

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

DOSES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NA CULTURA DO MILHO EM PLANTIO DIRETO SOBRE LATOSSOLO VERMELHO⁽¹⁾

Edson Cabral da Silva⁽²⁾, Salatier Buzetti⁽³⁾, Giovani Lima Guimarães⁽⁴⁾,
Edson Lazarini⁽⁵⁾ & Marco Eustáquio de Sá⁽⁵⁾

RESUMO

O nitrogênio (N) é o nutriente absorvido em maiores quantidades pelo milho e o que mais influencia o rendimento de grãos, tendo sua dinâmica no sistema solo-planta alterada pelo manejo. Objetivou-se avaliar doses e épocas de aplicação de N na cultura do milho sob sistema plantio direto (SPD) recém-instalado. O estudo foi realizado na fazenda experimental da UNESP/FEIS, no município de Selvíria (MS), em um Latossolo Vermelho distrófico, durante os anos agrícolas de 1998/99 e de 1999/00. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com 19 tratamentos e quatro repetições, dispostos em esquema fatorial incompleto $6 \times 3 + 1$ (testemunha: 0 kg ha^{-1}), constituídos por seis combinações de épocas de aplicação de N (todo na semeadura, todo no estádio de 4 a 6 folhas, todo no estádio de 8 a 10 folhas, $\frac{1}{2}$ semeadura + $\frac{1}{2}$ no estádio de 4 a 6 folhas, $\frac{1}{2}$ semeadura + $\frac{1}{2}$ no estádio de 8 a 10 folhas e $\frac{1}{2}$ no estádio de 4 a 6 folhas e $\frac{1}{2}$ no estádio de 8 a 10 folhas) com 4 doses de N-uréia (0, 60, 120 e 180 kg ha^{-1}). Foram avaliados os teores de N- NH_4^+ , N- NO_3^- , N mineral e N total, nas profundidades de 0,0 a 0,10; 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, na época do florescimento do milho. Foram avaliados: a altura da planta e da espiga, o teor de N na folha, na época do florescimento, o teor de N no grão, o número de fileiras de grãos por espiga e de grãos por fileira, o peso de 1.000 grãos e a produtividade. O teor de NH_4^+ foi superior ao de NO_3^- , nas mesmas profundidades, em ambos os cultivos. A máxima eficiência técnica para a produtividade de milho foi alcançada com a dose de 166 kg ha^{-1} de N, e a máxima eficiência econômica, considerando a relação preço do N/preço do produto de 8,25/1, foi alcançada com a dose de 126 kg ha^{-1} de N, aplicada metade na semeadura e metade no estádio de 4 a 6 folhas.

Termos de indexação: semeadura direta, N-mineral, N-total, *Zea mays* L.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP/FEIS. Recebido para publicação em julho de 2003 e aprovado em março de 2005.

⁽²⁾ Doutorando do Programa de Pós-Graduação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo – CENA/USP. Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba (SP). E-mail: ecsilva@cena.usp.br

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP/FEIS. Caixa Postal 31, CEP 15385-000 Ilha Solteira (SP). E-mail: sbuzetti@agr.feis.unesp.br

⁽⁴⁾ Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo – ESALQ/USP. Av. Pádua Dias 11, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: glg2003@bol.com.br

⁽⁵⁾ Professor do Departamento de Fitotecnia e Sócio-Economia, UNESP/FEIS.

SUMMARY: RATES AND TIMING OF NITROGEN APPLICATION IN CORN UNDER NO-TILLAGE ON A RED LATOSOL

Nitrogen (N) is the nutrient taken up in the largest quantity by corn and it has the greatest effect on grain yield. Its dynamics in the soil-plant system is influenced by the management. The aim of this study was to evaluate nitrogen rates and application times in corn in a recently implanted no-tillage system. This study was conducted at the Experimental Station of UNESP/FEIS - Ilha Solteira campus in Selvíria, State of Mato Grosso do Sul, Brazil, during the growth season of 1998/99 and 1999/00 on a clayey dystrophic dark Red Latosol (Rhodic Haplustox). The experimental design was structured in randomized complete blocks, with 19 treatments and 4 replications in an incomplete factorial 6 x 3 + 1 (control: 0 kg ha⁻¹) scheme. Six combinations of N application timing (total dose at sowing, total dose at the 4 - 6 leaf stage, total dose at the 8 - 10 leaf stage, ½ at sowing + ½ at the 4 to 6 leaf stage, ½ at sowing + ½ at 8 to 10 leaf stage and, ½ at the 4 to 6 leaf stage + ½ at the 8 to 10 leaf stage) and 4 rates of N-urea (0, 60, 120, and 180 kg ha⁻¹). Soil samples were collected in the 0.0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m layers for an evaluation of N-NH₄⁺, N- NO₃⁻, mineral-N and total-N concentration. Plants were analyzed for plant and ear height, leaf N concentration at flowering and N concentration in the grains, rows of grain per ear, grains per row, weight of thousand grains, and grain yield. The NH₄⁺ content was higher than NO₃⁻ at the same depths, in both cultivations. The grain yield of the corn had the highest technical efficiency at the N rate of 166 kg ha⁻¹, and a maximum economical efficiency with 126 kg ha⁻¹ of N, applied half dose at sowing and the remaining at the 4-6 leaf stage, considering a fertilizer cost and corn price ratio of 8.25:1.

Index terms: No-tillage, mineral-N, total-N, Zea mays L.

INTRODUÇÃO

O milho é uma das principais culturas, considerando a área plantada na região de cerrado, onde predominam os Latossolos. Esses solos, em geral, apresentam alta acidez, aliada à presença de Al, alta fixação de P e baixos teores de matéria orgânica, a qual tem recebido considerável atenção na forma de cálculo do N potencialmente mineralizável e na recomendação de N para o milho, em vista da alta correlação com o estoque de N total do solo (Raij, 1991; Raij et al., 1996; Amado et al., 2002).

O N é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do milho, exercendo maior influência na produtividade de grãos, além de ser o que mais onera o custo de produção. A utilização do N também pode causar prejuízos ambientais, por apresentar elevado custo energético para sua produção e por ser passível de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por nitrato, em virtude de perdas por erosão e lixiviação (Sims et al., 1998).

Na cultura do milho, apesar de serem pequenas as exigências nutricionais nos estádios iniciais, altas concentrações de N, na zona radicular, são benéficas na promoção de um maior desenvolvimento da planta (Mengel & Barber, 1974; Varvel et al., 1997). Nessa fase inicial, ocorrem as diferenciações das várias partes da planta e a ocorrência de deficiência de N reduz o número de óvulos nos primórdios da espiga (Schreiber et al., 1988; Yamada, 1996). A

produtividade do milho está associada com a atividade metabólica do N, tendo este um papel direto no acúmulo de matéria seca nos grãos (Büll, 1993). Segundo Grove et al. (1980) e Coelho et al. (1992), a concentração de N na planta de milho, considerada como adequada para a produção máxima, está em torno de 10 g kg⁻¹. Assim, para uma produtividade de 9.000 kg ha⁻¹ de grãos e 7.000 kg de palha, a cultura extrai do solo em torno de 160 kg ha⁻¹ de N.

A utilização de sistemas de manejo, com menor revolvimento do solo, promove maior atividade biológica, aumento nos teores de carbono orgânico, de N total e outros nutrientes, e da capacidade de troca de cátions (Bayer et al., 1997). Entretanto, no sistema plantio direto (SPD), pode ocorrer um suprimento inadequado de N às plantas, comparativamente ao sistema convencional, em razão da maior perda de nitrato por lixiviação, menor decomposição dos restos de culturas, maior volatilização e desnitrificação e da maior imobilização microbiana (Fancelli & Favarin, 1989; Lara Cabezas et al., 1997). Uma alternativa para minimizar o problema, segundo Gonçalves et al. (2000), é manter sempre o solo com cobertura vegetal, com a função de reciclagem de nutrientes na sua biomassa e de cobertura do solo.

A elevada capacidade de absorção de N das gramíneas constitui uma importante estratégia para reduzir os riscos de contaminação do lençol freático

por nitrato e a ciclagem de N durante a entressafra, decorrente do sistema radicular “agressivo” e abundante (Sá, 1996). Todavia, a decomposição e liberação de N ao solo é relativamente lenta, em virtude da alta relação C/N, levando ao processo de imobilização do N mineral da solução do solo pelos microrganismos, resultando em um assincronismo com a demanda inicial de N pelas culturas no SPD (Salet et al., 1997; Amado et al., 2002).

Conforme Sá (1993) a maior perda de N no SPD pode ser compensada pela liberação lenta e gradual do N, ao longo dos anos, através da mineralização do material orgânico. Visto que as perdas de N por volatilização ficam limitadas às condições de solo e de ambiente e às formas de aplicação, no SPD, a aplicação da uréia em superfície sobre os restos vegetais favorece a rápida hidrólise do fertilizante, em razão da presença da urease (Cantarella et al., 1993). Essas condições de menor ou maior volatilização, mineralização/imobilização, desnitrificação e lixiviação condicionarão o manejo da adubação nitrogenada no milho.

O presente trabalho teve o objetivo de determinar a melhor dose e a melhor época de aplicação de N na cultura do milho, cultivado em sistema plantio direto recém-instalado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado durante os anos agrícolas de 1998/99 e de 1999/00 na fazenda experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, localizada no município de Selvíria (MS), cujas coordenadas geográficas são $51^{\circ} 22' W$ e $20^{\circ} 22' S$ com 335 m de altitude. Segundo a classificação internacional 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 $24,5^{\circ} C$, precipitação média anual de 1.370 mm e umidade relativa média de 64,8 % (Hernandez et al., 1995).

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso A moderado hipodistrófico álico caulinitico férrico, compactado muito profundo moderadamente ácido (LVd) (Embrapa, 1999). Nas análises, química e granulométrica, do solo, realizadas antes da instalação do experimento na profundidade de 0,0 a 0,20 m, encontraram-se: pH em $CaCl_2$ igual a 4,8, $10,4 mg dm^{-3}$ de P (resina), $25 g dm^{-3}$ de MO, $2,1 mmol_c dm^{-3}$ de K, $16 mmol_c dm^{-3}$ de Ca, $4,5 mmol_c dm^{-3}$ de Mg, $30,3 mmol_c dm^{-3}$ de H+Al, $3,7 mmol_c dm^{-3}$ de Al, $22,6 mmol_c dm^{-3}$ de SB, $52,9 mmol_c dm^{-3}$ de CTC, V igual a 43 %, conforme método descrito em Raij & Quaggio (1983), e 420, 530 e $50 g kg^{-1}$ de areia, argila e silte, respectivamente. Os resultados da análise química

foram utilizados para o cálculo da adubação fosfatada e potássica para o milho, segundo Raij et al. (1996).

A área experimental apresentava um histórico de 18 anos de plantio convencional com culturas anuais (arroz, feijão, milho, soja) e um ano de SPD, instalado em 1997, com soja no verão, sucedida por milho no inverno/primavera dos dois anos agrícolas de estudo (1998/99 e 1999/00).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 19 tratamentos e quatro repetições, dispostos em um esquema fatorial incompleto: $6 \times 3 + 1$ (testemunha: $0 kg ha^{-1}$ de N), constituídos por 6 combinações de épocas de aplicação de N: (a) todo na semeadura, (b) todo no estádio de 4 a 6 folhas, (c) todo no estádio de 8 a 10 folhas, (d) $\frac{1}{2}$ semeadura + $\frac{1}{2}$ no estádio de 4 a 6 folhas, (e) $\frac{1}{2}$ semeadura + $\frac{1}{2}$ no estádio de 8 a 10 folhas, (f) $\frac{1}{2}$ no estádio de 4 a 6 folhas e (g) $\frac{1}{2}$ no estádio de 8 a 10 folhas; com quatro doses de N: 0, 60, 120 e $180 kg ha^{-1}$. As parcelas foram de oito linhas, de 0,85 m de largura por 7,0 m de comprimento, considerando-se, como área útil, as quatro linhas centrais ($17 m^2$), desprezando-se 1 m nas extremidades.

A semeadura do milho foi realizada no final de agosto, utilizando-se a variedade BN 2, em linhas espaçadas de 0,17 m, na dose de $20 kg ha^{-1}$ de semente, conforme recomendação de Salton & Kichel (1998). Antes da instalação dos ensaios, realizou-se o manejo químico do milho e das plantas daninhas, utilizando-se os herbicidas glifosate e 2,4 D. As semeaduras do milho foram efetuadas nos dias 07/12/98, no primeiro ano, e 08/12/99, no segundo, com semeadora apropriada para o SPD, utilizando sementes do híbrido simples Pioneer 30F80, de ciclo semiprecoce, numa população de 60.000 plantas por hectare. Em ambos os cultivos, as sementes foram tratadas com o inseticida thiodicarb, na dose de 700 g de i.a./100 kg de sementes, e a adubação foi de $90 kg ha^{-1}$ de P_2O_5 e $50 kg ha^{-1}$ de K_2O , aplicada a 0,05 m abaixo e ao lado das sementes.

A fonte de N utilizada foi a uréia, sendo as adubações em cobertura aplicadas manualmente em dois sulcos superficiais a 0,20 m da linha da cultura, simulando a aplicação com implemento apropriado para o SPD. Nos tratamentos que receberam N na semeadura, este foi aplicado logo após a mesma, a 0,10 m da linha. O controle de plantas daninhas em pós-emergência, nos dois anos de cultivos, foi realizado com o herbicida Nicossulfuron. As parcelas foram alocadas no mesmo local, nos dois anos de cultivo. Realizou-se irrigação suplementar por aspersão nos períodos de estiagem prolongada.

Avaliações

O teor de N mineral ($N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$) foi determinado em amostras de solo, coletadas na época do florescimento do milho, nas profundidades de 0,0

a 0,10; 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, sendo a extração realizada com KCl 2 mol L⁻¹, no mesmo dia da coleta e na umidade atual do solo, conforme método descrito em Mulvaney (1996). Para o teor de N total no solo, utilizaram-se amostras coletadas na mesma época e nas mesmas profundidades, seguindo o método descrito em Bremner (1996).

A coleta de folhas, para a análise de N, foi realizada segundo Raij et al. (1996), utilizando-se o terço central de 20 folhas da base da espiga, coletadas na fase de pendramento do milho (50 % das plantas pendoadas). Os teores de N na folha e no grão foram determinados conforme Malavolta et al. (1997). O número de fileiras de grãos e o número de grãos por fileira foram avaliados por meio da contagem em duas amostras de 10 espigas, e o peso de 1.000 grãos foi determinado em balança de precisão. Para obter a produtividade de grãos, utilizaram-se as quatro linhas centrais da parcela (17 m²) com os dados transformados em kg ha⁻¹ a 13 % de base úmida.

A máxima eficiência técnica (MET) e a máxima eficiência econômica (MEE) foram obtidas por meio da derivada primeira da função $\hat{y} = 4002,7000 + 38,0700x - 0,1142x^2$, igualando-a a zero (MET) ou à relação de custos unitários do fertilizante nitrogenado pelo preço do produto (MEE), segundo Raij (1991). No caso, considerou-se o preço do N-uréia na região pelo preço mínimo do milho, pago pelo governo Federal, obtendo-se a relação de 8,25/1.

Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F, comparação de médias pelo teste de Tukey a 5 %, e análise de regressão, utilizando-se o modelo de análise em parcela subdividida no tempo, considerando os dois anos de cultivo e o fatorial para as quatro doses de N e as seis combinações de épocas de aplicação. Foi utilizado para isso o programa estatístico "SAS System for Windows-release 6.11" (SAS, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As produtividades médias de matéria seca do milho foram de 5.250 e 5.970 kg ha⁻¹, nos anos agrícolas de 1998/99 e de 1999/00, respectivamente, com teores médios de N, na parte aérea, de 10,3 g kg⁻¹, corroborando os dados obtidos por Salton & Kichel (1998). O potencial de mineralização da parte aérea dos resíduos do milho foi de aproximadamente 54,00 e 61,50 kg ha⁻¹ de N, para o primeiro e o segundo cultivo, respectivamente. Contudo, provavelmente, pequena parte do N dos resíduos foi mineralizada durante o ciclo da cultura do milho, em razão da alta relação C/N e de ser o sistema de cultivo o SPD. Isso leva a uma decomposição mais lenta, em virtude do menor contato dos resíduos com o solo e, conseqüentemente, da menor atividade microbiana (Sá, 1996; Amado et al., 2002).

N no solo

As épocas de aplicação do N não influenciaram os teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ no solo (Quadro 1), sendo o teor de NH₄⁺ superior no primeiro ano de cultivo e igual ao de NO₃⁻ nas mesmas profundidades avaliadas em ambos os anos. Isso pode ter ocorrido em razão do histórico de uso e manejo da área, com aração profunda, de gradagens para a incorporação dos restos culturais e do pouco tempo de adoção do SPD. Ainda, o pH do solo abaixo de 6,0 favoreceu a permanência do N, na forma de NH₄⁺, retardando o processo de nitrificação. Vitti et al. (1999) citaram que o menor teor de NO₃⁻ no solo, sob SPD, pode estar ligado ao pH, por serem as culturas cultivadas em pH inferiores àqueles utilizados no sistema convencional, e por ser maior a oferta de carbono orgânico, desfavorável à atividade dos microrganismos nitrificadores. Em algumas situações, é benéfico o maior teor de NH₄⁺ no solo, objetivando prolongar o tempo de disponibilidade para as plantas, principalmente no SPD, onde há maior infiltração de água, favorecida pela continuidade de poros e maior rugosidade da superfície, pela presença de palha, favorecendo, assim, a lixiviação do NO₃⁻ (Muzilli, 1983; Salet et al., 1997; Bayer et al., 2000).

Contudo, a mineralização da matéria orgânica, muitas vezes, pode influenciar mais a quantidade de N perdida por lixiviação, na forma de NO₃⁻, do que os fertilizantes minerais (Addiscott, 2000). Isso, em vista de grande parte do N mineral aplicado ser absorvido pela cultura, e da grande interação que sofre com o N do solo (Coelho et al., 1992). Dessa forma, Coelho et al. (1991) observaram que a perda de N por lixiviação em um Latossolo Vermelho foi de apenas 4 % do aplicado.

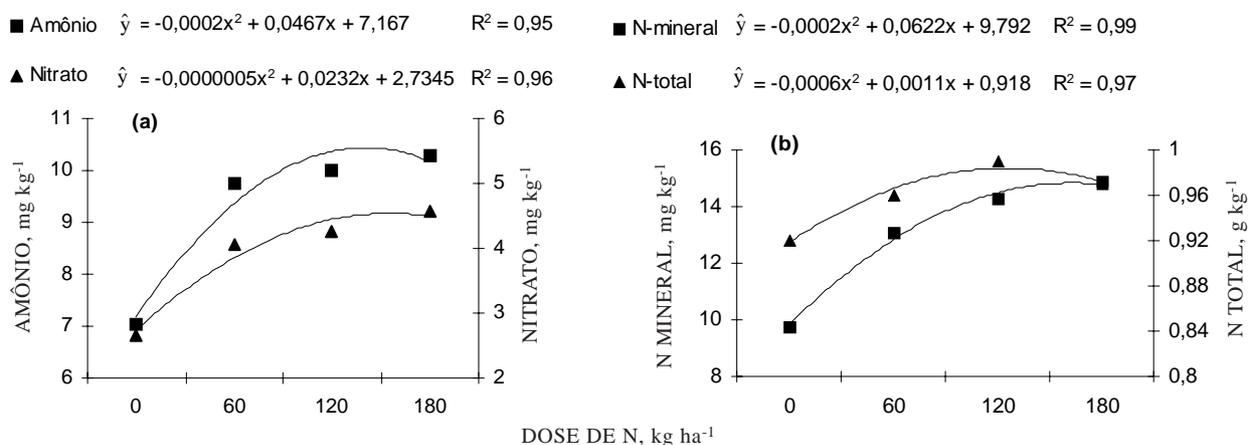
Observou-se que os teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ no solo aumentaram com o incremento da dose de N aplicada, demonstrando que parte do N aplicado ainda se encontrava nas profundidades do solo, avaliadas na época do florescimento do milho, certamente em virtude do alto teor de argila do solo e do menor teor de matéria orgânica nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, a qual correlaciona inversamente com a adsorção de NO₃⁻ nos Latossolos (Oliveira et al., 2000) (Figura 1). Assim, a maior adsorção de NO₃⁻ pelo solo nas profundidades exploradas pelas raízes das culturas pode contribuir para a redução da lixiviação e para o maior aproveitamento do N.

Algumas pesquisas demonstram que a maior infiltração de água no solo sob SPD favorece a maior lixiviação do N, principalmente na forma de NO₃⁻ (Muzilli, 1983; Salet et al., 1997; Sims et al., 1998). Entretanto, pressupõe-se que num sistema bem manejado esta lixiviação poderia ser até menor, em relação a outros sistemas de cultivos, visto que há uma tendência de a matéria orgânica concentrar-se na camada superior do solo e, segundo Gonçalves et

Quadro 1. Médias, valores de F e coeficientes de variação para o N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-mineral e N total no solo para as diferentes épocas de aplicação do N, anos agrícolas (1998/99 e 1999/00) e profundidades, na época do florescimento do milho, sob plantio direto

	N - NH ₄ ⁺	N - NO ₃ ⁻	N - Mineral	N - Total
	mg kg ⁻¹			g kg ⁻¹
	Época de aplicação de N			
Todo N na semeadura (sem)	9,81 ⁽¹⁾	3,80	13,61	0,98
Todo N de 4 a 6 folhas	9,57	3,93	13,50	0,96
Todo N de 8 a 10 folhas	9,27	4,28	13,55	0,96
½ Sem. + ½ 4 a 6 folhas	8,86	3,79	12,65	0,97
½ Sem. + ½ 8 a 10 folhas	9,38	3,57	12,95	0,97
½ 4 a 6 + ½ 8 a 10 folhas	7,93	3,98	11,91	0,95
	Ano agrícola			
1998/99	12,50 A	2,30 B	14,92 A	0,92 B
1999/00	6,80 B	6,01 A	12,81 B	0,99 A
	Profundidade, m			
0-0,10	10,27 a	4,44 b	14,71 A	1,14 A
0,10-0,20	8,80 a	3,88 b	12,68 B	0,96 B
0,20-0,40	8,58 a	3,26 b	11,84 B	0,79 C
	Valor de F			
Épocas de Aplicação do N	1,24 ^{NS (2)}	1,40 ^{NS}	0,78 ^{NS}	0,69 ^{NS}
Anos Agrícolas	112,90 ^{**}	582,34 ^{**}	7,36 [*]	29,44 ^{**}
Profundidades	2,72 ^{NS}	18,61 ^{**}	5,26 ^{**}	201,61 ^{**}
C.V. (%)	22,24	15,51	18,97	12,24

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem entre si a 5 %, pelo teste de Tukey. Os dados referentes a N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ e N mineral foram transformados em $\sqrt{x + 0,5}$. ⁽²⁾ NS, * e **: não-significativo e significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

**Figura 1. Médias de N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-mineral e N total no solo, na época do florescimento do milho, considerando diferentes doses de N sob plantio direto, anos agrícolas de 1998/99 e de 1999/00.**

al. (2000), a cobertura vegetal favorecer a reciclagem do NO₃⁻. Com o revolvimento do solo e incorporação dos resíduos vegetais, a mineralização da matéria orgânica é muito superior àquela verificada no SPD, indicando, neste último, um ambiente menos oxidativo (Reicosky & Lindstrom, 1993; Sá, 1996).

Os teores de N mineral no solo (NH₄⁺ + NO₃⁻) não foram influenciados pelas épocas de aplicação do N e estão bem próximos uns dos outros nas profundidades avaliadas, corroborando os resultados de Basso & Ceretta (2000), os quais, avaliando a dinâmica do N mineral no solo, nas profundidades

de 0,0 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, considerando as aplicações em pré-semeadura, semeadura e cobertura, verificaram que, no período de florescimento do milho, os teores no solo foram uniformes em quase todas as profundidades. Da mesma forma, Gonçalves et al. (2000) observaram diferenças apenas na profundidade de 0,0 a 0,025 m.

Observou-se que as épocas de aplicação de N não influenciaram no teor de N total do solo (Quadro 1). No entanto, houve aumento no teor de N total no período avaliado, graças ao N mineral aplicado, à palhada do milho e aos restos do milho do primeiro cultivo. Certamente, a mineralização desses resíduos foi favorecida pelas altas temperaturas e umidade que ocorrem na área no verão. Considerando as profundidades avaliadas, as diferenças nos teores de N total estão, certamente, relacionadas com os teores de matéria orgânica, maiores na camada superficial dos Latossolos, e com o não-revolvimento do solo e resíduos de culturas anteriores. Fernandes et al. (1998) observaram aumento no teor de matéria orgânica no SPD, apenas na camada de 0,0 a 0,075 m, atribuída à maior atividade biológica nessa camada. Entretanto, Teixeira et al. (1994) observaram efeito significativo no N do solo, após três anos, apenas na profundidade de 0,0 a 0,025 m, enquanto, após cinco anos, até de 0,175 m.

Para as formas de N avaliadas (Quadro 1), os coeficientes de variação foram de médio a alto (12,24 a 22,24 %). Para essas variáveis, porém, deve-se levar em consideração a sua dinâmica no solo, bem

como a lixiviação e o processo de mineralização/imobilização do N. Este processo é dependente das características dos resíduos vegetais, como relação C/N, lignina/N e polifenóis/N, teor de N, de lignina e de polifenóis (Myers et al., 1994; Palm & Sanchez, 1991) e das condições climáticas, como temperatura, umidade e aeração (Sá, 1993; Amado et al., 2002).

Aplicação de N e produtividade de milho

As épocas de aplicação do N influenciaram a altura da planta e da espiga, apenas quando se confrontaram os tratamentos em que todo o N foi aplicado no estágio de 8 a 10 folhas com aquele em que se aplicou metade do N na semeadura e metade no estágio de 8 a 10 folhas. Este proporcionou plantas maiores. A aplicação da metade da dose de N na semeadura e metade no estágio de 4 a 6 folhas também proporcionou maior altura de espiga, quando comparada à do tratamento em que todo o N foi aplicado no estágio de 8 a 10 folhas (Quadro 2). O incremento da dose de N aplicada (Figura 2) proporcionou aumento na altura da planta e da espiga, atingindo os pontos de máximo, com as doses de 171 e 158 kg ha⁻¹, respectivamente. Isso ocorre em razão de uma planta bem nutrida em N ter melhor desenvolvimento de área foliar e de sistema radicular, uma vez que o nutriente influencia diretamente a divisão e expansão celular e o processo fotossintético, podendo causar aumento da altura da planta e, conseqüentemente, favorecer a maior altura da espiga (Büll, 1993; Varvel et al., 1997).

Quadro 2. Médias, valores de F e coeficientes de variação para a altura da planta, altura da espiga, teor de N na folha, teor de N nos grãos, número de fileiras de grãos por espiga; número de grãos por fileira, peso de 1.000 grãos e produtividade de milho, em diferentes épocas de aplicação de N e anos agrícolas (1998/99 e 1999/00), sob plantio direto

	Altura da planta	Altura da espiga	Teor de N na folha	Teor de N no grão	Fileiras de grão/espiga	Grãos por fileira	Peso 1.000 grãos	Produtividade de grãos
	m		g kg ⁻¹				g	kg ha ⁻¹
Época de aplicação do N								
Todo N na semeadura	2,20 ab ⁽¹⁾	1,21 ab	24,50 b	13,57	14,31	37,45	305,80	6844 bc
Todo N de 4 a 6 folhas	2,22 ab	1,23 ab	27,50 a	13,38	14,24	37,81	304,90	7165 ab
Todo N de 8 a 10 folhas	2,09 b	1,09 b	25,64 ab	12,50	14,01	35,81	300,69	6659 c
½ Semeadura + ½ 4 a 6 folhas	2,24 ab	1,25 a	25,93 ab	12,90	14,20	37,67	313,20	7292 a
½ Semeadura + ½ 8 a 10 folhas	2,27 a	1,21 ab	26,60 ab	12,78	14,02	37,11	309,55	6948 abc
½ 4 a 6 folhas + ½ 8 a 10 folhas	2,20 ab	1,18 ab	27,16 ab	12,27	14,02	36,96	307,84	6800 bc
Ano agrícola								
1998/99	2,16 b	1,14 b	25,56 b	13,36	13,18 b	37,83 a	322,35 a	6997 a
1999/00	2,23 a	1,24 a	26,24 a	13,17	14,99 a	35,96 b	288,91 b	6625 b
Valor de F								
Épocas de aplicação do N	6,76** ⁽²⁾	3,65**	14,17**	2,90 ^{NS}	0,51 ^{NS}	1,54 ^{NS}	1,49 ^{NS}	3,02*
Ano agrícola	27,62**	71,85**	8,62**	1,09 ^{NS}	154,08**	18,98**	136,84**	11,63**
C.V. (%)	3,4	6,39	5,33	7,80	6,40	7,35	5,60	9,82

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5 %, pelo teste de Tukey. ⁽²⁾ NS, * e **: não-significativo e significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

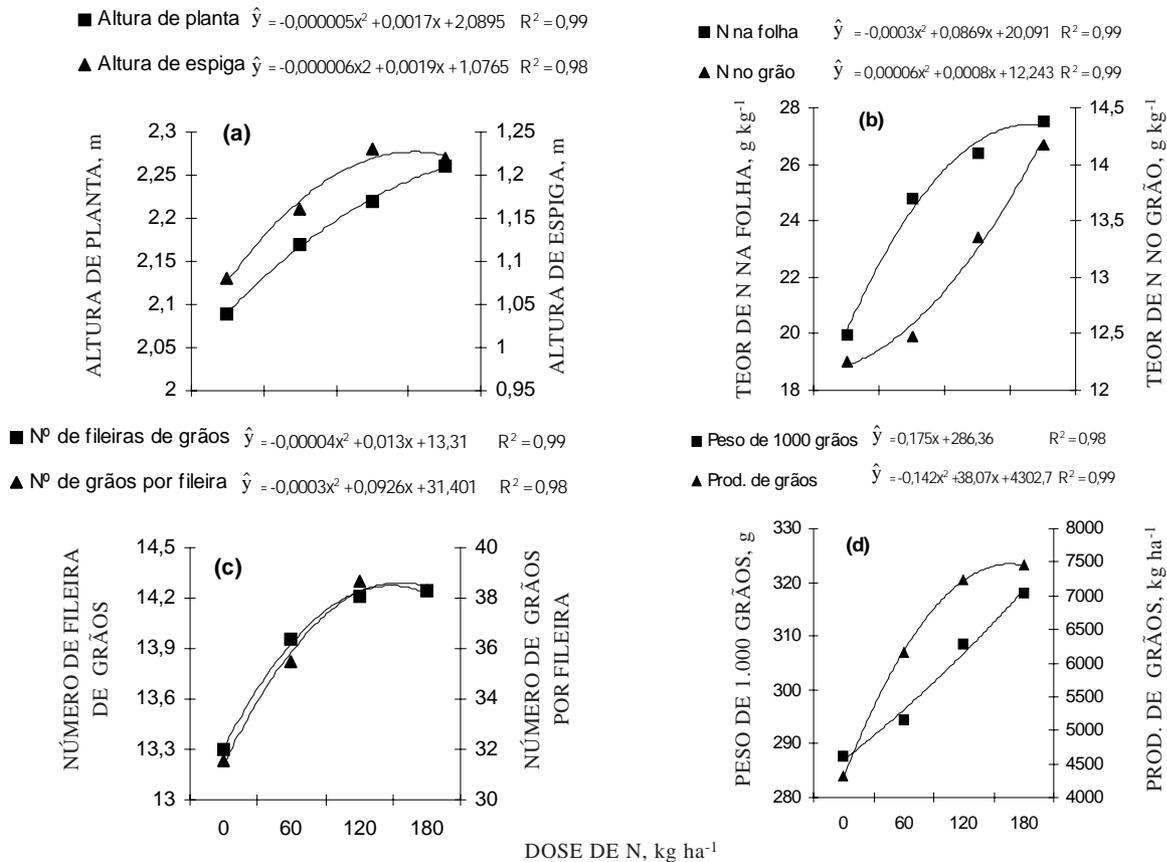


Figura 2. Médias de altura da planta, altura da espiga, teor de N foliar, teor de N nos grãos, número de fileira de grãos por espiga, número de grãos por fileira na espiga, peso de 1.000 grãos e produtividade de milho, considerando as doses de N, sob plantio direto, anos agrícolas de 1998/99 e de 1999/00.

O maior teor de N foliar foi obtido quando se aplicou todo o N no estágio de 4 a 6 folhas, diferindo apenas do tratamento em que o elemento foi aplicado todo na sementeira. Os demais tratamentos não diferiram entre si (Quadro 2). Verificou-se também que, para a maioria das doses de N estudadas (Figura 2), os teores de N nas folhas foram inferiores ao descrito como adequado: 27,5 a 32,5 g kg⁻¹ de N de matéria seca, conforme Malavolta et al. (1997). Isso pode ser uma característica do híbrido utilizado, visto que, nos tratamentos em que se obtiveram produtividades de grãos acima de 7.000 kg ha⁻¹, os teores de N foliar não atingiram o valor considerado como adequado, indicando que, talvez, no SPD, em virtude da menor variação de temperatura e, ou, umidade, as faixas adequadas possam se situar um pouco abaixo dos teores adequados para o milho cultivado no sistema convencional. Assim, Muzilli (1983), estudando efeito de preparos do solo e rotação de culturas, também constatou menores teores de N foliar no SPD. Tal fato, porém, foi atribuído à maior perda de N por lixiviação.

Com o aumento da dose de N aplicada até 145 kg ha⁻¹, houve aumento no teor de N foliar (Figura 2). Entretanto Mello et al. (1988), avaliando efeito de doses no teor de N total na folha, observaram

efeito positivo e significativo da dose somente até 60 kg ha⁻¹ de N, provavelmente pelo fato de o solo utilizado ter fornecido parte do N à cultura.

As épocas de aplicação do N não influenciaram o teor de N nos grãos, o número de fileiras de grãos por espiga, o número de grãos por fileira e o peso de 1.000 grãos, ficando os valores dentro de faixas consideradas normais para a cultura do milho. O número de grãos por fileira, o peso de 1.000 grãos e a produtividade de milho foram maiores no ano agrícola de 1998/99. Entretanto, no ano de 1999/00, houve valores superiores para altura da planta e da espiga, teor de N na folha e número de fileira de grãos por espiga.

O incremento da dose de N aplicada (Figura 2) proporcionou aumento nos valores de número de fileiras de grãos por espiga e número de grãos por fileira, atingindo o ponto de máxima eficiência técnica com as doses de 162 e 154 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Para o peso de 1.000 grãos, observou-se efeito linear em relação às doses testadas, ou seja, à medida que se aumentou a dose de N, houve um aumento correspondente no peso dos grãos. Resultados semelhantes foram obtidos por Lara Cabezas et al. (1997), os quais, testando

diferentes doses de N, verificaram que o maior rendimento de grãos deveu-se ao maior número de grãos por espiga e ao peso de 1.000 grãos.

As maiores produtividades de grãos foram obtidas quando se aplicou metade do N na semeadura e metade no estádio de 4 a 6 folhas, metade do N na semeadura e metade no estádio de 8 a 10 folhas e todo o N no estádio de 4 a 6 folhas. Isto demonstra que o maior fornecimento de N, no estádio inicial de crescimento da cultura, favoreceu o rendimento de grãos, provavelmente em virtude da imobilização temporária do N pelos microrganismos, na fase inicial da cultura; e com a aplicação tardia, a cultura já havia definido sua produção potencial (Mengel & Barber, 1974; Yamada, 1996). Resultados demonstrando vantagens no maior aporte de N na fase inicial também foram obtidos por Sá (1996) que, estudando os níveis de N na semeadura (0, 30 e 60 kg ha⁻¹), combinada à cobertura (0, 60 e 120 kg ha⁻¹), aplicada toda aos 35 dias da semeadura (DAS) e 50 % aos 35 DAS e o restante aos 55 DAS, observou maior produtividade de milho na dose de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura, superior à dose de 120 kg ha⁻¹ em cobertura. Ainda, a dose de 30 kg ha⁻¹ de N eliminou a deficiência inicial, graças à imobilização de N causada pela decomposição dos resíduos da aveia. Todavia, Cantarella et al. (2003) observaram que, quando se aplicou o N-fertilizante em pré-semeadura, cerca de 30 dias, não houve diferenças no rendimento de grãos, em relação à aplicação com o milho no estádio de seis folhas. A magnitude de resposta a N, pelo milho no SPD, está relacionada com uma série de variáveis, que condicionam sua dinâmica, principalmente o tipo de solo, a precipitação (Diekow et al., 1998; Basso et al., 1998) e o tipo e a quantidade de cobertura vegetal presente na área (Amado et al., 2002).

Com relação às doses de N estudadas, a máxima eficiência técnica para a produtividade de milho foi alcançada com a dose de 166 kg ha⁻¹ de N, e a máxima eficiência econômica, considerando a relação preço do N-uréia/preço do produto de 8,25/1, foi alcançada com a dose de 126 kg ha⁻¹ de N, aplicada metade na semeadura e metade no estádio de 4 a 6 folhas. O intervalo de 126 a 166 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, para a obtenção da produtividade máxima econômica e técnica, está um pouco acima do preconizado por Rajj et al. (1996), para o patamar de produtividade de 6 a 8 t ha⁻¹. Ressalta-se que as diferenças nas quantidades de N por utilizar dependem, além da produtividade esperada, do histórico da área, do sistema de manejo e da última cultura antecessora.

CONCLUSÕES

1. O teor de NH₄⁺ no solo foi superior ao de NO₃⁻, nas mesmas profundidades avaliadas, em ambos os

cultivos, e o de N total do solo foi maior na profundidade de 0,0 a 0,10 m.

2. A aplicação de metade do N na semeadura e metade no estádio de 4 a 6 folhas, metade do N na semeadura e metade no estádio 8 a 10 folhas e todo o N no estádio de 4 a 6 folhas proporcionaram maior produtividade de grãos.

3. A máxima eficiência técnica para a produtividade de milho foi alcançada com a dose de 166 kg ha⁻¹ de N, e a máxima eficiência econômica, considerando a relação preço do N/preço do produto de 8,25/1, foi alcançada com a dose de 126 kg ha⁻¹ de N, aplicada metade na semeadura e metade no estádio de 4 a 6 folhas.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pela concessão da bolsa de estudo e auxílio financeiro (Proc. 98/13753-5), e à UNESP/FEIS, pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

LITETURA CITADA

- ADDISCOTT, T.M. Tillage, mineralization and leaching. *Soil Till. Res.*, 53:163-165, 2000.
- 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.
- BASSO, C.J. & CERETTA, C.A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura no solo, sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:905-915, 2000.
- BASSO, C.J.; CERETTA, C.A. & DURINGO, R. Alternativa de manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho em sucessão a aveia preta, no sistema plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 22., Recife, 1998. Anais. Recife, Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 1998. CD-ROM.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. & MARTIN NETO, L. Efeito do sistema de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:599-607, 2000.
- BREMNER, J.M. Nitrogen-total. In: BARTELS, J.M., ed. *Methods of soil analysis. Part 3 - Chemical Methods*. Madison, 1996. p.1085-1121. (SSSA Book Series, 5)
- 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.63-146.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba, POTAFOS, 1993. p.148-196.

- CANTARELLA, H.; LERA, F.L.; BOLONHEZI, D.; LARA CABEZAS, W.A.R. & TRIVELIN, P.C.O. Antecipação de N em milho em sistema plantio direto usando 15 N-uréia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. Resumos. Ribeirão Preto, SBCS, 2003. CD-ROM.
- 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.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.C.; BAHIA, A.F.C. & GUEDES, G.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. R. Bras. Ci. Solo, 16:61-67, 1992.
- DIEKOW, J.; CERETTA, C.A. & PAVIMATTO, P. É possível antecipar toda adubação toda adubação nitrogenada do milho no sistema plantio direto? In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., Santa Maria, 1998. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.163-166.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Produção de informações; Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FANCELLI, A.L. & FAVARIN, J.L. Realidade e perspectivas para o sistema plantio direto no Estado de São Paulo. In: FANCELLI, A.L., ed., Plantio direto. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1989. p.15-34.
- 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.
- GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A. & BASSO, C.J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:153-159, 2000.
- 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.
- HERNANDEZ, F.B.T.; LEMOS FILHO, M.A.F. & BUZETTI, S. Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira. Ilha Solteira, UNESP/FEIS - Área de Hidráulica e Irrigação, 1995. 45p. (Série irrigação, 1)
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KONDÖRFER, 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. R. Bras. Ci. Solo, 21:481-487, 1997.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.
- MELLO, F.A.F.; ARZOLA, S. & KIEHL, J.C. Efeito das doses e modos de aplicação de uréia na produção de milho. R. Bras. Ci. Solo, 12:269-274, 1988.
- MENGEL, D.B. & BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. Agron. J., 66:399-402, 1974.
- MULVANEY, R.L. Nitrogen - Inorganic forms. In: BARTELS, J.M., ed. Methods of soil analysis, Part 3 - Chemical methods. Madison, 1996. p.1123-1184. (SSSA Book Series, 5)
- MUZILLI, O. Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. R. Bras. Ci. Solo, 7:95-102, 1983.
- MYERS, R.J.K.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I.U.N. & BROSSARD, M. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: WOOMER, P.L. & SWIFT, M.J., eds. The biological management of tropical soil fertility. New York, Wiley-Sayce Publication, 1994. p.81-112.
- OLIVEIRA, J.R.A.; VILELA, L. & AYARZA, M.A. Adsorção de nitrato em solos de cerrado do Distrito Federal. Pesq. Agropec. Bras., 35:1199-1205, 2000.
- PALM, C.A. & SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. Soil Biol. Biochem., 23:38-88, 1991.
- RAIJ, B. van. & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81)
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, POTAFOS, 1991. 343p.
- 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 Agronômico de Campinas, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100)
- REICOSKY, D. & LINDSTROM, M.J. Fall tillage method: effect on short carbon dioxide flux from soil. Agron. J., 85:1237-1243, 1993.
- SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. Castro, Fundação ABC, 1993. 96p.
- SÁ, J.C.M. Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto. Passo Fundo, Aldeia Norte, 1996. 24p.
- SALET, R.L.; VARGAS, L.K.; ANGHINONI, I.; KOCHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. & CONTI, E. Por que a disponibilidade de nitrogênio é menor no sistema plantio direto? In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., Passo Fundo, 1997. Anais. Passo Fundo, 1997. p.297.
- SALTON, J.C. & KICHEL, A.N. Milheto: uma alternativa para cobertura do solo e alimentação animal. R. Plantio Direto, 45:41-43, 1998.
- SAS INSTITUTE INCORPORATION. The SAS-System for Windows release 6.11 (software). Cary, 1996.
- 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, 1988.
- SIMS, A.L.; SCHEPERS, J.S.; OLSON, R.A. & POWER, J.F. Irrigated corn yield and nitrogen accumulation response in a comparison of no-till and conventional till: tillage and surface-residue variables. Agron. J., 90:630-637, 1998.

- TEIXEIRA, L.A.J.; TESTA, V.M. & MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:207-214, 1994.
- VARVEL, G.E.; SCHPERS, J.S. & FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Sci. Am. J.*, 61:1233-1239, 1997.
- VITTI, G.C.; FAVARIN, J.L.; REZENDE, L.O. & TREVISAN, N. Manejo do nitrogênio em diversos sistemas de produção. Piracicaba, SERRANA, 1999. 36p.
- YAMADA, T. Adubação nitrogenada do milho: quanto, como e quando aplicar. Piracicaba, POTAFOS, 1996. 5p. (Informações Agronômicas, 74)