

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO (^{15}N) PELO MILHO EM LATOSSOLO VERMELHO⁽¹⁾

Robson Rui Cotrim Duete⁽²⁾, Takashi Muraoka⁽³⁾, Edson Cabral da
Silva⁽⁴⁾, Paulo César Ocheuze Trivelin⁽³⁾ & Edmilson José
Ambrosano⁽⁵⁾

RESUMO

O N é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo milho, o que mais influencia a produtividade de grãos e o de manejo mais complexo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses e parcelamentos de N, na forma de uréia ^{15}N , sobre a produtividade de grãos, o aproveitamento do N do fertilizante e a quantidade de N nativo do solo absorvida pelo milho em um Latossolo Vermelho. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com nove tratamentos e quatro repetições, compreendido de cinco doses de N: 0, 55, 95, 135 e 175 kg ha⁻¹ de N, aplicando-se 15 kg na semeadura e o restante em diferentes estratégias de parcelamentos: 40 e 80 kg ha⁻¹ no estádio de oito folhas ou 1/2 no estádio de quatro folhas + 1/2 no estádio de oito folhas; 120 kg ha⁻¹ fracionados em 1/2 + 1/2 ou 1/3 + 1/3 + 1/3 no estádio de quatro, oito ou 12 folhas; e 160 kg ha⁻¹ parcelados em 1/4 + 3/8 + 3/8 ou 1/4 + 1/4 + 1/4 no estádio de quatro, oito, 12 folhas ou de florescimento e polinização. O aproveitamento do N do fertilizante pelo milho foi, em média, de 39 % e o solo foi a principal fonte do nutriente para a cultura. A aplicação de 135 kg ha⁻¹ de N parcelados em três vezes, até o estádio de oito folhas, proporcionou maior aproveitamento do N do fertilizante (52 %) e maior produtividade de grãos.

Termos de indexação: *Zea mays*, fertilizante ^{15}N , N nativo do solo, dose de N, parcelamento de N.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em março de 2007 e aprovado em setembro de 2007.

⁽²⁾ Pesquisador da Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrário SA – EBDA. Estação Experimental de Cruz das Almas. Rua Geraldo Suerdick s/n, CEP 44380-000 Cruz das Almas (BA). E-mail: rrcduete@oi.com.br

⁽³⁾ Professores Associados do CENA, Universidade de São Paulo – USP. Av. Centenário 303, CEP 13416-970 Piracicaba (SP). Bolsistas do CNPq. E-mails: muraoka@cena.usp.br

⁽⁴⁾ Pós-Doutorando do CENA/USP. Bolsista da FAPESP. E-mail: ecsilva@cena.usp.br; pcotrive@cena.usp.br

⁽⁵⁾ Pesquisador do Centro de Ação Regional, Estação Experimental de Agronomia de Piracicaba – APTA. Caixa Postal 28, CEP 13400-970 Piracicaba (SP). E-mail: edmilson@iac.br

SUMMARY: NITROGEN FERTILIZATION MANAGEMENT AND NITROGEN (¹⁵N) UTILIZATION BY CORN CROP IN RED LATOSOL

Nitrogen is the nutrient that is most absorbed by corn crop, influences grain yield most, and requires the most complex management. The objective of this work was to evaluate the effect of nitrogen (urea ¹⁵N) rate and split-applications, on grain yield, N fertilizer utilization and amount of soil native N absorbed by corn crop in a Red Latosol. The experiment was arranged in a randomized complete block design, with nine treatments and four replications, represented by five N rates: 0, 55, 95, 135 and 175 kg ha⁻¹ N, 15 kg of N applied at sowing, and the remaining amount in different split-applications: 40 and 80 kg ha⁻¹ applied in single rates in the 8-leaf stage or half in the 4-leaf stage + half in the 8-leaf stage; 120 kg ha⁻¹ split in 1/2 + 1/2 or 1/3 + 1/3 + 1/3 in the 4, 8 or 12-leaf stage; 160 kg ha⁻¹ split in 1/4 + 3/8 + 3/8 or 1/4 + 1/4 + 1/4 + 1/4 in the 4, 8, 12-leaf stages or at flowering and pollination. The N fertilizer use by corn was, on average, 39 %, and the soil was the main source of the nutrient for the crop. With three split applications of 135 kg ha⁻¹ N, until 8 leaves, the N fertilizer use is most efficient (52 %) and the grain yield highest.

Index terms: Zea mays, ¹⁵N fertilizer, N rate, soil native nitrogen, N split-application.

INTRODUÇÃO

O milho é o principal cereal produzido no Brasil, cultivado em cerca de 13 milhões de hectares, com produção de aproximadamente 42 milhões de toneladas de grãos e produtividade média de 3,5 t ha⁻¹. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, com participação média de 6 % na oferta mundial desse produto, superado pelos Estados Unidos (~43 %) e pela China (~20 %) (CONAB, 2006).

Os ganhos de produtividade de milho nos EUA nas últimas décadas, segundo Cantarella & Duarte (2004), foram proporcionais ao aumento no uso de fertilizantes nitrogenados minerais, associados à alta densidade de semeadura e ao melhoramento genético. No Brasil, dentre os principais fatores que contribuem para a baixa média de produtividade do milho, destaca-se a aplicação de quantidade insuficiente de N, nutriente absorvido em maior quantidade pelo milho, que mais influencia o rendimento de grãos e mais onera o custo de produção da cultura (Sangoi & Almeida, 1994; Araújo et al., 2004; Silva et al., 2005). Enquanto no Brasil a quantidade utilizada desse nutriente no cultivo do milho é, em média, de 60 kg ha⁻¹, nos Estados Unidos é de 150 kg ha⁻¹ e, na China, de 130 kg ha⁻¹ (International Fertilizer Industry Association, 2006).

As plantas de milho apresentam maior demanda por N a partir do estádio com quatro a cinco folhas expandidas (Mengel & Barber, 1974). O suprimento insuficiente nessa fase pode reduzir a diferenciação do número de óvulos nos primórdios da espiga e o número de espigas por planta e, com isso, afetar negativamente o rendimento de grãos (Mengel & Barber, 1974; Schreiber et al., 1998). A formação de grãos na cultura do milho está estreitamente relacionada com a translocação de açúcares e de N de órgãos vegetativos, principalmente de folhas, para os

grãos (Karlen et al., 1988; Büll, 1993; Varvel et al., 1997; Schreiber et al., 1998). Segundo Jenkinson et al. (1985) e Rao et al. (1992), o aumento de produtividade proporcionado pelo N pode ser atribuído, também, aos efeitos sobre o crescimento do sistema radicular do milho.

Dos nutrientes das plantas, o N é o de manejo e recomendação mais complexos, em virtude da multiplicidade de reações químicas e biológicas a que está sujeito – com grande dependência das condições edafoclimáticas (Cantarella & Duarte, 2004). Nos últimos anos, a crescente preocupação com a poluição do meio ambiente, proveniente do manejo inadequado de fertilizantes nitrogenados, especialmente dos recursos hídricos por nitrato e da atmosfera por óxido nitroso, tem estimulado a busca de sistemas de manejo que aumentem a eficiência da adubação com maior aproveitamento do N pelo milho. Com isso, proporciona maior produtividade e lucratividade ao produtor, considerando o benefício/custo e a sustentabilidade do agroecossistema (Amado et al., 2002).

O N aplicado ao solo na forma de fertilizantes minerais segue diferentes caminhos: uma parte é absorvida pelas plantas; outra, perdida do sistema solo-planta por processos de lixiviação, volatilização, erosão e desnitrificação (Lara Cabezas et al., 2000); o restante permanece no solo, predominantemente na forma orgânica (Coelho et al., 1991; Scivittaro et al., 2003; Silva et al., 2006b). A forma de manejo do N exerce grande influência no aproveitamento deste nutriente pelo milho (Mengel & Barber, 1974; Varvel et al., 1997; Silva et al., 2005). Alguns estudos mostram respostas diferenciadas quanto à dose, ao número de parcelamentos e sua época de aplicação (Villas Bôas et al., 1999; Silva et al., 2006a), devido a uma série de variáveis que condicionam as transformações do N

no solo, as quais são mediadas por microrganismos e dependentes das condições edafoclimáticas, sobretudo do tipo de solo, da precipitação pluvial e da temperatura (Cantarella & Duarte, 2004). Estudos com o milho em Latossolo Vermelho, utilizando métodos isotópicos com ¹⁵N, encontraram diferentes eficiências de recuperação do N do fertilizante, em média de: 50 % (Grove et al., 1980); 57 % (Coelho et al., 1991); 43 % (Villas Bôas et al., 1999); 30 % (Lara Cabezas et al., 2000); 49 e 26 a 34 % (Figueiredo et al., 2005); e 40 a 50 % (Silva et al., 2006a).

Geralmente, o aproveitamento pelo milho do N de fertilizantes minerais decresce com o aumento da dose aplicada, em vista de o suprimento exceder as necessidades da cultura e possíveis perdas de N, principalmente por lixiviação, volatilização e desnitrificação (Lara Cabezas et al., 2000; Cantarella & Duarte, 2004; Silva et al., 2006a). O parcelamento e a época de aplicação do adubo nitrogenado constituem-se em alternativas para aumentar a eficiência dos adubos e da adubação nitrogenada 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 (Villas Bôas et al., 1999; Amado et al., 2002; Silva et al., 2005). Melgar et al. (1991) observaram que o aproveitamento do N foi menor nos tratamentos que o receberam totalmente na semeadura (30 %); a aplicação do N aos 25 ou 55 dias após a semeadura (DAS) aumentou o seu aproveitamento, sendo o valor máximo de 70 % com 40 kg ha⁻¹ de N aplicados aos 25 DAS.

O uso de uma fonte marcada com ¹⁵N constitui-se no método que permite quantificar com maior precisão, comparado ao método da diferença, a utilização deste nutriente. Além disso, possibilita distinguir a fonte originária, seja solo ou fertilizante (Lara Cabezas et al., 2000; Silva et al., 2006b), podendo contribuir para a tomada de decisão quanto ao manejo da adubação nitrogenada. Nesse contexto, estabeleceu-se a hipótese de que o incremento na dose e nos parcelamentos da uréia aumenta o aproveitamento do N desta fonte e do N nativo do solo pelo milho, com reflexo positivo na produtividade de grãos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses e parcelamentos de N, na forma de uréia marcada com ¹⁵N, sobre a produtividade de grãos, o aproveitamento do N do fertilizante e a quantidade de N nativo do solo absorvida pelo milho em um Latossolo Vermelho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado, em condições de campo, na Estação Experimental do Pólo Regional do Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Noroeste Paulista, da Agência Paulista de Tecnologia (APTA), município de Votuporanga (SP), no ano

agrícola 1998/1999. As coordenadas geográficas locais são 50 ° 04 ' W e 20 ° 28 ' S, com 490 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando temperatura média anual de 22,2 °C e precipitação média anual de 1.239 mm.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) A moderado textura média fase cerrado relevo suave ondulado (Embrapa, 1999). Antes da instalação do experimento foi realizada amostragem do solo, nas camadas de 0–20 e 20–40 cm, para caracterização química, sendo encontrados, respectivamente: pH (CaCl₂), 5,9 e 4,6; N total, 0,38 e 0,39 g kg⁻¹; MO, 10 e 9 g dm⁻³; P (resina), 23 e 13 mg dm⁻³; Ca, 21 e 13 mmol_c dm⁻³; Mg, 8 e 6 mmol_c dm⁻³; K, 2,0 e 1,5 mmol_c dm⁻³; H + Al, 15 e 28 mmol_c dm⁻³; SB, 31,0 e 20,5 mmol_c dm⁻³; CTC, 46,0 e 48,5 mmol_c dm⁻³; V, 67 e 42 %; B (água quente), 0,13 e 0,26 mg dm⁻³; Cu (DTPA), 0,40 e 0,80 mg dm⁻³; Fe (DTPA), 8,50 e 17,00 mg dm⁻³; Mn (DTPA), 8,80 e 18,80 mg dm⁻³; e Zn (DTPA), 0,70 e 0,60 mg dm⁻³.

O preparo do solo foi efetuado por meio da passagem de uma grade pesada, uma subsolagem e duas gradagens leves, para nivelar o terreno e eliminar plantas daninhas. Para correção da acidez do solo, um mês antes da instalação do experimento aplicouse o equivalente a 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT = 100 %), definida com base na análise do solo, seguindo a recomendação descrita em Raij et al. (1996).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com nove tratamentos e quatro repetições (Quadro 1). Os tratamentos compreenderam cinco doses de N, na forma de uréia, equivalentes a 0, 55, 95, 135 e 175 kg ha⁻¹ de N, com enriquecimento, respectivamente, de 5, 4, 3 e 2 % em átomos de ¹⁵N em excesso, e dois parcelamentos para cada dose. Na semeadura, exceto para o tratamento testemunha, foram aplicados 15 kg ha⁻¹ de N e o restante da dose em cobertura. Os parcelamentos compreenderam a aplicação de 40 e 80 kg ha⁻¹ no estádio de oito folhas expandidas (V2) ou ½ no estádio de quatro folhas expandidas (V1) + ½ no estádio de oito folhas expandidas (V2); 120 kg ha⁻¹ fracionados em ½ + ½ ou 1/3 + 1/3 + 1/3 no estádio de 4 (V1), 8 (V2) ou 12 folhas expandidas (V3); e 160 kg ha⁻¹ parcelados em ¼ + 3/8 + 3/8 ou ¼ + ¼ + ¼ + ¼ no estádio de 4 (V1), 8 (V2), 12 folhas expandidas (V3) ou no estádio de florescimento e polinização.

A parcela experimental constou de uma área de 31,5 m² (4,5 x 7,0 m), com cinco linhas de milho espaçadas de 0,90 m. Como área útil, foram consideradas as três linhas centrais, desprezando-se 1,0 m em cada extremidade, perfazendo uma área de 13,5 m². Os tratamentos que receberam uréia ¹⁵N tiveram microparcelas próprias, dentro das respectivas parcelas, de 1,0 x 0,90 m. No restante da parcela foi aplicada a uréia comercial, com 45 % de N.

Quadro 1. Descrição dos tratamentos utilizados

| Tratamento | Dose N | Parcelamento | | | | |
|----------------|---------------------|--------------------|------------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| | | Estádio fenológico | | | | |
| Nº | | Semeadura | Quatro folhas ⁽¹⁾ | Oito folhas | Doze folhas | Florescimento e polinização |
| | kg ha ⁻¹ | | | | | |
| T ₁ | 0 | | | | | |
| T ₂ | 55 | 15 | | 40 | | |
| T ₃ | 55 | 15 | 20 | 20 | | |
| T ₄ | 95 | 15 | | 80 | | |
| T ₅ | 95 | 15 | 40 | 40 | | |
| T ₆ | 135 | 15 | 60 | 60 | | |
| T ₇ | 135 | 15 | 40 | 40 | 40 | |
| T ₈ | 175 | 15 | 40 | 60 | 60 | |
| T ₉ | 175 | 15 | 40 | 40 | 40 | 40 |

⁽¹⁾ Folha totalmente expandida ou desdobrada – linha de união lâmina-bainha (“colar”) facilmente visível.

A semeadura do milho foi realizada manualmente em 5/11/1998, utilizando-se o híbrido triplo Braskalb “XL 360”, de ciclo precoce, distribuindo-se 10 sementes por m de sulco, com posterior desbaste, deixando-se uma planta a cada 20 cm, visando um estande de 55.556 plantas por hectare. A adubação de semeadura foi de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 50 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente, na forma de superfostato simples e cloreto de potássio, aplicada em um sulco abaixo e ao lado das sementes. Em 7/11/1998, foi aplicado o herbicida atrazine + metolachlor (Primestra 500SC) na dose de 2.500 g ha⁻¹ de i.a. O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi realizado com capina de tração animal.

As adubações nitrogenadas de cobertura (Quadro 1) foram distribuídas manualmente em filete a 15 cm das plantas. Por ocasião da segunda adubação nitrogenada de cobertura (40 DAS), aplicaram-se também 50 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio, conforme recomendação de Raj et al. (1996).

Na fase de maturação fisiológica, procedeu-se às avaliações de medição da altura da planta e da inserção da espiga principal (superior), com auxílio de uma régua. A colheita de grãos foi realizada em 25/3/1999 (140 DAS), coletando-se as três fileiras centrais, eliminando-se 1 m nas extremidades. As espigas foram trilhadas mecanicamente e a produção transformada em kg ha⁻¹ de grãos, padronizado a 13 % de umidade, sendo retiradas quatro amostras por parcela, para determinação da massa de mil grãos.

Para determinação da produtividade de matéria seca de parte aérea do milho, denominada de palha

(colmos, folhas, bainha, pendões, sabugo, cabelos e palhas da espiga), e análise do enriquecimento isotópico em % de átomos de ¹⁵N e N total nos grãos e na parte aérea do milho, foram coletadas as três plantas no centro da linha de cada microparcela. As espigas foram debulhadas manualmente, e o restante da parte aérea foi fragmentado e misturado. Em seguida, o material foi seco em estufa a 65 °C e pesado, sendo retiradas amostras para as análises isotópicas. As análises foram realizadas em espectrômetro de massa (IRMS), interfaceado com um analisador elementar de N, no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, conforme método descrito em Barrie & Prosser (1996). A determinação do aproveitamento do N do fertilizante baseou-se no princípio da diluição isotópica, utilizando-se a seguinte seqüência de cálculos:

a) Nitrogênio acumulado (NA)

$$NA = \frac{N \times MS}{1.000} \quad (1)$$

NA = N acumulado (kg ha⁻¹); N = concentração de N (g kg⁻¹); MS = matéria seca do milho (kg ha⁻¹).

b) Percentagem de N no milho proveniente do fertilizante (% NMPF)

$$\% \text{ NMPF} = \frac{\% \text{ Átomos de } ^{15}\text{N em excesso na planta}}{\% \text{ Átomos de } ^{15}\text{N em excesso no fertilizante}} \times 100 \quad (2)$$

c) Quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNPPF, kg ha⁻¹)

$$QNPPF = \frac{\% \text{ NPPF} \times NA}{100} \quad (3)$$

d) Aproveitamento (AP) do N do fertilizante (%)

$$AP = \frac{QNPPF}{QNA} \times 100 \quad (4)$$

QNA = quantidade de N (dose) aplicada como fertilizante (kg ha⁻¹)

e) QNPNS = quantidade de N na planta de milho (palha + grãos) nativo do solo (kg ha⁻¹)

$$QNPNS = NA - QNPPF \quad (5)$$

Os dados foram submetidos à análise de variância, comparação de médias pelo teste de Tukey a 5 % e análise de regressão. Os efeitos dos parcelamentos foram testados em contrastes ortogonais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância evidenciou efeito significativo das doses e estratégias de parcelamentos do N sobre a altura da planta, altura da inserção da espiga, massa de mil grãos, produtividade de palha e produtividade de grãos. O mesmo comportamento, exceto para massa de mil grãos, foi também observado na comparação das médias dos tratamentos (Quadro 2). A aplicação de 135 kg ha⁻¹ de N, parcelados em três vezes, proporcionou maior produtividade de grãos, apesar de esta não ter diferido significativamente do tratamento em que se aplicaram 175 kg ha⁻¹ de N parcelados em cinco vezes. No entanto, considerando-se que cada kg de N, na forma de uréia, equivale, no mercado brasileiro, ao custo de cerca de 8 kg de

grãos de milho (Agrianual, 2005; Silva et al., 2005), a diferença de 40 kg ha⁻¹ de N em favor da dose de 175 kg ha⁻¹ de N corresponderia a aproximadamente 320 kg ha⁻¹ de grãos. Também, um parcelamento a mais da dose de N contribui para onerar o custo de produção, devido ao gasto com a aplicação. A diferença entre a produtividade de grãos proporcionada pela aplicação de 135 kg ha⁻¹ de N, parcelados em três vezes, e a do tratamento testemunha foi de 47 %. Sangoi & Almeida (1994) também obtiveram aumento de 67 % na produtividade ao elevarem a dose de N de 0 para 100 kg ha⁻¹, ao passo que com a dose de 150 kg ha⁻¹ de N o aumento foi de apenas 5 %, tornando essa última dose inviável economicamente.

A maior produtividade de grãos com a aplicação de 135 kg ha⁻¹ de N parcelados em três vezes (Quadro 2), possivelmente, ocorreu em virtude de todo o N ter sido aplicado até 40 dias após semeadura (DAS). Segundo Schreiber et al. (1998), as plantas de milho apresentam maior demanda por N a partir do estágio de quatro a cinco folhas expandidas, e o suprimento insuficiente nesta fase pode reduzir a diferenciação do número de óvulos nos primórdios da espiga. Resultados parecidos foram verificados por Silva et al. (2006a), em que a produtividade com aplicação do N no milho com oito folhas foi inferior à da aplicação com quatro. Varvel et al. (1997) também verificaram que a aplicação tardia de N não proporcionou a mesma produtividade de grãos do que a aplicação nos estádios iniciais da cultura do milho. Verifica-se ainda (Quadro 2) que as doses de 55 e 95 kg ha⁻¹ de N, independentemente do número de parcelamentos, não diferiram entre si quanto à produtividade de grãos, sendo, entretanto, superiores à da testemunha.

Quadro 2. Altura da planta, altura da inserção da espiga, massa de mil grãos e produtividade de palha e de grãos em função de doses e parcelamentos da adubação nitrogenada

| Dose de N | Dias após semeadura | | | | | Altura | | Massa de mil grãos | Produtividade | |
|-----------|---------------------|----|----|----|----|-----------------------|---------|--------------------|--------------------|---------|
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | Planta | Espiga | | Palha | Grãos |
| | kg ha ⁻¹ | | | | | m | | g | t ha ⁻¹ | |
| 0 | | | | | | 2,08 b ⁽¹⁾ | 1,06 b | 278,4 a | 5,40 b | 5,53 d |
| 55 | 15 | | 40 | | | 2,16 ab | 1,18 ab | 303,2 a | 5,93 b | 7,21 bc |
| 55 | 15 | 20 | 20 | | | 2,14 ab | 1,15 ab | 318,3 a | 5,23 bc | 7,17 bc |
| 95 | 15 | | 80 | | | 2,14 ab | 1,16 ab | 285,6 a | 4,62 c | 6,82 c |
| 95 | 15 | 40 | 40 | | | 2,17 a | 1,18 ab | 301,1 a | 5,26 bc | 7,04 c |
| 135 | 15 | 60 | 60 | | | 2,24 a | 1,24 a | 301,0 a | 7,87 a | 8,15 a |
| 135 | 15 | 40 | 40 | 40 | | 2,22 a | 1,22 a | 272,2 a | 5,79 b | 6,92 c |
| 175 | 15 | 40 | 60 | 60 | | 2,20 a | 1,16 ab | 314,1 a | 5,99 b | 7,55 b |
| 175 | 15 | 40 | 40 | 40 | 40 | 2,24 a | 1,21 a | 315,9 a | 7,40 a | 7,99 a |

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si a 5 % pelo teste de Tukey.

Considerando-se a produtividade de grãos e de palha (Quadro 2), os índices de colheita (IC) foram de 0,51; 0,56; 0,58; 0,57; e 0,54, respectivamente, para as doses de 0, 55, 95, 135 e 175 kg ha⁻¹ de N. As doses menores, 55 e 95 kg ha⁻¹ de N, proporcionaram IC praticamente semelhante ao da maior dose. No entanto, independentemente da dose e do fracionamento desta, a relação grãos/palha foi acima de 1:1, porém houve decréscimo desse quociente com o aumento do número de parcelamentos. Esse comportamento pode ser explicado com base em relatos de Tollenaar et al. (1997), segundo os quais existe variação mais positiva na massa de palha dos híbridos que continuam a absorver N após aparecimento do estilo-estigma da espiga.

O incremento na produtividade proporcionado pela aplicação do N (Quadro 2) se deu em virtude de este nutriente ter favorecido o crescimento da planta (Figura 1a) e, provavelmente, devido ao incremento da área foliar, condicionando a maior síntese de fotoassimilados – isso pelo fato de este nutriente ser constituinte da molécula de clorofila, atuando nos processos de divisão e expansão celular (Büll, 1993; Varvel et al., 1997). Essa premissa é confirmada pela menor altura da planta do tratamento testemunha e pelo aumento linear desta em função do incremento na dose de N (Figura 1a). Assim, a adubação nitrogenada possivelmente favoreceu a translocação de N e fotoassimilados dos órgãos vegetativos, sobretudo das folhas, para os grãos, a exemplo do verificado por Karlen et al. (1988) e Uhart & Andrade (1995). Segundo Jenkinson et al. (1985) e Rao et al. (1992), o N também favorece o crescimento do sistema radicular, propiciando à planta condições para maior absorção de água e nutrientes. Observa-se também que houve interdependência entre altura da planta e altura da inserção da espiga. Comportamento semelhante em função de doses e parcelamentos do N foi também verificado por Silva et al. (2005).

As produtividades de palha e de grãos se ajustaram melhor a um modelo linear (Figura 1b), o que, provavelmente, se deveu ao fato de o genótipo utilizado absorver e acumular mais N para alta produção, indicando insuficiência das doses aplicadas, pois mesmo a maior dose não permitiu mudança de declividade da curva de produção. Em razão do modelo linear ter sido o que melhor se ajustou, a máxima produtividade de palha e de grãos não foi obtida com a maior dose de N (175 kg ha⁻¹); nesse caso, pode ter ocorrido a “absorção de luxo”, conforme relatado por Malavolta & Dantas (1987), ou seja, quando o teor foliar aumenta e não é acompanhado pela massa de matéria seca. O efeito linear das doses de N sobre o rendimento de grãos de milho está em concordância com os resultados obtidos também em Latossolo Vermelho por Sangoi & Almeida (1994) e Araújo et al. (2004). Contudo, são discordantes dos verificados por Fernandes et al. (1998) e Silva et al. (2005, 2006a), que constataram ajuste quadrático para produtividade de grãos com o incremento da dose de N.

Verifica-se que o contraste “testemunha versus demais tratamentos”, à exceção da produtividade de palha, foi significativo em todas as demais avaliações (Quadro 3), provavelmente em razão de o milho não aumentar perfilhos, respondendo ao incremento na dose de N com maior acúmulo de massa nos grãos, a exemplo do verificado por Malavolta & Dantas (1987). As demais estratégias de parcelamento, à exceção da dose de 135 kg ha⁻¹ de N para produtividade de palha, não foram significativas para as demais avaliações. Considerando-se a produtividade de grãos, a aplicação de 135 kg ha⁻¹ de N parcelados em três vezes proporcionou maior valor do que a aplicação da mesma dose parcelada em quatro vezes (Quadro 2).

As distintas estratégias de parcelamento do N apresentaram eficiência semelhante na altura da planta, altura da inserção da espiga e produção de grãos. Possivelmente, a pouca diferença entre as épocas de aplicação do N em cobertura seja devido à coincidência entre as épocas de aplicação do N e a fase

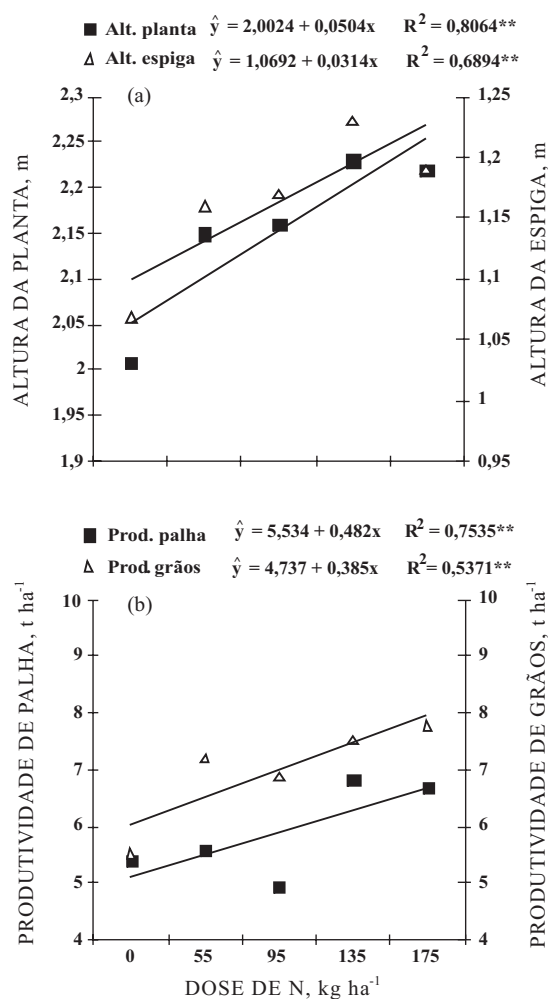


Figura 1. Altura da planta, altura da inserção da espiga (a), produtividade de palha e produtividade de grãos de milho (b), em função de doses de nitrogênio.

de desenvolvimento da planta em que ocorre absorção linear desse nutriente. Resultados concordantes com os do presente estudo, com efeito significativo para o contraste testemunha versus diferentes formas de parcelamento e não para outros contrastes, considerando a produtividade de grãos, foram também verificados por Melgar et al. (1997) e Escosteguy et al. (1997). Com relação à altura da planta e da inserção da espiga e à massa de mil grãos, os resultados deste estudo discordam dos verificados por Escosteguy et al. (1997).

O teor de N total nos grãos – exceto o tratamento testemunha, que apresentou o menor valor (12,0 g kg⁻¹), e os tratamentos que receberam 135 kg ha⁻¹ parcelados em três vezes (16,2 g kg⁻¹) e 175 kg ha⁻¹ de N parcelados em cinco vezes (16,9 g kg⁻¹), que apresentaram maior teor – não foi influenciado pelos tratamentos, ficando os valores em média de 14,9 g kg⁻¹. Para o teor de N na palha, não foram observadas grandes discrepâncias entre os tratamentos, ficando os valores em torno de 4,6 g kg⁻¹, o que se deve ao fato de os grãos serem o principal dreno de N e compostos nitrogenados na planta (Karlen et al., 1988; Coelho et al., 1991).

Com relação à quantidade de N acumulada na planta em função do incremento na dose de N (Figura 2a), observou-se resposta linear. Isso é explicado, em parte, pela produtividade de grãos e de palha, que também aumentou linearmente com o incremento da dose de N.

As percentagens de N na planta provenientes do fertilizante (% NPPF) foram semelhantes entre grãos

e o restante da parte aérea da planta (palha), ficando, em média, por volta de 27 %. Tal fato se deve à grande dinâmica do N dentro da planta, proporcionando pequena variação isotópica do N, decorrente da alta mobilidade deste nutriente e da dinâmica dos compostos nitrogenados por causa da sua contínua síntese e degradação à proteína e, em seguida, a aminoácidos (Coelho et al., 1991).

A quantidade de N na planta de milho (palha + grãos) proveniente do fertilizante (QNPPF) aumentou linearmente com o incremento da dose de N aplicada (Figura 2b), embora a maior QNPPF tenha ocorrido quando se aplicaram 135 kg ha⁻¹ de N parcelados em três vezes (Quadro 4). A mesma tendência foi também observada para o aproveitamento do N do fertilizante pelo milho na dose de 135 kg ha⁻¹ de N parcelados em três vezes; dos 52,4 % do N aproveitado, 36 % foram alocados nos grãos e 16,4 % na palha. Já quando consideradas todas as doses e estratégias de fracionamento, o aproveitamento do N foi, em média, de 39 %, com partição de 27,2 % nos grãos e 11,40 % na palha. A maioria dos estudos demonstra que existe grande variação no aproveitamento do N do fertilizante mineral pelo milho, raramente ultrapassando 50 % do N aplicado (Scivittaro et al., 2000; Lara Cabezas et al., 2000; Gava et al., 2006; Silva et al., 2006a). Essas diferenças ocorrem em virtude de diversos fatores, principalmente das condições edafoclimáticas, da forma de manejo do solo e do fertilizante, das perdas de N por processos de volatilização, lixiviação, erosão e desnitrificação (Lara Cabezas et al., 2000; Figueiredo et al., 2005) e da eficiência dos genótipos utilizados (Tollenaar et al., 1997; Cantarella & Duarte, 2004).

Quadro 3. Parte da análise de variância dos efeitos de diferentes estratégias de fracionamento da adubação nitrogenada sobre a altura da planta, altura da inserção da espiga, massa de mil grãos, produtividade de palha e produtividade de grãos

| Contraste dose versus parcelamento | Quadrado médio | | | | |
|------------------------------------|----------------|---------|--------------------|----------------|----------------|
| | Altura | | Massa de mil grãos | Produtividade | |
| | Planta | Espiga | | Palha | Grão |
| Testemunha versus outros | 1.881,4** | 507,4** | 2.052,6* | 576.641,1 ns | 13.000.733,5** |
| Dose 55 (2 parc. vs 3 parc.) | 8,38 ns | 12,3 ns | 441,9* | 277.733,9 ns | 2.577,5 ns |
| Dose 95 (2 parc. vs 3 parc.) | 29,4 ns | 6,1 ns | 478,36* | 240.697,5 ns | 198.820,0 ns |
| Dose 135 (3 parc. vs 4 parc.) | 10,4 ns | 4,2 ns | 1.582,8* | 2.412.136,5* | 2.853.293,2 ns |
| Dose 175 (2 parc. vs 3 parc.) | 20,4 ns | 60,1 ns | 3,3 ns | 1.054.271,1 ns | 285.119,9 ns |

ns, ** e *: não-significativo, significativo a 1 e 5 % pelo teste F, respectivamente.

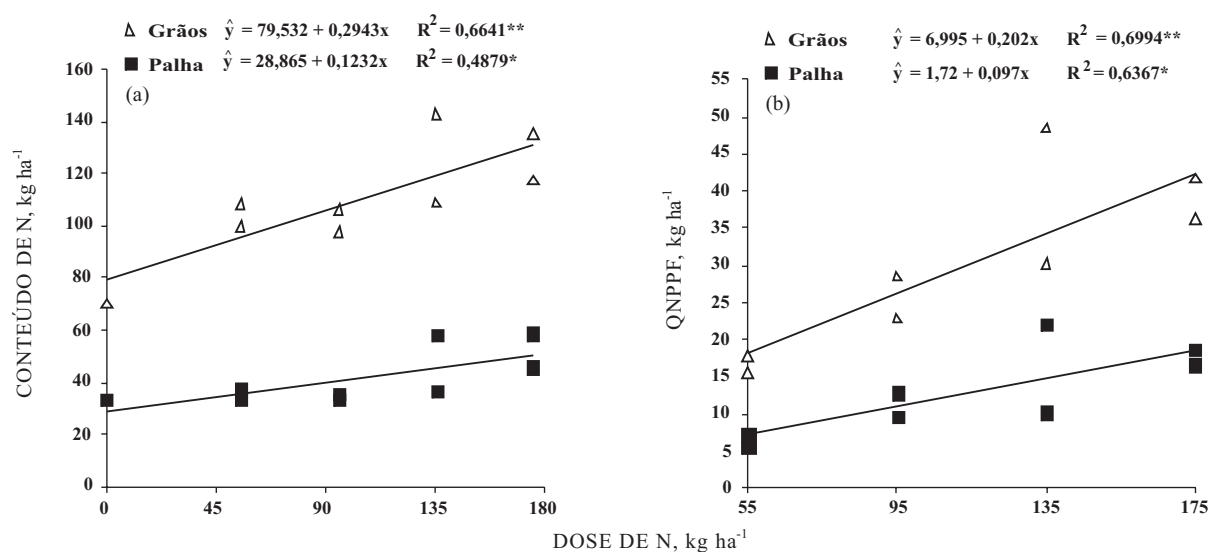


Figura 2. Quantidade de N acumulada no milho (a) e quantidade de N no milho proveniente do fertilizante (b), em função de doses de nitrogênio. (* e **: significativo a 5 e 1 % pelo teste F, respectivamente).

Quadro 4. Quantidade de N acumulada, quantidade de N na planta de milho proveniente do fertilizante (QNPPF), aproveitamento pelo milho do N do fertilizante (AP) e quantidade de N no milho nativo do solo (QNPNS), em função de parcelamento de diferentes doses de nitrogênio

| Dose de N | Dias após a semeadura | | | | | N acumulado | | QNPPF | | AP | | QNPNS | |
|-----------|-----------------------|----|----|----|----|-----------------------|--------|--------|---------|---------|--------|---------------------|--------|
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | Grãos | Palha | Grãos | Palha | Grãos | Palha | Grãos | Palha |
| | kg ha ⁻¹ | | | | | | | | | % | | kg ha ⁻¹ | |
| 0 | | | | | | 70,3 d ⁽¹⁾ | 33,6 c | - | - | - | - | 70,3 d | 33,6 c |
| 55 | 15 | | 40 | | | 99,5 c | 33,9 c | 17,8 e | 7,2 cd | 32,5 b | 13,2 b | 81,7 b | 26,7 e |
| 55 | 15 | 20 | 20 | | | 108,4 bc | 37,9 c | 15,5 e | 5,6 d | 28,2 c | 10,2 c | 92,8 a | 32,3 c |
| 95 | 15 | | 80 | | | 97,5 c | 33,2 c | 28,6 c | 12,8 c | 30,1 bc | 13,4 b | 68,9 d | 20,4 f |
| 95 | 15 | 40 | 40 | | | 106,0 bc | 35,1 c | 23,0 d | 9,7 c | 24,2 d | 10,2 c | 83,0 b | 25,4 e |
| 135 | 15 | 60 | 60 | | | 142,6 a | 58,2 a | 48,6 a | 22,1 a | 36,0 a | 16,4 a | 94,0 a | 36,1 b |
| 135 | 15 | 40 | 40 | 40 | | 109,5 b | 36,9 c | 30,3 c | 10,2 c | 20,7 e | 7,6 d | 79,2 c | 26,7 e |
| 175 | 15 | 40 | 60 | 60 | | 117,6 b | 45,7 b | 36,4 b | 16,6 b | 20,8 c | 9,5 c | 81,2 bc | 29,1 d |
| 175 | 15 | 40 | 40 | 40 | 40 | 135,4 a | 57,8 a | 41,7 b | 18,8 ab | 23,8 b | 10,7 c | 93,7 a | 39,0 a |

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si a 5 % pelo teste de Tukey.

Apenas as plantas dos tratamentos 135 e 175 kg ha⁻¹ de N aplicados em três e cinco parcelamentos, respectivamente, acumularam mais N nativo do solo na palha do que a testemunha (Quadro 4). Já para os grãos, as plantas dos tratamentos 135 e 175 kg ha⁻¹ de N aplicados em três e cinco parcelamentos acumularam maior quantidade de N nativo do solo. De modo geral, exceto a dose de 95 kg ha⁻¹ de N parcelada em duas

vezes, os demais tratamentos exibiram QNPNS maior do que a da testemunha, o que pode ser atribuído principalmente ao aumento da mineralização do N nativo do solo, denominado de efeito *priming* (Rao et al., 1992). Também é possível que a aplicação de fertilizante tenha estimulado o desenvolvimento do sistema radicular, aumentando o volume de solo explorado, condicionando maior absorção do nutriente

(Jenkinson et al., 1985). Meisinger et al. (1985) informaram que alguns dos efeitos das doses de N sobre a absorção de N nativo do solo tiveram suas magnitudes pequenas em relação à absorção total de N pela cultura do milho. Já Silva et al. (2006b), também em Latossolo Vermelho, verificaram efeito significativo da dose de N até 180 kg ha⁻¹ sobre a absorção de N nativo do solo.

Independentemente da dose de N e da estratégia de parcelamento, o solo foi a principal fonte desse nutriente para o milho (Quadro 4). A QNPNS encontrada nos grãos e na palha foi, em média, respectivamente, três e duas vezes maiores do que aquela proveniente do fertilizante. Já a QNPNS nos grãos foi aproximadamente três vezes maior do que a quantidade na palha, demonstrando que a maior parte do N absorvido desta fonte é exportada com a colheita dos grãos, o que concorda com relatos de Silva et al. (2006b). O fato de a maior parte do N acumulado na planta ter originado do N nativo do solo e de a QNPNS ter sido, em média, inferior a 50 % sugere que grande porção do N do fertilizante permaneceu no solo. Estudos demonstram que o N de fertilizantes minerais sofre grande interação com o N orgânico do solo (Powlson & Barraclough, 1993; Scivittaro et al., 2003). Esse efeito é relatado na literatura como "pool substitution", ou seja, o N mineral aplicado toma o lugar do N mineral nativo do solo, deixando, assim, maior quantidade deste para absorção pelas plantas (Rao et al., 1992; Powlson & Barraclough, 1993). No presente estudo, embora não tenha sido mensurada, parte do N do fertilizante pode também ter sido perdida por processos de lixiviação, desnitrificação e volatilização. Geralmente, esses processos são mais passíveis de ocorrerem à medida que se aumenta a dose de N aplicada, pois, como demonstrado no quadro 4, a QNPNS aumentou com o incremento da dose de N. No entanto, o aproveitamento do N, que é relativo à dose aplicada,

exceto para os tratamentos que receberam 135 kg ha⁻¹ de N aplicados em três vezes, de maneira geral, diminuiu à medida que se aumentou a dose de N aplicada. Resultados semelhantes foram também observados por Silva et al. (2006a).

Independentemente da fonte originária de N, solo (Quadro 4) ou fertilizante (Figura 2), em média, dois terços desta alocaram-se nos grãos e um terço na palha. Partição de N na planta semelhante foi também verificada por Coelho et al. (1991), Villas Bôas et al. (1999) e Silva et al. (2006b).

Considerando a quantidade de N extraída pela cultura do milho, em média, superior a 130 kg ha⁻¹, e a exportada pelos grãos, superior a 100 kg ha⁻¹, somente as duas maiores doses de N aplicadas seriam suficientes para equiparar à demanda da cultura. Esse fato sugere a necessidade de enfatizar sistemas de manejo do solo e de adubação nitrogenada que aporrem quantidade adequada do nutriente no cultivo do milho, visando à manutenção do seu estoque no solo e, conseqüentemente, à sustentabilidade do agrossistema a longo prazo. Além disso, a quantidade de N da uréia e de N nativo do solo extraído pelo milho mensurada neste estudo está subestimada, em virtude de não ter sido contabilizada a fração de N contida no seu sistema radicular. Por outro lado, embora resíduos vegetais da cultura do milho permaneçam no solo, quando do cultivo para produção de grãos, estes apresentam alta relação C/N e alto teor de lignina; com isso, apenas lentamente a fração de N contida nestes é remineralizada e retornada ao solo (Sampaio & Salcedo, 1993).

Observa-se, pelo quadro 5, que apenas o contraste referente ao parcelamento dentro da dose de 135 kg ha⁻¹ de N apresentou estimativa positiva, demonstrando que os maiores conteúdos de N nos grãos e na palha ocorreram com a aplicação do N em

Quadro 5. Quantidade de N acumulada, quantidade de N na planta de milho proveniente do fertilizante (QNPNS), aproveitamento pelo milho do N do fertilizante (AP) e quantidade de N no milho nativo do solo (QNPNS), em função de parcelamento de diferentes doses de nitrogênio

| Contraste parcelamento dentro de dose | N acumulado | | QNPNS | | AP | | QNPNS | |
|---|---------------------|---------|---------|--------|--------|--------|---------------------|---------|
| | Grãos | Palha | Grãos | Palha | Grãos | Palha | Grãos | Palha |
| | kg ha ⁻¹ | | | | % | | kg ha ⁻¹ | |
| Testemunha versus outros | -1061** | -208,1* | - | - | - | - | -336,9ns | 159,7ns |
| Dose 55 (2 parc. vs 3) | -25,6ns | -12,9ns | 6,9ns | 4,7ns | 12,6ns | 0,61ns | -32,5ns | -34,4* |
| Dose 95 (2 parc. vs 3) | -25,4ns | -5,6ns | 16,9ns | 9,1ns | 17,7ns | 9,6ns | -42,3ns | -26,7ns |
| Dose 135 (3 parc. vs 4) | 101,1** | 63,9** | 55,4** | 35,6** | 41,1** | 26,4** | 45,7ns | 28,3* |
| Dose 175 (2 parc. vs 3) | -52,3ns | -36,2** | -15,8ns | -6,5ns | -9,1ns | -3,7ns | -37,4ns | -48,1** |

ns, ** e *: Não-significativo, significativos a 1 e 5 % pelo teste F, respectivamente.

três parcelamentos, que correspondeu à aplicação do N até os 40 DAS. As estratégias de parcelamento para 55 e 95 kg ha⁻¹ de N não diferiram significativamente. Esses resultados demonstram a importância do N nos períodos iniciais da cultura (Mengel & Baber, 1974; Varvel, 1997).

Para a dose de 175 kg ha⁻¹ de N, o maior fracionamento promoveu aumento significativo na produtividade de palha, indicado pelo valor negativo daquele contraste. Esse fato confirma relatos de Tollenaar et al. (1997), de que, para híbridos modernos, aplicações tardias de N favorecem mais a produtividade de palha do que a de grãos. Da mesma forma, verifica-se que diferenças significativas para a QNPPF e para o aproveitamento do N da uréia ocorreram apenas entre as formas de parcelamento da dose de 135 kg ha⁻¹ de N, indicando que esta dose e a estratégia de parcelamento em três aplicações favoreceram a absorção e o acúmulo deste nutriente pelo milho, o que proporcionou incremento na produtividade de grãos.

CONCLUSÕES

1. O aproveitamento do N do fertilizante pelo milho foi, em média, de 39 %, e o solo foi a principal fonte do nutriente para a cultura.

2. A aplicação de 135 kg ha⁻¹ de N parcelados em três vezes, até o estágio de oito folhas expandidas, proporcionou maior aproveitamento do N do fertilizante (52 %) e maior produtividade de grãos.

3. O parcelamento da uréia em quatro ou cinco aplicações e em estádios mais avançados de desenvolvimento do milho, após o estágio de oito folhas expandidas, não aumentou o aproveitamento do N desta fonte e a produtividade de grãos.

AGRADECIMENTOS

À Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrário SA - EBDA, pela oportunidade de realização do curso de Doutorado, e à International Atomic Energy Agency - IAEA, pelo apoio financeiro (Projeto ARCAL RLA/5036).

LITERATURA CITADA

- AGRIANUAL 2005. FNP Consultoria e Comércio. Anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2005. p.417-438.
- 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. R. Bras. Ci. Solo, 26:241-248, 2002.
- ARAÚJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. Pesq. Agropec. Bras., 39:771-777, 2004.
- BARRIE, A. & PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W. & YAMASAKI, S., eds. Mass spectrometry of soils. New York, Marcel Dekker, 1996. p.1-46.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFOS, 1993. p.63-131.
- CANTARELLA, H. & DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C. & MIRANDA, G.V., eds. Tecnologia de produção de milho. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.139-182.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.C.; BAHIA, A.F.C. & GUEDES, G.A. Balanço de nitrogênio ¹⁵N em Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. R. Bras. Ci. Solo, 95:187-193, 1991.
- 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: 20 jan. 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Serviço de Produção de Informações, 1999. 412p.
- ESCOSTEGUY, P.A.V.; RIZZARDI, M.A. & ARGENTA, G. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em duas épocas de semeadura. R. Bras. Ci. Solo, 22:247-254, 1997.
- FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.E.; VASCONCELLOS, C.A. & GUEDES, G.A.A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho em Latossolo sob vegetação de Cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 22:247-254, 1998.
- FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. & URQUIAGA, S. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. Pesq. Agropec. Bras., 40:279-287, 2005.
- GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; HEINRICHS, R. & SILVA, M.A. Balanço do nitrogênio da uréia (¹⁵N) no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta na cultura do milho. Bragantia, 65:477-486, 2006.
- GROVE, L.T.; RICHET, K.D. & MADERMAN, G.C. Nitrogen fertilization of maize on oxisol of the cerrado of Brazil. Agron. J., 27:261-265, 1980.
- INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION - IFIA. (Paris, França). Fertilizer use by crop. 5.ed. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org/ifa/statistics.asp>> Acesso em: 19 jan. 2006.

- JENKINSON, D.S.; FOX, R.H. & RAINIER, J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen - the so-called "priming" effect. *J. Soil Sci.*, 36:425-444, 1985.
- KARLEN, D.L.; FLANNERY, R.L. & SADLER, E.J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. *Agron. J.*, 80:232-242, 1988.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KONDÖRFER, G.H. & PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:363-376, 2000.
- MALAVOLTA, E. & DANTAS, J.P. Nutrição e adubação do milho. In: PATERNIANI, E. & VIÉGAS, G.P., eds. *Melhoramento e produção do milho no Brasil*. Campinas, Fundação Cargil, 1987. p.541-590.
- MEISINGER, J.J.; BANDEL, V.A.; STANFORD, G. & LEGG, J.O. Nitrogen utilization of maize under minimal tillage and moldboard plow tillage: I Four-year results using labeled N fertilizer on Atlantic coastal plain soil. *Agron. J.*, 77:602-611, 1985.
- MELGAR, R.J.; SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S. & SÁNCHEZ, P.A. Doses e épocas de aplicação fertilizante nitrogenado para o milho em Latossolo da Amazônia Central. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:289-296, 1991.
- MENGEL, D.B. & BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. *Agron. J.*, 66:399-402, 1974.
- POWLSON, D.S. & BARRACLOUGH, D. Mineralization and assimilation in soil-plant system. In: KNOWLES, R. & BLACKBURN, T.H., eds. *Nitrogen isotope techniques*. San Diego, Academic Press, 1993. p.209-242.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100)
- RAO, A.C.S.; SMITH, J.L.; PARR, J.F. & PAPENDICK, R.I. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. *Fert. Res.*, 33:209-217, 1992.
- SAMPAIO, E.V.S.B. & SALCEDO, L.H. Mineralização e absorção por milheto do nitrogênio do solo, da palha de milho (¹⁵N) e da uréia (¹⁵N). *R. Bras. Ci. Solo*, 17:423-429, 1993.
- SANGOI, L. & ALMEIDA, M.L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. *Pesq. Agropec. Bras.*, 29:13-24, 1994.
- SCHREIBER, H.A.; STANBERRY, C.O. & TUCKER, H. Irrigation and nitrogen effects on sweet corn row number at various growth stages. *Science*, 135:135-136, 1998.
- SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E. & TRIVELIN, P.C.O. Utilização de nitrogênio de adubos verdes e mineral pelo milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:917-926, 2000.
- SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E. & TRIVELIN, P.C.O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:1427-1433, 2003.
- SILVA, E.C.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L.; LAZARINI, E. & SÁ, M.E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:353-362, 2005.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S. & TRIVELIN, P.C.O. Manejo de nitrogênio no milho em Latossolo Vermelho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:477-486, 2006a.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M.E.C. & TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio (¹⁵N) da crotalária e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. *Ci. Rural*, 36:739-746, 2006b.
- TOLLENAAR, B.M.; NISSANKA, S.P.; RAJEAN, L. & BRUULSEMA, T.W. Yield response of old and new corn hybrids to nitrogen. *Better Crops*, 81:3-5, 1997.
- UHART, S.A. & ANDRADE, F.H. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Sci.*, 35:376-383, 1995.
- VARVEL, G.E.; SCHPERS, J.S. & FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:1233-1239, 1997.
- VILLAS BÔAS, R.L.; BOARETTO, A.E.; BÜLL, L.T. & GUERRINI, I.A. Parcelamento e largura da faixa de aplicação da uréia na recuperação do nitrogênio pela planta de milho. *Sci. Agric.*, 56:1177-1184, 1999.