

Revisão Literária

Resumo

O manejo do nitrogênio (N) tem sido uma das práticas agrícolas mais estudadas no sentido de melhorar a sua eficiência de uso, pois 98% do N no solo encontram-se na forma orgânica, sendo que apenas 2% apresentam-se sob formas inorgânicas de amônio e/ou nitrato. O N na planta atua participando nas moléculas de compostos orgânicos, como os aminoácidos e proteínas, sendo ainda ativador de enzimas para realização de processos vitais da planta (metabolismo primário), como síntese de proteína, absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular. Por ter essas características o nitrogênio é o elemento que causa maiores efeitos nas características da planta relacionadas ao crescimento e desenvolvimento, as quais, direta ou indiretamente, afetam a produtividade da cultura. Do ponto de vista econômico e ambiental, a dose de N a ser aplicada é a decisão mais importante no manejo de fertilizantes, nessa recomendação deve se levar em consideração as condições edafoclimáticas, sistema de cultivo, época de semeadura, responsividade do material genético, rotação de culturas, época e modo de aplicação, fontes de N, aspectos econômicos e operacionais. Desta forma, o presente estudo tem como objetivo fazer uma revisão sobre a importância do nitrogênio aplicado em cobertura na cultura do milho, enfatizando as épocas de aplicação do fertilizante e as doses recomendadas e econômicas.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; nitrogênio; produtividade.

Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão

*Ricardo Shigueru Okumura*¹

*Daiane de Cinque Mariano*¹

*Paulo Vicente Contador Zaccheo*²

Aplicación de fertilizantes nitrogenados en maíz: una revisión

Resumen

La gestión del nitrógeno (N) ha sido una de las prácticas agrícolas más estudiadas con vistas a mejorar la eficiencia de su uso, ya que el 98% de N en el suelo están en forma orgánica, y sólo el 2% están en las formas inorgánicas de amonio y/o nitratos. El N en la planta actúa participando en las moléculas de compuestos orgánicos tales como aminoácidos y proteínas, y también en la activación de enzimas para la realización de los procesos vitales de la planta (metabolismo primario), como la síntesis de proteínas, la absorción de iones, la fotosíntesis, la respiración, la multiplicación y diferenciación celular. Por estas características el nitrógeno es el elemento que causa el mayor efecto en las características relacionadas con el crecimiento y desarrollo, que afectan directa o indirectamente el rendimiento de las plantas. Desde el punto de vista económico y ambiental, la dosis de N a aplicar es la decisión más importante en el manejo de fertilizantes, esta recomendación debe tener en cuenta el suelo y las condiciones climáticas, el sistema de cultivos, la siembra, la respuesta del material genético, la rotación de los cultivos, el momento y modo de aplicación, las fuentes de N, y los aspectos de economía y operacional. Así, este estudio tiene como objetivo hacer una revisión de la importancia del nitrógeno aplicado en cobertura en lo cultivo de maíz, con énfasis a las épocas de aplicación de los fertilizantes y las dosis recomendadas y económicas.

Palabras clave: *Zea mays* L., nitrógeno, productividad.

Recebido em: 13/04/2011

Aceito para publicação em: 05/08/2011

1- Doutorando do curso de pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Avenida Colombo, 5790, Bloco J45, CEP 87020-900, Maringá-PR. Bolsista Capes e CNPq, respectivamente. E-mail: ricardo_okumura@hotmail.com;

2- Docente do curso de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, rodovia Celso Garcia Cid, PR 445 KM 380, CEP 86051-990, Londrina-PR

Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia v.4, n.2, Mai/Ago (2011)

Print-ISSN 1983-6325 (On line) e-ISSN 1984-7548

Introdução

A cultura do milho, pertencente à família das Poaceae e ao gênero *Zea*, possui grande importância mundial devido os seus grãos serem utilizados para alimentação animal e/ou humana, espessantes e colantes, produção de óleos e, recentemente a Europa e os Estados Unidos tem incentivado sua utilização para a produção de etanol (SILVA et al., 2009), com isso encarecendo o uso desse cereal para fins alimentícios direto e indiretos.

O milho é afetado por uma série de fatores tais como a própria cultivar, o solo, a adubação, o clima, as práticas culturais, as pragas e as moléstias (FANCELLI e DOURADO NETO, 2004; FORNASIERI-FILHO, 2007). Isso torna importante e necessário o desenvolvimento de estudos na tentativa de solucionar os vários problemas que envolvem esses fatores, buscando obter altas produções, com elevada qualidade.

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 conexos, proteína, clorofila e muitas enzimas essenciais que estimulam o crescimento e o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA, 2006), por isso é o nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura do milho e, também o mais limitante para a mesma.

O manejo do nitrogênio tem sido uma das práticas agrícolas mais estudadas no sentido de melhorar a sua eficiência de uso. Essa necessidade existe porque a maior parte do nitrogênio do solo se encontra em combinações orgânicas, sendo essa forma indisponível para os vegetais (MALAVOLTA, 2006).

Este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão sobre a importância do nitrogênio aplicado em cobertura na cultura do milho, enfatizando as épocas de aplicação do fertilizante e as doses recomendadas e econômicas.

A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma monocotiledônea pertencente à família das Poaceae, gênero *Zea*, cientificamente denominado *Zea mays* L., teve origem nas Américas, possivelmente no México, América Central ou Sudoeste dos Estados Unidos. Logo depois do descobrimento, o milho foi levado para a Europa onde foi cultivado em jardins até que seu valor alimentício tornou-se conhecido. Desde então passou a ser plantado em escala comercial e difundiu-se pelo mundo desde a latitude de 58° norte (União Soviética) até 40° sul (Argentina) (FANCELLI e DOURADO NETO, 2004; FORNASIERI-FILHO, 2007).

O grão do milho tem composição média de 60% de carboidratos, 10% de proteína, 4% de lipídios, o restante de minerais e vitaminas (FORNASIERI-FILHO, 2007), sendo que a proteína é constituída por albuminas, globulinas, prolaminas e glutelinas (FANCELLI e DOURADO NETO, 2004; FORNASIERI-FILHO, 2007). Essa constituição propicia que esse cereal seja utilizado para alimentação animal na forma "*in natura*" como forragem conservada para o período de seca, na fabricação de farelos e também na alimentação humana, como amido, farinhas e óleo, além de participar como matéria prima de mais de 500 produtos (PONCIANO et al., 2003).

Com relação à produção mundial de grãos de milho no ano agrícola de 2009 foi produzido o montante de 817 milhões de toneladas (t), da qual os Estados Unidos foram responsáveis com 333 milhões de t, a China com 163 milhões de t e o Brasil com 51 milhões de t (FAO, 2010). Segundo a FAO (2010), enquanto os Estados Unidos cultivam uma área de 32 milhões de hectares (ha) em que obtiveram uma produtividade média de 10,3 t ha⁻¹ de grãos, a China obteve 5,4 t ha⁻¹ de grãos numa área de 30 milhões de ha, a Argentina 5,6 t ha⁻¹ de grãos em 2,3 milhões de ha e o Brasil com uma área de 13,8 milhões de ha alcançou uma produtividade média de grãos de apenas 3,7 t ha⁻¹. Essa baixa produtividade se deve ao fato que 43% da área cultivada com o grão no país é destinada à subsistência, ou seja, os agricultores utilizam

baixa tecnologia, sendo que apenas 11% dos agricultores fazem uso de alta tecnologia para produção (VON PINHO, 2001).

As altas produtividades no milho têm sido garantidas pela adaptação de cultivares às mais variadas situações de clima e solo, pelo melhoramento genético, pela melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos cultivados, além de adoção de práticas culturais, tais como a utilização de quantidades substanciais de fertilizantes nitrogenados. É necessário, no entanto, tomar cuidado, pois o suprimento inadequado de nitrogênio pode causar a limitação da produtividade do milho, além de ocasionar contaminação ambiental e elevar os custos.

Nitrogênio x planta

A exigência de N pelas plantas é consequência da sua função estrutural, pois ela faz parte da molécula de compostos orgânicos, como os aminoácidos e proteínas, sendo ainda ativador de muitas enzimas (MALAVOLTA, 2006). O vegetal também depende do N para realização de um ou mais processos vitais da planta, como síntese de proteína, absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA, 2006), proporcionando uma vegetação verde e abundante, aumento na folhagem e nos teores de proteínas das plantas alimentícias, rápido crescimento e auxílio aos microrganismos do solo para a decomposição da matéria orgânica (MALAVOLTA, 2006).

Por ter essas características, o N é o elemento que causa maiores efeitos no aumento de produção da cultura do milho, conforme comprovado por ARAÚJO et al. (2004), GOMES et al. (2007) e DUETE et al. (2008). Além do seu efeito sobre a produtividade, o N interfere em diversas outras características da planta relacionadas ao crescimento e desenvolvimento, as quais, direta ou indiretamente, afetam a produtividade da cultura. Encontram-se, na literatura, citações sobre a influência do N no aumento do peso de mil grãos (FERREIRA et al., 2001; AMARAL FILHO et al., 2005), do número de espigas por planta (FERNANDES et al., 2005), da altura de plantas e do peso de espigas (ARAÚJO et al., 2004), do comprimento

da espiga (BÜLL, 1993), do diâmetro do colmo (MAR et al., 2003), da produção de matéria seca (ARAÚJO et al., 2004; DUETE et al., 2008) e do crescimento radicular (BÜLL, 1993).

As exigências de N pelo milho variam consideravelmente com os diferentes estádios de desenvolvimento da planta, sendo mínimas nos estádios iniciais, aumentando com a elevação da taxa de crescimento e alcançando um pico durante o florescimento até o início de formação dos grãos. Sabendo disso, BOBATO (2006) e MALAVOLTA (2006) quantificaram os teores de N na folha índice, no período de pleno florescimento, fase recomendada para diagnosticar o estado nutricional da planta, obtendo os valores de 34 g kg⁻¹ de N e 28-35 g kg⁻¹ de N, respectivamente, como sendo adequado para a cultura.

Nitrogênio x solo

Aproximadamente 98% do N no solo encontram-se na forma orgânica, sendo que 2% apresentam-se sob formas inorgânicas de amônio (NH₄⁺) e/ou nitrato (NO₃⁻), prontamente disponíveis (MALAVOLTA, 2006), originados pela mineralização durante os cultivos por meio de hidrólise enzimática produzida pela atividade da microbiota do solo (CORDEIRO e HOEK, 2007) e/ou então por aplicação de fertilizantes nitrogenados.

Outra característica do N no solo é a influência que ele sofre do sistema de manejo adotado, verificando que na fase inicial de adoção do sistema plantio direto (SPD) há maior necessidade de utilização de fertilizantes nitrogenados, devido ao processo de imobilização pela biomassa microbiana do solo, ocasionados pelo aumento da atividade e pelos baixos teores de matéria orgânica (MO) (SÁ, 1996). No entanto, passados alguns anos ocorre o restabelecimento no equilíbrio das transformações que acontecem no solo, pois há deposição e acúmulo de resíduos culturais na superfície do solo (BEUTLER et al., 2001) e, a ausência de incorporação desses ao solo contribuem para diminuição das perdas de MO por erosão e mineralização microbiológica (AMADO et al., 2002; BAYER et al., 2004).

Como consequência do aumento do teor de MO há elevação do teor de carbono orgânico,

e com isso a atividade microbiana é estimulada, resultando em produtos que atuam na formação e estabilização dos agregados (LIMA et al., 2003), aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e de nutrientes no solo, especialmente o N (AITA et al., 2001), constituindo assim o principal reservatório deste nutriente para as culturas em SPD (AMADO et al., 2002). Dependendo do tempo de adoção e das condições locais, o caráter fonte de N da MO predomina em relação ao caráter dreno, podendo inclusive não haver resposta para aplicação de nitrogênio (BELOW, 2002).

Segundo COELHO et al. (2002) 70 a 90% das pesquisas conduzidas no Brasil sob diversas condições de solo, clima e sistemas de manejo demonstraram respostas positivas da cultura do milho à adubação com N.

Segundo FORNASIERI-FILHO (2007), um solo com teor de 27 g dm⁻³ de MO na camada de 0-20 cm, teoricamente é capaz de fornecer o equivalente a 54 kg ha⁻¹ de N, considerando uma taxa média de mineralização de 2% do N orgânico durante o ciclo da cultura, o que possibilita obter 2700 kg ha⁻¹ de grãos de milho. Esse mesmo autor confirma que, em solos com teores de MO não limitantes, e em condições favoráveis de chuva, os efeitos da adubação nitrogenada são pouco pronunciados.

Épocas de aplicação do nitrogênio

Nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, o sistema radicular das plantas de milho é pouco desenvolvido e, portanto pouco solo é explorado, com isso, sua exigência nutricional é menor, entretanto, pesquisas têm indicado que altas concentrações de N na zona radicular são benéficas para promover o rápido crescimento inicial da planta e o aumento na produtividade de grãos (YAMADA, 1996). Além disso, o fornecimento de N nos estádios iniciais favorece uma maior absorção de fósforo (MARSCHNER, 1995).

FORNASIERI FILHO (2007) sugere a divisão do ciclo da cultura do milho em fases vegetativa (V) e reprodutiva (R), com subdivisões da fase vegetativa designados numericamente como V₁, V₂, etc., até V_n, em que n representa o estádio de última folha antes do pendoamento. Utilizando como referência essa

divisão, FORNASIERI FILHO (2007) cita que é durante o estádio fenológico V₄, em que as plantas apresentam-se com quatro folhas totalmente desdobradas, que a planta tem seu potencial de produção definido pela diferenciação do meristema apical, justificando a importância de N disponível, podendo-se observar a definição dos órgãos reprodutivos e das folhas no colmo da planta. Nesta fase, a deficiência de N reduz o número de óvulos nos primórdios da espiga (FANCELLI e DOURADO NETO, 2004).

No estádio fenológico V₈, em que as plantas apresentam-se com oito folhas, é caracterizado por anteceder a ocorrência do aumento na taxa de crescimento das espigas, observando boa resposta à utilização de fertilizantes nitrogenados, já que nesse período ocorre acentuado desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente aumento da absorção (FANCELLI e DOURADO NETO, 2004; FORNASIERI-FILHO, 2007).

A taxa de absorção de N aumenta proporcionalmente ao aumento do crescimento até atingir seu pico máximo entre o início do florescimento e o início do enchimento de grãos (FORNASIERI-FILHO, 2007).

De uma maneira geral, a absorção de N pelo milho é mais intensa no período entre 40 e 60 dias após a germinação, mas a planta ainda absorve pequena quantidade na germinação e após o início do florescimento, caracterizando dessa forma três fases para absorção: uma fase no crescimento inicial lento (germinação), uma fase no crescimento rápido onde 70 a 80% de toda a matéria seca são acumulada e, uma última fase de absorção na qual o crescimento é novamente lento, acumulando cerca de 10% de massa seca total da planta (VASCONCELLOS et al., 1998).

CANTARELLA (1993) cita que, embora a absorção do N pelo milho seja mais intensa dos 40 aos 60 dias após a emergência, a planta ainda absorve cerca de 50% do N de que necessita após o início do florescimento. O autor afirma que é provável que haja vantagens em uma aplicação tardia de parte do N nos casos de aplicação de doses altas de fertilizantes, solos muito arenosos ou áreas irrigadas.

Observa-se assim que o parcelamento e a época de aplicação do adubo nitrogenado constituem-se em alternativas para aumentar a eficiência da adubação com N pela cultura do milho e mitigar as perdas. Isso é respaldado pelo maior aproveitamento do N, resultante da sincronização entre as aplicações e o período de alta demanda do nutriente (AMADO et al., 2002; SILVA et al., 2005).

SOUZA et al. (2001) avaliaram os efeitos da aplicação de N em dose única (150 kg ha⁻¹ de N) ou parcelada em diferentes épocas (estádio V₄ e V₈), na forma de sulfato de amônio, verificando que a produtividade de grãos não apresentou diferenças significativas para as épocas de aplicação, bem como o parcelamento do N.

Para SILVA (2005), em condições edafoclimáticas do cerrado, a aplicação de N no estádio V₄ proporcionou maior produtividade de grãos (6756 kg ha⁻¹) em relação aos tratamentos que receberam o N no estádio V₈ (6571 kg ha⁻¹).

MAR et al. (2003) estudaram diferentes doses de N, na forma de uréia, verificando que os melhores resultados foram alcançados com a aplicação de 1/3 do N na semeadura e 2/3 quando o milho encontrava-se em V₈ (6549 kg ha⁻¹ de grãos) e, a menor produtividade foi obtida quando houve aplicação de 1/3 na semeadura e 2/3 no estádio V₁₀ (3160 kg ha⁻¹ de grãos).

Outro manejo que tem sido recomendado na região Sul do Brasil é a aplicação do N em pré-semeadura do milho (SÁ, 1996), que tem por objetivo contornar o problema da imobilização do N aplicado na semeadura. A metodologia consiste em aplicar o N no manejo mecânico da cultura de inverno, acelerando a sua decomposição e, desta forma, evitando a competição entre a biomassa e a cultura pelo fertilizante nitrogenado colocado na semeadura (SÁ, 1996), promovendo acréscimos no teor de N no solo e na absorção pelas plantas após o manejo da cultura de cobertura, podendo também influenciar na taxa de decomposição dos resíduos vegetais. Assim, SÁ (1996) verificou ganhos em produtividade com a antecipação do N na semeadura do milho.

Esta forma de manejo oferece alto risco, em função das elevadas doses de N recomendadas para a cultura e, também pela ocorrência de elevada pluviosidade após a sua aplicação que pode ocasionar a lixiviação do N. Em estudos desenvolvidos por WOLSCHICK et al. (2003), verificou-se que a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura e 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura resultou em produtividade semelhante a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N, divididos entre semeadura e duas coberturas, sob condições de intensas chuvas.

BORTOLINI et al. (2001) verificaram menores produtividades no milho quando o N foi aplicado antecipado (150 ou 60 kg ha⁻¹ de N), em regime de disponibilidade hídrica excessiva. CANTARELLA et al. (2003) observaram que a aplicação do N em pré-semeadura reduziu a produtividade do milho em relação a aplicação em cobertura, quando houve distribuição regular de chuvas, porém, quando as chuvas foram escassas, produtividades semelhantes foram observadas para as duas épocas de aplicação.

Vale destacar que as variações nos resultados dos experimentos de adubação nitrogenada no milho decorrem da diversidade de condições edafoclimáticas que ocorrem no país (fatores bióticos e abióticos), das distintas condições em que cada estudo é desenvolvido. Outro fator importante que estaria afetando a eficiência da adubação nitrogenada nos ensaios seria as diferenças genéticas dos materiais.

BEAUCHAMP et al. (1976), avaliando diferentes híbridos, observaram que a concentração de N nas folhas variou em até 25% no florescimento feminino. Esses resultados mostram a habilidade de genótipos da cultura do milho em diferir nas características da absorção de N do solo, antes e depois do florescimento.

Doses de nitrogênio

Deve se ter cautela para recomendar a dose de N a ser utilizada, haja vista que se subestimada, ocorrerá a redução da produtividade e, quando superestimada, diminuem a rentabilidade do produtor pelo gasto desnecessário com fertilizantes, além de afetar o meio ambiente, em consequência das

perdas de N em decorrência do excesso disponível (ARGENTA et al. 2003).

Do ponto de vista econômico e ambiental, a dose de N a ser aplicada, é a decisão mais importante no manejo de fertilizantes. Nessa recomendação deve se levar em consideração às condições edafoclimáticas, sistema de cultivo (sistema plantio direto ou convencional), época de semeadura, responsividade do material genético, rotação de culturas, época e modo de aplicação, fontes de N, aspectos econômicos e operacionais (BOBATO, 2006). Esses fatores afetam a resposta do milho ao N de modo que as curvas de rendimento podem variar bastante entre diferentes locais, assim como em solos férteis com elevado teor de N orgânico no solo, conseqüentemente, adubações nitrogenadas podem não ter efeito ou mesmo diminuir a produção (BELOW, 2002).

RAIJ et al. (1981) conduziram 25 ensaios, no Estado de São Paulo, avaliando a adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho, concluindo que houve relação positiva em 16 deles e, que na dose de 120 kg ha⁻¹ de N alguns ensaios apresentaram produtividade de grãos acima de 7000 kg ha⁻¹, verificando também que o aumento médio de produtividade para o conjunto de experimentos, foi de aproximadamente 1500 kg ha⁻¹ de grãos para aplicações de até 120 kg ha⁻¹ de N.

De acordo com BÜLL (1993) e YAMADA (1996) o uso de 30-40 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 80-140 kg ha⁻¹ de N em cobertura no estádio V₄, pode proporcionar produtividades de 9000-12000 kg ha⁻¹ de grãos de milho, caso nenhum efeito negativo ocorra para a cultura.

Segundo MALHI et al. (2001) é necessário ter cautela na recomendação da dose, pois a recuperação do N dos fertilizantes, pelas plantas, é relativamente baixa, alcançando em muitos casos menos que 50%. COELHO et al. (1991) utilizando 60 kg ha⁻¹ de N obtiveram recuperação de 60% do N aplicado como uréia na cultura do milho. No entanto, quando as doses de N são maiores, a recuperação do N tende a diminuir relativamente, como observado por GROVE et al. (1980), que obtiveram 36% e 40% de recuperação do N, aplicado na cultura do milho, na forma de uréia,

nas doses de 120 e 140 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

A baixa eficiência de recuperação do N do fertilizante tem sido atribuída, principalmente por volatilização, desnitrificação (LARA CABEZAS et al., 1997) e lixiviação. As perdas do fertilizante N por desnitrificação têm sido estimadas em menos de 10% na cultura do milho (HILTON et al., 1994), por lixiviação foi de apenas 4% do aplicado (COELHO et al., 1991) e por volatilização constata-se perdas que variam de 31 a 78% do total de N aplicado (LARA CABEZAS et al., 1997).

Doses econômicas de nitrogênio

Os preços do milho acompanham os movimentos da oferta, estabelecendo flutuações de acordo com os períodos de safra e entressafra. Dentre os principais fatores que influenciam no processo de formação do preço do milho destacam-se: a oferta e demanda no mercado interno e dos países produtores e exportadores, política de financiamento de custeio e de gerenciamento de preços mínimos, custo de produção, fluxo de formação do comércio, políticas de importação e taxas de juros e de câmbio.

De maneira geral, o produtor brasileiro de milho tem sofrido perda de receita nos últimos anos, em função dos aumentos significativos no custo de produção, principalmente em função do milho não ter seu preço em dólar, como a soja, por exemplo, enquanto os insumos utilizados em seu cultivo acompanham a variação cambial (SILVA et al., 2007).

SILVA et al. (2007) observaram que a máxima produtividade econômica de grãos de milho, no primeiro ano de experimento com o N aplicado no estádio fenológico V₄ foi obtida com as doses de 92, 112 e 130 kg ha⁻¹ de N, no milho cultivado em sucessão à crotalária (8389 kg ha⁻¹ de grãos), pousio (7489 kg ha⁻¹ de grãos) e milheto (7343 kg ha⁻¹ de grãos), respectivamente. Para o estádio fenológico V₈, a produtividade foi alcançada com as doses de 102, 122 e 107 kg ha⁻¹ de N, no milho em sucessão à crotalária (8327 kg ha⁻¹ de grãos), pousio (7357 kg ha⁻¹ de grãos) e milheto (6423 kg ha⁻¹ de grãos), respectivamente.

No segundo ano agrícola, estes autores verificaram que para a aplicação do N no estágio fenológico V₄, a produtividade foi alcançada com as doses de 121, 135 e 137 kg ha⁻¹ de N, no milho cultivado em sucessão à crotalaria (8771 kg ha⁻¹ de grãos), pousio (7803 kg ha⁻¹ de grãos) e milheto (7836 kg ha⁻¹ de grãos), respectivamente. Para o estágio fenológico V₈, a produtividade foi alcançada com as doses de 126, 131 e 128 kg ha⁻¹ de N, no milho em sucessão à crotalaria (8989 kg ha⁻¹ de grãos), pousio (7552 kg ha⁻¹ de grãos) e milheto (6944 kg ha⁻¹ de grãos), respectivamente. Esses mesmos autores verificaram que em termos econômicos, cada kg de N na forma de uréia investido proporcionou, em média, retorno de R\$ 4,85; R\$ 5,80 e R\$ 5,48, respectivamente, para o milho em sucessão à crotalaria, pousio e milheto.

PAVINATO et al. (2008) com experimento de milho irrigado, constataram que o ponto de nivelamento (número de unidades que devem ser produzidas para cobrir o custo total de produção, levando-se em conta um valor de comercialização pré-determinado) variou entre 4.31 à 6.07 t ha⁻¹ para o ano agrícola de 2002/03 e entre 4.90 e 7.05 t ha⁻¹ para o ano agrícola de 2003/04. Além disso, observaram que os custos com adubação nitrogenada foram de até 29% do custo total de produção para os dois anos agrícolas. Esses mesmo autores citam que a receita bruta aumentou com a dose de N e atingiu o máximo com as doses de 243 e 248 kg ha⁻¹ com coeficiente de determinação de 0.92 e 0.81, em 2002/03 e 2003/04, respectivamente. Contudo a máxima eficiência econômica foi obtida com a aplicação de 156 e 158 kg ha⁻¹ nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04.

Considerações finais

A resposta da cultura do milho ao nitrogênio depende de fatores como o manejo adequado da dose de nitrogênio a ser aplicada, da fonte nitrogenada, época de aplicação do adubo, além da interferência exercida pelas condições edafoclimáticas e pelos microrganismos do solo.

É importante considerar os estágios fenológicos da cultura, a marcha de absorção de N pelo milho, as condições climáticas, o tipo de solo, o genótipo utilizado, objetivando reduzir as perdas e aumentando a eficiência de utilização do nitrogênio e, com isso elevando a produtividade e a qualidade dos grãos.

Referencias

- AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; DAROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.157-165, 2001.
- 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 plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002.
- AMARAL FILHO, J.P.R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p.467-473, 2005.
- ARAÚJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.8, p.771-777, 2004.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; FOSTHOFER, E.L.; STRIEDER, M.L.; SUHRE, E.; TEICHMANN, L.L. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.109-119, 2003.

- BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 677-683, 2004.
- BEAUCHAMP, E.G.; KANNENBERG, L.W.; HUNTER, R.B. Nitrogen accumulation and translocation in corn genotypes following silking. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, n.2, p.418-422, 1976.
- BELOW, F.E. **Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho**. Piracicaba: Potafós, p. 7-12, 2002. (Informações Agronômicas, 99).
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; PEREIRA FILHO, I.A.; CRUZ, J.C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.129-136, 2001.
- BOBATO, A. **Índice nutricional do nitrogênio: uma ferramenta para o diagnóstico do estado nutricional da cultura do milho**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006. 76f.
- BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; FORSTHOFER, E.L. Rendimento de grãos de milho cultivado após aveia-preta em resposta a adubação nitrogenada e regime hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p.1101-1106, 2001.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. (eds) **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POFAFOS, 1993. p. 63-145.
- CANTARELLA, H.; LERA, F.L.; BOLONHEZI, D.; LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Antecipação de N em milho em sistema de plantio direto usando 15N-uréia. In: **Anais do 29 Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo**, Ribeirão Preto: SBCS, 2003. 1 CD-ROM.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio (¹⁵N) em um Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de Cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.2, p.187-193, 1991.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; ALVES, V. M. C.; HERNANI, L.C. **Cultivo de milho, nutrição e adubação**. Sete Lagoas: Embrapa. 2002. (Comunicado Técnico 44).
- CORDEIRO, L.A.M.; HOEK, J.B.V.D. Nitrogênio na cultura do milho sob sistema plantio direto. **Revista Factuciência**, v.13, p.27-54, 2007.
- DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; TRIVELIN, P. C. O.; AMBROSANO, E. J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (¹⁵N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.161-171, 2008.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2ª ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360p.
- FAO - Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **Faostat**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 17 de março de 2011.
- FERNANDES, F.C.S.; BUZZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J.A.C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.2, p.195-204, 2005.
- FERREIRA, A.C.B.; ARAÚJO, G.A.A.; PEREIRA, P.R.G.P.; CARDOSO, A.A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, v.58, n.1, p.131-138, 2001.

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

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

GROVE, L.T.; RICHET, K.D.; MADERMAN, G.C. Nitrogen fertilization of maize on oxisol of the cerrado of Brazil. **Agronomy Journal**, v.27, p.261-265, 1980.

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

LARA CABEZAS, W.A.R.L.; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.3, p.481-487, 1997.

LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.199-205, 2003.

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

MALHI, S.S.; GRANT, C.A.; JOHNSTON, A.M.; GILL, K.S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil and Tillage Research**, v.60, n.3/4, p.101-122, 2001.

MAR, G.D.; MARCHETTI, M.E.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; NOVELINO, J.O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, v.62, n.2, p.267-274, 2003.

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

PAVINATO, P.S.; CERETTA, C.A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I.C.L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v.38, n.2, p.358-364, 2008.

PONCIANO, N.J.; SOUZA, P.M.; REZENDE, A.M. Entraves da comercialização à competitividade do milho brasileiro. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, n.104, p.23-40, 2003.

RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T. CANTARELLA, H.A análise de solo para discriminar respostas à adubação para a cultura do milho. **Bragantia**, v.40, n.6, p.57-75, 1981.

SÁ, J.C.M. **Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 23p.

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**. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na agricultura) - ESALQ/USP (Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo). Piracicaba, 2005. 111f.

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

SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; MONTEIRO, R.O.C.; BUZETTI, S. Análise econômica da adubação nitrogenada no milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura em Latossolo Vermelho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.29, n.4, p.445-452, 2007.

SILVA, G.J.; GUIMARÃES, C.T.; PARENTONI, S.N.; RABEL, M.; LANA, U.G.P.; PAIVA, E. **Produção de haplóides androgenéticos em milho**. EMBRAPA Milho e Sorgo, 2009. 17p. (Documentos 81).

SOUZA, A.C.; CARVALHO, J.G.; PINHO, R.G.V.; CARVALHO, M.L.M. Parcelamento e época de aplicação de nitrogênio e seus efeitos em características agronômicas do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.2, p.321-329, 2001.

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

VON PINHO, R.G.V. Produção de milho no Brasil e no mundo: realidade e perspectiva. **In: Anais do V Simpósio de Atualização em Genética e Melhoramento de Plantas: Genética e Melhoramento do Milho**, Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. p.3-13.

WOLSCHICK, D.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; JADOSKI, S.O. Adubação nitrogenada na cultura do milho no sistema plantio direto em ano com pluviosidade normal e com "el niño". **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.461-468, 2003.

YAMADA, T. **Adubação nitrogenada no milho: quanto, como e quando aplicar**. Piracicaba: POTATOS, 1996. p.15. (Informativo agrônomo n. 47).