity and inhibition in flooded systems. **Fertilizer Research**, The Hague, v.1, p. 191-202, 1980.

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.

WILLIAMS, L. E.; MILLER, A. J. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. **Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**, v. 52, p. 659-688, 2001.

WILSON, M.L.; ROSEN, C. J.; MONCRIEF, J. F. Potato response to polymer-coated urea on an irrigated, coarse textured soil. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 4, p. 897-905. 2009.

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

YAMADA, T. O nitrogênio e o potássio na adubação da cultura do milho. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 78, p. 1-4, 1997.

YANG, Y. C.; ZHANG, M.; ZHENG, L.; CHENG, D.D.; LIU, M.; GENG, Y. Q. Controlled Release Urea Improved Nitrogen Use Efficiency, Yield, and Quality of Wheat. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 2, p. 479-485. 2011.

ZAHRANI, S. Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, D. C, v. 39, n.3, p.367-371, 2000.

ZHANG, M.; NYBORG, M.; MALHI, S. S.; SOLBERG, E.D. Localized root growth in soil induced by controlled-release urea granule and barley nitrogen uptake. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 3, p. 413-422, 2000.