



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



Camila Estevam de Barros

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO DE COBERTURA COM UREIA
REVESTIDA POR POLÍMEROS NA CULTURA DO MILHO**

ARARAS - 2015



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



Camila Estevam de Barros

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO DE COBERTURA COM UREIA
REVESTIDA POR POLÍMEROS NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de Final de Curso apresentado ao Curso de
Engenharia Agrônoma – CCA – UFSCar para a
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Marcio Roberto Soares

ARARAS - 2015

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de São Carlos, seu corpo docente, direção e administração que contribuíram para minha formação e meu crescimento pessoal e profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcio Roberto Soares, pelo suporte, pelas suas correções, pelos ensinamentos e paciência para a realização do presente trabalho.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Aos meus amigos da universidade e em especial a todas as minhas “irmãs” da República Gaia pela amizade, carinho e apoio.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
1.1	Hipótese e Objetivos.....	6
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1	Estádios fenológicos da cultura do milho	7
2.2	Exigência nutricional	8
2.3	Importância do nitrogênio.....	10
2.4	Tecnologia de fertilizantes.....	14
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1	Análise de variância.....	22
4.2	Parâmetros biométricos	23
4.3	Teores foliares de macro e de micronutrientes	25
4.4	Parâmetros de solo	27
4.5	Implicações práticas.....	29
5	CONCLUSÕES	31
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

RESUMO

Um dos aspectos mais importantes no planejamento do cultivo do milho é o manejo da adubação, de forma a alcançar a máxima eficiência de uso dos nutrientes oferecidos na forma de fertilizantes. O nitrogênio (N) é o nutriente mais requerido pela cultura do milho. A fonte de N e a forma de aplicação podem influenciar no aproveitamento do nutriente pela cultura, uma vez que o N está sujeito a importantes rotas de perda, tais como a lixiviação, a desnitrificação e, sobretudo, a volatilização. A indústria de fertilizantes tem investido em novas tecnologias de fabricação, tais como de ureia revestida com polímeros, que diminuem o potencial de perda e que ampliam a eficiência de uso de nutrientes pelas plantas. O objetivo deste trabalho foi comparar fontes tradicionais de N (ureia e sulfato de amônio) com uma fonte inovadora de N, provida de tecnologia protetiva para minimização de perdas do elemento, quanto ao suprimento de N em cobertura na cultura do milho e aos efeitos sobre a biometria das plantas e sobre os atributos de fertilidade do solo. O cultivo convencional do híbrido de milho AG 8061 PRO 2 da Agrocere ocorreu em Latossolo Vermelho Distrófico, considerando alta classe de resposta a N e produtividade esperada de 8 a 10 t ha⁻¹. O experimento foi conduzido sob condições de campo, em delineamento inteiramente causalizado, com 5 repetições e 4 tratamentos com N na adubação de cobertura: T0 – testemunha; T1 - sulfato de amônio; T2 – ureia revestida com polímeros; T3 – ureia comum. Aos 150 dias após o plantio, foram realizadas avaliações biométricas de altura de planta, diâmetro do colmo, número de folhas acima da espiga, massa seca, produtividade, peso por espiga e massa de mil grãos. Foram realizadas análises de macro e de micronutrientes da folha diagnóstica do milho, além da análise química para fins de fertilidade do solo, incluindo de N, ao final do experimento. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos pelo teste F, foram avaliados pelo teste de Tukey a 5% de significância. O uso de fontes distintas de N não influenciou os parâmetros biométricos e de produtividade da cultura do milho e os teores foliares de K, S e micronutrientes. Teores foliares de N, Ca e Mg foram maiores nas plantas de milho adubadas com sulfato de amônio. Plantas que receberam ureia apresentaram maiores teores foliares de P. Os teores foliares de P, K, S, Cu e Zn foram insuficientes, independentemente do tratamento. A fonte nitrogenada não provocou alterações nos atributos do solo, exceto nos teores de Ca e na capacidade de troca de cátions (CTC), que foram maiores nas parcelas adubadas com ureia. Ao contrário do esperado, a fonte nitrogenada não provocou alterações no pH e no N residual do solo. A ureia protegida não promoveu melhorias nos parâmetros biométricos e de produtividade da cultura do milho e nos atributos do solo, apresentando desempenho similar às fontes tradicionais de N.

Palavras-chave: *Zea mays*; tecnologia de fertilizantes; adubação nitrogenada.

1 INTRODUÇÃO

O milho é o cereal de maior volume de produção no mundo, com aproximadamente 960 milhões de toneladas. Estados Unidos, China, Brasil e Argentina são os maiores produtores, representando 70% da produção mundial. O Brasil, que possui uma área cultivada de 15,12 milhões de hectares e produção de 82 milhões de toneladas, é considerado um país estratégico no mercado de grãos, pois é o terceiro maior produtor e o segundo maior exportador mundial de milho (PEIXOTO, 2014).

O Brasil apesar de ser um dos maiores produtores de milho, tem uma baixa produtividade média. De acordo com o primeiro acompanhamento da safra brasileira de grãos 2015/2016, a produtividade média nacional da cultura do milho foi de 5,7 t ha⁻¹ (CONAB, 2015). Dentre os principais fatores que contribuem para a baixa produtividade média destaca-se as perdas e a aplicação de quantidade insuficiente de N, nutriente absorvido em maior quantidade pelo milho, que mais influencia o rendimento de grãos e que mais onera o custo de produção da cultura (SANGOI; ALMEIDA, 1994; ARAÚJO et al., 2004; SILVA et al., 2005).

O manejo e a recomendação da adubação nitrogenada são considerados complexos, devido à multiplicidade de reações químicas e biológicas, dependência das condições edafoclimáticas, vulnerabilidade a perdas por lixiviação, volatilização, desnitrificação e erosão, além dos processos de imobilização biológica (MEIRE, 2006). Por estas razões, a forma de manejo do N exerce grande influência no seu aproveitamento pelo milho (MENGEL; BARBER, 1974; VARVEL et al., 1997; SILVA et al., 2005). Os adubos nitrogenados mais utilizados na cultura do milho são o sulfato de amônio e a ureia. Devido aos fatores que governam as perdas de N no solo, há diferentes respostas das culturas com relação às fontes, doses e formas de aplicação do nutriente (MALAVOLTA et al., 2000).

A ureia é uma das principais fontes de N utilizada na cultura do milho. Possui elevada concentração (45% N) e permite obtenção de formulações concentradas com custo menor comparada a outras fontes. Segundo Mello (1987), a ureia como fertilizante tem apresentado menor eficiência que outras fontes de N para um grande número de culturas em diferentes solos e climas. Perdas de N contido na ureia podem ocorrer por lixiviação de NO₃⁻ ou pela volatilização do NH₃. A lixiviação do nitrato é uma rota de perda de N que independe da fonte, uma vez que as diversas formas de N no solo (orgânica, amoniacal, amídica) tendem a evoluir para NO₃⁻ com o tempo. A estratégia tradicional para minimizar perdas por

lixiviação é o parcelamento da adubação nitrogenada. Importantes perdas por volatilização da ureia na forma de gás NH_3 ocorrem principalmente quando o fertilizante é aplicado na superfície do solo. A opção mais simples para contornar este problema é o uso de produtos obtidos a partir do sulfato de amônio, que podem ser aplicados na superfície do solo, mesmo sobre restos culturais, sem o risco de volatilização. Trata-se de fonte de N prontamente absorvido pelo milho, que aporta enxofre em sua fórmula e que possui baixa higroscopicidade. Outra opção de redução de perdas por volatilização é o envolvimento da ureia por produtos menos higroscópicos. Isso permite sua aplicação na superfície do solo, com liberação lenta de N, possibilitando maior penetração do elemento no solo. Dessa forma, o processo de hidrólise ocorre no interior do solo, reduzindo consideravelmente as perdas de N na forma de gás amônia. A indústria de fertilizantes tem investido em altas tecnologias de produção de insumos. Recentemente, o setor disponibilizou uma opção de fertilizante nitrogenado sólido e granulado com liberação lenta de N. O produto tem como especificidade o revestimento do grânulo de ureia com dupla membrana formada por um complexo orgânico e um complexo mineral (TIMAC, 2014). Entretanto, ainda há escassez de estudos que avaliem a eficácia da tecnologia quanto à minimização de perdas de N por volatilização e à eficiência de uso do elemento pelas plantas.

1.1 Hipótese e Objetivos

Considerando a hipótese de que a ureia protegida seja uma fonte de nitrogênio (N) menos suscetível às perdas por volatilização e lixiviação, aumentando a eficiência de uso do elemento pelas plantas, o objetivo geral do trabalho foi comparar fontes tradicionais de N (ureia e sulfato de amônio) com uma fonte inovadora de N, provida de tecnologia protetiva para minimização de perdas do elemento, no suprimento de N em cobertura na cultura do milho. Os objetivos específicos foram avaliar os efeitos da fonte nitrogenada sobre a biometria das plantas e sobre os atributos de fertilidade do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um dos aspectos mais importantes no planejamento do cultivo da cultura do milho é o manejo da adubação, de forma a alcançar a máxima eficiência de uso dos nutrientes oferecidos na forma de fertilizantes. O conhecimento da marcha de absorção, ou seja, o acúmulo de nutrientes nos diferentes estádios de desenvolvimento da planta, identificando as épocas em que os elementos são exigidos em maiores quantidades, associado ao potencial de perdas de nutrientes nos diferentes tipos de manejo dos solos, são fatores importantes a considerar na aplicação parcelada de fertilizantes para a cultura, principalmente sob condições irrigadas.

2.1 Estádios fenológicos da cultura do milho

Segundo Magalhães; Souza (2011), embora a marcha de absorção de nutrientes seja afetada por clima, cultivares e sistemas de cultivo, considera-se que os nutrientes são absorvidos durante todo o ciclo da planta, diferindo quanto à velocidade de absorção nos diferentes estádios de desenvolvimento vegetal e quanto à translocação de parte dos seus conteúdos das folhas e dos colmos para os órgãos reprodutivos.

O ciclo da cultura de milho pode ser compreendido em cinco diferentes etapas de desenvolvimento (EMBRAPA, 2006):

Etapa I – Germinação e emergência: período compreendido entre a semeadura e o aparecimento da plântula de milho. É muito variável em função da temperatura e do nível de umidade do solo, podendo durar de cinco a até 15 dias.

Etapa II - Crescimento vegetativo: período compreendido entre a emissão da segunda folha definitiva (considera-se folha definitiva aquela totalmente emergida do cartucho, em que é possível observar a olho nu a linha de união entre a lâmina e a bainha da folha) e o início do florescimento de milho. É durante essa etapa que são determinados importantes componentes do rendimento de grãos. Entre seis e nove folhas define-se o número de fileiras de grãos por espiga de milho e entre 12 a 15 folhas o número de grãos por fileira.

Etapa III – Florescimento: período compreendido entre a polinização e o início da frutificação de milho, que normalmente tem sua duração estabelecida entre quatro e oito dias.

Etapa IV – Frutificação: período compreendido entre a fecundação e o enchimento de grãos de milho. Essa etapa é conhecida pelos técnicos e agricultores pela fase de enchimento de grãos. A duração dessa etapa, dependendo da cultivar e das condições ambientais, pode variar de 40 a 60 dias.

Etapa V – Maturação: período compreendido entre o fim da frutificação e a maturação fisiológica ou aparecimento da camada preta na base do grão de milho (que fica em contato com o sabugo).

O conhecimento detalhado de cada uma dessas etapas e de como cada uma interfere no rendimento de grãos final da lavoura é de fundamental importância para o melhor manejo da cultura, buscando elevar a produtividade através da potencialização de cada um dos componentes do rendimento de grãos (VARGAS; PEIXOTO; ROMAN, 2006).

2.2 Exigência nutricional

As necessidades nutricionais de qualquer planta são determinadas pela quantidade de nutrientes extraídos durante o seu ciclo. Dentre todos nutrientes essenciais para o pleno desenvolvimento vegetal, a importância do nitrogênio (N) e do potássio (K) sobressai quando o sistema de produção agrícola de milho passa de extrativa, com baixas produções por unidade de área, para intensiva e tecnificada, com o uso de irrigação. Em condições de baixa produtividade, as exigências nutricionais são menores (Tabela 1).

Tabela 1: Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada á produção de grãos e silagem em diferentes níveis de produtividade

Tipo de exploração	Produtividade	Nutrientes extraídos				
		N	P	K	Ca	Mg
	<i>t/ha</i>	<i>kg/ha</i>				
Grãos	3,65	77	9	83	10	10
	5,80	100	19	95	7	17
	7,87	167	33	113	27	25
	9,17	187	34	143	30	28
	10,15	217	42	157	32	33
Silagem (matéria seca)	11,60	115	15	69	35	26
	15,31	181	21	213	41	28
	17,13	230	23	271	52	31
	18,65	231	26	259	58	32

Fonte: Coelho (2008).

O manejo adequado deve garantir que a quantidade de nutrientes disponíveis no solo por intermédio dos fertilizantes seja absorvida pelas plantas dentro de um determinado período de tempo, diminuindo perdas por lixiviação, volatilização e adsorção. Pesquisas científicas mostram baixos percentuais de absorção pelas plantas dos nutrientes dos fertilizantes minerais. A taxa de utilização de N é de 50 a 60% no primeiro ano, a de P é de 10 a 25% no primeiro ano e de 1% a 2% por ano, e a de K é de cerca de 50-60% no primeiro ano (BORSARI, 2013).

No que se refere à exportação dos nutrientes, o fósforo é quase todo translocado para os grãos (80 a 90%), seguindo pelo nitrogênio (75%), enxofre (60%), magnésio (50%), potássio (20-30%) e o cálcio (10-15%) (LEÃO; 2008). Os teores foliares de macro e de micronutrientes considerados adequados para grãos de cereais estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Faixas de teores adequados de macro- e micronutrientes em folhas diagnósticas de cereais.

Cultura	Faixas de teores					
	Macronutrientes, g/kg					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Arroz (1)	27-35	1,8-3,0	13-30	2,5-10,0	1,5-5,0	1,4-3,0
Aveia	20-30	2,0-5,0	15-30	2,5- 5,0	1,5-5,0	1,5-4,0
Centeio	25-35	2,0-5,0	19-23	2,5- 6,0	1,5-5,0	1,5-5,0
Cevada	17-30	2,0-5,0	15-30	2,5- 6,0	1,5-5,0	1,5-4,0
Milho	27-35	2,0-4,0	17-35	2,5- 8,0	1,5-5,0	1,5-3,0
Sorgo	25-35	2,0-4,0	14-25	2,5- 6,0	1,5-5,0	1,5-3,0
Trigo	20-34	2,1-3,3	15-30	2,5-10,0	1,5-4,0	1,5-3,0
	Micronutrientes, mg/kg					
	B	Cu	Fe	Mn	MO	Zn
Arroz	4-25	3-25	70-200	70-400	0,1-0,3	10- 50
Aveia	5-20	5-25	40-150	25-100	0,2-0,3	15- 70
Centeio	5-20	5-25	25-200	14-150	0,2-2,0	15- 70
Cevada	5-20	5-25	25-100	20-100	0,1-0,2	15- 70
Milho	10-25	6-20	30-250	20-200	0,1-0,2	15-100
Sorgo	4-20	5-20	65-100	10-190	0,1-0,3	15- 50
Trigo	5-20	5-25	10-300	25-150	0,3-0,5	20- 70

(1) Para o arroz irrigado, o teor de silício na palhada em plantas maduras normalmente está acima de 50 g/kg.

Fonte: Rajj et al. (1997).

2.3 Importância do nitrogênio

De acordo com Coelho (2008), o nitrogênio é o nutriente mais requerido pela cultura do milho. Em cerca de 80% dos trabalhos realizados com esse elemento, a cultura do milho respondeu de forma positiva a sua adição. Por remover grandes quantidades de nitrogênio do solo, a cultura requer o uso de adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo, quando se deseja produtividades elevadas (Figura 1).

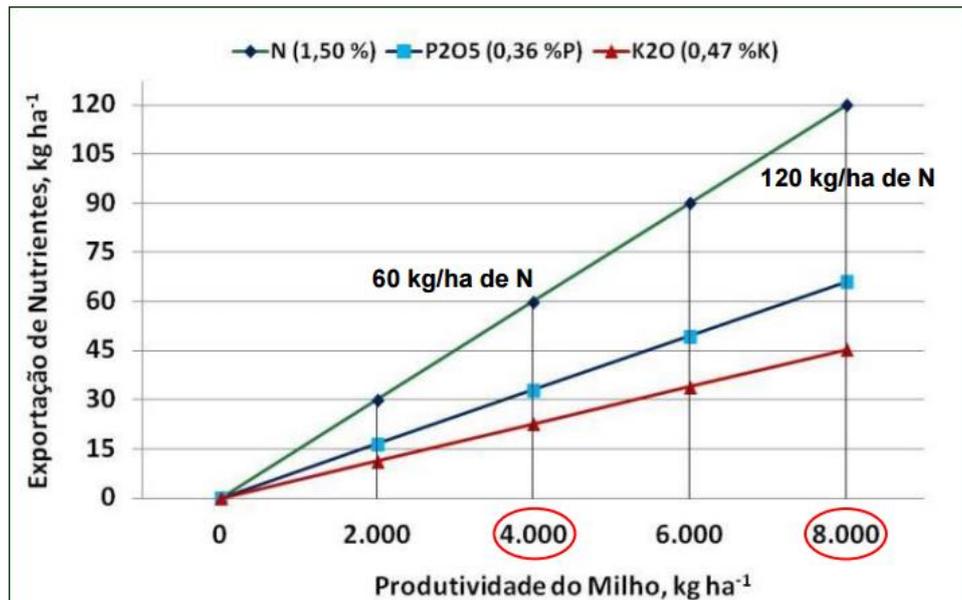


Figura 1: Exportação de nutrientes pela cultura do milho em função da produtividade.

Fonte: Duarte (2014).

A máxima absorção desse nutriente ocorre durante o período vegetativo e o reprodutivo ou formação da espiga. Menores taxas de absorção são observadas no período compreendido entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga (OLNESS;BENOIT, 1992).

Resultados obtidos por Novais et al. (1974) sobre o parcelamento do nitrogênio na cultura do milho mostraram que o não suprimento deste nutriente durante a fase inicial de desenvolvimento vegetativo, com aplicação de toda a dose no florescimento (65 DAP), assim como o excessivo número de aplicações parceladas, apresentaram menor eficiência do que a aplicação por ocasião do plantio e na fase de desenvolvimento vegetativo.

A fonte de N e a forma de aplicação podem influenciar no aproveitamento do nutriente pelo milho, onde sua aplicação a lanço sobre a superfície do solo pode ocasionar grandes perdas de N por volatilização de NH_3 (CANTARELLA, 2007). A volatilização é a rota de perda de nitrogênio na forma de compostos gasosos, que ocorre em diversas situações, o que pode levar a uma baixa eficiência dos fertilizantes nitrogenados, principalmente em meio alcalino e quando aplicados em superfície (ALCARDE et al. 1998, LOPES; GUILHERME 2000, SOUSA; LOBATO 2004).

As transformações e perdas de N no solo ocorrem por processos de mineralização, imobilização, nitrificação, desnitrificação, lixiviação e volatilização (Figura 2). A perda do nitrogênio pode ocorrer quando o solo apresenta pH alcalino, baixa capacidade de troca de

cátions, baixa capacidade tampão do hidrogênio, alta temperatura, baixa umidade e altas doses de nitrogênio, ou pela ação conjunta de dois ou mais destes fatores (OLIVEIRA; BALBINO 1995). Isto, em parte, ocorre por meio dos processos de

- Lixiviação do nitrato: O nitrato (NO_3) é a forma mineral de nitrogênio predominante nos solos sem restrição de oxigênio. Devido ao predomínio de cargas negativas na camada arável, a sua adsorção eletrostática é insignificante. Desta forma, o nitrato permanece na solução do solo, o que favorece sua lixiviação no perfil para profundidades inexploradas pelas raízes (CERETTA; FRIES, 1997). Esta é influenciada diretamente pelos fatores que determinam o fluxo de água no solo e pela concentração de NO_3 na solução (WHITE, 1987).
- Volatilização da amônia: as perdas de nitrogênio (N) por volatilização ocorrem na hidrólise enzimática da ureia no solo, com a produção de amônia (NH_3). A diminuição do potencial de perdas ocorre quando esse gás passa para o íon amônio (NH_4^+), que depende do pH em torno do grânulo da ureia e da umidade do solo. Essa passagem é intensificada pela difusão da amônia no solo e depende da textura, porosidade, umidade e da capacidade do solo em reter o amônio. Na maioria dos solos esta perda é insignificante abaixo de pH 8,0, e a magnitude varia diretamente com o aumento da alcalinidade. Temperaturas altas favorecem o processo, mas as perdas são menores em solos com alta CTC (COSTA et al., 2003).
- Desnitrificação: redução microbiana de nitrito e nitrato com a liberação de nitrogênio molecular e óxido nitroso (N_2O). É também conhecida como desnitrificação enzimática. Na desnitrificação o N é perdido ou volatilizado para a atmosfera. Ela é essencialmente um mecanismo respiratório em que o nitrato substitui o oxigênio molecular (CASSINI, 2015);
- Erosão do solo: a erosão do solo que carrega, pela ação das enxurradas e dos ventos, camadas de terra que contêm nutrientes, como o N. Ele é perdido pela erosão ou quando a água de irrigação o leva para as camadas mais profundas do solo. Solos com baixo teor de matéria orgânica deverão ser trabalhados no sentido de se aumentar o nível da mesma. As culturas que exigem muito N devem ser semeadas após a recuperação do solo, quanto ao teor de matéria orgânica (CASSINI, 2015).

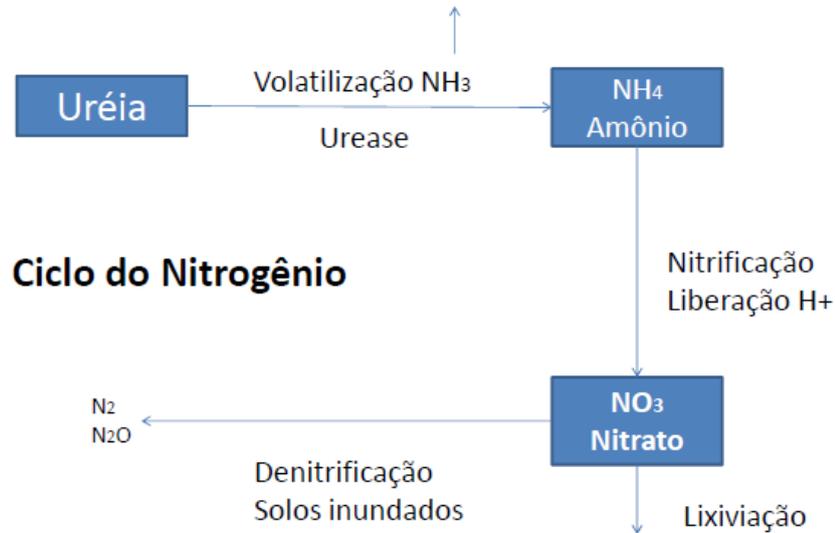


Figura 2: Possíveis rotas de perda de N no solo.

Os adubos nitrogenados que contêm amônia como, sulfato de amônio, nitrato de amônio, ureia e mais os fosfatos de amônio, além de sofrer com grandes perdas no solo, também causam a acidificação do solo através do processo de nitrificação, pois liberam, na sua reação com o solo, íons H^+ .

A absorção de N pela planta ocorre na forma de nitrato (NO_3^-) e/ou de amônio (NH_4^+), sendo a primeira forma mais frequente (SOUZA;LOBATO, 2002). A deficiência deste nutriente na planta de milho apresenta-se na forma de clorose da ponta para a base da folha (em forma de “V”), secamento começando na ponta das folhas mais velhas e progredindo ao longo da nervura principal, necrose e dilaceramento, além de colmos finos. Além dos sintomas característicos de uma ou outra desordem que só se manifestam em casos graves, a identificação do nível nutricional da planta somente é possível pela análise química de tecido vegetal. O órgão de controle escolhido mais frequentemente é a folha, pois é a sede do metabolismo e reflete bem, na sua composição, as mudanças na nutrição (COELHO, 2008).

A utilização da análise foliar como critério diagnóstico baseia-se na premissa de existir uma relação significativa entre o suprimento de nutrientes vindos do solo e os níveis foliares dos elementos, e que aumentos ou decréscimos nas concentrações se relacionam com produções mais altas ou mais baixas, respectivamente (COELHO,1995).

Considera-se que a fertilidade do solo seja um dos principais fatores responsáveis por essa baixa produtividade das áreas destinadas tanto para a produção de grãos como de forragem. Esse fato não se deve apenas aos baixos níveis de nutrientes presentes nos solos,

mas também ao uso inadequado de calagem e adubações, principalmente com nitrogênio e potássio. Diante disso, o manejo e a recomendação da adubação nitrogenada são tidos como um dos mais difíceis, devido à multiplicidade de reações químicas e biológicas à dependência das condições edafoclimáticas e à vulnerabilidade a perdas (MEIRE, 2006).

A volatilização é um dos processos que mais envolvem perdas de N no solo, que ocorre principalmente quando se utiliza a ureia como fonte de N aplicada na superfície do solo. Segundo Mello (1987), a ureia tem apresentado menor eficiência que outras fontes de nitrogênio para um grande número de culturas em diferentes solos e climas, devido a diferentes causas, como lixiviação de NO_3^- , volatilização do NH_3 e seu efeito tóxico sobre as plantas no início do período vegetativo. Entretanto, a ureia é uma das principais fontes de N utilizada devido a sua elevada concentração (45% N), pois permite obtenção de formulações concentradas com custo menor.

2.4 Tecnologia de fertilizantes

Para reduzir as perdas por volatilização de amônia, recomenda-se a incorporação dos fertilizantes nitrogenados amoniacais ou amídicos, em solos alcalinos ou calcários, associada à posterior e imediata irrigação. No caso da ureia, as perdas de NH_3 podem chegar a quase 80%, com a aplicação superficial no plantio direto, e 30%, no plantio convencional. A incorporação em, aproximadamente, 5,0-7,0 cm de profundidade no solo reduz, drasticamente, as perdas de amônia (CABEZAS, 1998).

Como o uso da ureia na agricultura está crescendo, estratégias para melhorar a sua eficiência, especialmente em áreas sob o sistema de plantio direto, estão sendo testadas. Dentre estas estratégias, incluem-se o uso de inibidores de urease (NBPT) e de nitrificação, a adição de compostos acidificantes e adubos de ureia, a incorporação de ureia ao solo e o uso de ureia revestida com polímeros ou gel, também conhecidas como fertilizantes de liberação lenta ou controlada (CANTARELLA, 2007). Os fertilizantes revestidos por polímeros visam reduzir as perdas de nutrientes por lixiviação, volatilização e adsorção, podendo ocasionar redução da dose a ser aplicada, além de diminuir operações de parcelamento de N e reduzir o processo de acidificação do solo.

O termo fertilizantes de liberação controlada (FLC) é aplicado quando os fatores que dominam a taxa, o padrão e a duração da liberação são bem conhecidos no tempo. O termo fertilizantes de liberação lenta (FLL) é aplicado onde o padrão de liberação é dependente do solo e das condições climáticas, não podendo ser previsto no tempo (BORSARI, 2013).

Para fabricação de um fertilizante inteligente, um dos principais métodos é recobrir (encapsulamento) um fertilizante solúvel em água com um material insolúvel em água, semipermeável ou impermeável com microporos. Isto controla a entrada e saída da água e, portanto, a taxa de dissolução dos nutrientes contidos dentro da cápsula, sincronizado a liberação de nutrientes de acordo com as necessidades das plantas (BORSARI, 2013).

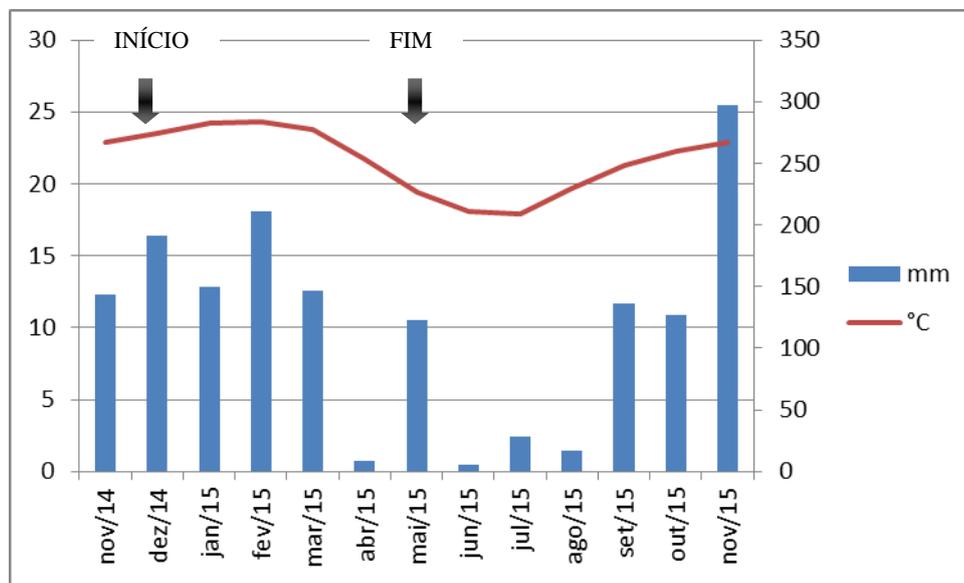
Alguns dos produtos mais importantes fabricados atualmente incluem: os materiais que liberam nutrientes através de compostos de baixa solubilidade com uma estrutura química complexa, tais como produtos de condensação de ureia-aldeído (por exemplo, ureia-formaldeído), ou compostos químicos (capazes de se decomporem, isobutiledene-diureia); materiais de liberação de nutrientes através de uma barreira física, por exemplo, fertilizantes revestidos com materiais inorgânicos, tais como enxofre, ou minerais, ou polímeros orgânicos; materiais liberando nutrientes incorporados numa matriz, a qual também pode ser revestida, incluindo matrizes à base de gel ou à base de matéria orgânica; materiais liberando nutrientes na forma tardia devido a uma relação pequena superfície/volume. Com processos mais complexos de fabricação e com a necessidade de materiais de revestimento de alta tecnologia, os fertilizantes inteligentes têm um preço significativamente mais elevado em comparação aos fertilizantes convencionais. Entretanto, o fator preponderante na tomada de decisão é o custo final considerado a otimização da aplicação e a redução dos custos de armazenagem, transporte e aplicação (BORSARI, 2013).

Trivelin (2013) verificou que o uso de 100% de ureia revestida com polímeros (URP) proporcionou maior produtividade de grãos de milho sem alterar o acúmulo de massa seca da parte aérea da cultura de milho quando comparada à utilização de ureia convencional (U). Em contrapartida, estudos como o de Civardi et al. (2011) concluíram que a aplicação de N, na dose de 120 kg ha⁻¹, com ureia comum, propiciou maior rendimento de grãos de milho e maior lucratividade, quando comparada a outras fontes nitrogenadas, como a ureia revestida com polímeros.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, Araras – SP (latitude sul 22° 18'; longitude oeste 47° 23'; altitude 620) de dezembro a maio de 2015. O clima é quente e temperado (Gráfico 1). Segundo a Köppen e Geiger (1928) a classificação do clima é Cfa. 20.3 °C é a temperatura média. 1312 mm é o valor da pluviosidade média anual.

Gráfico 1: Dados de pluviosidade e temperatura de novembro de 2014 a novembro de 2015, pertencente ao município de Araras.



O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico. Para a caracterização química do solo para fins de fertilidade (Tabela 3), foram retiradas amostras na profundidade de 0-20 cm após a realização da calagem.

Tabela 3: Atributos químicos da camada arável do Latossolo Vermelho Distrófico da área experimental usada para o cultivo do milho.

P _{Resina}	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³				%				mg dm ⁻³					
10	28	5,7	2,4	53	10	25	1,0	65,7	90,7	72	10	28	10	28	10	28

Para o plantio do milho foi utilizado o híbrido AG 8061 PRO 2 da Agrocere, que tem como características agrônômicas ciclo precoce, excelente sistema radicular e qualidade

do colmo, porte médio, bom empalhamento e tipo de grão semidentado e alaranjado. O espaçamento adotado foi de 5 plantas de milho/ m linear e entrelinha de 0,9 m.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente causalizado, com 4 tratamentos e 5 repetições, totalizando 20 parcelas. As parcelas constituíram-se de 5 linhas de cultivo, com dez metros de comprimento, sendo desconsideradas as duas linhas laterais, restando três linhas centrais como úteis. O experimento teve como área total 1.200 m² e parcelas de 50 m². O manejo adotado foi o convencional para alta classe de resposta a N (Tabela 4), ou seja, manejo adotado para solos corrigidos, com muitos anos de plantio contínuo de milho ou outras culturas não-leguminosas e com produtividade esperada de 8 a 10 t/ha. O histórico de plantio da área é caracterizado por seis anos de plantio contínuo de milho.

Tabela 4: Adubação mineral de cobertura levando em consideração a classe de resposta a nitrogênio

Produti- vidade Esperada t/ha	Classe de resposta a nitrogênio		
	1. Alta	2. Média	3. Baixa
	N, kg/ha		
2- 4	40	20	10
4- 6	60	40	20
6- 8	100	70	40
8-10	120	90	50
10-12	140	110	70

Fonte: Raij et. al. (1997)

Em relação à correção do solo, a calagem deve ser realizada com 90 dias de antecedência do plantio, porém foi realizada erroneamente 50 dias antes do plantio. A calagem foi feita com a finalidade de aumentar o V% do solo para 70%, valor ideal para a cultura do milho. No plantio foi adicionado 350 kg/ha da formulação de 8-28-16 de NPK, sem nenhum suprimento adicional de micronutrientes.

O suprimento total de N foi de 150 kg/ha de N, sendo 28 kg/ha no plantio e 120 kg/ha na cobertura, conforme recomendação Boletim Técnico N° 100 (RAIJ et al., 1997). Para a adubação de cobertura houve variação da fonte de adição de N. Esta foi aplicada entre os estágios V4 e V6 da cultura, ou seja, quando as plantas apresentavam de 4 a 6 folhas completamente expandidas.

As diferentes fontes de N aplicadas foram:

- T0-Testemunha: Não foi aplicado nenhum produto, utilizada como controle.

- T1-Sulfato de amônio (Figura 3): um composto inorgânico utilizado como fonte de N por apresentar em sua fórmula 21% de nitrogênio na forma amoniacal (NH_4^+) e 24% de enxofre na forma de sulfato (SO_4^{-2}), possuir baixa higroscopicidade e menores perdas por volatilização. Aplicado na quantidade de 60 g/m linear ou 667 kg/ha.



Figura 3: Aplicação de Sulfato de amônio na adubação da cultura do milho

- T2-Ureia revestida com polímeros (Figura 4): um fertilizante nitrogenado sólido e granulado para aplicação em cobertura, resultante de alta tecnologia de produção e tem como especificidade a dupla membrana, formada por um complexo orgânico e um complexo mineral. Sua formulação é composta por 29% de nitrogênio, 5% de cálcio, 7% de enxofre, 2% de magnésio. Aplicado na quantidade de 38g/m linear ou 423 kg/ha.



Figura 4: Aplicação de ureia revestida na adubação da cultura do milho

- T3-Ureia (Figura 5): é um produto sólido que se apresenta na forma de grânulos brancos. O produto contém 45% de nitrogênio, sendo higroscópico e solúvel em água. Aplicado na quantidade de 24g/m linear ou 267 kg/ha.



Figura 5: Aplicação de ureia na adubação da cultura do milho

A distribuição dos tratamentos foi localizada ao lado da linha de plantio.

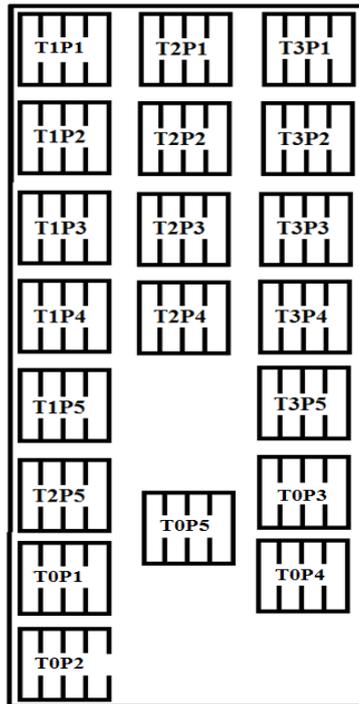


Figura 6: Croqui do experimento contendo 5 parcelas dos tratamentos: T0(Testemunha), T1(Sulfato de amônio), T2 (Ureia revestida) e T3(Ureia).

Os demais tratos culturais, como controle fitossanitário de plantas daninhas, pragas e doenças, também foram adotados seguindo o padrão de manejo da cultura do milho, respeitando o nível de dano da cultura (Tabela 5).

Tabela 5: Tratos culturais realizados durante o experimento.

03/12	Plantio
19 D.A.P.	Aplicação de Atrazina e Round up
40 D.A.P.	Adução de cobertura
65 D.A.P.	Início da floração
65 D.A.P.	Coleta das folhas para análise foliar
78 D.A.P.	Milho verde (70 a 80% de umidade)
120 D.A.P.	Milho no ponto de silagem (35% de umidade)
150 D.A.P.	Coleta dos dados

Para avaliação dos tratamentos, foram realizadas as seguintes medidas:

a) Massa seca: foram coletadas 3 plantas por parcela e pesadas com precisão de 0,01g, após a medida da massa úmida, as amostras foram colocadas em estufa, a 105°C por 8 dias, e pesadas novamente.

b) Diâmetro do colmo: determinado em 15 plantas por parcela, determinado no primeiro entrenó acima do colo da planta. (DEMÉTRIO et al, 2008)

c) **Altura de planta:** foram amostradas 15 plantas por parcela. A altura foi obtida a partir da medida da distância entre a superfície do solo e a base da inflorescência masculina. (EMBRAPA,2009)

d) **Nº de folhas acima da espiga:** foi contabilizado o número de folhas que havia acima da emissão da espiga superior (EMBRAPA,2009). Parâmetro avaliado com a finalidade de avaliar o suprimento de nutrientes para o enchimento dos grãos.

e) **Peso de 1000 grãos:** foram realizadas quatro repetições de 100 sementes. As amostras foram pesadas com precisão de 0,01g Para os tratamentos onde o coeficiente de variação foi maior do que 4%, foram feitas mais oito repetições por tratamento e o peso de 1000 grãos foi calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{Peso de mil grãos} = \frac{\text{peso da amostra} \times 1.000}{\text{nº total de sementes}}$$

f) **Análise foliar:** para cada parcela, foram coletadas cinco folhas de plantas distintas. A amostragem foi realizada quando 50% a 75% das plantas apresentaram inflorescência feminina. As amostras pertenciam ao terço basal da folha oposta e abaixo da primeira espiga (superior), com exclusão das nervuras centrais. Estas foram encaminhadas ao Laboratório de Química e Fertilidade de Solo da Universidade Federal de São Carlos. As diagnoses foliares foram realizadas conforme metodologia descrita por (TEIXEIRA; COSTA, 2010). Analisaram-se os teores N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

g) **Análise de solo:** as amostras foram coletadas com um trado em três pontos diferentes das linhas centrais de cada parcela, 150 dias após o plantio. Em seguida levadas ao laboratório em sacos plásticos e realizada a análise convencional e adicionado análise de N total segundo método descrito pela (TEIXEIRA; COSTA, 2010), com o objetivo de analisar o efeito residual das fontes nitrogenadas.

h) **Produtividade (peso/espiga):** foram coletadas 15 espigas por parcela e debulhadas em um recipiente. Foi medida a massa de cada parcela e retirada a média de peso/espiga.

Os resultados foram submetidos ao programa estatístico R para à análise da variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de variância

Os tratamentos com diferentes fontes de nitrogênio apresentaram efeitos significativos pelo teste F sobre parâmetros biométricos como diâmetro de colmo, número de folhas acima da espiga, peso/espiga, produtividade, massa de mil grãos e massa seca (Tabela 6).

Tabela 6: Análise de variância de altura, diâmetro, número de folhas acima da espiga, peso/espiga, produtividade e massa de mil grãos de plantas de milho submetidas diferentes fontes de adubação nitrogenada em cobertura.

FV	gl	F calculado						
		Altura	Diâmetro	Nº de folhas acima da espiga	Peso/espiga	Produtividade	Massa de 1000 grãos	Massa seca
Tratamentos	3	2.59 ^{ns}	8.22*	9.80*	932.42*	13.60*	10.53*	4.80*
Resíduos	16	0.001	14.01	0.05	0.18	0.89	39.01	3.45
CV %		1.5 %	11.01 %	4.06 %	25.38 %	7.46 %	1.74 %	19,49%

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo; FV: fonte de variação.

Os tratamentos também resultaram em diferenças significativas para os teores foliares de nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio. Para potássio, enxofre e micronutrientes, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 7).

Tabela 7: Análise de variância de teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn de plantas de milho submetidas diferentes fontes de adubação nitrogenada em cobertura.

FV	gl	F calculado										
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamentos	3	3.71*	28.04*	3.10 ^{ns}	59.69*	7.97*	0.39 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.44 ^{ns}	0.65 ^{ns}	0.48 ^{ns}	2.33 ^{ns}
Resíduos	16	12.78	0.04	0.23	0.07	0.07	0.018	52.82	30.51	0.05	486.79	17.60
CV %		10.47 %	12.22 %	16.13 %	8.46 %	25.49 %	10.43 %	39.08 %	60.6 %	6.71 %	37.53 %	20.49 %

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo; FV: fonte de variação.

A análise do solo ao final do experimento revelou que os tratamentos não resultaram em diferenças significativas para a maioria dos atributos químicos, com exceção dos teores de cálcio e de magnésio e da CTC (Tabela 8).

Tabela 8: Análise de variância dos resultados da análise química para fins de fertilidade do solo após diferentes fontes de adubação nitrogenada em cobertura.

FV	gl	F calculado										
		N total	P resina	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
Tratamentos	3	0.44 ^{ns}	1.23 ^{ns}	0.31 ^{ns}	0.42 ^{ns}	2.80 ^{ns}	3.58*	3.60*	1.00 ^{ns}	1.60 ^{ns}	3.68*	2.44 ^{ns}
Resíduos	16	0.0021	13.17	127.20	0.079	0.33	22.75	2.16	15.19	40.33	26.22	25.95
CV %		28.64 %	30.89 %	15.87 %	5.3 %	17.69 %	14.48 %	13.23 %	11.05 %	13.34 %	6.15 %	8.77 %

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo; FV: fonte de variação.

4.2 Parâmetros biométricos

A altura de plantas é uma característica genética influenciada pelo ambiente no qual a planta se desenvolve. Logo, a adição de diferentes fontes de nitrogênio em cobertura pode repercutir sobre a altura das plantas, pois o nitrogênio, dentre outras funções na planta, está relacionado ao crescimento vegetativo. Porém, para este experimento, a adição das diferentes fontes de N não provocou diferenças significativas em relação a altura das plantas de milho (Tabela 9). Civardi et al. (2011), comparando ureia convencional incorporada e ureia polimerizada a lanço no plantio do milho em Neossolo Quartzarênico órtico, também não observaram diferenças na altura das plantas em decorrência da fonte e do modo de aplicação da fonte nitrogenada. Silva et al. (2012), utilizando fontes encapsuladas Uremax e Uremax Plus e ureia convencional, também não observaram diferenças significativas na altura das plantas de milho.

Tabela 9: Parâmetros biométricos de altura, diâmetro de colmo e número de folhas acima da espiga de plantas de milho submetidas a diferentes fontes de nitrogênio na adubação de cobertura.

	Altura (m)	Diâmetro (cm)	Nº de folhas acima da espiga
T0-Testemunha	2,28 ns	8,71 b	5.60 b
T1-Sulfato de amônio	2,26 ns	11,02 a	5.75 b
T2-Ureia revestida	2,29 ns	10,90 a	6.03 ab
T3-Ureia	2,23 ns	12,38 a	6.36 a

Médias na mesma coluna seguidas de letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A aplicação de nitrogênio, independentemente da fonte, resultou em diâmetro do colmo significativamente maior quando comparada à testemunha. Entretanto, não houve diferença significativa entre as fontes nitrogenadas (Tabela 9). Soratto et. al.(2010), comparando quatro doses de nitrogênio (0; 30; 60 e 120 kg ha⁻¹) com quatro fontes de N (ureia, sulfato de amônio, ureia extrusada com produtos amiláceos (Amiréia® 180S) e sulfonitrato de amônio com inibidor de nitrificação (Entec® 26)) em Latossolo Vermelho

distrófico, verificou que o diâmetro do colmo de plantas de milho foram incrementados pela doses de N em cobertura, independentemente da fonte utilizada.

Na cultura do milho, a maior estatura de planta, o menor diâmetro do colmo e a sua maior fragilidade em altas densidades favorecem o aumento da porcentagem de plantas acamadas e quebradas antes da colheita (ARGENTA et al., 2001), Sendo assim, é possível que as plantas cultivadas em T0, por ter altura semelhante às cultivadas em T1, T2 e T3, mas com menor diâmetro de colmo, possam ser mais suscetíveis ao acamamento e a quebra de plantas antes da colheita. A aplicação da ureia como fonte nitrogenada resultou em número de folhas acima da espiga significativamente maior (Tabela 9). Segundo Vazquez; Garcia; Assis (2012) e Trojan; Jacumazo (2012), as folhas acima da espiga são as principais responsáveis pelo enchimento de grãos. O fornecimento de ureia também resultou em maior acúmulo de biomassa seca pelas plantas, enquanto o uso de sulfato de amônio e de ureia revestida foram significativamente menores (Tabela 10).

Tabela 10: Parâmetros biométricos de peso/espiga, produtividade, massa de mil grãos e massa seca de plantas de milho submetidas a diferentes fontes de nitrogênio na adubação de cobertura.

	Peso/espiga(g)	Produtividade (t/ha)	Massa de 1000 grãos (g)	Massa seca (t/ha)
T0-Testemunha	176,210 b	10,44 b	347,10 b	11,10 ab
T1-Sulfato de amônio	220,660 a	13,24 a	357,95 a	8,04 b
T2-Ureia revestida	216,937 a	13,01 a	370,20 a	7,98 b
T3-Ureia	234,360 a	14,06 a	368,40 a	11,22 a

Médias na mesma coluna seguidas de letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O fornecimento de N resultou em aumento da produtividade e dos fatores relacionados a ela, como peso/espiga e massa de mil grãos (Tabela 10; Figura7). Eram esperadas diferenças nestes parâmetros decorrentes da fonte de N, mas o uso de sulfato de amônio, ureia ou ureia protegida não causou alterações na produtividade da cultura do milho. Apesar de não se diferenciarem quanto a produtividade, os tratamentos obtiveram valores acima do esperado (10 a 12 t/ha), com resultados entre 13 a 14 toneladas/hectare. Queiroz et al. (2011), comparando diferentes doses (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹) com três fontes de N (ureia, nitrato de amônio e ureia polimerizada), relataram que a massa de mil grãos não foi alterada pela fonte nitrogenada, mas sim pela dose. A ausência de efeito diferencial de fontes de ureia protegida ou de liberação gradual sobre o desempenho agrônômico da cultura do milho foi relatada em outros estudos (MEIRE, 2006; SILVA et al., 2012; VALDERRAMA, 2011) cultivaram milho em Latossolo Vermelho Distrófico para comparar o uso de alguns

tipos de ureia revestida com polímeros (K-0043, K-0049 e K-0055) com a ureia convencional e não encontraram diferenças sobre a massa de mil grãos. Por outro lado, Civardi et al. (2011) concluíram que a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de ureia comum propiciou maior rendimento de grãos de milho e maior lucratividade do que o uso de ureia revestida com polímeros.



Figura 7: Espigas coletadas para medir produtividade, massa de mil grãos e peso/espiga

4.3 Teores foliares de macro e de micronutrientes

O tratamento com sulfato de amônio resultou em teores foliares significativamente maiores de N quando comparado com a ureia. Os resultados a partir da ureia revestida e da testemunha foram estatisticamente iguais aos demais tratamentos. Entretanto, todos os tratamentos resultaram em teores foliares de N considerados adequados para a cultura do milho, cuja faixa está entre 27 e 35 g kg⁻¹ (RAIJ et al. 1997) (Tabela 11).

Tabela 11: Resultados da análise de macronutrientes em folhas de plantas de milho submetidas a diferentes fontes de adubação nitrogenada em cobertura.

Fonte de N	N	P	K	Ca	Mg	S
	g/kg					
Testemunha	32,8 ab	2,15 a	2,82 ns	2,50 c	0,89 b	1,30 ns
Sulfato de amônio	37,3 a	1,31 b	4,03 ns	4,27 a	1,59 a	1,24 ns
Ureia revestida	36,0 ab	1,39 b	3,01 ns	3,39 b	0,93 b	1,34 ns
Ureia	30,5 b	1,92 a	3,05 ns	2,51 c	0,89 b	1,29 ns

Médias na mesma coluna seguidas de letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados semelhantes foram obtidos por Souza et al. (2011) em experimento realizado em Latossolo Vermelho Distroférico, com milho irrigado por aspersão e sob plantio direto. Os autores utilizaram três fontes de N (sulfonitrato de amônio com inibidor de nitrificação, sulfato de amônio e ureia), em diferentes doses, e verificaram aumento o teor de N foliar com o aumento das doses de N, mas somente com o emprego do sulfato de amônio. Lourente et al. (2007), trabalhando em Latossolo Vermelho Distroférico, com culturas antecessoras, doses (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N) e fontes de N (sulfato de amônio e ureia) nos componentes de produção do milho, verificaram menores incrementos no teor de N foliar com a utilização de ureia, quando comparados à aplicação de sulfato de amônio. A adição de fertilizante nitrogenado normalmente promove o aumento da absorção de P (KAMPRATH, 1987). Porém, os tratamentos que receberam adubação nitrogenada, independentemente da fonte, resultaram em teores foliares de P considerados insuficientes. Somente o tratamento que não recebeu adubação nitrogenada (T0) proporcionou teores foliares de P considerados adequados (2,0-4,0 g kg⁻¹) (RAIJ et al., 1997). Dentre os tratamentos que receberam adubação nitrogenada em cobertura, o fornecimento de ureia comum e de ureia protegida resultaram, respectivamente, no maior e no menor teor foliar de P (Tabela 11).

Independentemente do tratamento, os teores foliares de K foram extremamente baixos e não pertenceram à faixa considerada adequada para a cultura do milho (17 a 35 g kg⁻¹) (RAIJ et al., 1997). As fontes de N não provocaram diferenças significativas nos teores de K foliar (Tabela 11). Este resultado pode não estar relacionado diretamente às fontes de N, mas sim ao efeito da calagem tardia. A aplicação do calcário sem a devida antecedência pode promover o aumento das concentrações de Ca e Mg do solo, relativamente à do K, podendo reduzir a absorção de K pelas raízes e provocar sua deficiência (GOEDERT et al., 1975).

As plantas que receberam adubação de cobertura com sulfato de amônio apresentaram teores foliares de Ca e de Mg significativamente maiores (Tabela 11). A aplicação da ureia revestida resultou em teores foliares de Ca maiores do que aqueles obtidos com a aplicação da ureia comum. Estes resultados podem estar relacionados com as fontes de N, pois os tratamentos T1 e T2 resultaram em maior absorção de N, com conseqüente incremento no crescimento vegetativo que pode ter induzido a maior absorção de Ca e Mg. Estes tratamentos propiciaram concentrações foliares de Ca (4,3 e 3,4 g kg⁻¹, respectivamente) considerados adequados por Raij et al. (1997) (2,5-8,0 g kg⁻¹). Entretanto, nenhum tratamento resultou em teores foliares adequados de Mg, que foram inferiores à faixa de suficiência (1,5-

5,0 g kg⁻¹) (RAIJ et al., 1997). Havia expectativa de que o tratamento com sulfato de amônio proporcionasse maiores concentrações foliares de S, mas, além de não ter havido diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 11), os teores foliares de S foram deficientes, estando abaixo da faixa de suficiência, que varia de 1,5 a 3,0 g kg⁻¹ (RAIJ et al., 1997). Teores foliares médios de micronutrientes não apresentaram diferença estatística com respeito aos tratamentos (Tabela 12). Os teores de Cu e de Zn estiveram abaixo da faixa de teor considerada adequada para a cultura do milho (Tabela 12), com exceção do teor de Cu no tratamento testemunha.

Tabela 12: Resultados da análise de micronutrientes em folhas de plantas de milho submetidas a diferentes fontes de adubação nitrogenada em cobertura.

Fonte de N	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			mg kg ⁻¹		
Ureia	15,60 ^{ns}	2,36 ^{ns}	526,40 ^{ns}	56,48 ^{ns}	6,08 ^{ns}
Sulfato de amônio	22,60 ^{ns}	4,64 ^{ns}	226,44 ^{ns}	112,68 ^{ns}	10,00 ^{ns}
Ureia revestida	19,20 ^{ns}	3,24 ^{ns}	419,36 ^{ns}	56,04 ^{ns}	6,00 ^{ns}
Testemunha	17,00 ^{ns}	23,24 ^{ns}	491,40 ^{ns}	53,96 ^{ns}	6,08 ^{ns}

Médias na mesma coluna seguidas de letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores foliares de B e Mn foram adequados em todos os tratamentos e os de Fe, independentemente do tratamento, estiveram acima da faixa de suficiência. Segundo Raij et al. (1997), as faixas consideradas adequadas para teores foliares de micronutrientes em plantas de milho são (mg kg⁻¹): B – 10 a 25, Cu – 6 a 20, Fe – 30 a 250, Mn – 20 a 200, Mo – 0,1 a 0,2 e Zn - 15 a 100.

4.4 Parâmetros de solo

A Tabela 13 contém os resultados da análise das amostras de solo das parcelas experimentais, coletadas após a colheita do milho (150 DAP).

Tabela 13: Atributos químicos da camada arável do Latossolo Vermelho aos 150 dias após o plantio da cultura do milho.

	N total	P resina	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	%	mg/dm ³	g/dm ³	CaCl ₂	mmol/dm ³				mmol/dm ³	%
T0¹	0,17 ^{ns}	12,00 ns	22,60 ^{ns}	5,34 ^{ns}	3,64 ns	27,00 b	12,0 a	34,60 ns	42,47 ns	77,08 b	55,07 ^{ns}
T1²	0,18 ^{ns}	11,8 ns	21,2 ^{ns}	5,22 ^{ns}	3,14 ns	34,2 ab	9,0 b	36,40 ns	47,84 ns	84,28 ab	56,47 ^{ns}
T2³	0,15 ^{ns}	13,80 ns	23,20 ^{ns}	5,42 ^{ns}	3,48 ns	34,6 ab	11,4 ab	29,60 ns	49,47 ns	84,62 ab	63,17 ^{ns}
T3⁴	0,16 ^{ns}	9,40 ns	32,20 ^{ns}	5,32 ^{ns}	3,14 ns	36,00 a	11,6 ab	36,80 ns	50,62 ns	87,42 a	57,82 ^{ns}

Médias na mesma coluna seguidas de letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 1-T0:Testemunha; 2-T1:Sulfato de amônio;T2:Ureia revestida;T3:Ureia.

O resultado mais esperado era um possível efeito residual de N no solo provocado pelo uso da ureia revestida, de liberação mais lenta. Também havia expectativa de alteração mais pronunciada do pH do solo ao final do experimento, decorrente do efeito da fonte nitrogenada. Entretanto, os tratamentos com diferentes fontes de N em cobertura resultaram em diferenças significativas apenas para o teores de cálcio e de magnésio e para a CTC.

Os teores de Mg do solo que recebeu sulfato de amônio foram significativamente menores. Entretanto, as plantas submetidas a este tratamento foram as que apresentaram maiores teores foliares de Mg (Figura 9). Os tratamentos com aplicação dos dois tipos de ureia resultaram em teores de Mg do solo similares aos do tratamento testemunha.

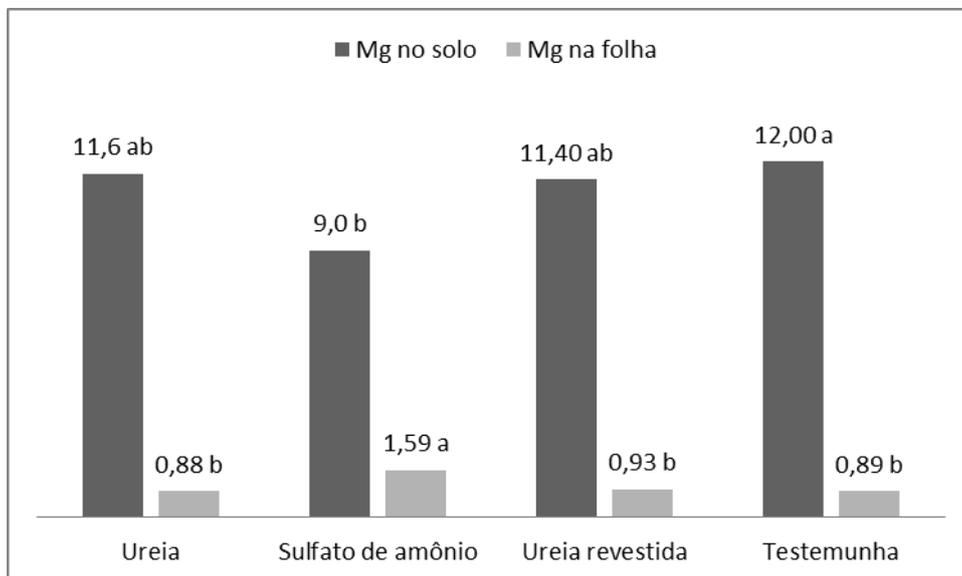


Figura 9: Teores de Mg no tecido foliar e teores de Mg no solo cultivado com plantas de milho submetidas a diferentes fontes de adubação nitrogenada em cobertura.

As amostras de solo das parcelas que receberam adubação com ureia comum em cobertura apresentaram teores de Ca significativamente maiores (Tabela 13). Este tratamento também resultou nos menores teores foliares de Ca (Figura 10). As aplicações de ureia revestida e de sulfato de amônio não diferiram entre si quanto ao teor de Ca no solo.

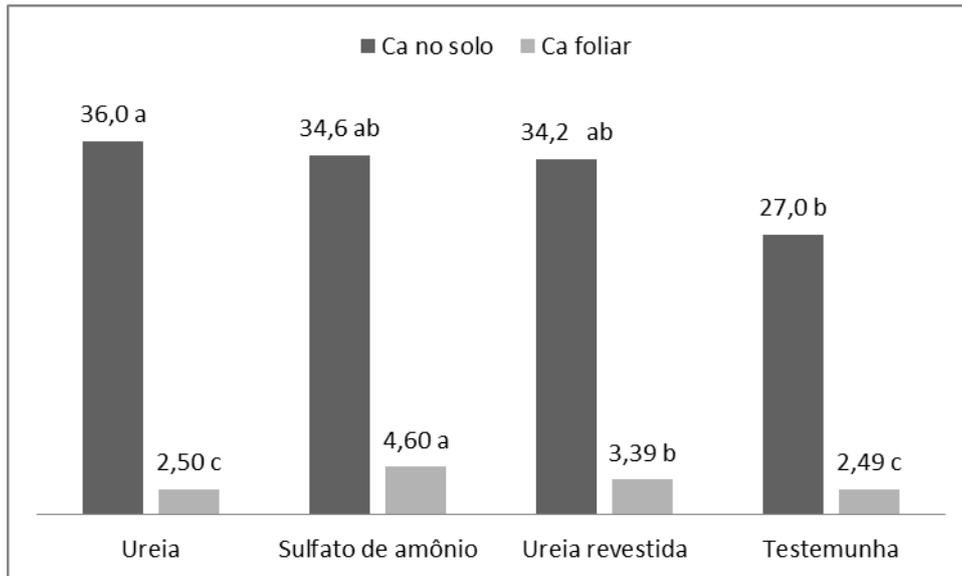


Figura 10: Teores de Ca no tecido foliar e teores de Ca no solo cultivado com plantas de milho submetidas a diferentes fontes de adubação nitrogenada em cobertura.

A CTC do solo das parcelas que receberam ureia comum foi significativamente maior, a exemplo do que ocorreu com os teores de Ca e de Mg (Tabela 13). Além da calagem tardia, outra possível hipótese para o aumento da CTC neste tratamento é a matéria orgânica presente no solo. No que se refere ao aspecto químico, a matéria orgânica funciona como fonte de nutrientes e contribui para aumentar a capacidade de troca de cátions (CTC).

4.5 Implicações práticas

Um dos intuitos do uso de tecnologias de fertilizantes é aumentar a eficiência das adubações, melhorar a absorção de nutrientes pelas plantas e contornar ou minimizar as rotas de perdas de nutrientes por lixiviação, volatilização e fixação. Teoricamente, a camada de polímeros que envolve o grânulo de ureia possibilita a disponibilização lenta e gradual do nitrogênio, melhorando a sincronia entre disponibilização pelo adubo e necessidade da planta, e oferece condições diferenciadas de reação entre o fertilizante e o solo, sobretudo retardando a atividade da enzima urease. Neste estudo, constatou-se que o uso da ureia protegida não resultou em melhorias no desenvolvimento ou no aumento da produtividade da cultura do milho, assim como não apresentou efeito residual de nitrogênio no solo. É provável que as condições experimentais não tenham tido influência direta sobre os fenômenos de volatilização da ureia comum, não possibilitando a observação de efeitos diferenciados decorrentes do uso da ureia protegida. Nelson et al. (2009); Valderrama (2011), trabalhando em condições de irrigação da cultura do milho, portanto com elevada umidade do solo,

também não encontraram diferenças que merecessem destaque entre os fertilizantes comuns e os revestidos por polímeros. Civardi et al. (2011) ;Silva et al. (2012) também não encontraram vantagens no uso de ureia revestida por polímeros, quando aplicada em cobertura. Considerando o custo mais elevado, justificada pela tecnologia empregada, e a ausência de efeito da ureia protegida, principalmente sobre a produtividade, este estudo apontou para a viabilidade do uso de fontes nitrogenadas convencionais (sulfato de amônio ou ureia comum) na adubação de cobertura da cultura do milho.

Para conclusões mais consolidadas sobre a eficiência de novas tecnologias de fertilizantes, reconhece-se a necessidade de experimentos mais rebuscados que monitorem com detalhe as rotas de perda de nitrogênio.

5 CONCLUSÕES

Nas condições experimentais deste estudo foi possível concluir que:

a. o uso de fontes distintas de nitrogênio não influenciou parâmetros biométricos e de produtividade da cultura do milho

b. a ureia protegida não promoveu melhorias nos parâmetros biométricos e de produtividade da cultura do milho e nos atributos do solo.

c. teores foliares de N, Ca e Mg foram maiores nas plantas de milho adubadas com sulfato de amônio;

d. a fonte nitrogenada não provocou alterações nos atributos do solo, exceto nos teores de Ca, Mg e na capacidade de troca de cátions (CTC), que foram maiores nas parcelas adubadas com ureia; a fonte nitrogenada não provocou alterações no pH e no nitrogênio residual do solo;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. Os adubos e a eficiência das adubações. 3. ed. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos, 1998.
- ARAÚJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.39, p.771-777, 2004.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado da arte. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 31, n. 5, p. 1075-1084, 2001.
- BORSARI, F. Fertilizantes inteligentes: As novas tecnologias permitem o consumo dos nutrientes pelas plantas de forma gradativa, lenta e controlada. *Agro DBO*, São Paulo, Nº 45, jun. 2013.
- CABEZAS, W. A. R. L. Comportamento dos adubos nitrogenados em clima e solo de Cerrado. In: curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo sob plantio direto, 1., 1998, Rio verde. Resumos... Rio Verde: Aldeia Norte. p. 78-92.
- CANTARELLA, H. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. *Informações Agronômicas*. N.º 12, Viçosa, 2008.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, p. 375-470, 2007.
- CASSINI, Servio Tulio. *Ciclo do N*. 2015. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Biotecnologia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 2015
- CERETTA, C.A; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. *Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1997. Cap.7, p.111-120
- CIVARDI, E. A.; NETO, A. N. S.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e uréia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59, 2011
- COELHO DA SILVA, J.F. Exigências de macroelementos inorgânicos para bovinos: O sistema ARC/AFRC e a experiência no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE RUMINANTES, 1, 1995, Viçosa. p.467-504.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G. E. de; BAHIA FILHO, A.F. C. Nutrição e adubação do milho forrageiro. In: EMBRAPA. *Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo*, 2008.
- CONAB (Org.). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*. 3. ed. Brasília: Biblioteca Josué de Castro, 2015. 166 p.
- COSTA, M.C.G. et al. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.631-637, 2003.
- 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*, Brasília, v.43, p. 691-1.697, 2008.
- DUARTE, A.P.. *Resultados da Avaliação de Cultivares de Milho Safrinha em 2014*. Assis: Aildson Pereira Duarte, 2014. 74 slides, color.
- EMBRAPA (Org.). *Estádios fenológicos de milho*. 2006. Disponível em:

<http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do61_3.htm>. Acesso em: 17 jun. 2015.

EMBRAPA. Cultivo de milho fertilidade de solos, diagnose foliar/análise de plantas. Sistema de produção, versão eletrônica 5º edição. Sete lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo. 2009. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/ferdiagnose.htm. Acessado em: 05 set. 2015.

GOEDERT, W. J.; COREY, R.B.; SYERS, J.K. The effects on potassium equilibria in soils of Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil Science*, v.120, p.107-111, 1975.

KAMPRATH, E. J. Enhanced phosphorus status of maize resulting from nitrogen fertilization of high phosphorus soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 52, p. 522-526, 1987.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

LEÃO, A.F.. Redutores de volatilização do nitrogênio da uréia na cultura do milho safrinha, utilizando coletores semi-aberto estático. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2008.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. *Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agronômicos*. 3. ed. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos, 2000.

LOURENTE, E.R.P.; ONTOCELLI, R.; SOUZA, L.C.F. de; GONÇALVES, M.C.; MARCHETTI, M.E.; RODRIGUES, E.T. Culturas antecessoras, doses e fontes de nitrogênio nos componentes de produção do milho. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.29, p.55-61, 2007.

MAGALHÃES, P.C.; SOUZA, T.C.. *Ecofisiologia*. 2011. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/ecofisiologia.htm>. Acesso em: 15 jul. 2015.

MALVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J.C. *Adubos e adubações*, São Paulo: Nobel, 2000. 200p.

MARTINS, I.S. et al. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. *Pesq. Agropec. Trop*, Goiânia, v. 44, n. 3, p.271-279, jun. 2014.

MEIRE, F. A. Fontes e modos de aplicação do nitrogênio na cultura do milho. *Selvíria-MS*, 2006. 46p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP.

MELLO, F. de A.F. de. *Uréia fertilizante*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 192 p.

MENGEL, D.B.; BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. *Agronomy Journal*, Madison, v.66, n.3, p.399-402, 1974.

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*, Madison, v. 101, n. 3, p. 681-687, 2009.

NOVAIS, M.V.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M. Efeito da adubação nitrogenada e de seu parcelamento sobre a cultura do milho, em Patos de Minas. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 21, n. 115, p. 193-202, 1974

OLIVEIRA, E. F. de; BALBINO, L. C. Efeitos de fontes e doses de nitrogênio aplicado em cobertura nas culturas de trigo, milho e algodão. In: *Resultados de pesquisa*, 1/95. Cascavel: Ocepar, 1995.

OLNESS, A.; BENOIT, G. R. A closer look at corn nutrient demand. *Better Crops with Plant*

Food, v.76, n.2, p.18-20, 1992.

PEIXOTO, C.M. O milho no Brasil, sua importância e evolução. 2014. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/media-center/artigos/165/o-milho-no-brasil-sua-importancia-e-evolucao>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

QUEIROZ, A.M.; SOUZA, C.H.E.; MACHADO, V.J.; LANA, R.M.Q.; KORNDORFER, G.H.; SILVA, A.A. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho (*Zea mays* L.). R. Bras. Milho Sorgo, Sete Lagoas, v.10, p. 257-266, 2011.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B. V. et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: IAC, p. 56-59, 1997. (Boletim técnico, 100).

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. Pesq. Agropec. Bras.,v. 29,p.13-24, 1994.

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

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. R. Bras. Ci. Solo, v.29, p.353-362, 2005.

SORATTO, R.P.;Pereira M.,;Costa T.A.M.,;Lampert V.N.. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. Revista Ciência Agronômica: Centro de Ciências Agrárias, Ceará, v. 41, n. 4, p.511-518, out. 2010.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica.p. 129-145, 2004.

SOUZA, D.M.G.de; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 416p.

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.

TEIXEIRA, Flavia França; COSTA, Flaviane Malaquias. Caracterização de Recursos Genéticos de Milho. 185. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 10 p

TIMAC. Tecnologia de fertilizantes sólidos. 2014. Disponível em: <<http://site.timacagro.com.br/timac/Portugues/produto/index.php?acao=detalhar&cod=36>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FERREIRA, D. A.; VITTI, A. C.; FORTES, C.; FARONI, C. E.; OLIVEIRA, E. C. A.; CANTARELLA, H. Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, Brazil. Scientia Agricola, v. 70, n. 5, p. 345– 352, 2013.

TROJAN, D.G.; JACUMAZO, E.E.. Influência dos diferentes níveis de desfolha na produtividade da cultura do milho. 2012. Disponível em: <http://www.convibra.com.br/upload/paper/2014/90/2014_90_8799.pdf>. Acesso em: 05 set. 2015.

VALDERRAMA, M. Fontes e doses de nitrogênio revestidas ou não por polímeros na cultura

do milho. 2011. 46 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2011.

VARGAS, L; PEIXOTO, C.M.; ROMAN, E.S. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 20p.

VARVEL, G.E.; SCHPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. Soil Science of American Journal, Madison, v.61, n.4, p.1233-1239, 1997.

VASQUEZ, G. H.; SILVA, M. R. R. Influência de espaçamento entre linhas de semeadura em híbrido simples de milho. In: Seminário Nacional de milho e sorgo,3., 2002, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Cargil, 2002. p.120-124.

VAZQUEZ, G. H.; GARCIA, F. P.; ASSIS, A. V. de. Influência do espaçamento na produtividade de híbridos de milho sob alta densidade populacional. 2012. Disponível em: <<http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/viewFile/165/160>>. Acesso em: 20 out. 2015.

WHITE, R.E. Leaching. In: WILSON, J. R. Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems. Wallingford : C.A.B. International, 1987. p.193-211