

Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros

Nitrogen fertilization in corn with urea coated with different sources of polymers

Márcio Valderrama¹; Salatiér Buzetti²; Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho^{3*}; Cleiton Gredson Sabin Benett⁴; Marcelo Andreotti⁵

Resumo

Tendo em vista o teórico aumento de eficiência dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada, objetivou-se avaliar o efeito de doses de nitrogênio, usando ureia convencional e ureias revestidas por diferentes polímeros, no teor de N foliar, índice de clorofila foliar, altura de plantas, diâmetro do segundo internódio, altura de inserção da primeira espiga, componentes de produção e produtividade de grãos de milho irrigado, em cultivo safra e safrinha na região de cerrado. Os experimentos foram desenvolvidos em área experimental da UNESP – *Campus* de Ilha Solteira, em Selvíria – MS, num Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa. O delineamento estatístico foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, em arranjo fatorial (4 x 4), com quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) aplicadas em cobertura e quatro fontes de ureia (uma convencional e três revestidas por polímeros em diferentes composições e concentrações). As ureias revestidas não são eficientes nas condições edafoclimáticas de cerrado de baixa altitude estudada, pois proporcionam resultados semelhantes à ureia convencional para o teor de nitrogênio foliar, índice de clorofila foliar, altura de plantas, diâmetro do segundo internódio, altura de inserção da primeira espiga, componentes de produção e a produtividade de grãos de milho, tanto no cultivo safra como na safrinha. O incremento das doses de nitrogênio aumentou linearmente o teor de N foliar e a produtividade de grãos do milho cultivado na safra e na safrinha.

Palavras-chave: *Zea mays* L., nitrogênio, fertilizante revestido, sistema de semeadura direta, solo de cerrado

Abstract

In view of theoretic increase in efficiency of nitrogen fertilizers for controlled release, this study aimed to evaluate the effect of nitrogen, using conventional urea and ureas coated by different polymers, in the leaf N content, leaf chlorophyll index, components production and grain yield of irrigated corn in growing season and second crop in the savannah region. The experiments were conducted at experimental area belonging to UNESP – Ilha Solteira, located in Selvíria – MS in a dystrophic Red Latosol (Haplustox), clayey texture. The statistical design was randomized blocks, with four

¹ Discente de Mestrado em Agronomia da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, Campus de Ilha Solteira, SP. E-mail: valderramamarcio@gmail.com

² Prof. Titular do Deptº de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Ilha Solteira, SP. Bolsistas em produtividade pelo CNPq. E-mail: sbuzetti@agr.feis.unesp.br

³ Prof. Assistente Dr. do Deptº de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Ilha Solteira, SP. E-mail: mcmtf@yahoo.com.br

⁴ Discente de Doutorado em Agronomia da Universidade Federal de Goiás, UFG, Goiânia, GO. Bolsista DCR, Desenvolvimento Científico e Tecnológico Regional/FAPEG/CNPq. E-mail: cbenett@hotmail.com

⁵ Prof. Adjunto do Deptº de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Ilha Solteira, SP. Bolsistas em produtividade pelo CNPq. E-mail: dreotti@agr.feis.unesp.br

* Autor para correspondência

repetitions, in a 4 x 4 factorial arrangement, being four nitrogen doses (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹) applied at sidedressing and four urea sources (a conventional urea and three coated with polymers in different compositions and concentrations). The coated ureas are not efficient under the soil and climate conditions studied of the savanna, because they provided results similar to the conventional urea for the production components and grain yield of corn in the first and second crop. The increment of nitrogen doses increase linearly the leaf N content and grain yield of corn in the first and second crop.

Key words: *Zea mays* L., nitrogen, coated fertilizer, no-tillage system, savannah soil

Introdução

A cultura do milho é cultivada em diversas regiões do mundo, sendo que o maior detentor da produção mundial são os Estados Unidos. No Brasil, que também é um grande produtor e exportador, a produtividade média é muito baixa quando comparada a dos Estados Unidos. A produtividade média nacional é cerca de 3.250 kg ha⁻¹, demonstrando assim que os diferentes sistemas de produção do milho precisam ser aprimorados para alcançar aumentos de produtividade e rentabilidade aos agricultores (CRUZ et al., 2006). Para os diferentes fatores envolvidos nas baixas produtividades, são destacados o clima, o potencial genético, manejo de pragas e o manejo dos nutrientes (HOEFT, 2003).

Dentre os nutrientes utilizados na nutrição do milho, o nitrogênio (N) tem sido um dos mais estudados para o aumento das produtividades, em virtude das altas respostas encontradas deste nutriente pela cultura. É o nutriente mais extraído pela cultura, exercendo assim grande influência na produtividade de grãos, bem como onerando o seu custo de produção (SANGOI; ALMEIDA, 1994; SILVA et al., 2005). Em média, para a produção de uma tonelada de grãos, a cultura acumula em sua parte aérea 28 kg ha⁻¹ de N e exportam nos grãos em torno de 60%, ou seja, 17 kg ha⁻¹ de N (CANTARELLA, 2007).

A eficiência de aproveitamento pelas plantas ou a porcentagem de recuperação do nitrogênio é muito variável, ficando em torno de 50 a 60% do nitrogênio total aplicado ao solo como fertilizante (COELHO et al., 1991). Isso decorre principalmente da utilização de ureia, pois se trata de uma fonte

sujeita a altas perdas nos sistemas agrícolas. A ureia tem como vantagem alta concentração de nitrogênio, fácil manuseio, menor custo por kg de nitrogênio, causando menor acidificação quando comparado com as demais fontes, porém apresenta elevadas perdas de nitrogênio por volatilização (PRIMAVESI et al., 2004). Estudos conduzidos por Lara Cabezas et al. (2000), estima-se que pode haver redução na produtividade de grãos de milho devido à volatilização de amônia (N-NH₃), na proporção de 10 kg ha⁻¹ de grãos para cada 1% de N volatilizado. Entretanto, de acordo com Cantarella e Marcelino (2006) é pouco provável que a ureia venha a ser substituída por outra fonte de nitrogênio em curto prazo.

Uma alternativa seria a proteção do grânulo da uréia com produtos menos higroscópicos que permitam aplicá-la na superfície do solo, podendo retardar a sua liberação e estimular o processo de hidrólise no interior do solo, reduzindo as perdas de N na forma de amônia (BONO; SETTI; SPEKKEN, 2006).

No mercado atual, já são comercializados diferentes tipos de fertilizantes ditos como de eficiência aprimorada ou fertilizantes especiais. Esses tipos de fertilizantes são descritos como fertilizantes de liberação lenta ou controlada e fertilizante estabilizados, sendo que o primeiro inclui os de liberação por vários meses e o segundo os associados com inibidores de urease e nitrificação (TRENKEL, 2010). Os fertilizantes de liberação gradativa ou controlada podem reduzir os custos de produção e diminuir os impactos ambientais, devido à redução nas perdas por volatilização e lixiviação (VALDERRAMA et al., 2009).

A indústria de fertilizantes vem testando produtos objetivando aumentar a eficiência dos nutrientes, buscando alternativas de diferentes naturezas. Dentre as alternativas disponíveis no mercado, Cantarella (2007) cita alguns exemplos de recobrimentos utilizados em fertilizantes como o uso do enxofre elementar e o processo de encapsulamento com polímeros. Com relação a este último, alguns exemplos de polímeros utilizados no revestimento dos fertilizantes são citados, tais como as poliolefinas e os poliuretanos (BLAYLOCK, 2007).

Os fertilizantes revestidos por polímeros, encontrados no mercado, se diferem na natureza química do material envolvente e a espessura do revestimento. Por consequência, o preço final dos fertilizantes revestidos por polímeros e seu mecanismo de ação, podem apresentar desde suaves até bruscas variações de uma empresa para a outra. O preço pode variar de 2 a 8 vezes mais em comparação ao fertilizante tradicional (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010). De maneira geral, existe uma dificuldade muito grande para identificar a composição química destes polímeros, pois, na sua maioria, são de sigilo total da empresa.

Diante deste cenário agrícola e com intuito de aumentar a produtividade da cultura do milho, faz-se necessário a busca de alternativas que possam aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, através de tecnologias como a de fertilizantes de liberação controlada, que possam viabilizar economicamente a sua utilização pelos agricultores. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses de nitrogênio, usando ureia convencional ou ureias revestidas por diferentes polímeros, no que se refere ao teor de nitrogênio foliar, índice de clorofila foliar, altura de plantas, diâmetro do segundo internódio, altura de inserção da primeira espiga, componentes de produção e produtividade de grãos de milho irrigado, em cultivo safra e safrinha na região de cerrado.

Material e Métodos

A área onde foi conduzido o experimento com a cultura do milho na safra 2009/10 e na safrinha 2010, localiza-se na Fazenda de Ensino e Pesquisa da UNESP, Campus de Ilha Solteira, situada no município de Selvíria – MS, em um Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa (SANTOS et al., 2006), com valores de granulometria de 420, 50 e 530 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente. Apresenta, como coordenadas geográficas, 51° 22' de longitude Oeste e 20° 22' de latitude Sul, com altitude de 335 metros. De acordo com Köppen, o clima da região é classificado como Aw, tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação, temperatura e umidade relativas médias anuais são de aproximadamente 1.370 mm, 23,5 °C e 70 a 80%, respectivamente. Os valores dessas médias, durante a condução do experimento, constam na Figura 1.

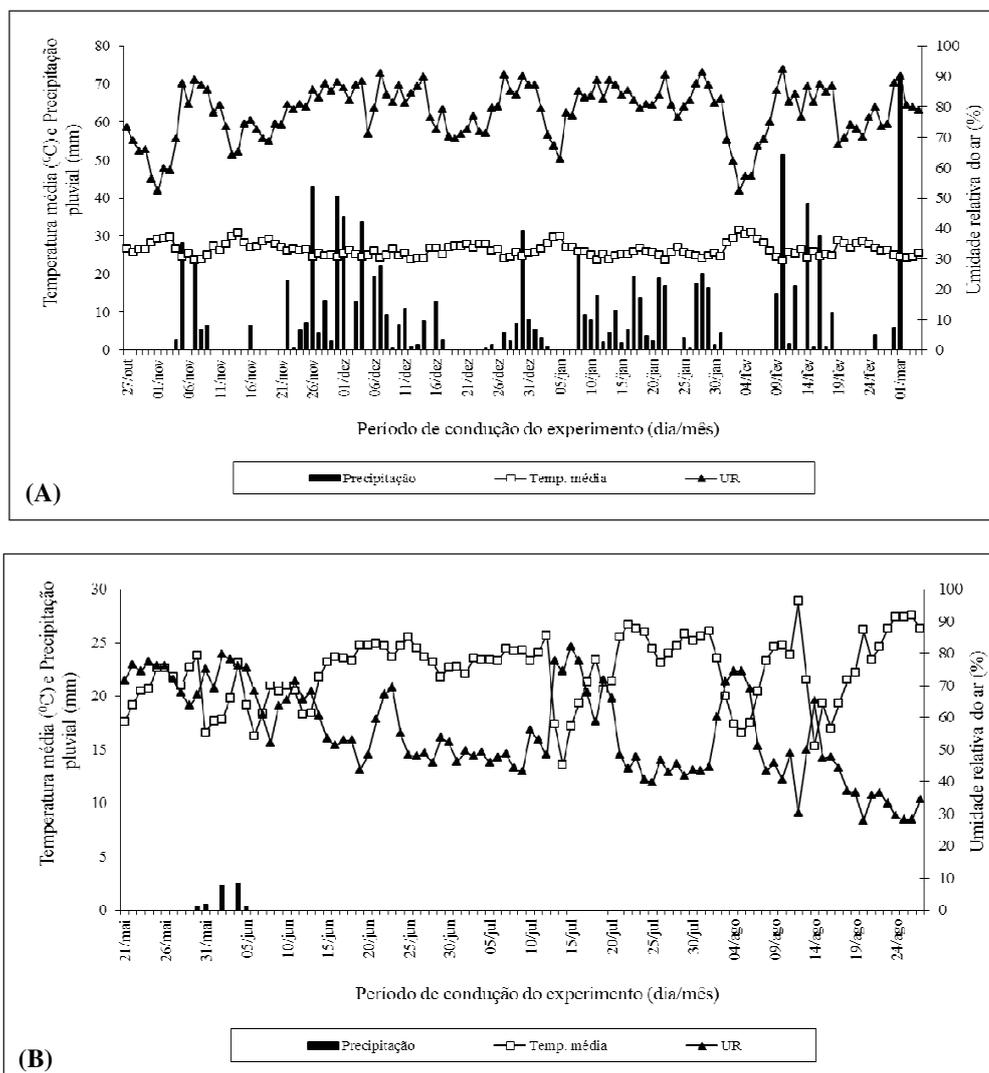
O delineamento estatístico utilizado tanto no experimento com milho na safra como na safrinha foi o blocos casualizados, com quatro repetições, em um arranjo fatorial (4 x 4), com quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) aplicadas em cobertura e quatro fontes de ureia: ureia convencional (sem revestimento com 45% de N) e ureia com revestimento (K-0043 com 43,18% de N, K-0049 com 41,355% de N e K-0055 com 41,355% de N). As ureias com revestimentos foram identificados com os códigos acima (já que ainda não produtos comerciais), pois as diferentes composições e concentrações dos polímeros são segredo da indústria que produziu estes fertilizantes e, por isso, não foram divulgadas estas especificações. As dimensões das parcelas foram de 5 m de comprimento com quatro linhas cada parcela espaçadas de 0,90 m, mais um metro de bordadura entre as parcelas.

O experimento foi conduzido em área sob sistema semeadura direta área com histórico de quatro anos no sistema, originalmente ocupada por vegetação de cerrado, sendo que a cultura anterior foi o milho em

ambos os cultivos. A área foi dessecada utilizando os herbicidas glifosato (1800 g ha^{-1} do i.a.) e 2,4-D (670 g ha^{-1} do i.a.). Utilizou-se o híbrido triplo

Biogênico 7049 Y de ciclo precoce, com densidade de semeadura de 5,4 sementes por metro, totalizando ao redor de 60.000 plantas por hectare.

Figura 1. Precipitação pluvial (mm), temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%) durante a condução do experimento com a cultura do milho na safra de verão 2009/2010 (A) e com a cultura do milho safrinha em 2010 (B). Selvíria – MS.



Fonte: Elaboração dos autores.

A semeadura foi realizada mecanicamente no dia 26/10/2009 e 21/05/2010. Em seguida, a área foi irrigada por aspersão, por meio de pivô central com uma lâmina de água de aproximadamente 14 mm para promover a germinação das sementes. As plântulas emergiram cinco dias após a semeadura em ambos os cultivos.

A análise química de solo foi determinada antes da instalação do primeiro experimento, segundo metodologia proposta por Raij et al. (2001) e apresentaram os seguintes resultados: 26 mg dm^{-3} de P (resina); 10 mg dm^{-3} de S; 29 g dm^{-3} de M.O.; 5,0 de pH (CaCl_2); K, Ca, Mg, H+Al = 3,2; 20; 13 e $40 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente e 48% de saturação por bases (V%).

A adubação de semeadura foi igual nos dois experimentos e constaram de 30, 100 e 80 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente em todas as parcelas, conforme recomendação de Cantarella, Raij e Camargo (1997). A adubação nitrogenada em cobertura constituiu os tratamentos e foi aplicada nas entre-linhas das parcelas, sem incorporação ao solo no estágio de seis folhas da cultura. Após a adubação nitrogenada, a área foi irrigada por aspersão, com uma lâmina de água de aproximadamente 14 mm para minimizar as perdas de nitrogênio por volatilização da amônia, que ocorre devido à hidrólise da uréia.

O manejo de plantas daninhas foi efetuado com a aplicação da mistura de herbicidas atrazine + nicosulfuron (1,75 kg ha⁻¹ + 1,25 L ha⁻¹ do i.a.), em pós-emergência. Para o controle da lagarta do cartucho foi efetuada a aplicação da mistura spinosad + triflumuro (36,0 + 24,0 g ha⁻¹ do i.a.). A irrigação foi efetuada quando necessária, com uma lâmina de água calculada com base nas condições climáticas locais e estágio fenológico da cultura, através de um sistema de aspersores. A colheita do milho safra e safrinha foi realizada manualmente e individualmente por unidade experimental, aos 125 e 102 dias após a emergência das plantas, respectivamente, quando 90% das espigas apresentavam os grãos com 20% de umidade. O material colhido foi submetido à secagem a pleno sol e posteriormente trilhados.

As avaliações realizadas foram as seguintes: a) índice de clorofila foliar, determinado indiretamente na folha da inserção da espiga de cinco plantas de milho por parcela, quando as plantas estavam no estágio de florescimento, com auxílio de um clorofilômetro digital CFL 1030 Falker (Falker Automação Agrícola, Porto Alegre, Brasil); b) teor de N foliar, coletando-se o terço médio de 20 folhas da inserção da espiga principal, no florescimento feminino das plantas, de cada parcela segundo a metodologia descrita em Cantarella, Raij e Camargo (1997). Uma semana antes da colheita

foram medidas: c) altura de plantas na maturação fisiológica, definida como sendo a distância (m) do nível do solo ao ápice do pendão; d) diâmetro basal do colmo; e) altura de inserção da primeira espiga. Da área útil de cada parcela foram coletadas cinco espigas ao acaso para avaliação de: f) número de grãos por fileira; g) número de grãos por espiga; h) massa de 100 grãos, determinada em balança de precisão 0,01g; i) produtividade de grãos, determinada pela coleta das plantas contidas nas 2 linhas centrais de cada parcela. Após a trilha mecânica, os grãos foram quantificados e os dados transformados em kg ha⁻¹ a 13% (base úmida).

Na análise estatística, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para o efeito das fontes de ureia e ajustadas a equações de regressão para os efeitos das doses de N, sendo utilizado o programa SISVAR (FERREIRA, 2008).

Resultados e Discussão

As fontes de N não diferiram significativamente para o índice de clorofila e o teor de N foliar nos dois experimentos (Tabelas 1 e 3), demonstrando que as ureias com diferentes revestimentos não afetaram o estado nutricional (N) da planta. No primeiro experimento, referente ao milho safra de verão (2009/2010), os valores encontrados para os teores de N estão abaixo do considerado adequado (27 a 35 g de N kg⁻¹ de matéria seca) para a cultura do milho, conforme descrito em Cantarella, Raij e Camargo (1997). No segundo experimento, referente ao milho safrinha (2010), este fato não se repetiu com exceção da fonte K-0055, onde o valor encontrado foi de 26,5 g de N kg⁻¹ de matéria seca. Tal diferença nos teores de N nas folhas entre o milho safra e safrinha se deve a maior precipitação pluvial ocorrida durante a condução do experimento na safra 2009/2010 (Figura 1A) que deve ter favorecido a maior lixiviação de N, em relação ao cultivo safrinha que apresentou maior concentração de N na folha.

Com relação às doses de N, houve ajuste linear crescente para o teor N nas folhas do milho, nos dois experimentos (Tabelas 1 e 3). Oliveira e Caires (2003) também constataram aumento linear do teor de N nas folhas de milho (safra de verão) até a maior dose de N (120 kg ha⁻¹) em cobertura, utilizando ureia e sulfato de amônio. Araújo, Ferreira e Cruz (2004), trabalhando com doses de N (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹), também verificaram aumento linear no teor de N foliar (safra de verão), usando a ureia convencional como fonte. Por sua vez, Souza et al. (2011) observaram em cultivo safrinha aumento da concentração de N foliar até 183 kg ha⁻¹ de N, em média de dois cultivos, com as fontes ureia, sulfato de amônio e sulfonitrato de amônio com inibidor de nitrificação.

O incremento das doses de N também promoveu aumento significativo no índice de clorofila foliar, havendo ajuste linear crescente apenas para o milho safrinha (Tabela 3). Neste caso, como as doses de N também afetaram o conteúdo de nitrogênio nas folhas e, este nutriente está presente na molécula de clorofila, tal aumento pode ser explicado. Alguns pesquisadores evidenciaram relação positiva entre leitura do clorofilômetro e teor de clorofila na folha e entre teor de clorofila na folha e teor de N na planta (ARGENTA et al., 2003).

Nas Tabelas 1 e 3, se verifica diferença entre a ureia convencional e as ureias revestidas para a altura de plantas, diâmetro do segundo internódio e altura de inserção da primeira espiga. Tais avaliações também não foram afetadas pelo incremento das doses de N. Sangoi e Almeida (1994) também não observaram efeito significativo da aplicação de N na altura de planta e de inserção da espiga. Valderrama et al. (2011), avaliando a ureia convencional e outra ureia revestida em condições de cerrado, também nas mesmas doses deste presente trabalho, não encontraram efeito significativo para a altura de

plantas, diâmetro do segundo internódio e inserção da primeira espiga, tanto para fontes quanto para as doses de N. Já Cruz et al. (2006) verificaram que doses acima de 80 kg ha⁻¹ de N, não contribuíram para o aumento do diâmetro do colmo e altura de plantas.

As produtividades de grãos de milho das safras de verão e safrinha não foram afetadas pelas fontes de N, demonstrando que as ureias revestidas por polímeros em diferentes composições e concentrações não se sobressaíram em relação à ureia convencional (Tabelas 2 e 4), ou seja, estes fertilizantes não tiveram uma eficiência desejada. Valderrama et al. (2011) também não constataram diferença entre a ureia convencional e revestida por polímeros para produtividade de grãos de milho na safra de verão na região de cerrado. Entretanto, Pereira et al. (2009) verificaram em Jataí – GO, região de cerrado com altitude mais elevada, onde a temperatura noturna é menor quando comparada com a do presente estudo, que o revestimento da ureia e o inibidor da urease foram eficientes na redução da volatilização do N (em torno de 50%) da ureia aplicada em cobertura, o que refletiu em maiores produtividades de grãos.

De acordo com Chitolina (1994), estes fertilizantes de liberação lenta ou controlada dependem de água e da temperatura do solo (ótima igual a 21°C), para a adequada liberação dos nutrientes às plantas. Portanto, é provável que o revestimento não tenha sido eficaz nas condições edafoclimáticas desta pesquisa, por se tratar de condições de cerrado, onde predominam as altas temperaturas. Sendo assim, ainda há necessidade de novas pesquisas para o desenvolvimento de novos polímeros para o revestimento da ureia, que possam resistir às altas temperaturas que são comuns nesta região do cerrado de baixa altitude.

Tabela 1. Índice de clorofila foliar, teor de nitrogênio foliar, altura de plantas, diâmetro do segundo internódio e altura de inserção da primeira espiga do híbrido Biogênico 7049 Y, em função de revestimentos na ureia e doses de N. Selvíria – MS (milho safra de verão, 2009/2010).

Tratamentos	Índice de clorofila foliar	Teor N foliar (g kg ⁻¹)	Altura de plantas (m)	Diâmetro do internódio (mm)	Altura de inserção de espiga (m)
<i>Fontes de N</i>					
U Con. K-0046 ⁽¹⁾	62,73 a	25,50 a	2,46 a	19,87 a	1,09 a
U Rev. K-0043 ⁽²⁾	63,00 a	24,79 a	2,49 a	20,14 a	1,09 a
U Rev. K-0049 ⁽³⁾	63,51 a	25,72 a	2,48 a	20,19 a	1,10 a
U Rev. K-0055 ⁽⁴⁾	62,07 a	25,91 a	2,51 a	20,14 a	1,10 a
D.M.S. (5%)	8,04	1,16	0,08	1,05	0,07
<i>Doses de N (kg ha⁻¹)</i>					
0	60,48 ^(ns)	24,25 ⁽⁵⁾	2,46 ^(ns)	19,50 ^(ns)	1,07 ^(ns)
40	62,98	24,92	2,48	19,99	1,09
80	64,77	25,78	2,49	20,25	1,13
120	63,08	26,98	2,50	20,59	1,09
C.V. (%)	6,78	3,16	3,77	5,52	7,05

Médias seguidas de mesma letra, dentro de cada parâmetro estudado, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

⁽¹⁾ Uréia convencional com 45% de N ⁽²⁾ Uréia revestida com 43,18% de N ⁽³⁾ Uréia revestida com 41,355% de N

⁽⁴⁾ Uréia revestida com 41,355% de N ⁽⁵⁾ Y = 24,1275 + 0,022563N (R² = 0,98) ^(ns) Equação de regressão não significativa.

Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 2. Número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, massa de 100 grãos e produtividade de grãos do híbrido Biogênico 7049 Y, em função de revestimentos na ureia e doses de N. Selvíria – MS (milho safra de verão, 2009/2010).

Tratamentos	Número de grãos por fileira	Número de grãos por espiga	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)
<i>Fontes de N</i>				
U Con. K-0046 ⁽¹⁾	34,82 a	600,56 a	27,15 a	7809 a
U Rev. K-0043 ⁽²⁾	36,44 a	595,72 a	27,57 a	8190 a
U Rev. K-0049 ⁽³⁾	35,90 a	608,24 a	27,26 a	8142 a
U Rev. K-0055 ⁽⁴⁾	36,46 a	616,96 a	27,31 a	8251 a
D.M.S. (5%)	1,64	29,64	1,03	601
<i>Doses de N (kg ha⁻¹)</i>				
0	35,64 ^(ns)	610,20 ^(ns)	26,90 ^(ns)	7334 ⁽⁵⁾
40	36,14	618,53	27,02	8079
80	36,48	600,40	27,40	8344
120	35,36	592,34	28,00	8634
C.V. (%)	4,85	5,19	4,84	7,86

Médias seguidas de mesma letra, dentro de cada parâmetro estudado, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

⁽¹⁾ Uréia convencional com 45% de N ⁽²⁾ Uréia revestida com 43,18% de N ⁽³⁾ Uréia revestida com 41,355% de N

⁽⁴⁾ Uréia revestida com 41,355% de N ⁽⁵⁾ Y = 7473,7125 + 10,4030N (R² = 0,93)

^(ns) Equação de regressão não significativa.

Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 3. Índice de clorofila foliar, teor de nitrogênio foliar, altura de plantas, diâmetro do segundo internódio e altura de inserção da primeira espiga do híbrido Biogênico 7049 Y, em função de revestimentos na ureia e doses de N. Selvíria – MS (milho safrinha, 2010).

Tratamentos	Índice de clorofila foliar	Teor N foliar (g kg ⁻¹)	Altura de plantas (m)	Diâmetro do internódio (mm)	Altura de inserção de espiga (m)
<i>Fontes de N</i>					
U Con. K-0046 ⁽¹⁾	46,70 a	27,88 a	2,64 a	21,00 a	1,31 a
U Rev. K-0043 ⁽²⁾	49,44 a	28,38 a	2,63 a	19,96 a	1,31 a
U Rev. K-0049 ⁽³⁾	49,14 a	28,25 a	2,65 a	19,72 a	1,30 a
U Rev. K-0055 ⁽⁴⁾	48,48 a	26,50 a	3,16 a	20,42 a	1,33 a
D.M.S. (5%)	4,33	2,95	0,94	1,88	0,09
<i>Doses de N (kg ha⁻¹)</i>					
0	42,84 ⁽⁵⁾	24,50 ⁽⁶⁾	2,63 ^(ns)	20,58 ^(ns)	1,32 ^(ns)
40	48,34	27,88	3,15	20,18	1,30
80	49,58	28,62	2,61	19,55	1,33
120	53,01	30,00	2,69	20,80	1,31
C.V. (%)	9,48	7,38	36,18	9,84	7,13

Médias seguidas de mesma letra, dentro de cada parâmetro estudado, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

⁽¹⁾ Uréia convencional com 45% de N ⁽²⁾ Uréia revestida com 43,18% de N ⁽³⁾ Uréia revestida com 41,355% de N

⁽⁴⁾ Uréia revestida com 41,355% de N ⁽⁵⁾ $Y = 43,6754 + 0,079N$ ($R^2 = 0,94$) ⁽⁶⁾ $Y = 25,1625 + 0,0431N$ ($R^2 = 0,98$)

^(ns) Equação de regressão não significativa.

Fonte: Elaboração dos autores.

Quanto às doses de N, houve efeito significativo para a produtividade de grãos (Tabelas 2 e 4), sendo que nos dois experimentos os dados se ajustaram a equação de regressão linear crescente. Gava et al. (2010) também constataram que a elevação da dose de N (ureia) aumentou a produtividade de milho, porém até a dose 200 kg ha⁻¹ de N.

No primeiro experimento (2009/2010), a produtividade máxima foi de 8.634 kg ha⁻¹, atingida com a dose de 120 kg ha⁻¹ de N. Em relação à testemunha (sem adubação com nitrogênio) isto

representou um acréscimo de 15% na produtividade de grãos. Semelhantemente, Amaral Filho et al. (2005) verificaram ajuste linear para produtividade de grãos, obtendo respectivamente 8.907 kg ha⁻¹, valor este próximo ao encontrado neste trabalho, porém com aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N. Entretanto, Araújo, Ferreira e Cruz (2004), utilizando o dobro da dose de N (240 kg ha⁻¹), conseguiram produtividade de 11.203 kg ha⁻¹, com ganho de 27% em relação ao tratamento sem nitrogênio.

Tabela 4. Número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, massa de 100 grãos e produtividade de grãos do híbrido Biogênico 7049 Y, em função de revestimentos na ureia e doses de N. Selvíria – MS (milho safrinha, 2010).

Tratamentos	Número de grãos por fileira	Número de grãos por espiga	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)
<i>Fontes de N</i>				
U Con. K-0046 ⁽¹⁾	31,50 a	469,12 a	27,36 a	6763 a
U Rev. K-0043 ⁽²⁾	31,13 a	469,16 a	27,57 a	6999 a
U Rev. K-0049 ⁽³⁾	31,52 a	463,37 a	27,30 a	7136 a
U Rev. K-0055 ⁽⁴⁾	31,88 a	478,33 a	27,54 a	6835 a
D.M.S. (5%)	2,60	45,26	1,25	1227
<i>Doses de N (kg ha⁻¹)</i>				
0	31,70 ^(ns)	469,62 ^(ns)	26,82 ^(ns)	5861 ⁽⁵⁾
40	30,81	470,62	27,13	6686
80	31,29	459,29	27,54	7702
120	32,21	480,85	28,27	7484
C.V. (%)	8,76	10,21	8,13	18,76

Médias seguidas de mesma letra, dentro de cada parâmetro estudado, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

⁽¹⁾ Ureia convencional com 45% de N ⁽²⁾ Ureia revestida com 43,18% de N ⁽³⁾ Ureia revestida com 41,355% de N

⁽⁴⁾ Ureia revestida com 41,355% de N ⁽⁵⁾ $Y = 6050,6562 + 14,7117N$ ($R^2 = 0,82$)

^(ns) Equação de regressão não significativa.

Fonte: Elaboração dos autores.

No experimento com milho safrinha, a produtividade máxima foi de 7.702 kg ha⁻¹ com a dose de 80 kg ha⁻¹ de N, representado um acréscimo de 23% em relação ao controle sem adubação. Fernandes et al. (2005), avaliando a eficiência de doses de N (0, 30, 90 e 180 kg ha⁻¹) em seis cultivares de milho irrigado, na região de Selvíria – MS, constataram que a máxima produtividade média foi alcançada com a estimativa de 110 kg ha⁻¹ de N para uma produtividade de 6.000 kg ha⁻¹ de grãos. Por sua vez, Mar et al. (2003) também verificaram resposta positiva da adubação nitrogenada no milho safrinha, sendo a maior produtividade de grãos obtida com a dose de 120 kg ha⁻¹ de N. Já Souza et al. (2003) observaram para cultura do milho irrigado resposta entre 120 e 150 kg ha⁻¹ de N. Por outro lado, Casagrande e Fornasieri Filho (2002) não constataram efeito de doses de N (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de N) aplicadas na forma de ureia, na produtividade de grãos de milho safrinha.

Conclusões

As ureias revestidas por polímeros não são eficientes nas condições edafoclimáticas de cerrado de baixa altitude estudada, pois proporcionam resultados semelhantes à ureia convencional nas mesmas doses de nitrogênio, para o teor de N foliar, componentes de produção e produtividade de grãos de milho irrigado, tanto no cultivo safra como na safrinha.

Os incrementos no teor de N foliar e na produtividade de grãos nos dois cultivos de milho irrigado, no índice de clorofila foliar na safrinha, com as doses de nitrogênio até 120 kg ha⁻¹ em cobertura, são iguais para as ureias revestidas por polímeros e convencional.

Referências

- AMARAL FILHO, J. P. R. do; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 467-473, 2005.
- 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.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; FOSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L.; SUHRE, E.; TEICHMANN, L. L. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 109-119, 2003.
- BLAYLOCK, A. O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. *Informações Agrônomicas*, Piracicaba, n. 120, p. 8-10, 2007.
- BONO, J. A. M.; SETTI, J. C. A.; SPEKKEN, S. S. P. O nitrogênio protegido como alternativa de fertilizante para o uso no plantio da cultura do algodão. *Ensaio e Ciência*, Valinhos, v. 10, n. 1, p. 39-45, 2006.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 7, p. 375-470.
- CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. O uso de inibidor de urease para aumentar a eficiência da ureia. SIMPÓSIO SOBRE INFORMAÇÕES RECENTES PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA, 1., 2006, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: INPI, 2006. p. 1-19.
- CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). *Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes*. Piracicaba: IPNI, 2010. cap.1, p. 5-46.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo*. Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).
- CASAGRANDE, J. R. R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 1, p. 33-40, 2002.
- CHITOLINA, J. C. *Fertilizantes de lenta liberação de N: conceitos*. Uréia coberta com enxofre. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 16 p.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Balanço de nitrogênio 15N em um Latossolo Vermelho-escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 15, p. 187-193, 1991.
- CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, D. P. *Manejo da cultura do milho*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. p. 1-12. (Circular técnico, 87).
- CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; SANTOS, J. R.; ALBUQUERQUE, A. W.; PEREIRA, R. G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 62-68, 2008.
- FERNANDES, F. C. S.; BUZZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 4, n. 2, p. 195-204, 2005.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, Lavras, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.
- GAVA, G. J. de C.; OLIVEIRA, M. W. de; SILVA, M. de A.; JERÔNIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; TRIVELIN, P. C. O. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em milho cultivado com diferentes doses de 15N-uréia. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, n. 4, p. 851-862, 2010.
- HOEFT, R. G. Desafios para obtenção de altas produtividades de milho e soja nos EUA. *Informações Agrônomicas*, Piracicaba, n. 104, p. 1-4, 2003.
- LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KONDÖRFER, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 363-376, 2000.
- MAR, G. D.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; NOVELINO, J. O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. *Bragantia*, Campinas, v. 62, n. 2, p. 267-274, 2003.
- OLIVEIRA, J. M. S.; CAIRES, E. F. Adubação nitrogenada em cobertura para o milho cultivado após aveia preta no sistema plantio direto. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 25, n. 2, p. 351-357, 2003.

- PEREIRA, H. S.; LEÃO, A. F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M. A. C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1685-1694, 2009.
- PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A. G.; FREITAS, A. R. Adubação Nitrogenada em capim *coastcross*: Efeitos na extração de nutrientes e recuperação aparente do nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 68-78, 2004.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- 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, v. 29, n. 1, p. 13-24, 1994.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- SILVA, E. C.; BUZETTI, 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*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 353-362, 2005.
- 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*, Campinas, v. 70, n. 2, p. 447-454, 2011.
- SOUZA, L. C. F.; FEDATTO, E.; GONÇALVES, M. C.; SOBRINHO, T. A.; HOOGERHEIDE, H. C.; VIEIRA, V. V. Produtividade de grãos de milho irrigado em função da cultura antecessora e de doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 2, n. 2, p. 44-51, 2003.
- TRENKEL, M. E. *Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture*. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010.
- 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. 191-196, 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*, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

