

UNIVERSIDADE JOSÉ DO ROSÁRIO VELLANO – UNIFENAS  
ANDRÉ VILELA PORTUGAL

**FONTES DE NITROGÊNIO NO CULTIVO DE MILHO EM  
SISTEMA PLANTIO DIRETO: AVALIAÇÃO ECONÔMICA E  
PRODUTIVIDADE**

Alfenas - MG

2012

ANDRÉ VILELA PORTUGAL

**FONTES DE NITROGÊNIO NO CULTIVO DE MILHO EM  
SISTEMA PLANTIO DIRETO: AVALIAÇÃO ECONÔMICA E  
PRODUTIVIDADE**

Dissertação apresentada a Universidade José do Rosário Vellano, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Sistemas de Produção na Agropecuária para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. José Ricardo Mantovani.

Alfenas - MG

2012

Portugal, André Vilela

Fontes de nitrogênio no cultivo de milho em sistema plantio direto : avaliação econômica e produtividade/.—André Vilela Portugal.—Alfenas, 2012.

66 f.

Orientador : Prof. Dr José Ricardo Mantovani

Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção na Agropecuária) –Universidade José do Rosário Vellano.

1. *Zea Mays* 2. Fertilizante nitrogenado 3. Uréia

I. Título

CDU : 633.15(043.3)

Essa conquista dedico a Deus por ter sido o meu grande companheiro nessa caminhada, aos meus pais Vânis e Leila e ao meu irmão Leandro, pela paciência que tiveram durante este período, contribuindo para essa realização. Enfim, dedico a todos os familiares e amigos que mesmo sem participar ativamente de minha vida neste período torceram para que tudo desse certo.

## **AGRADECIMENTO**

A Deus pela proteção divina que me tem dado.

Aos meus pais, que além de me darem a vida, me ensinaram a importância do estudo, do trabalho, da amizade, da humildade e da família.

Ao Curso de Pós-graduação, que me concedeu esta oportunidade de formação.

Ao Prof. José Ricardo Mantovani, pela orientação e sugestões na elaboração da dissertação e condução do trabalho.

Aos professores do Departamento de pós-graduação pelos ensinamentos.

Ao meu irmão Leandro, pelo apoio, sugestões, correções e colaborações de meu trabalho.

Aos colegas do programa de pós-graduação pelas discussões, pelas dicas, a troca de experiência e o convívio foram muito válidos.

A todos os amigos que sempre me apoiaram, para realização deste trabalho e na vida, aos velhos e novos, os terei sempre comigo.

Enfim, a todos aqueles que de uma forma ou outra contribuíram para realização deste trabalho.

## RESUMO

PORTUGAL, André Vilela. **Fontes de Nitrogênio no Cultivo de Milho em Sistema Plantio Direto: avaliação econômica e produtividade.** 2012. 66f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção na Agropecuária) – UNIFENAS, Alfenas, 2012.

Na cultura do milho, o nitrogênio é o nutriente mais exigido, que mais afeta sua produtividade e o que mais onera o custo de produção. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar fontes de nitrogênio no cultivo de milho em sistema plantio direto. O experimento foi realizado na fazenda Vitória, situada no município de Alfenas – MG, em uma área de primeiro ano de plantio direto. Para tanto, utilizou-se o híbrido de milho transgênico Impacto da Syngenta, e empregou-se delineamento experimental em blocos ao acaso, com 7 tratamentos e 4 repetições, totalizando 28 parcelas. Os tratamentos empregados foram constituídos por: Testemunha (ausência de N em cobertura); 100 Kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, com nitrato de amônio, sem incorporação; 100 Kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, com ureia, sem incorporação; 100 Kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, com ureia, com incorporação; 100 Kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, com sulfato de amônio, sem incorporação; 100 Kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura, com fertilizante de liberação controlada, sem incorporação; 50 Kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura, com fertilizante de liberação controlada, sem incorporação. As avaliações do experimento foram realizadas, após 154 dias, de acordo com os seguintes parâmetros: produtividade de grãos, número de fileira de grãos por espiga; peso de 1.000 grãos, número de grãos/fileira em cada espiga e número de grãos por espiga. Com o presente trabalho podemos concluir que: a ureia comum, o sulfato de amônio e nitrato de amônio apresentaram desempenho e retorno econômico semelhantes na cultura de milho em sistema plantio direto; a incorporação da ureia não favoreceu a produtividade de grãos e os componentes de produção no cultivo de milho em sistema plantio direto; o fertilizante de liberação controlada não é viável do ponto de vista econômico no cultivo de milho em sistema plantio direto.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, fertilizante nitrogenado, ureia.

## ABSTRACT

PORTUGAL, André Vilela. **Sources of Nitrogen in Maize Culture in Tillage System: economic evaluation and productivity.** 2012. 66p. Dissertation (Master in Agricultural Production System) – UNIFENAS, Alfenas, 2012.

In corn crop, nitrogen is the nutrient most required, which further affects their productivity and which further onerous the cost of production. The purpose of this study was to evaluate sources of nitrogen in corn growth in tillage system. The experiment was conducted at the Vitoria farm, located in the city of Alfenas - MG, in a area of the first year of tillage system. For this, it was used the transgenic corn hybrid Impact of Syngenta, and it was employed random blocks design experimental, with 7 treatments and 4 replications, totaling 28 plots. The treatments applied consisted: Control (without nitrogen in coverage); 100 Kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen in coverage, with ammonium nitrate, without incorporation; 100 Kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen in coverage, with urea, without incorporation; 100 Kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen in coverage, with urea and incorporation; 100 Kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen in coverage, with ammonium sulfate, without incorporation; 100 Kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen in seeding, with controlled release fertilizer, without incorporation; 50 Kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen in seeding, with controlled release fertilizer, without incorporation. The assessments of the experiment were performed, after 154 days, according to the parameters: grains productivity, number of grain rows per cob, weight of 1,000 grains, number of grains/row in each cob and number of grains per cob. With this study it can conclude that: the common urea, ammonium sulfate and ammonium nitrate showed similar performance and economic returns in corn crop tillage system; the incorporation of urea did not improve grain productivity and components production in corn growth in tillage system, the controlled release fertilizer is not feasible from an economic standpoint in corn growth in tillage system.

**Key-words:** *Zea mays*, nitrogen fertilizer, urea.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Valores mensais de Precipitação pluvial (mm), registrados durante o ciclo do milho, no município de Alfenas, MG .....	38
Figura 2 - Valores médios mensais de temperatura (°C), registrados durante o ciclo do milho, no município de Alfenas, MG .....	39
Figura 3 - Médias para produtividade ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ) em relação às fontes de nitrogênio utilizadas.....	40
Figura 4 - Médias para número de fileiras de grãos/ espigas em relação às fontes de nitrogênio.....	46
Figura 5 - Médias para peso de 1000 grãos em relação às fontes de nitrogênio .....	46
Figura 6 - Médias para número de grãos/ fileira em relação às fontes de nitrogênio .....	48
Figura 7 - Médias para número de grãos/ espigas em relação às fontes de nitrogênio .....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas do solo avaliadas na camada de 0 a 0,20 m .....	33
Tabela 2 - Tratamentos realizados no experimento.....	34
Tabela 3 - Preço médio de cada fonte nitrogenada com suas respectivas concentrações de nitrogênio e quantidade de fertilizante aplicada em Kg ha <sup>-1</sup> referente ao mês de maio de 2012 para a região de Alfenas – MG. A cotação da saca de 60 kg de milho para esta mesma região e época é de R\$23,00 .....	50
Tabela 4 - Relação de custo em função da fonte de nitrogênio aplicada e retorno financeiro do investimento Fazenda Vitória, Alfenas, MG .....	51

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO</b>	<b>13</b>
2.1	<b>Transformações do nitrogênio no solo</b>	<b>13</b>
2.1.1	Mineralização	14
2.1.2	Nitrificação	14
2.1.3	Desnitrificação	15
2.1.4	Volatilização	16
2.1.5	Imobilização	18
<b>2.2</b>	<b>Formas de aplicação do nitrogênio</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Sistemas de manejo do solo</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Doses e Épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho</b>	<b>22</b>
<b>2.5</b>	<b>Fontes de nitrogênio na cultura do milho</b>	<b>26</b>
<b>2.6</b>	<b>Perdas de nitrogênio do solo</b>	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>Localização e caracterização da área experimental</b>	<b>33</b>
<b>3.2</b>	<b>Plantio, delineamento experimental e tratamentos</b>	<b>33</b>
<b>3.3</b>	<b>Adubação de cobertura e tratos culturais</b>	<b>35</b>
<b>3.4</b>	<b>Colheita e avaliações realizadas</b>	<b>35</b>
<b>3.5</b>	<b>Análises efetuadas</b>	<b>36</b>
3.5.1	Análise estatística	36
3.5.2	Análise econômica	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>38</b>
<b>4.1</b>	<b>Precipitação e temperatura média no transcorrer do experimento</b>	<b>38</b>
<b>4.2</b>	<b>Componentes de produção</b>	<b>39</b>
4.2.1	Produtividade de grãos	39
4.2.2	Número de fileiras de grãos/ espiga e peso de 1000 grãos	45
4.2.3	Número de grãos/ fileira	47
4.2.4	Número de grãos/ espiga	48
<b>4.3</b>	<b>Análise econômica</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>54</b>

REFERÊNCIAS.....	55
------------------	----

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas de maior importância econômica e mais estudada, devido ao valor nutricional de seus grãos, dada sua grande importância nas alimentações humana e animal e de sua matéria-prima para a indústria.

O milho é o principal cereal cultivado no Brasil, e ocupa cerca de 15,12 milhões de hectares, com produção de aproximadamente 67,8 milhões de toneladas de grãos e produtividade média de 4,48 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2012). Entre os diversos fatores que contribuem para a baixa produtividade, tem se destacado o manejo incorreto de fertilizantes, principalmente dos nitrogenados (MEIRA *et al.*, 2009).

Uma das variáveis determinantes da produção é a obtenção e o fornecimento de nutrientes para a cultura, dentre os quais se destacam o nitrogênio, por participar da composição dos aminoácidos, proteína, clorofila e muitas enzimas essenciais que estimulam o crescimento e o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA, 2006).

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura do milho. Em épocas que as condições climáticas são favoráveis à cultura, a quantidade de nitrogênio requerida para otimizar a produtividade de grãos pode alcançar valores superiores a 150 kg ha<sup>-1</sup>, o que justifica a necessidade de se usar fertilizantes nitrogenados para fornecer nitrogênio para a cultura e repor o nutriente do solo (AMADO *et al.*, 2002). O uso racional da adubação nitrogenada é fundamental, não somente para aumentar a eficiência de recuperação, mas também para aumentar a produtividade da cultura e diminuir o custo de produção (FAGERIA *et al.*, 2007).

Dentre as várias fontes nitrogenadas utilizadas na agricultura, a ureia é a mais comercializada no país (Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1994), porém, tem se verificado o baixo aproveitamento do nitrogênio dessa fonte pelas culturas devido às perdas por volatilização de amônia, quando a ureia não é enterrada ou arrastada para o interior do solo pelas águas da chuva ou irrigação (RODRIGUES & KIEHL, 1986). Para evitar este problema estes adubos

devem ser aplicados em dias chuvosos ou incorporados ao solo, prática esta dispensável por muitos agricultores.

Uma das maneiras para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada é o uso de fontes alternativas de nitrogênio, como as de liberação lenta ou controlada. Contudo, em função do custo mais elevado, cerca de três vezes maior do que a ureia comum são necessários estudos para avaliar a viabilidade econômica desses fertilizantes, e a definição de doses adequadas.

O manejo e recomendação da adubação nitrogenada são tidos como um dos mais difíceis, devido à multiplicidade de reações químicas e biológicas, dependência das condições edafoclimáticas, vulnerabilidade a perdas por lixiviação, volatilização, desnitrificação e erosão, quando manejados inadequadamente e o processo de imobilização biológica. Portanto, é importante o manejo correto (época, fonte) da adubação nitrogenada visando tanto o aspecto econômico quanto o ambiental (Meira, 2006).

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar fontes de nitrogênio; sentido econômico e produtividade; no cultivo de milho em sistema plantio direto.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Transformações do nitrogênio no solo

Existem várias possibilidades de escolha da fonte de nitrogênio a ser utilizada. Em geral, para a escolha do fertilizante nitrogenado, o produtor baseia-se, geralmente, no custo da unidade de N, na disponibilidade e na eficiência da fonte aplicada. Quando a fonte de nitrogênio é ureia e não ocorrer chuva nos primeiros dias após a aplicação, a incorporação ao solo pode ser importante, pois pode ocorrer formação de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e sua liberação para a atmosfera, por volatilização (LARA CABEZAS *et al.*, 2000).

Predominantemente o nitrogênio é encontrado no solo na forma orgânica, apenas uma pequena parcela, cerca de 5% do nitrogênio total, é encontrada em formas inorgânicas, acessíveis as plantas. As formas de nitrogênio no solo disponível para absorção pelas plantas são o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), e o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Em condições de boa aeração e pH não muito baixo, o amônio é rapidamente convertido em nitrato, em um processo denominado de nitrificação, e com isso, o  $\text{NO}_3^-$  representa a principal fonte de N-inorgânico para as plantas (RAIJ, 1981).

O íon amônio, sendo um cátion permanece no solo em forma trocável, adsorvido pelas cargas negativas do solo. Já o nitrato, por ter carga negativa, é repellido pelas superfícies das partículas do solo, permanecendo na solução, sendo assim muito móvel no solo e suscetível à lixiviação (RAIJ, 1991).

O nitrito é um ânion, em geral de existência efêmera no solo, sendo rapidamente oxidado a nitrato. Isso é importante, pois o nitrito é tóxico para as plantas e para os animais que delas se alimentam. Há casos em que a transformação de nitrito a nitrato é impedida, resultando em efeitos tóxicos a seres vivos (RAIJ, 1991).

Devido a sua dinâmica no solo, o nitrogênio apresenta um complexo manejo, sendo, geralmente, o elemento mais caro no sistema de produção da cultura do milho (BASTOS *et al.*, 2008). Devido a essa dinâmica ainda não há um método

capaz de detectar o nitrogênio disponível no solo, para ser utilizado na análise de rotina.

#### 2.1.1 Mineralização:

A mineralização consiste no processo de conversão biológica do nitrogênio ligado organicamente em proteínas, aminoaçúcares e ácidos nucleicos, em nitrogênio inorgânico (HUTCHISON; WALWORTH, 2007). Essa reação é efetuada pelos micro-organismos, principalmente por fungos e bactérias, e ocorre em duas etapas (aminização e amonificação), ambas muito influenciadas por vários fatores climáticos e de solo. A mineralização é extremamente importante para a disponibilidade de N, pois aproximadamente 95% do nitrogênio total do solo se encontram na forma orgânica, o qual tem que ser mineralizado para ser absorvido pelas plantas (ERNANI, 2003).

A aminização ou proteólise é a degradação dos substratos orgânicos complexos em compostos orgânicos simples, como aminoácidos e proteínas (SANTOS, 1996).

Na amonificação, o nitrogênio contido na forma orgânica é transformado pelos organismos amonificadores na forma de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) produzindo concomitantemente uma grande quantidade de ânions orgânicos ( $\text{R-COO}^-$ ).

#### 2.1.2 Nitrificação:

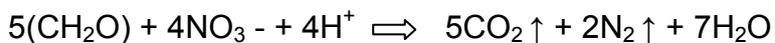
A nitrificação é uma sequência do processo de mineralização, e consiste na conversão do amônio, tanto o proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo, quanto o de fertilizantes amídicos ou amoniacais, a nitrato por micro-organismos do solo. Além dos micro-organismos do solo, a nitrificação depende também da presença de oxigênio ( $\text{O}_2$ ). Pode-se dividir o processo em duas etapas.

Inicialmente, as bactérias do gênero *Nitrossomonas* transformam o cátion  $\text{NH}_4^+$  em  $\text{NO}_2^-$ . Posteriormente as do gênero *Nitrobacter* transformam o  $\text{NO}_2^-$  em  $\text{NO}_3^-$ . Esta última forma de nitrogênio pode ser facilmente perdida do sistema solo, uma vez que a maioria dos solos normalmente possui carga líquida negativa, o que dificulta a adsorção eletrostática de ânions, tornando-os suscetíveis à lixiviação pela água que percola através do perfil do solo. A nitrificação é um processo importante na compreensão da dinâmica do nitrogênio no solo. Alguns fatores podem favorecê-la, tais como: temperaturas mais elevadas, próximas a  $30^\circ\text{C}$ ; pH acima de 5,5, pois a calagem beneficia as bactérias nitrificantes; e solos bem drenados, pois o  $\text{O}_2$ , favorece a nitrificação (ERNANI, 2003). No solo, o íon nitrato é fortemente repellido pelas cargas negativas dos colóides, permanecendo na solução do solo, e com isso, pode ser lixiviado pela água que percola, resultando em perda de  $\text{N-NO}_3^-$  e em possível contaminação do lençol freático (DYNIA & CAMARGO, 1999). Quanto ao  $\text{NH}_4^+$ , por possuir carga positiva, ele pode ser adsorvido eletrostaticamente às cargas negativas dos sólidos do solo, diminuindo sua perda por lixiviação.

A nitrificação do nitrogênio é relativamente rápida, segundo CANTARELLA & MONTEZANO, (2010). Em condições de umidade, pH e temperatura adequadas para a prática da agricultura, a maior parte do nitrogênio amoniacal proveniente de fertilizantes amídicos ou amoniacais se converte em nitrato em um intervalo de até 15 ou 30 dias. Desse modo, independentemente da fonte de nitrogênio, a forma nítrica tende a predominar no solo após um curto período. A menor mobilidade do amônio no solo, comparado com o nitrato, pode conferir uma vantagem apenas transitória para evitar perdas por lixiviação ou desnitrificação de fertilizantes contendo nitrogênio amoniacal em relação às formas nítricas. Ainda segundo Cantarella & Montezano, (2010), como tanto, o amônio como o nitrato são prontamente disponíveis para as plantas, a eficiência agrônômica das fontes solúveis de nitrogênio tende a ser semelhante na maior parte das situações, a menos que a presença de outros nutrientes na fórmula seja limitante para o aproveitamento do nitrogênio para as plantas.

### 2.1.3 Desnitrificação:

É a redução do nitrato por ação dos micro-organismos para formas gasosas ( $N_2$  e  $N_2O$ ), que se perdem para a atmosfera por volatilização (METCALF & EDDY, 2004). É realizada por micro-organismos heterotróficos que usam o nitrato e o nitrito como aceptores de elétrons. Esta reação ocorre principalmente em solos com baixa disponibilidade de  $O_2$ , como em solos alagados, pois os micro-organismos anaeróbios, na ausência de  $O_2$ , usam outros compostos, como o  $NO_3^-$ , como receptor de elétrons na cadeia respiratória (ERNANI, 2008), conforme reação abaixo:



Além de solos inundados, a desnitrificação também ocorre em sítios anaeróbios dos solos não saturados; em áreas muito irrigadas; em solos compactados e em solos aos quais se incorporaram grandes quantidades de esterco de animais (CANTARELLA, 2007; ERNANI, 2008). Sistemas conservacionistas, que preservam palha ou restos vegetais na superfície dos solos, geralmente têm maiores perdas de nitrogênio por desnitrificação, por manter o solo úmido por mais tempo, e por fornecer C. A disponibilidade de C oxidável pode contribuir para o aumento do consumo de  $O_2$  por micro-organismos do solo e acelerar o aparecimento de zonas anaeróbias no solo, o que contribui para a desnitrificação (CANTARELLA, 2007).

#### 2.1.4 Volatilização

A volatilização é a 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).

Para que haja volatilização de amônia, é necessário que exista no solo a presença simultânea de amônio e pH elevado. Essas condições ocorrem quando se

aplica ureia ao solo, pois a hidrólise desse fertilizante eleva o pH ao redor dos grânulos (OUYANG *et al.*, 1998; ERNANI *et al.*, 2001), podendo ocasionar perdas significativas por volatilização, principalmente se for aplicada sobre a superfície, sem incorporação, e as condições térmicas e hídricas forem favoráveis (SANGOI *et al.*, 2003). A presença de resíduos culturais sobre a superfície do solo influencia a quantidade de nitrogênio que se perde através da volatilização de amônia, especialmente quando a ureia é aplicada superficialmente (VARSA *et al.*, 1995). Isto é relevante principalmente no sistema de plantio direto (SPD), onde grande parte dos agricultores efetua a adubação de cobertura com ureia, em aplicações superficiais e a lanço. Além disso, o incremento do conteúdo de matéria orgânica (MO), verificado nas camadas superficiais do solo cultivado em SPD, tende a aumentar a população microbiana e a CTC (BAYER & MIELNICZUK, 1997). Com isto, tem-se maior atividade da urease, que cataliza a hidrólise da ureia, favorecendo a volatilização de  $\text{NH}_3$ . A presença de resíduos vegetais sobre a superfície no SPD também reduz o contato da ureia com o solo (MENGEL, 1996), diminuindo a adsorção de  $\text{NH}_4^+$  aos colóides orgânicos e inorgânicos, e com isso facilitando a volatilização de amônia.

Sangoi *et al.* (2003) observaram que a aplicação superficial de ureia, tanto em solo arenoso quanto em argiloso, aumenta as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia, em relação à sua incorporação, independentemente do manejo dos restos culturais de aveia preta, textura do solo, teor de matéria orgânica do solo (MOS) e da CTC do solo.

De acordo com CANTARELLA (2007), a maneira mais eficiente de reduzir ou eliminar as perdas por volatilização é a incorporação da ureia ao solo. Geralmente, a incorporação a 5 ou 10 cm de profundidade já é suficiente para controlar as perdas de  $\text{NH}_3$ . Ainda de acordo com os autores, a incorporação acrescenta um custo adicional à adubação, que pode ser elevado em solos cobertos com grandes quantidades de palha, como é o caso no sistema plantio direto ou da cultura de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. Além disso, muitas vezes, o sulco aberto para incorporação do fertilizante de cobertura expõe e estimula a germinação de sementes de plantas invasoras. A incorporação da ureia ao solo, graças a alta solubilidade desse fertilizante, também pode ser feita por meio da água da chuva ou

da irrigação. Em áreas de solo descoberto, 10 a 20 mm de chuva ou irrigação são considerados suficientes para incorporar a ureia ao solo (CANTARELLA, 2007).

A evaporação da água do solo é um componente importante para a manutenção da volatilização da  $\text{NH}_3$  (CANTARELLA, 2007). Ainda segundo o autor, quantidades apreciáveis de  $\text{NH}_3$  são perdidas do solo somente quando há perda de água, sendo que essa perda de água é favorecida por altas temperaturas e pelo vento.

#### 2.1.5 Imobilização:

A imobilização consiste na assimilação do nitrogênio mineral do solo pela biomassa microbiana com objetivo de satisfazer suas necessidades metabólicas (ERNANI, 2003). Essa reação ocorre quando se adicionam ao solo materiais orgânicos com relação carbono/nitrogênio (C/N) maior do que 25:1 a 30:1, ou após a morte de plantas que contenham relação C/N com valores superiores a estes. Os micro-organismos possuem relação C/N de aproximadamente 10 a 12:1. Quando um material orgânico com relação maior que 30:1 é adicionado ao solo, a população de micro-organismos aumenta e eles utilizam o nitrogênio mineral do solo, competindo com as plantas, passando assim a predominar a imobilização. Fato este, que pode explicar a maior intensidade da imobilização do nitrogênio no sistema de plantio direto, já que neste há o predomínio de gramíneas, ou seja, possui relação C/N maior que 30:1. Quando a relação for menor que 30:1 ocorrerá o inverso, ou seja, o processo de decomposição irá liberar nitrogênio mineral para o solo, e com isso irá predominar a mineralização. À medida que o material orgânico é decomposto, a relação C/N é diminuída. Atingindo valores abaixo de 30:1, o nitrogênio mineral incorporado às células bacterianas é liberado. A princípio, a imobilização não deve ser motivo de maiores preocupações, pois não há grandes dificuldades para contornar a carência provisória do nutriente, bastando para tanto fornecer nitrogênio em quantidade adequada e suficiente na implantação da cultura (TASCA, 2009). Deve-se evitar que a imobilização ocorra na mesma época da máxima demanda de

nitrogênio pelas plantas para que o desenvolvimento vegetal não seja prejudicado. O fornecimento de 30 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio já é suficiente para eliminar a carência inicial devido a imobilização, diminuindo os problemas causados pela decomposição dos resíduos de aveia, por exemplo, que possuem elevada relação C/N (SÁ, 1995).

## **2.2 Formas de aplicação do nitrogênio**

Durante o processo de escolha da fonte nitrogenada deve-se atentar para a forma de aplicação que confere a melhor performance (TAVARES JÚNIOR & DALTO, 2006). O nitrogênio pode ser aplicado ao solo por diferentes métodos. Os mais usados são a aplicação a lanço na superfície do solo e a incorporação em linhas. Quando a fonte de nitrogênio é ureia e não ocorrer chuva nos primeiros dias após a aplicação, a incorporação ao solo pode ser importante, pois pode ocorrer formação de amônia e sua liberação para a atmosfera (POTTKER & WIETHOILTER, 2004).

Silva *et al.*, (2005) trabalhando com épocas e formas (incorporado no sulco de plantio e a lanço em superfície) de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de cerrado; encontrou resultados significativos para a produtividade. A aplicação de todo o nitrogênio na semeadura e incorporado ao solo, e aos 15 DAE incorporado, desfavoreceu certamente a imobilização do nitrogênio pelos microorganismos quimiorganotróficos para a decomposição dos resíduos da aveia preta e das plantas daninhas (SÁ, 1996; CERETTA *et al.*, 2002). Isto teria condicionado uma maior e mais contínua disponibilidade de nitrogênio mineral na solução do solo, provocado maior aproveitamento do nitrogênio pelo milho e maior resposta em produtividade de grãos (AMADO *et al.*, 2002).

## **2.3 Sistemas de manejo do solo**

Quanto ao sistema de manejo do solo para cultivo do milho se dispõe, atualmente, do Sistema Plantio Direto (SPD) que se caracteriza pela semeadura em solo praticamente não revolvido e coberto pela palha da cultura anterior como alternativa econômica e ecologicamente viável para a produção de grãos em ambiente tropical (BERNARDI *et al.*, 2003).

O plantio convencional consiste em preparo da terra através da aração e gradagem. No entanto, o uso intensivo do solo pode predispor-lo à formação de camadas compactadas, a diminuição no teor de matéria orgânica do solo, à redução da estabilidade dos agregados e a maior suscetibilidade à perdas de solo por erosão (SOUZA, 1988). Entre as consequências diretas da compactação do solo estão as reduções da porosidade e da infiltração de água e o aumento da resistência à penetração de raízes Kirkegaard *et al.*, (1993), com efeitos sobre sua distribuição e morfologia (SILVA & ROSOLEM, 2002).

Binotti *et al.*, (2007); estudaram o efeito do manejo de solo e da adubação nitrogenada na cultura de feijoeiro. Os autores constataram que no sistema plantio direto, houve melhor uniformidade de semeadura ocorrendo maior população de plantas com melhor desenvolvimento, visto que nesse sistema houve mais contato do solo firme com a roda motriz da semeadora, proporcionando acionamento adequado do mecanismo de distribuição de sementes, se comparada com o preparo convencional, onde o solo estava mais "solto", ocorrendo assim certo deslizamento desse sistema de distribuição de sementes. Ainda segundo os autores, a produtividade de grãos não foi afetada pelos sistemas de manejo do solo no primeiro ano de cultivo. Entretanto, no segundo e terceiro anos de cultivo, o plantio direto sobressaiu-se em relação ao preparo convencional. Os efeitos da adubação nitrogenada foram avaliados com oito épocas de aplicação de ureia. O parcelamento do nitrogênio não teve efeito sobre a produtividade de grãos, pelo fato de o experimento ter sido manejado com fornecimento controlado de água, pelo sistema de irrigação por aspersão, minimizando as possíveis perdas do nitrogênio por lixiviação.

Resultados de pesquisas em condições edafoclimáticas diferentes e que apresentam considerável acúmulo de palha, maior teor de matéria orgânica do solo e maior tempo de adoção do SPD, têm influenciado na recomendação de manejo da

adubação nitrogenada no milho, para as condições de cerrado. Isto implica a necessidade de mais estudos, para o entendimento da dinâmica e recuperação do nitrogênio no sistema solo-planta, e possibilita a tomada de decisão quanto a formas de manejo, para que a disponibilidade de nitrogênio ocorra em sincronia com a necessidade da cultura (LARA CABEZAS *et al.*, 2004; FIGUEIREDO *et al.*, 2005).

No sistema plantio direto, tem havido maior preocupação em elevar a disponibilidade de nitrogênio no início do crescimento do milho, por ser ele, na maioria dos sistemas de produção, cultivado em sucessão a gramíneas. Isto pode significar comprometimento da quantidade de nitrogênio disponível para o milho, pois segundo Salet *et al.* (1997), a imobilização de nitrogênio mineral pela biomassa microbiana é a principal causa da menor disponibilidade de nitrogênio. Por isso, Bayer (1993) ressalta que a adubação nitrogenada no sistema plantio direto é feita de forma idêntica àquela do sistema tradicional com revolvimento de solo, aplicando-se de 20 a 30% a mais de nitrogênio na semeadura no sistema plantio direto.

De acordo com Cantarella (2007), critérios adicionais são cada vez mais necessários para o ajuste da adubação nitrogenada, especialmente para os agricultores que fazem uso de altas doses de nitrogênio para aumentar a produtividade. O nitrogênio é um elemento com grande capacidade para promover o crescimento das plantas, que traz implicações diretas e indiretas para produtividade e qualidade dos produtos. Ainda segundo o autor, cereais como trigo e arroz, de porte baixo respondem bem a altas doses de nitrogênio, mas essas podem promover o acamamento de variedades de porte alto, com prejuízos para a produção. Além disso, doenças fúngicas também são favorecidas por altas doses de nitrogênio em alguns cereais.

Também no sistema plantio direto, resíduos culturais com elevada relação C/N podem reduzir substancialmente as quantidades de nitrogênio disponíveis no solo para a cultura em sucessão e, por isso, durante os primeiros quatro a cinco anos de adoção do sistema, a dose de nitrogênio deve ser da ordem de 20 a 30% maior à comumente recomendada para a cultura (LOPES *et al.*, 2004). Tal prática, de acordo com Cantarella (2007) visa suprir adequadamente a cultura com nitrogênio, sem que a fração imobilizada para decomposição da cobertura vegetal prejudique o rendimento da cultura em sucessão. Além disso, a presença de palha

pode aumentar as chances de perda de nitrogênio por lixiviação e desnitrificação em decorrência da umidade do solo.

Um experimento realizado por Favarin e Fancelli (1992) avaliaram a influência do preparo de solo (plantio convencional e plantio direto) e da natureza do fertilizante nitrogenado (natureza sólida – sulfato de amônio e natureza fluida – uran) na cultura do milho. De acordo com os autores, as produções de grãos obtidas para diferentes tratamentos e a quantidade de nitrogênio acumulado na planta e exportado revelaram que o nitrogênio fornecido pela adubação de cobertura foi suficiente, não tendo limitado o rendimento da cultura. Portanto, nem o tipo de preparo de solo e tampouco, a fonte do fertilizante nitrogenado comprometeram o aproveitamento do nutriente, sugerindo que, para as condições do experimento, não seria necessário aumentar o fornecimento do nutriente.

Segundo Sá (1995) após o quarto ano de plantio direto, é iniciado o estabelecimento do equilíbrio das transformações que ocorrem com o nitrogênio do solo e, após nove a doze anos, há maior disponibilização de nitrogênio, com menor resposta à adubação nitrogenada e, portanto, com possibilidade de redução das doses desse nutriente.

#### **2.4 Doses e Épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho**

Com base nos estágios fenológicos pode-se determinar o momento correto para o fornecimento de nutrientes, objetivando maior aproveitamento do nutriente para a cultura (YAMADA *et al.*, 2007).

Assim, o uso de uma escala baseada nas mudanças morfológica da planta (aspecto visual da planta) e nos eventos fisiológicos que se sucedem no ciclo de vida da planta oferece maior segurança de ambiente (YAMADA *et al.*, 2007).

A aplicação de nitrogênio em uma única época (em pré-semeadura ou na semeadura) pode resultar em acúmulo de  $N-NO_3$  no solo nos estádios iniciais de desenvolvimento de milho (BASSO & CERETTA, 2000), pois a demanda total da planta é pequena na fase inicial de desenvolvimento. Já no período usual de

aplicação de nitrogênio em cobertura (4 a 8 folhas) a absorção de N pelas plantas é mais intensa.

Santos *et al.*, (2010); estudando épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, com molibdênio ou não, encontrou diferença estatística entre os tratamentos, independentemente da aplicação de molibdênio. Os tratamentos consistiram de: T1 - aplicação total de N 15 dias antes do plantio, sem molibdênio; T2 - aplicação total de N no plantio, sem molibdênio; T3 - aplicação total de N na época em que o milho se encontrava com quatro folhas completamente desenvolvidas, sem molibdênio; T4 - aplicação total de N 15 dias antes do plantio, com molibdênio; T5 - aplicação total de N no plantio, com molibdênio; T6 - aplicação total de N na época em que o milho se encontrava com quatro folhas completamente desenvolvidas, com molibdênio; e T7 - testemunha sem N e sem aplicação de molibdênio. O tratamento com N aplicado na época em que o milho se encontrava com quatro folhas completamente desenvolvidas (T6) foi superior aos demais. O tratamento T3 elevou o peso de 1000 grãos em 16%, o peso de espiga em 388% e a produtividade de grãos em 400% em relação à testemunha e de 522% com adubação molíbdica. Possivelmente, a eficiência de absorção do nitrogênio através das raízes do milho foi um dos fatores responsáveis por esse comportamento, expressando elevada atividade metabólica e, conseqüentemente, maior teor de nitrogênio nas folhas.

No estágio de quatro a seis folhas, ocorrem as diferenciações das várias partes da planta e a definição de sua produção potencial. Os componentes da produção, como número de fileiras de grãos por espiga e tamanho da espiga são definidos nos estádios de quatro a seis folhas, necessitando nessa época de um suprimento adequado de nitrogênio. Assim, a ocorrência de deficiência de nitrogênio nesta fase reduz o número de óvulos nos primórdios da espiga (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

Uma parte do nitrogênio deve ser aplicada na semeadura ou pré-semeadura e a outra em cobertura. A adubação de cobertura do milho deverá ser iniciada quando as plantas apresentarem 3 a 4 folhas plenamente expandidas, impreterivelmente por ocasião da 7ª folha. O parcelamento do nitrogênio em mais de uma adubação de cobertura frequentemente não é necessário, notadamente se a quantidade aplicada

for inferior a  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, e o solo apresentar teor de argila superior a 35% (YAMADA *et al.*, 2007). É aconselhável em caso de duas aplicações em cobertura, realizar a primeira quando o milho estiver com 3 a 4 folhas totalmente expandidas (estágios V3- V4) e a segunda quando estiver com 6 a 8 folhas totalmente expandidas (estágios V6- V8).

De acordo com Ribeiro (1999), para a cultura do milho, a recomendação atual de adubação nitrogenada refere-se ao fornecimento de 10 a  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  desse elemento por ocasião da semeadura ou em pré-semeadura. Já em cobertura a dose de N varia de 60 a  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  desse elemento, de acordo com a produtividade esperada. Conforme citado por Fancelli & Dourado Neto (2000), a demanda por nitrogênio e a atividade das raízes aumentam com o aumento da temperatura, e por essa razão o melhor desempenho inicial do milho cultivadas em regiões e épocas quentes tem sido obtidos com o uso de 40 a  $50 \text{ Kg ha}^{-1}$  de N na semeadura (YAMADA *et al.*, 2007). Segundo Fancelli & Dourado Neto (2000), a adubação de semeadura para o milho, deve conter de 25 a  $45 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Em cobertura as doses de N variam de 10 a  $140 \text{ Kg ha}^{-1}$ , dependendo do rendimento almejado e da classe de resposta. De acordo com o Raij *et al.*, (1997) (a recomendação oficial de adubação nitrogenada para cultura do milho no Estado de São Paulo) variam de 10 a  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N no plantio e de 10 a  $140 \text{ Kg ha}^{-1}$  de N em cobertura. Segundo os autores, a variação da quantidade aplicada de nitrogênio está relacionada aos seguintes pontos: produtividade esperada (plantio e cobertura) e classe de resposta a nitrogênio (cobertura). A produtividade esperada não é função apenas das doses aplicadas de fertilizantes, depende de diversos fatores, tais como o solo, potencial genético da planta cultivada, condições climáticas durante o ciclo da cultura e o manejo, incluindo neste o controle de pragas, moléstias, plantas daninhas e o fornecimento ou não de água de irrigação. Portanto, segundo Raij *et al.*, (1997), a produtividade esperada não deve ser confundida com produtividade desejada. Em relação as classes de respostas a nitrogênio, Raij *et al.*, (1997) consideram:

- Alta resposta esperada: solos bem corrigidos, cultivados com gramíneas ou culturas não fixadoras de nitrogênio; áreas irrigadas com alto potencial de produção, sujeita a maior lixiviação; áreas nos primeiros anos de plantio direto;

solos arenosos mais sujeitos a lixiviação ou solos arenosos em regiões quentes, onde a decomposição dos resíduos de cultura é muito rápida.

- Média resposta esperada: solos muito ácidos e que serão corrigidos com calcário, com produtividade limitada no primeiro ano e onde se espera maior mineralização do nitrogênio do solo devido à correção do solo; solos com plantio anterior esporádico de leguminosas; solos em pousio por um ano.
- Baixa resposta esperada: solo em pousio por dois ou mais anos, ou após pastagens; cultivo intenso de leguminosas ou plantios de adubo verde procedendo a cultura a ser adubada.

Contudo, convém salientar que a utilização de doses elevadas de N (superior a  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ ) no sulco de semeadura poderá favorecer a salinidade em função da fonte empregada, o que prejudica o desenvolvimento das plantas (YAMADA *et al.*, 2007). Na semeadura, o somatório de N +  $\text{K}_2\text{O}$  atingindo valor superior a  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  pode contribuir para alterações químicas significativas na rizosfera, dificultando o crescimento do sistema radicular bem como afetando a vida do solo e favorecendo a ocorrência de doenças (YAMADA *et al.*, 2007).

Sintomas de deficiência de nitrogênio podem ser identificados quando as plantas apresentam amareladas e com crescimento reduzido. A clorose se desenvolve primeiro nas folhas mais velhas, com as mais novas permanecendo verdes. Em casos de deficiências severas, as folhas adquirem coloração marrom e morrem (RAIJ, 1991).

O fato das folhas mais novas conservarem-se verdes, em condições de deficiências de nitrogênio, é um indicativo da mobilidade do nutriente nas plantas. As proteínas translocam-se das folhas deficientes e são reutilizadas nas folhas mais novas (RAIJ, 1991).

Um dos fatores que pode afetar as respostas de culturas à adubação nitrogenada é a acidez. Em solos muito ácidos as raízes desenvolvem-se pouco e a absorção do nutriente fica prejudicada (RAIJ, 1991).

Soratto *et al.*, (2010); estudaram doses e fontes de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja; não encontraram diferenças significativas entre as fontes. As fontes testadas foram: ureia (45% de N), sulfato de amônio (20% de N e 24% de S), ureia extrusada com produtos amiláceos (Amiréia<sup>®</sup> 180S, Pajoara

Indústria e Comércio, Campo Grande-MS, com 28% de N e 3% de S) e sulfonitrato de amônio com inibidor de nitrificação DMPP (Entec<sup>®</sup> 26, Compo do Brasil S.A., Florianópolis-SC, com 26% de N, 18,5% na forma amoniacal e 7,5% na forma nítrica, e 13% de S). Em relação às doses, houve incremento linear da produtividade do milho safrinha com a aplicação de nitrogênio, cujo aumento foi de 7,6% em relação ao tratamento sem aplicação de nitrogênio em cobertura, independentemente da fonte utilizada. Bastos *et al.* (2008) obtiveram aumento da produtividade do milho até a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N. Resultados semelhantes foram obtidos por Mar *et al.* (2003) e Souza & Soratto (2006), que observaram aumento da produtividade de grãos do milho safrinha com a aplicação de até 120 kg ha<sup>-1</sup> de N. Kappes *et al.* (2009) observaram incremento significativo na produtividade do milho com aplicação de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, independentemente da fonte utilizada (sulfato de amônio, ureia e entec). Meira *et al.*, (2009) não verificaram efeito dessas fontes na produtividade do milho irrigado. As doses utilizadas foram: 0; 30; 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, aplicados em cobertura.

## 2.5 Fontes de nitrogênio na cultura do milho

Os principais adubos nitrogenados produzidos no mundo são sintetizados a partir do N<sub>2</sub> atmosférico e do H<sub>2</sub>, o qual é obtido de combustíveis fósseis, principalmente gás natural e óleo (CANTARELLA, 2007). Cerca de 1,2 a 1,8% do consumo global de energia fóssil é para produção de fertilizantes nitrogenados (LAGREID *et al.*, 1999)

O principal fertilizante sólido utilizado no mundo é a ureia [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>], que é produzida a partir da reação da NH<sub>3</sub> com o principal subproduto de sua síntese, o CO<sub>2</sub>, o que proporciona grande vantagem de menor custo de produção, além de não envolver reações com ácidos, que requerem materiais e equipamentos especiais. Por essa razão, a ureia é a primeira opção do ponto de vista industrial e o fertilizante sólido com menor custo por unidade de N (CANTARELLA, 2007).

No Brasil, segundo Cantarella (2007), os fertilizantes nitrogenados mais utilizados são a ureia – 45% de N; o nitrato de amônio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) – 33% de N e o sulfato de amônio [ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ] – 21% de N, 23% de S. Além desses, outros fertilizantes nitrogenados solúveis comuns são: nitrocálcio – 21 a 28% de N; fosfato monoamônico (MAP) – 11% de N, e 52% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; fosfato diamônico (DAP) – 16-18% de N, e 42-48% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; amônia anidra- 82% de N; aquamônia – 10% de N; uran – 28-32% de N; nitrato de sódio – 16% de N; nitrato de cálcio – 14% de N; nitrato de potássio – 13% de N; nitrosulfato – 26% de N; nitrofosfatos – 13-26% de N, e 6-34% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; solução nitrogenada – 20% de N; ureia-formaldeído – 35% de N (CANTARELLA, 2007; RAIJ, 2011).

A ureia ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) por ser o adubo mais barato, é o mais utilizado pelos agricultores, seguido pelo o nitrato de amônio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) e o sulfato de amônio ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), sendo consumido nas lavouras aproximadamente 46,65%, 33,00% e 20%, respectivamente, de cada fonte (MEIRA, 2006).

Dentre as fontes nitrogenadas, a ureia apresenta elevada concentração de nitrogênio (~ 45% de N), tendo maior teor de nitrogênio do que os outros adubos sólidos, o que barateia o transporte e a aplicação (CANTARELLA, 2007). A ureia possui alta solubilidade, baixa corrosividade e menor relação custo por unidade de nutriente. A principal desvantagem da ureia é a possibilidade de perdas de nitrogênio por volatilização de  $\text{NH}_3$ , especialmente quando o fertilizante é aplicado na superfície do solo. Outro aspecto negativo associado ao uso da ureia é a fitotoxidez de biureto (um contaminante) (CANTARELLA, 2007). Segundo Raij (2011), avanços tecnológicos na granulação da ureia permitem, atualmente, a produção de adubo com propriedades físicas muito favoráveis. Além do mais, o controle do processo para evitar a elevação excessiva da temperatura na fabricação reduz substancialmente a concentração de biureto, formado por associação de duas moléculas de ureia.

A ureia é rapidamente hidrolisada no solo por enzimas do grupo das ureases, de modo que em um intervalo de dois a cinco dias, em solos com umidade e temperatura adequadas, o nitrogênio amídico se transforma em amoniacal (CANTARELLA & MONTEZANO, 2010). Tal reação produz um pequeno aumento no pH do solo, mas o efeito final da ureia é de acidificação devido à nitrificação.

A baixa eficiência de recuperação do nitrogênio do fertilizante tem sido atribuída, principalmente, às perdas gasosas do nitrogênio (volatilização e desnitrificação). As perdas do fertilizante nitrogenado por desnitrificação têm sido estimadas em menos de 10 % na cultura do milho (HILTON *et al.*, 1994), porém a perda de amônia (N-NH<sub>3</sub>) por volatilização, quando a ureia não é enterrada, ou incorporada ao perfil do solo pela água da chuva ou de irrigação, pode atingir de 31 a 78 % do total de nitrogênio aplicado (LARA CABEZAS *et al.*, 1997).

O sulfato de amônio é uma opção como fonte de nitrogênio, que não sofre volatilização de nitrogênio na forma amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) quando o pH do solo é inferior a sete. Ao ser adicionado ao solo o sulfato de amônio se dissocia em NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (absorvido pelas plantas). O nitrogênio amoniacal é oxidado a nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e há liberação de H<sup>+</sup> no sistema, caracterizando-o como fertilizante acidificante do solo. Outra grande vantagem da utilização do sulfato de amônio em relação a ureia é o fornecimento de enxofre, nutriente de fundamental importância para os processos de fotossíntese, respiração, composição de aminoácidos e proteínas, etc. Porém, o sulfato de amônio tem sua eficiência reduzida basicamente por desnitrificação e lixiviação de nitratos (MEIRA, 2006).

De acordo com Cantarella (2007) as perdas de nitrogênio para o ambiente, com o conseqüente menor aproveitamento do nutriente pelas culturas, estão associadas à concentração na solução do solo, de formas solúveis de nitrogênio geral, ou das formas mais susceptíveis a perdas. Uma das maneiras de aumentar a eficiência de aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados é o uso de fertilizantes de liberação lenta ou controlada ou com inibidores para evitar a rápida transformação do nitrogênio contido no fertilizante em formas de nitrogênio menos estáveis em determinados ambientes. Ainda conforme descrito em Cantarella (2007) recentemente foi adotada pela Associação Americana de Agentes para o Controle de Nutrientes de Plantas uma nomenclatura para definir e classificar os fertilizantes com características especiais, ou fertilizantes com eficiência aumentada. Esses são formados por: a) Fertilizante de liberação lenta ou controlada, em relação a uma fonte solúvel de referência, e incluem fertilizantes recobertos, encapsulados, insolúveis em água ou lentamente solúveis em água; b) Fertilizantes estabilizados,

que contém aditivos para aumentar o tempo de disponibilidade no solo, tais como inibidores de nitrificação, inibidores de urease ou outros aditivos.

Há dois grupos importantes de fertilizantes classificados como de liberação lenta ou controlada. Um deles é formado por compostos originados da condensação de ureia, e ureia formaldeído, apresentando baixa solubilidade e liberação lenta, como ureia-formaldeído. O segundo de produtos solúveis encapsulados ou recobertos por enxofre elementar, polímeros orgânicos e resinas, apresentando liberação controlada. De menor importância são as ureias supergrânulos (grânulos de 1 a 4 gramas) e outros produtos (TRENKEL, 1997).

Dentre os produtos de condensação de ureia e ureia formaldeídos, ou ureia metileno, três têm participação importante no mercado: ureia formaldeído (UF), ureia isobutilaldeído (IBDU) e ureia crotonaldeído (CDU). A solubilidade desta classe de fertilizantes depende do tamanho da cadeia e da natureza do composto. Os produtos comerciais consistem de misturas de polímeros com frações solúveis em água fria, em água quente e insolúveis em água. No solo, estes compostos sofrem degradação química e biológica, liberando o nitrogênio gradualmente às plantas (HAUCK & KOSHINO, 1971). Essa classe de produtos representava cerca de 40% do mercado mundial de produtos de liberação controlada (Trenkel, 1997), mas, atualmente, há uma tendência clara para o aumento do uso de fertilizantes recobertos, que já são responsáveis por cerca de 70 a 75% do mercado desse grupo de fertilizantes (SHAVIV, 2005).

Apesar do potencial dos fertilizantes de liberação controlada para aumentar a eficiência de aproveitamento de fertilizantes nitrogenados, o uso de tais produtos é limitado pelo alto custo em comparação com a dos fertilizantes tradicionais. A ureia recoberta com S, provavelmente o produto com menor referencial de preço, tem o preço de N em torno de duas vezes mais do que o da ureia comum; o custo de outros fertilizantes nitrogenados de liberação controlada varia de 2,4 a 10 vezes por unidade de N (TRENKEL, 1997; SHAVIV, 2005). Com isso, esses fertilizantes têm sido empregados em nichos de mercado, tais como: viveiros de muda, campos de golfe e jardinagem. Estima-se que apenas 8 a 10% dos adubos de liberação controlada sejam utilizados na agricultura na Europa (Lammel, 2005; Shaviv, 2005)

e, em 2003, correspondam a apenas 0,25% do total de N de fertilizantes químicos comercializados no mundo, ou 1,1% do total nos Estados Unidos (HALL, 2005).

Vários autores como: Meira (2006); Souza & Soratto (2006); Contin (2007); Carvalho & Ferreira (2009); Silva (2009) & Soratto *et al.*, (2010); também não encontraram diferenças significativas quando compararam diversas fontes de fertilizantes nitrogenados. Estes trabalhos foram realizados não apenas para o milho, mas também para a cultura da cana-de-açúcar, algodão e trigo.

Para Cantarella & Marcelino (2008), o maior potencial de uso de fertilizantes não-convencionais na cultura do milho recai sobre aqueles que contêm aditivos (fertilizantes estabilizados): os inibidores de nitrificação e inibidores de urease. Segundo Fancelli (2010), os inibidores de nitrificação reduzem drasticamente a formação de  $\text{NO}_3^-$  no solo, pois bloqueiam a ação de bactérias do gênero *Nitrosomonas*, responsáveis pela oxidação do  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_2^-$ . Com isso, há preservação no solo do nitrogênio amoniacal por mais tempo, diminuindo a possibilidade de perdas por lixiviação de nitrato e por desnitrificação. O período efetivo de inibição dos principais produtos disponíveis no mercado varia de 3 a 10 semanas, dependendo do tipo de solo e umidade, mas principalmente da temperatura (CANTARELLA & MONTEZANO, 2010).

Os inibidores de urease, de acordo com Fancelli (2010), retardam a hidrólise da ureia, diminuindo as perdas de nitrogênio por volatilização. Alguns fertilizantes que apresentam inibidores de urease possibilitam a permanência do nitrogênio na superfície do solo por 7-10 dias, antes da ocorrência de precipitações suficientes para promover a incorporação da ureia no solo, sem evidências de perdas significativas. Segundo Cantarella & Montezano (2010) muitos produtos, incluindo metais, boro e compostos orgânicos tem se mostrado capazes de inibir a atividade da urease; entretanto, o mais eficiente até o momento é o fosfato de N-n-butiltriamida (NBPT). Produtos com ureia recoberta com sais de cobre e de boro também são disponíveis comercialmente, porém tem capacidade de inibição inferior à do NBPT. O NBPT inibe, por um período de 3 a 15 dias, a ação da enzima responsável pela hidrólise da ureia, após o que a ação inibidora decresce gradualmente. O intervalo da efetiva inibição depende principalmente da temperatura e umidade do solo, pois o NBPT é degradado por micro-organismos.

Idealmente, no período em que o inibidor está ativo, a ureia deve ser incorporada ao solo por água (irrigação ou chuva) ou por meios mecânicos. Mas mesmo que isso não aconteça, o controle da hidrólise, exercida pelo NBPT por alguns dias, permite a movimentação da ureia por difusão para o interior do solo, resultando em menores perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização, do que utilizando a ureia sem aditivo (CANTARELLA & MONTEZANO, 2010).

Segundo Fancelli (2010), a viabilidade técnica e econômica do uso de fontes especiais de nitrogênio depende da composição dos preços dos fertilizantes nitrogenados convencionais, sobretudo da ureia, com aqueles praticados para os fertilizantes especiais; das condições de uso do produto; do sistema de produção adotado; do nível tecnológico do empreendimento; e, do valor estimado do milho por ocasião da colheita.

## **2.6 Perdas de nitrogênio do solo**

O caráter dinâmico do nitrogênio no solo e as várias rotas de perdas, discutidas nos itens anteriores, ilustram a complexidade do manejo do nitrogênio. Segundo Cantarella & Montezano (2010), essas perdas tem impacto econômico e ambiental e são dependentes do tipo de solo, clima e manejo do solo e dos fertilizantes.

Meisinger *et al.*, (2008) afirmaram que a lixiviação, representa em média, perdas de 10% a 30% do nitrogênio adicionado aos solos. Contudo, segundo os autores, essas perdas são muito variáveis e dependem da presença de nitrato e do excedente de água que percola pelo perfil do solo. As perdas de nitrato por lixiviação são maiores em solos arenosos, em presença de culturas com sistema radicular pouco profundo e quando o nitrogênio é aplicado em doses maiores do que as necessidades das plantas. O excesso de nitrato compromete a qualidade das águas superficiais e do lençol freático, para as quais a Organização Mundial de Saúde estabelece o limite de  $50 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  para a potabilidade da água (CANTARELLA & MONTEZANO, 2010). Ainda segundo os autores, o nitrato juntamente com o

fosfato, também causa eutrofização de águas superficiais e lagos, o que já está provocando situações de hipoxia (concentração de  $O_2$  baixo de  $2 \text{ mg L}^{-1}$ ), em águas de várias regiões do mundo.

Há poucas informações de medição de perdas de nitrogênio por lixiviação no Brasil. Cantarella (2007) reuniu dados de mais de uma dezena de experimentos, que indicaram que as quantidades de nitrogênio lixiviadas no Brasil têm sido pequenas. As doses de nitrogênio relativamente baixas utilizadas no Brasil, e o manejo tradicional da adubação para a maioria das culturas, que envolve o parcelamento dos fertilizantes nitrogenados, de certo modo explicam a baixa lixiviação e sugerem que a contaminação ambiental na agricultura brasileira com nitrato é pequena. Porém, culturas adubadas com altas doses do nutriente podem apresentar acúmulo de nitrogênio inorgânico na camada subsuperficial (CANTARELLA & MONTEZANO, 2010). Ainda segundo os autores, períodos de chuvas intensas também podem provocar perdas em situações nas quais a lixiviação de nitrato não é comum.

Segundo Cantarella & Montezano (2010), as perdas de nitrogênio por lixiviação na América do Norte e na Europa são muito maiores do que as do Brasil. O uso de doses mais elevadas de nitrogênio e o cultivo em solos com lençol freático pouco profundo contribuem para elevar a contaminação de águas superficiais com nitrato nesses países.

As perdas por desnitrificação em solos em condições aeróbias variam em geral, de 5% a 25% do nitrogênio adicionado (MEISINGER et. al., 2008). A maior parte do nitrogênio desnitrificado está na forma de  $N_2$ , embora uma pequena parcela seja liberada como  $N_2O$ , que é um dos gases do efeito estufa (CANTARELLA & MONTEZANO, 2010). Ainda segundo os autores, cerca de 1% do nitrogênio proveniente de fertilizantes nitrogenados é emitido como  $N_2O$ , sendo que esse gás possui um potencial de contribuição para o aquecimento global, de cerca de 296 vezes a do  $CO_2$ . Com isso, a emissão de  $N_2O$  é responsável por 8% do efeito estufa, e ele também destrói o ozônio na estratosfera. De acordo com a EPA (2006), os fertilizantes contribuem com cerca de 8% das emissões antropogênicas de  $N_2O$ .

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e caracterização da área experimental

A pesquisa foi realizada no município de Alfenas – MG, a 770 metros de altitude, na fazenda Vitória, pertencente à Universidade José do Rosário Vellano, em uma área de plantio direto implantado no ano de 2012. Na safra 2011 foi iniciado o cultivo de milho no sistema convencional. Para isto, foi feito uma subsolagem e uma gradagem pesada; descompactando o terreno que estava em pousio há cinco anos ocupada por pastagem. O clima na região é o tropical de altitude caracterizado quente e chuvoso no verão e seco no inverno. A precipitação média anual é de 1592 mm e a temperatura média de 19,6°C.

Antes da instalação do experimento foi realizada amostragem do solo, na camada de 0 a 0,20 m para a caracterização química do solo (Tabela 1), conforme procedimentos descrito em Silva (1999).

**Tabela 1.** Características químicas do solo avaliadas na camada de 0 a 0,20 m.

P (Mehlich) (mg dm <sup>-3</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)	K (mg dm <sup>-3</sup> )	Ca	Mg	H+Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	M.O (dag/Kg)	V (%)	CTC (cmolc dm <sup>-3</sup> )
19	6,4	252	4,9	0,8	1,9	3,5	77	8,2

Não foi realizada calagem na área, pois a saturação por bases (V%) da camada superficial do solo (0 a 0,20 m) da área experimental estava acima da considerada adequada para a cultura, que é 60%, segundo Ribeiro (1999).

Foi feita a dessecação de plantas daninhas na área experimental utilizando o Glifosate WG e a Flumioxazina nas doses de 2 kg ha<sup>-1</sup>, e 50 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente, e uma vazão de 200 L ha<sup>-1</sup>.

#### 3.2 Plantio, delineamento experimental e tratamentos

A cultura foi implantada em 01 de novembro de 2011, utilizando o híbrido transgênico Impacto da Syngenta. Este híbrido possui evento inseticida, sendo conhecido popularmente como milho Bt. O plantio foi feito mecanicamente através de uma semeadora de plantio direto. A densidade de plantio foi de 3,62 sementes por metro linear, com espaçamento de 0,5 metro entre linhas, totalizando uma população de 72.400 sementes por hectare.

Foi empregado o delineamento experimental em blocos ao acaso, utilizando 7 tratamentos e 4 repetições, totalizando 28 parcelas. Cada parcela tinha 3 m de largura (seis linhas) e 7 m de comprimento, totalizando 21 m<sup>2</sup> de área total. A área útil de cada parcela foi formada pelos 3 m centrais das 2 linhas centrais, totalizando 3 m<sup>2</sup>.

A adubação de semeadura realizada de acordo com a análise de solo foi feita com 50 kg ha<sup>-1</sup> de N; 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O; 1,5 Kg ha<sup>-1</sup> de Zn e 0,5 Kg ha<sup>-1</sup> de B por meio de aplicação de 500 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula de 10-30-10 + zinco e boro.

Os tratamentos empregados (fontes de nitrogênio) estão representados na tabela 2.

**Tabela 2.** Tratamentos realizados no experimento.

Tratamento	Fonte de N	Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Época de aplicação	Forma de aplicação
1	Testemunha	-	-	-
2	Nitrato de amônio	100	Cobertura	Sem incorporação
3	Ureia	100	Cobertura	Sem incorporação
4	Ureia	100	Cobertura	Com incorporação
5	Sulfato de amônio	100	Cobertura	Sem incorporação
6	Fertilizante de liberação controlada	100	Semeadura	Sem incorporação
7	Fertilizante de liberação controlada	50	Semeadura	Sem incorporação

O fertilizante nitrogenado de liberação controlada é composto por ureia revestida com polímeros (45% de N). O adubo nitrogenado de liberação controlada foi aplicado manualmente, de uma só vez, em linha, na superfície do solo, juntamente com a semeadura do milho.

O tratamento sete que recebeu apenas 50% da dose dos outros tratamentos foi feito para verificar se o fertilizante de liberação controlada é viável no ponto de vista agrônomo e econômico; levando-se em conta que uma vez que o nitrogênio é liberado aos poucos, ocorram menores perdas desse nutriente, seja por lixiviação ou volatilização, justificando a redução de sua dose.

A emergência das plantas ocorreu sete dias após a semeadura, de maneira uniforme, e não foi afetada pela aplicação do adubo nitrogenado de liberação controlada.

### **3.3 Adubação de cobertura e tratos culturais**

A adubação nitrogenada de cobertura foi feita 30 dias após a emergência do milho, nos tratamentos 2, 3, 4 e 5 com as plantas estando com quatro pares de folhas. Todos os fertilizantes foram aplicados cerca de 15 cm da linha de plantio, sem incorporação; com exceção do tratamento quatro, em que houve incorporação. Neste tratamento o adubo foi distribuído em um sulco a 5 cm de profundidade, aberto com um enxadão, e coberto com o solo após a aplicação do fertilizante.

Durante a condução do experimento, foi feita uma capina manual, e não houve necessidade de irrigação suplementar; também não houve necessidade de aplicação de inseticidas, já que as pragas não chegaram a causar dano econômico.

### **3.4 Colheita e avaliações realizadas**

A colheita das espigas da área útil foi realizada no dia 03 de abril de 2012, 154 dias após a semeadura, de forma manual. Nesta fase o milho apresentava-se com 20,6% de umidade.

Para a avaliação da produtividade de grãos, todas as espigas da área útil de cada parcela foram colhidas e debulhadas, através de um debulhador manual. Após

a debulha, os grãos foram pesados e, posteriormente, calculada a produtividade em  $\text{kg ha}^{-1}$  com o grão apresentando 20,6% de umidade. Posteriormente, os dados obtidos foram corrigidos para 12,5% (umidade comercializável); utilizando a seguinte fórmula:

$$PC = (100 - UI) / (100 - UC) * PI$$

Em que: PC = peso corrigido ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ), para 12,5% de umidade;

UI = umidade inicial;

UC = umidade corrigida;

PI = peso inicial ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ).

Também se determinou o peso de 1000 grãos em cada parcela, através da contagem de 100 grãos coletados ao acaso, pesados em uma balança de precisão e o resultado multiplicando por 10.

Após a colheita, foram avaliadas em 10 espigas de cada parcela, o número de fileiras de grãos por espiga; e o número de grãos por fileira. Por meio da multiplicação desses dois componentes de produção, obteve-se o número de grãos por espiga, em cada parcela.

### **3.5 Análises efetuadas**

#### **3.5.1 Análise estatística**

Os dados referentes a número de fileiras de grãos/ espiga, número de grãos/ fileira, número de grãos/ espiga, peso de 1000 grãos e produtividade de grãos, em função das fontes de fertilizante nitrogenado utilizadas foram submetidos à análise de variância, por meio do teste F, e ao teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para comparação das médias dos tratamentos. Para tanto, empregou-se o programa estatístico ESTAT, versão 2.0, desenvolvido na Unesp, Câmpus de Jaboticabal .

### 3.5.2 Análise econômica

A análise econômica foi realizada de acordo com os procedimentos adotados por Queiroz *et al.*, (2011).

Para cada tratamento em função das fontes de fertilizantes nitrogenados, foi calculado a receita de acordo com a produção de milho obtida e os gastos na adubação nitrogenada. Com os valores dos custos dos fertilizantes, foi determinada a fonte de melhor retorno econômico. O levantamento de preços foi realizado em maio de 2012 na região de Alfenas, Minas Gerais.

O custo dos fertilizantes (R\$ ha<sup>-1</sup>) foi obtido em cada tratamento, levando em consideração as doses de N aplicadas e o preço do respectivo fertilizante. A produtividade de milho (kg ha<sup>-1</sup>) de cada tratamento foi transformada em sacas ha<sup>-1</sup>, e foi determinado o preço da produção em R\$ ha<sup>-1</sup>. O lucro obtido em cada tratamento foi determinado pela diferença entre o valor da produção e o custo do fertilizante. Deste modo, foi possível avaliar a fonte mais rentável do ponto de vista econômico, ou seja, que proporciona maior lucro.

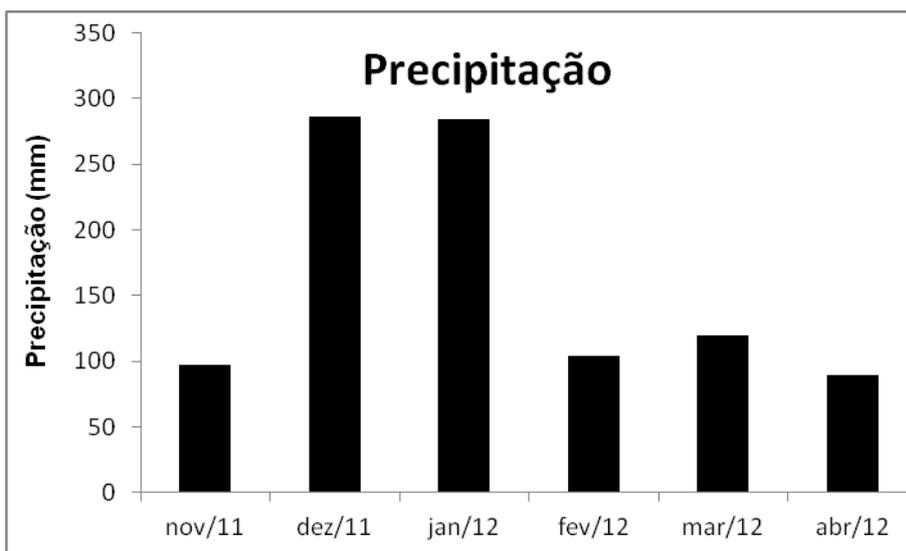
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Precipitação e temperatura média no transcorrer do experimento

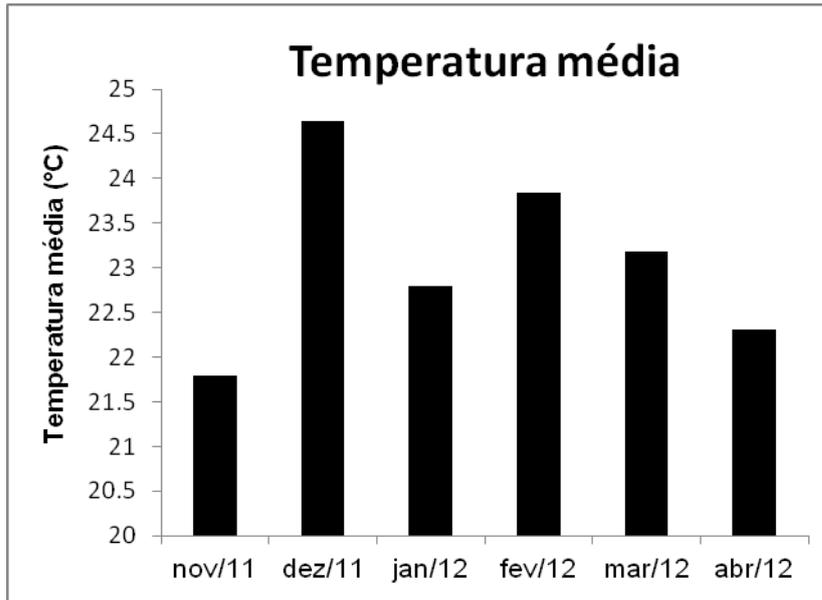
Os resultados de temperatura mensal e precipitação que ocorreram durante o período de condução do experimento, são apresentados nas figuras 1 e 2.

Houve uma maior incidência de chuvas dos 25 aos 60 dias após a semeadura, contribuindo assim para o bom aproveitamento de todas as fontes nitrogenadas, já que ocorreram precipitações logo após a aplicação do nitrogênio em cobertura. Nos meses de fevereiro em diante houve uma diminuição na quantidade de chuvas, mas ainda foi o suficiente para manter o solo úmido durante todo o período. Pode-se notar também que a precipitação foi ideal inclusive na floração, época que a cultura exige grande quantidade de água.

Pela Figura 2, verifica-se que os valores médios mensais de temperatura não sofreram grandes variações, havendo disponibilidade térmica favorável para o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Mar *et al.*, (2003) verificaram bom desenvolvimento das plantas de milho em condições de temperatura média, entre 18 e 25 °C, semelhante ao observado no presente trabalho.



**Figura 1.** Valores mensais de Precipitação pluvial (mm), registrados durante o ciclo do milho, no município de Alfenas, MG.



**Figura 2.** Valores médios mensais de temperatura (°C), registrados durante o ciclo do milho, no município de Alfenas, MG.

## 4.2 Componentes de produção

### 4.2.1 Produtividade de grãos

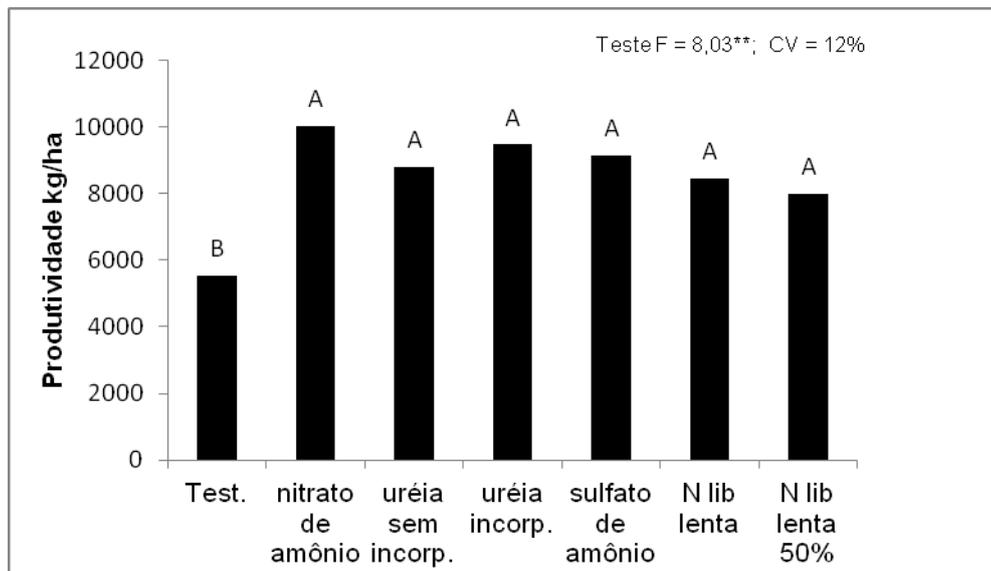
Na figura 3 são apresentados os resultados de produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) obtidos em cada tratamento.

A produtividade de grãos foi influenciada pela presença ou ausência de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. O tratamento testemunha produziu significativamente menos em relação aos que utilizaram fertilizante nitrogenado em cobertura e os que receberam fertilizante de liberação controlada todo na semeadura. Portanto, a menor produtividade foi da testemunha, que produziu em média 38% a menos que os tratamentos que receberam adubação nitrogenada em cobertura ou fertilizante nitrogenado de liberação controlada. Quando se compara os tratamentos adubados com nitrogênio em cobertura e os de liberação controlada, não houve diferenças estatísticas entre as fontes utilizadas. Portanto, no presente

experimento todas as fontes de nitrogênio empregadas apresentaram produtividade semelhante, cerca de 8984 kg ha<sup>-1</sup> grãos.

Vale salientar, que a produtividade é o mais importante objetivo da reprodução de alguns cultivos, incluindo o milho. A produtividade é de caráter complexo, controlado por muitos fatores, incluindo alguns de seus componentes (SATYANARAYANA *et al.*, 2009).

Possivelmente, para o experimento realizado em Alfenas (MG), a ausência de diferença entre os tratamentos em que a ureia foi aplicada em superfície, sem incorporação, e o que a ureia foi incorporada deve-se ao fato de ter ocorrido chuvas leves logo após a adubação de cobertura; evitando assim que a ureia não incorporada ao solo tenha sido perdida por volatilização. O teor de umidade do solo é um fator importante na hidrólise da molécula ureia, pois a adição de água promove o aumento da difusão da ureia e, conseqüentemente, maior contato com a urease existente no solo (SAVANT *et al.*, 1987).



**Figura 3** – Médias para produtividade (Kg ha<sup>-1</sup>) em relação às fontes de nitrogênio utilizadas. Letras iguais, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Outro fato que influencia a volatilização da amônia, além da umidade do solo, é a sua característica, principalmente aquelas relacionadas com a capacidade de troca de cátions. Solos com alta CTC apresentam grande capacidade de retenção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (WANG & ALVA, 2000), o que dificulta a volatilização de amônia, que por isso

é menor em solos argilosos do que em solos arenosos (ALKANANI *et al.*, 1991; SILVA *et al.*, 1995). Resultados similares foram reportados por Silva *et al.*, (1995) & Lara cabezas *et al.*, (2000), e comprovam que a volatilização de amônia é pequena quando a ureia é incorporada ao solo. Lara Cabezas *et al.*, (2000) encontraram perdas que variaram de 42 a 50% do nitrogênio aplicado quando a ureia foi adicionada sobre a superfície, sem incorporação com o solo. A menor volatilização ocasionada pela incorporação da ureia é consequência do aumento do contato entre o fertilizante e as partículas de solo. Com isso, há um aumento na adsorção de  $\text{NH}_4^+$  às cargas negativas do solo (SILVA *et al.*, 1995), dificultando sua transformação para amônia. Além disso, as moléculas de amônia que migram do interior do solo em direção à atmosfera, encontram sítios do solo com valores de pH mais baixos do que aqueles existentes ao redor dos grânulos de ureia, e se transformam em amônio, que fica na solução do solo ou se adsorve eletrostaticamente às cargas negativas da fase sólida.

Estudos realizados em diversos países mostram que o enterrio da ureia ou sua mistura com a camada superficial do terreno podem reduzir a volatilização ou até mesmo torná-la desprezível (CONNELL *et al.*, 1979). Lara Cabezas *et al.*, (2000) estimaram em um experimento a campo, em 2002/03, em um Argissolo vermelho distrófico arênico, que pode haver redução no rendimento de grãos de milho devido à volatilização de  $\text{N-NH}_3$  na proporção de  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de grãos para cada 1% de nitrogênio volatilizado. Porém, no experimento realizado, não houve diferenças significativa de produtividade, quando a ureia foi aplicada em superfície e quando foi incorporada ao solo. Uma explicação para este fato é que o solo apresenta alta CTC retendo os ions de  $\text{NH}_4^+$  dificultando a volatilização de amônia.

Lara Cabezas, Korndorfer & Motta (1997) observaram que as perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  entre os vários fertilizantes, inclusive a ureia, não refletiram na produtividade do milho. Isso pode ter acontecido devido às precipitações ocorridas antes e após a adubação de cobertura contribuindo para a manutenção da umidade na palhada, facilitando a dissolução rápida da ureia. Este fato pode ter ocorrido no presente experimento.

Meira (2006), em trabalho realizado com milho, utilizando diferentes fontes de nitrogênio, também não observou diferença significativa para as variáveis

produtividade e massa de mil grãos. As fontes utilizadas foram: sulfonitrato de amônio, sulfato de amônio e ureia, aplicadas na semeadura e em cobertura, no estágio de oito folhas completamente desdobradas. De acordo com o autor, a ausência de resposta das fontes deve-se, possivelmente, ao fato de logo após a adubação, ter sido efetuado irrigação das parcelas, reduzindo drasticamente as perdas por volatilização, principalmente da ureia que tem como característica ser altamente volatilizada.

Contin (2007), em trabalho com cana-de-açúcar, também não verificou diferenças entre as fontes de nitrogênio utilizadas (sulfato de amônio, ureia comum e ureia recoberta com NBPT). Porém, com a aplicação dos fertilizantes, houve aumento do teor de nitrogênio nas folhas e resposta significativa na produção de colmos em relação à testemunha. Segundo o autor, a falta de resposta às diferentes fontes de nitrogênio utilizadas pode ser explicada pelo fato da cana-de-açúcar apresentar uma baixa recuperação do nitrogênio fertilizante.

De acordo com Cantarella & Montezano (2010), a despeito dos conhecidos riscos de volatilização de  $\text{NH}_3$ , vários estudos conduzidos em condições de campo não mostraram diferença de produtividade, ou de matéria seca, quando a ureia aplicada em superfície, foi comparada com outros fertilizantes nitrogenados não sujeitos a perdas de  $\text{NH}_3$  em solos ácidos ou com a ureia enterrada. Ainda segundo os autores, há muitas situações em que o risco de perdas de  $\text{NH}_3$  quando a ureia é aplicada na superfície dos solos são diminuídos, como quando: a) ocorre chuva logo após a adubação; b) a aplicação é feita em solo muito seco para ocorrer hidrólise; c) a alta umidade do solo favorece a difusão da ureia para o interior do solo; d) ventos e altas temperaturas provocam o secamento rápido do solo. Além disso, a maior parte do nitrogênio absorvido pelos vegetais provém do solo e não dos fertilizantes, conforme comentado por (CANTARELLA & MONTEZANO 2010).

Dobermann (2005), utilizando dados de 850 ensaios publicados na literatura internacional, mostrou que a eficiência de recuperação do nitrogênio de fertilizantes por cereais, no primeiro ano de cultivo, foi em torno de 51%. Segundo Cantarella & Montezano (2010), vários estudos conduzidos no Brasil utilizando adubos marcados com  $^{15}\text{N}$  indicaram valores semelhantes.

De acordo com Cantarella & Montezano (2010), o principal destino do nitrogênio fertilizante não absorvido pelas plantas é o solo, sendo que a maior parte desse nitrogênio permanece na camada superficial do solo, incorporada à fração orgânica. Segundo Ambrozano *et al.*, (2005), e, Dourado Neto *et al.*, (2010) o aproveitamento pelas plantas do nitrogênio proveniente de adubos verdes e de resíduos agrícolas deixados sobre o solo ou nele incorporados, geralmente é menor do que o daqueles provenientes de adubos minerais. Segundo esses autores, de 7% a 30% do nitrogênio presente em materiais vegetais é absorvido pelas culturas subseqüentes.

Para Cantarella & Montezano (2010), o nitrogênio que permanece no solo não pode ser computado como perda em um primeiro momento, pois o nitrogênio estocado no solo fará parte do grande reservatório deste nutriente, que é o principal responsável pelo fornecimento para as plantas. Mesmo em culturas adequadamente adubadas, a maior parte do nitrogênio absorvido é proveniente do solo (LARA CABEZAS *et al.*, 2005; CANTARELLA, 2007). Um estudo realizado em 13 ecossistemas tropicais, em nove países e com diversas culturas, empregando fertilizantes nitrogenados marcados com  $^{15}\text{N}$ , mostra que, em média o solo forneceu 79% do nitrogênio absorvido pelas plantas, e os adubos, apenas 21% (DOURADO NETO *et al.*, 2010). De acordo com o apresentado em Cantarella & Montezano (2010), é baixa a eficiência do nitrogênio recém-incorporado à matéria orgânica do solo, provenientes de adubos minerais e orgânicos não absorvidos pelas culturas, pois menos de 5% do nitrogênio residual presente no solo se acumula na cultura seguinte. Segundo os autores, isso indica que o nitrogênio residual de fertilizantes é reciclado a longo prazo, juntamente com o restante do nitrogênio orgânico do solo.

Carvalho & Ferreira (2009), trabalhando com a cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.), também não observaram diferença entre fontes convencionais e fontes de liberação controlada de nitrogênio em cobertura. As fontes utilizadas foram: 1- nitrato de amônio; 2- ureia comum; 3- mistura 50% sulfato de amônio + 50% ureia; 4- ureia + NBPT (Super N - Agrotain®); 5- ureia + polímero Kimberlit (kimcoat N); 6- Sulfonitrato de amônio + inibidor de nitrificação Dimetil Pirazol Fosfato (Entec 26)). Embora exista na literatura relatos de perdas significativas de ureia por volatilização quando aplicadas superficialmente em

sistemas com palhas na superfície do solo (LARA CABEZAZ *et al.*, 2000; VITTI *et al.*, 2005), nas condições do experimento de Carvalho & Ferreira (2009) a recuperação aparente de nitrogênio com a aplicação de ureia foi semelhante as outras fontes testadas, quando a distribuição de chuvas foi regular. Nessas condições os resultados indicam que a volatilização do N-NH<sub>3</sub> da ureia foi mínima, ou pode ter ocorrido reabsorção do N-NH<sub>3</sub> volatilizado pelas folhas do algodoeiro. Estudos realizados recentemente no Brasil com ureia enriquecida com <sup>15</sup>N nas culturas de café (FENILLI *et al.*, 2007) e de laranja (BOARETTO *et al.*, 2008) tem demonstrado que as plantas podem absolver quantidades apreciáveis de N-NH<sub>3</sub> volatilizado. Boaretto *et al.* (2008) estimaram que 82,3 % do nitrogênio aplicado na superfície do solo coberto com palha foi volatilizado, e deste total 50,6 % foi reabsorvido pela laranja.

Embora a ureia e o sulfato de amônio sejam fontes que apresentam baixa eficiência de utilização pelas culturas (BARBOSA FILHO & SILVA 2001), esses mostraram-se eficientes na obtenção de altos tetos produtivos, podendo ser justificados, principalmente pela precipitação pluviométrica regular ocorrida nas fases de desenvolvimento da cultura. Isso demonstra que, para produtividade de grãos, a ureia e o sulfato de amônio, em cobertura, podem ser tão eficientes quanto outras fontes nitrogenadas, desde que ocorra uma precipitação, ou se proceda à irrigação após a sua aplicação. Contudo, é importante destacar que adubações sucessivas, com fertilizantes amoniacais em cobertura, têm aumentado a acidez da camada superficial do solo, principalmente em áreas de muitos anos de adoção do sistema de semeadura direta.

Em trabalho realizado pelo CAT (Clube Amigos da Terra de Uberlândia), no município de Uberlândia, MG, Brasil, na safra 2008-09, não se observou efeito significativo entre as fontes (ureia e nitrato de amônio) estudadas para a característica de produção e também para a massa de mil grãos na cultura do milho (CAT, 2010).

A produtividade média obtida no tratamento em que não houve aplicação de nitrogênio (T1) foi de 5535,5 Kg ha<sup>-1</sup> de milho, o que demonstra haver disponibilidade de nitrogênio no solo, suficiente para obtenção de produtividade de grãos acima da média nacional.

As médias de produtividades de milho estimadas no trabalho, em todos os tratamentos, foram superiores as médias do estado de Minas Gerais, que é de 5113 Kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2009); inclusive na testemunha, em que não se aplicou nitrogênio em cobertura.

#### 4.2.2 Número de fileiras de grãos/ espiga e peso de 1000 grãos

O teste realizado para o número de fileiras de grãos/ espigas e peso de 1000 grãos encontra-se nas figuras 4 e 5, respectivamente.

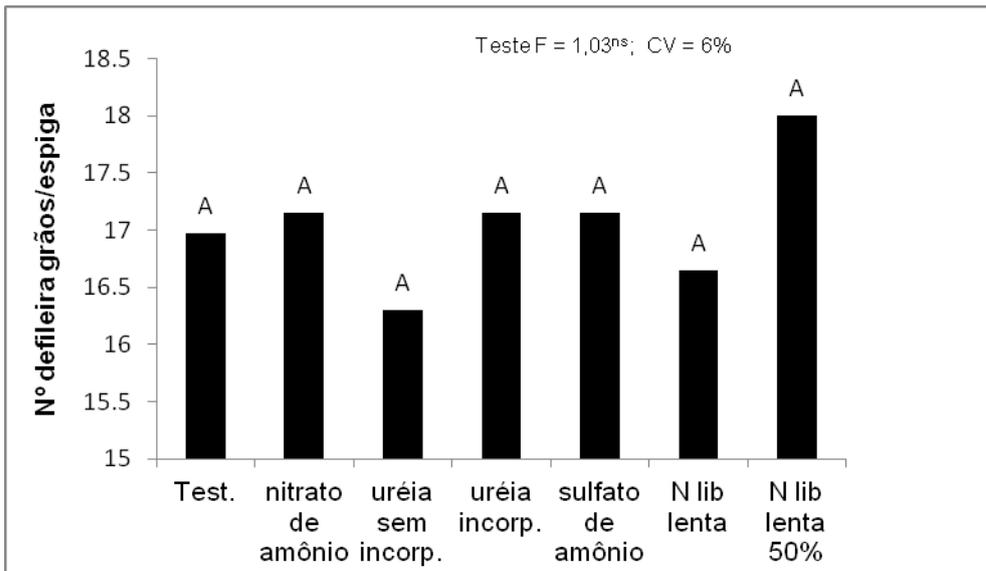
Verificou-se tanto para o número de fileiras de grãos por espiga (figura 4), quanto para o peso de 1000 grãos (figura 5) que não houve efeito significativo entre os tratamentos que receberam nitrogênio em cobertura e liberação controlada, em relação à testemunha. Os tratamentos que receberam nitrogênio em cobertura (ureia convencional, sulfato de amônio, nitrato de amônio) e os que receberam ureia revestida com polímeros (nitrogênio de liberação controlada); também não obtiveram diferenças. A incorporação ou aplicação em superfície da ureia também não influenciou no número de fileiras de grãos/ espiga e o peso de 1000 grãos.

Cavallet et al., (2000), avaliando os efeitos da ureia e do sulfato de amônio no milho de primeira safra, com aplicação em cobertura de 70 Kg ha<sup>-1</sup> de ambos os fertilizantes e sem aplicação de nitrogênio, verificaram que o número de fileiras de grãos por espiga não foi influenciado, apresentando valor médio de 14 fileiras, semelhante ao obtido no presente estudo. A produtividade também não foi afetada quando se comparou as fontes nitrogenadas utilizadas.

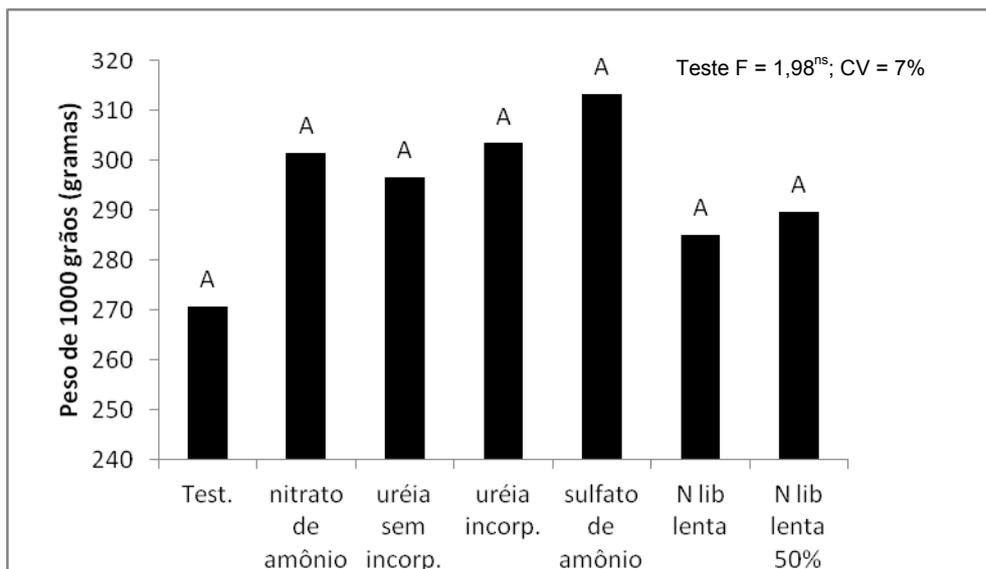
O peso de 1000 grãos não foi influenciado pela ausência ou presença de qualquer fonte nitrogenada aplicada em cobertura, indicando que o aumento de produtividade encontrado neste trabalho não se deu em função do aumento do peso dos grãos.

Silva (2009), trabalhando com a cultura do trigo, avaliando a massa de 1000 grãos, também não verificou diferenças quanto às fontes avaliadas e a época de aplicação do fertilizante diferiu apenas da testemunha. As fontes utilizadas foram a

ureia e o Entec (fertilizante de liberação controlada). Para Borrás & Otegui (2001), esse é o componente da produção menos afetado por variações nas práticas de manejo e adubação. Neste estudo, esse resultado pode ser justificado pela boa precipitação ocorrida no período de enchimento dos grãos, pois, conforme Fancelli (1986), a massa média do grão é, marcadamente, afetada a partir dos grãos leitosos (estádio 6), principalmente pela disponibilidade de água.



**Figura 4** – Médias para número de fileiras de grãos/ espigas em relação às fontes de nitrogênio. Letras iguais, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



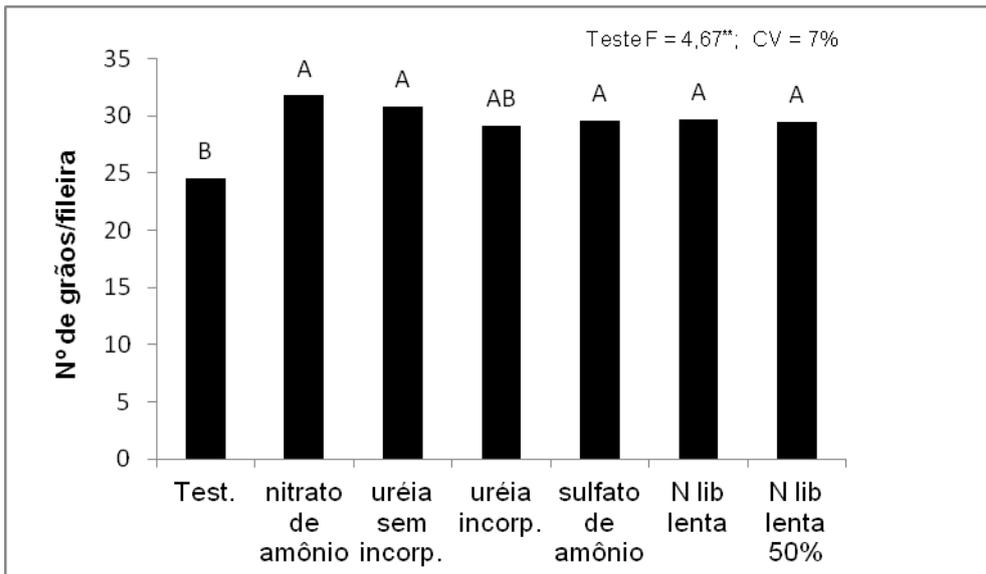
**Figura 5** – Médias para peso de 1000 grãos em relação às fontes de nitrogênio. Letras iguais, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

#### 4.2.3 Número de grãos/ fileira

Não houve diferença no número de grãos/ fileira quando se comparou as diferentes fontes de nitrogênio. De acordo com a figura 6, todas as fontes nitrogenadas produziram mais que a testemunha, com exceção da ureia incorporada, que produziu estatisticamente igual à testemunha.

Fancelli (1986) relata que o número médio de grãos por fileira é afetado pelo tamanho das espigas, o qual é definido, principalmente, no período em que as plantas apresentam doze folhas completamente expandidas (estádio 3).

Segundo Fancelli & Dourado Neto (2000), a definição do potencial produtivo do milho ocorre quando ele apresenta com quatro a seis folhas. Por isso, no presente experimento, esta situação é explicada ao encontrar diferença significativa entre o tratamento testemunha e os que apresentou menor número de grãos por fileira, em relação aos demais tratamentos. Em períodos muito chuvosos nesta fase (estádio de quatro a seis folhas), pode ocorrer dificuldades de realizar os tratos culturais, o que pode atrasar a adubação de cobertura e prejudicar o número de fileiras de grãos por espiga, o tamanho das espigas e a produtividade de grãos. Neste aspecto, o uso de fertilizante de liberação controlada todo no plantio, leva vantagem em relação a adubação de cobertura.



**Figura 6** – Médias para número de grãos/ fileira em relação às fontes de nitrogênio. Letras iguais, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

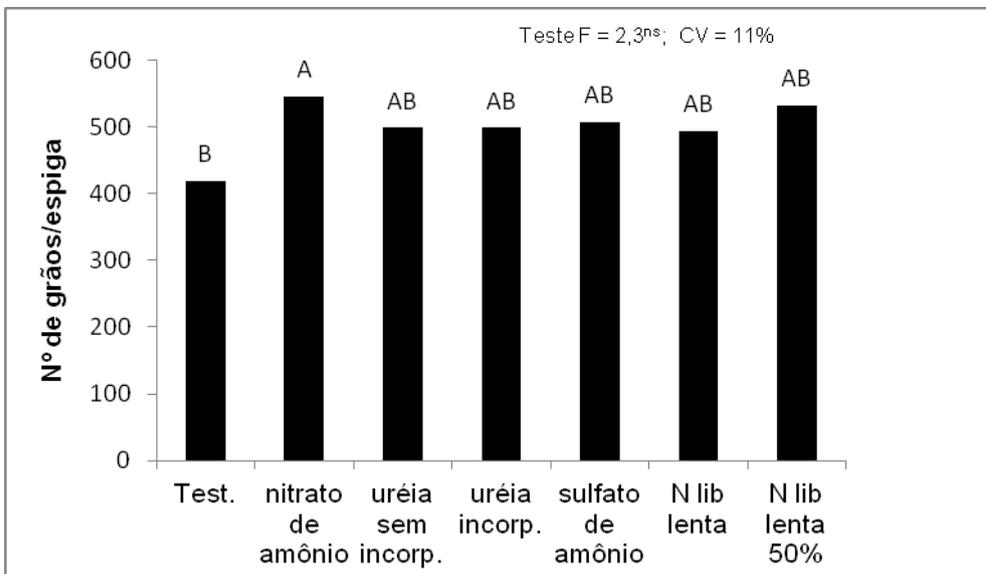
#### 4.2.4 Número de grãos/ espiga

Não houve diferença no número de grãos/ espiga quando se comparou as diferentes fontes de nitrogênio. O nitrato de amônio proporcionou maior número de grãos/ espiga do que o tratamento testemunha. As demais fontes de nitrogênio não diferiram do tratamento testemunha.

Segundo Ulger *et al.*, (1995) o número de grãos por espiga e a massa de grãos, são componentes que estão relacionados diretamente com a produtividade de grãos, o que provavelmente, estão relacionados ao maior teor de nitrogênio nas folhas, conduzindo a um maior enchimento de grãos.

Soratto *et al.*, (2010), estudando doses e fontes de nitrogênio no milho, concluiu que o número de grãos por espiga aumentou de forma linear em razão da aplicação de nitrogênio, independentemente da fonte utilizada. O autor estudou quatro fontes, sendo elas: ureia, sulfato de amônio, ureia extrusada com produtos amiláceos (Amiréia<sup>®</sup> 180S) e sulfonitrato de amônio com inibidor de nitrificação (Entec<sup>®</sup> 26). Para Ernani *et al.*, (2005), o suprimento insuficiente de nitrogênio durante o estágio de diferenciação floral pode reduzir o número de óvulos nos

primórdios da espiga e, com isso, diminuir a produtividade de grãos. Um importante papel do nitrogênio em assegurar alta produtividade de milho está no estabelecimento da capacidade do dreno reprodutivo. Apesar da capacidade do dreno reprodutivo ser função do número e do tamanho dos grãos, o número de grãos por espiga se correlaciona mais intensamente com a produtividade de grãos de milho que qualquer outro componente da produção (BELOW, 2002). Souza & Soratto (2006) também obtiveram incremento no número de grãos por espiga do milho safrinha cultivado após soja com aplicação de nitrogênio em cobertura, independentemente da fonte utilizada.



**Figura 7** – Médias para número de grãos/ espigas em relação às fontes de nitrogênio. Letras iguais, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

### 4.3 Análise econômica

Para cada tratamento, em função das fontes de fertilizantes, foi calculado o faturamento bruto, de acordo com a produção de milho obtida. Na tabela 4, os custos fixos referem-se às seguintes despesas em R\$ ha<sup>-1</sup>: herbicidas utilizados na dessecação da área, aluguel do maquinário para dessecação e plantio, fertilizante de plantio e preço do saquinho de milho; correspondendo respectivamente aos

seguintes valores: R\$ 55,00; 220,00; 650,00 e 400,00. O custo da colheita refere-se ao aluguel da colheitadeira, transporte e secagem dos grãos. De acordo com a tabela 3 e 4, o único parâmetro em que houve variação foi o custo do fertilizante, já que o custo fixo é o mesmo para todos os tratamentos, e o custo da colheita varia somente devido à produtividade de cada tratamento. Com os valores dos custos dos fertilizantes, de acordo suas respectivas produções, foi determinada a fonte de melhor retorno econômico.

**TABELA 3.** Preço médio de cada fonte nitrogenada com suas respectivas concentrações de N e quantidade de fertilizante aplicada em Kg ha<sup>-1</sup> referente ao mês de maio de 2012 para a região de Alfenas – MG. A cotação da saca de 60 kg de milho para esta mesma região e época era de R\$23,00.

Fontes de N <sup>(1)</sup>	Preço do fertilizante (R\$ kg <sup>-1</sup> )	Teor de N no fertilizante (%)	Quantidade fornecida (kg ha <sup>-1</sup> )
Nitrato de amônio	0,92	32	312,50
Ureia	1,42	44	227,27
Sulfato de amônio	0,80	20	500,00
Liberação controlada (100%)	6,12	30	333,33
Liberação controlada (50%)	6,12	30	166,66

<sup>(1)</sup> Aplicação de 100 Kg ha<sup>-1</sup> de N para todas as fontes, com exceção da liberação controlada (50%) que recebeu 50 Kg ha<sup>-1</sup> de N.

**TABELA 4.** Relação de custo em função da fonte de nitrogênio aplicada e retorno financeiro do investimento Fazenda Vitória, Alfenas, MG

Fontes de N (Tratamentos)	Produção (Kg ha <sup>-1</sup> )	Faturamento <sup>(1)</sup> (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Custo Fixo <sup>(2)</sup> (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Custo N <sup>(3)</sup> (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Custo <sup>(4)</sup> Colheita (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Custo <sup>(5)</sup> Total (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Retorno <sup>(6)</sup> (R\$ ha <sup>-1</sup> )
Testemunha	5535,50	2121,94	1325,00	-	424,39	1749,39	372,55
Nitrato de amônio	10019,50	3840,81	1325,00	287,18	768,16	2380,34	1460,47
Ureia em superfície	8809,60	3377,01	1325,00	322,72	675,40	2323,12	1053,89
Ureia incorporada	9475,00	3632,08	1325,00	322,72	726,42	2374,14	1257,94
Sulfato de amônio	9149,90	3507,46	1325,00	400,00	701,49	2426,49	1080,97
Lib cont (100%)	8446,60	3237,86	1325,00	2039,98	647,57	4012,55	- 774,69
Lib cont (50%)	8008,00	3069,73	1325,00	1019,96	613,95	2958,9	110,83

<sup>(1)</sup>Faturamento = Produção / 60 \* 23; onde: 60 corresponde a kg saca<sup>-1</sup> e 23 a preço da saca de milho em maio de 2012 para a região de Alfenas.

<sup>(2)</sup>Custo fixo = herbicidas utilizados na dessecação da área, aluguel do maquinário para dessecação e plantio, fertilizante de plantio e preço do saquinho de milho. <sup>(3)</sup>Custo N = Preço do kg de fertilizante \* quantidade fornecida em kg ha<sup>-1</sup> do respectivo fertilizante. <sup>(4)</sup>Custo colheita = aluguel da colheitadeira, transporte e secagem dos grãos <sup>(5)</sup>Custo total = Custo fixo + Custo N + Custo colheita. <sup>(6)</sup>Retorno = Faturamento<sup>(1)</sup> - Custo total<sup>(5)</sup>.

A avaliação da relação custo benefício foi feita a fim de obter a fonte nitrogenada mais rentável economicamente, ou seja, aquela que proporcionou maior lucro na cultura do milho na safra 2011/2012 na região de Alfenas – MG. Dentre elas, o nitrato de amônio, ureia comum e o sulfato de amônio se destacaram por apresentar valores próximos e que obtiveram maior retorno econômico, em relação à testemunha e a ureia protegida (liberação controlada). As fontes de liberação controlada apresentaram maior investimento, dado ao alto custo do fertilizante; e como não apresentou produção que justificasse esse custo, fez com que o retorno econômico na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> fosse menor, sendo inferior da testemunha. Contudo, quando se utilizou o fertilizante de liberação controlada com 100 kg ha<sup>-1</sup>, o produtor obteve um prejuízo de quase R\$800,00 ha<sup>-1</sup>. O tratamento testemunha proporcionou retorno econômico equivalente com a fonte de liberação controlada com 50% da dose (Tabela 4).

De acordo com os resultados da tabela 4, verificou-se que a produção (kg ha<sup>-1</sup>) e o retorno (receita) do tratamento 4 (ureia incorporada) foi ligeiramente maior que do tratamento 3 (ureia não incorporada). Assim, é importante enterrar ureia próxima ao sulco de plantio, caso não ocorra chuvas ou irrigação após sua aplicação; evitando assim, perda de nitrogênio por volatilização.

Souza *et al.*, (2012), estudando a lucratividade do milho em razão das fontes, doses e épocas de aplicação de nitrogênio encontrou diferenças no custo operacional total (COT) para as fontes utilizadas. Três fontes de nitrogênio foram utilizadas: entec® - sulfonitrato de amônio + inibidor de nitrificação, sulfato de amônio e ureia; aplicadas na semeadura ou em cobertura, no estágio de seis folhas. Independentemente da época de aplicação do fertilizante nitrogenado, o maior (R\$3577,60) e menor valor (R\$2229,25) observados para o COT correspondem ao uso do fertilizante entec® (200 kg ha<sup>-1</sup>) e ureia (50 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente. Isso se explica pelo fato de o preço do quilo de nitrogênio ser menor na ureia do que no entec® e sulfato de amônio. Teixeira Filho *et al.* (2010), estudando os mesmos tratamentos na cultura do trigo irrigado sob plantio direto na mesma região, também obtiveram o maior e menor custos com a adubação nitrogenada para as fontes entec® (200 kg ha<sup>-1</sup>) e ureia (50 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente. Na safra 2007/08, os maiores índices de lucratividade foram obtidos na aplicação de ureia (50 e 150 kg ha<sup>-1</sup>), sulfato de amônio (50 kg ha<sup>-1</sup>) e entec® (50 kg

ha<sup>-1</sup>) aplicados em cobertura, em que os maiores índices de lucratividade ficaram ao redor de 40%. Na safra 2008/09, com menores produtividades, o maior lucro operacional foi observado na aplicação de sulfato de amônio na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup>, o que corresponde a um índice de lucratividade de 20%, metade do observado na safra anterior. Os menores lucros obtidos na safra 2008/09 em relação a 2007/08 devem-se às menores produtividades observadas para os mesmos tratamentos nos respectivos anos. A ureia, com menores custos de produção em relação ao sulfato de amônio (menor preço do N) e resultados econômicos mais satisfatórios no ano agrícola 2007/08, apresentou menor lucratividade no ano agrícola 2008/09, devido às menores produtividades comparadas ao sulfato de amônio.

## 5 CONCLUSÕES

1. A ureia comum, o sulfato de amônio e nitrato de amônio apresentaram desempenho e retorno econômico semelhantes na cultura de milho em sistema plantio direto;
2. A incorporação da ureia não favoreceu a produtividade de grãos e os componentes de produção no cultivo de milho em sistema plantio direto;
3. O fertilizante de liberação controlada não é viável do ponto de vista econômico no cultivo de milho em sistema plantio direto.
4. Não houve diferença estatística entre as fontes de nitrogênio quanto à produtividade de grãos.
5. A testemunha produziu significativamente menos em relação aos tratamentos que receberam nitrogênio em cobertura e os que utilizaram fertilizante de liberação controlada toda na semeadura.

## REFERÊNCIAS

AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A. F.; BARTHAKUR, N. N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 55, p. 1761-1766, 1991.

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.

ALVES, V. M. C. et al. Sugestão de adubação para a cultura do milho. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H (Eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa, 1999. p. 314-316.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 241-248, 2002.

AMBROSANO, E. J. et al. Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 6, p. 534-542, 2005.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS E CORRETIVOS AGRÍCOLAS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo, 1994. 156p.

BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. Adubação de cobertura do feijoeiro irrigado com uréia fertilizante em plantio direto: um ótimo negócio. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 93, p. 1-5, 2001.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 905-915, 2000.

BASTOS, E. A. et al. Doses e formas de parcelamento de nitrogênio para a produção de milho sob plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 02, p. 275-280, 2008.

BAYER, C. Manejo da fertilidade do solo na cultura do milho. In: BRESOLIN, M. (Ed.) **Contribuição para a cultura do milho para o estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Fundação de Ciência e Tecnologia-CIENTEC, 1993. p.71-93.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 105-112, 1997.

BELOW, F. E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. **Informações Agronômicas**, n. 99, p. 7-12, 2002.

BERNARDI, A. C. C. et al. **Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22 p. (Documentos, 46).

BINOTTI, Flávio Ferreira da Silva *et al.* Manejo do solo e da adubação nitrogenada na cultura de feijão de inverno e irrigado. **Bragantia [online]**, v. 66, n. 1, p. 121-129, 2007.

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

BOARETTO, A. E. et al. Absorção por plantas de laranjeira de amônia volatilizada da uréia fertilizante. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28., 2008; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 12., 2008; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 10., 2008; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 7., 2008, Londrina. FertBio 2008: Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental. **Anais...** Londrina, Embrapa Soja: SBCS: IAPAR: UEL, 2008.

BORRÁS, L.; OTEGUI, M. E. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 6, p. 1816-1822, 2001.

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

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. In: FANCELLI, A. L. (Org.). **Milho: nutrição e adubação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários 'Luiz de Queiroz', 2008. p. 36-55.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: IPNI – Brasil, 2010. v. 2, p. 1-65.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafós, 1993. p. 166.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, A. C. B. Eficiência de épocas de aplicação de fontes convencionais e alternativas de fertilizantes nitrogenados na cultura do algodoeiro - Safra 2007/2008. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. Sustentabilidade da cotonicultura Brasileira e Expansão dos Mercados: **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. p. 1860-1868.

CAT. **Manejo de adubação nitrogenada, visando redução de perdas para cultura do milho**. Disponível em: <[http://catuberlandia.com.br/arq\\_projetos/milho7.pdf](http://catuberlandia.com.br/arq_projetos/milho7.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2012.

CAVALLET, L. E. et al. Produtividade do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum* spp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 129-132, 2000.

CERETTA, C. A. et al. Nitrogen fertilizer split-application for corn in no-tillage succession to black oats. **Sci. Agric.**, v. 59, p. 549-554, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Prospecção para a safra 2006/07 de milho**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=111>>. Acesso em: 01 maio 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Levantamentos de safra 2011/12**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_07\\_05\\_08\\_41\\_20\\_boletim\\_graos\\_-\\_10julho\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_07_05_08_41_20_boletim_graos_-_10julho_2012.pdf)>. Acesso em: 31 jul. 2012.

CONNELL, J.H. et al. Gaseous ammonia losses following nitrogen fertilization. **Calif. Agric.**, Berkeley, v. 33, p. 11-12, 1979.

CONTIN, T. L. M. **Ureia tratada com o inibidor de uréase NBPT na adubação de cana de açúcar colhida sem despalha a fogo**. 2007. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2007.

DOBERMANN, A. Nitrogen use efficiency – measurement and management. In: INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION WORKSHOP ON FERTILIZER BEST MANAGEMENT PRACTICES, 2007, Brussels. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005.

DOURADO NETO, D. et al. Multiseason recoveries of organic and inorganic nitrogen-15 in tropical cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, n. 1, p. 139-152, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PEEQUISAS AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivo do milho**. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_5\\_ed/milhoBT.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/milhoBT.htm)>. Acesso em: 24 maio 2011.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; STECKLING, C. Características químicas de solo e rendimento de matéria seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25 p. 939-946, 2001.

ERNANI, P. R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para macieira**. Lages: Grafel, 2003. 76p.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. [S.l.: s.n.], 2008. 230 p.

ERNANI, P. R. et al. A forma de aplicação da ureia e dos resíduos vegetais afeta a disponibilidade de nitrogênio. **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, mar/abr. 2005.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; CUTRIM, V. A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 07, p. 1029-1034, 2007.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETTO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

FANCELLI, A. L. Milho. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP (Eds.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: culturas**. Piracicaba: INPI-Brasil, 2010. v. 3, p. 43-93.

FANCELLI, A. L. **Plantas alimentícias: guia para aula, estudos e discussão**. Piracicaba: CALQ, 1986.

FANCELLI, A. L.; TSUMANUMA, G. M. Nitrogênio e enxofre nas culturas de milho e feijão. In: YAMADA, T.; STIPP, S.R.; VITTI, G. C. (Eds.). **Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 445-486.

FAVARIN, J. L.; FANCELLI, A. L. Influência do preparo do solo e da natureza do fertilizante nitrogenado na cultura do milho. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.) [online]**, v. 49, p. 73-86, 1992. Edição especial.

FENILLI, T. A. B. et al. Volatilization of ammonia derived from fertilizer and its re-absorption by coffee plants **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, p. 1741-1751, 2007.

FIGUEIREDO, C. C. de; et al. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 279-287, 2005.

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

HAUCK, R. D.; KOSHINO, M. Slow release and amended fertilizers. In: OLSON, R.A. (Eds). **Fertilizer technology and use**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1971. p. 455-495.

HILTON, B. R.; FIXEN, P. E.; WOODWARD, H. J. Effects of tillage, nitrogen placement, and wheel compactation on denitrification rates in the corn cycle of a corn-oats rotation. **Journal of Plant Nutrition**, Madison, v. 17, p. 1341-1357, 1994.

HUTCHISON, C. M. W.; WALWORTH, J. L. Evaluating the effects of gross nitrogen mineralization, immobilization, and nitrification on nitrogen fertilizer availability in soil experimentally contaminated with diesel. **Biodegradation**, v. 18, p. 133-144, 2007.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2009**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=mg&tema=avouratemporaria2009>>. Acesso em: 15 abr. 2012.

KAPPES, C. et al. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 03, p. 251-259, 2009.

KIRKEGAARD, J.A.; SO, H.B.; TROEDSON, R.J. Effect of compaction on the growth of pigeon pea on clays soils. III. Effect of soil type and water regime on plant response. **Soil and Tillage Research**, v. 26, p. 163-178, 1993.

LAGREID, M.; BOCKMAN, O. C.; KAARSTAD, O. **Agriculture, fertilizers and the environment**. Wallingford: CABI Publishing, 1999.

LAMMEL, L. Cost of the different options available to the farmers: Current situation and prospects. In: INTERNATIONALWORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, Frankfurt, 2005. **Proceedings...** Paris, International Fertilizer Industry Association, 2005. 9p.

LARA CABEZAS, W.A.R. et al. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1005-1013, 2004.

LARA CABEZAS, W. A. R. et al. Imobilização de nitrogênio da ureia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura de milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 215-226, 2005.

LARA CABEZAS, W. A. R. et al. 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. 363-476, 2000.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura do milho: I- Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio; II. Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 481- 496, 1997.

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.

LOPES, A. S. et al. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004. 115p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 631p.

MAR, G. D. do, et al. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, v. 62, n. 02, p. 267-274, 2003.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.

MCMAHON, M. A.; THOMAS, G. W. Anion leaching in two Kentucky under by conventional tillage and a Killed-sod mulch. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, n. 3, p. 437-442, 1976.

MEIRA, F. A. et al. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. **Semina: ciências agrárias**, v. 30, n. 02, p. 275-284, 2009.

MEIRA F. A. **Fontes e modos de aplicação do nitrogênio na cultura do milho**. 2006. 52 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2006.

MEISINGER, J. J.; CALDERÓN, F. J.; JENKINSON, D. S. Soil nitrogen budgets. In: SCHEPERS, J. S.; RAUN, W. R. (Eds.). **Nitrogen in agricultural systems**. Madison: American Society of Agronomy, 2008. p. 505-562. (Agronomy Monograph, 49).

MENGEL, D. **Manejo de nutrientes na cultura do milho de alta produtividade**. Piracicaba: Potafós, 1996. 16p. (Informações Agronômicas, 73).

METCAL & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse**. 4 ed. Nova Iorque: McGraw Hill, 2004. 1819p.

OUYANG, D.; MACKENZIE, A. F.; FAN, M. Phytotoxicity of banded urea amended with triple superphosphate and potassium chloride. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p. 734-739, 1998.

PÖTTKER, D., WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1015-1020, jul-ago. 2004.

QUEIROZ, A. M. et al. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 3, p. 257-266, 2011.

RAIJ, B. Van; et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RAIJ, B. Van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: POTAFOS, 1981.

RAIJ, B. Van. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 .ed. Campinas: IAC, 1997. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

RAIJ, B. Van. Nitrogênio. In: \_\_\_\_\_. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, SP: Ceres, 1991. Cáp. 9, p.163-179.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G; ALVAREZ V., V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

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

SÁ, J. C. M. **Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo, Aldeia Norte, 1996. 24p.

SÁ, J. C. M. Nitrogênio: transformações no solo, mobilização e imobilização. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMADE PLANTIO DIRETO; 1, 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995. p. 204-210.

SALET, R. L. et al. Por que a disponibilidade de nitrogênio é menor no sistema plantio direto? In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., 1997, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo, 1997. p. 217-219.

SANGOI, L. et al. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 687-692, 2003.

Santos, J.Q. 1996. Fertilização – **Fundamentos da Utilização dos Adubos e Correctivos**. Portugal. Publicações, Europa-América, Mem Martins, 1996.

SANTOS, M. M. et al. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (15n) na planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**, v.34, n. 4, p. 1185-1194, 2010.

SATYANARAYANA, E.; KUMAR, R. S.; RAO, G. K., Character association of grain yield with some yield components in maize (*Zea mays* L.). **Corn India**, v. 13, p. 1-3, 2009.

SAVANT, N. K.; JAMES, A. F.; MCCLELEAN, G. H.. Effect of amounts and sequence of additions of urea and water on hydrolysis of surface-applied granular urea in unsaturated soils. **Fertilizer Research**, v. 11, p. 231-234, 1987.

SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: INTERNATIONALWORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, Frankfurt, 2005. **Proceedings...** Paris, International Fertilizer Industry Association, 2005. 13p.

SILVA, A. J. da; JAMES, A. F.; MCCLELEAN, G. H. Perdas de amônia por volatilização proveniente da ureia aplicada a solos dos trópicos úmidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 141-144, 1995.

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

SILVA, R. H. da; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 855-860, 2002.

SILVA, S. A. **Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo em plantio direto no Cerrado**. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2009.

SORATTO, R. P. et al. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Rev. Ciênc. Agron. [online]**, v. 41, n. 4, p. 511-518, 2010.

SOUZA, C. M. **Efeito do uso contínuo de grade pesada sobre algumas características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, fase cerrado, e sobre o desenvolvimento das plantas e absorção de nutrientes pela cultura de soja**. 1988. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

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, 2004. p. 129-145.

SOUZA, E. de F. C. de; SORATTO, R. P. Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 05, n. 03, p. 387-397, 2006.

SOUZA, J. A. de; et al. Lucratividade do milho em razão das fontes, doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 3, jun. 2012.

SULÇE, S. et al. Study of immobilization and remobilization of nitrogen fertilizer in cultivated soils by hydrolytic fraction. **European Journal of Soil Science**, v. 47, n. 2, p. 249-255, 1996

TASCA, F. A. **Volatilização de amônia a partir da aplicação de duas fontes de nitrogênio, em laboratório**. 2009. 50 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC, Lages, 2009

TAVARES JÚNIOR, J. E.; DALTO, G. **Manejo eficiente da adubação nitrogenada**. Divulgação técnica, 22, n.165, jan/fev/mar. 2004. Disponível em: <<http://www.manah.com.br/informativos.asp?idl=10>>. Acesso em: 5 maio 2011.

TEIXEIRA FILHO M. C. M. et al. Análise econômica da adubação nitrogenada em trigo irrigado sob plantio direto no cerrado. **Revista Ceres**, v. 57, p. 446-443, 2010.

THOMAS, G. W. et al. Effect of a killed sod mulch on nitrate movement and corn yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, n. 5, p. 736-739, 1973.

TOUCHTON, J.T.; HARGROVE, W.L. Nitrogen sources and methods of application for no tillage corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 5, p. 823-926, 1982.

TRENKEL, M.E. Improving fertilizer use efficiency. **Cotrolled-release and stabilized fertilizers in agriculture**. Paris, Interntional Fertilizer Industry Association, 1997. 151p.

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

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

VITTI, A. C. et al. Produtividade de cana-de-açúcar relacionada a localização de adubos nitrogenados sobre palha. **STAB**, v. 23, p. 6-8, 2005.

WANG, F.L.; ALVA, A.K. Ammonium adsorption and desorption in sandy soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 64, p. 1669-1674, 2000.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. E.; VITTI, G. C.. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI - International Plant Nutrit. Institute, 2007. 722 p.