

Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em milho cultivado com diferentes doses de ^{15}N -uréia

Phytomass production and nitrogen accumulation in maize cultivated with different doses of ^{15}N -urea

Glauber José de Castro Gava^{1*}; Mauro Wagner de Oliveira²;
Marcelo de Almeida Silva³; Elisangela Marques Jerônimo⁴;
Juliana Cristina Sodário Cruz⁵; Paulo Cesar Ocheuze Trivelin⁶

Resumo

O objetivo deste trabalho foi verificar possíveis alterações na produtividade, no acúmulo de fitomassa vegetal e da eficiência de utilização de nitrogênio no milho, cultivado com diferentes doses de N-fertilizante, utilizando-se a técnica de diluição isotópica com ^{15}N . O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com 5 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos das seguintes doses de nitrogênio em cobertura: 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia. Foram realizadas comparações entre os tratamentos, da produtividade da cultura; da acumulação de nitrogênio pela parte aérea; da utilização do nitrogênio da uréia- ^{15}N pela cultura. A elevação da dose de N-fertilizante resultou no aumento da massa de matéria seca, na taxa de produção de matéria seca da cultura, da produtividade e acúmulo de N nas plantas de milho.

Palavras-chave: *Zea mays*, adubação nitrogenada, técnica isotópica

Abstract

This work aimed to study the possible alterations in production, accumulation of the vegetative phytomass and nitrogen efficiency use of the maize crop, in different doses of N applied in the fertilization, by using the technique of isotopic dilution of ^{15}N . The completely randomized block experimental design was adopted, with 5 treatments and 4 replicates. The following treatments were constituted in the doses in covering: 0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹ of N, with fertilization of N-urea, respectively. Comparisons among the treatments had been run for crop productivity; nitrogen accumulation for the plant, and use of the nitrogen of the urea- ^{15}N for the crop. The increase of the dose of N-fertilizer resulted in increase of the dry matter mass, of the dry matter yield crop tax, of the productivity and accumulation of N in the maize plants.

Key words: *Zea mays*, nitrogen fertilizer, isotope technique

¹ Pesquisador. Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Pólo Centro Oeste, CEP 17201-970 Jaú, SP, Brasil. E-mail: ggava@apta.sp.gov.br

² Professor, Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, AL, Brasil. Rua Mal. A. A. Câmara, 101/202, Stella Mares, Maceió, Alagoas, 57.036-660. E-mail: mwagner@ceca.ufal.br

³ Pesquisador. Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Pólo Centro Oeste, CEP 17201-970 Jaú, SP, Brasil. E-mail: marcelosilva@apta.sp.gov.br

⁴ Pesquisadora. Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Pólo Centro Oeste, CEP 17201-970 Jaú, SP, Brasil. E-mail: elijeronimo@apta.sp.gov.br

⁵ Pesquisadora. Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Pólo Centro Oeste, CEP 17201-970 Jaú, SP, Brasil. E-mail: cruzjcs@apta.sp.gov.br

⁶ Professor. Universidade de São Paulo (USP), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Cena, Lab. de Isótopos Estáveis, Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba, SP. E-mail: pcotrive@cena.usp.br

* Autor para correspondência

Introdução

O rendimento de uma cultura é dependente de vários fatores, bióticos, abióticos e do genótipo. Entre os fatores abióticos (água, luz, radiação, nutrientes, concentração do CO₂ na atmosfera, além de outros) os nutrientes podem ser manejados com relativa facilidade. Dentre os, nutrientes o nitrogênio destaca-se como o nutriente absorvido em maior quantidade pelo milho, e que influencia no rendimento de grão principalmente por ele estar relacionado aos mais importantes processos fisiológicos que ocorrem na planta, tais como: fotossíntese, respiração, desenvolvimento e atividade das raízes, absorção iônica de outros nutrientes, crescimento e diferenciação celular e genética. É o elemento constituinte essencial dos aminoácidos, principais integrantes de proteínas e como a formação dos grãos depende de proteína na planta, a produção de milho esta diretamente relacionada com o suprimento de N (YAMADA, 1997).

A otimização da produtividade de milho depende, entre outros fatores, da eficiência de fixação e canalização de C e N na planta e da transformação desses elementos em compostos de reserva que posteriormente serão translocados para os grãos (BELOW et al., 1985; TA; WEILAND, 1992; HIREL et al., 2001). Aumentar a eficiência por meio da manipulação desses processos pode ser um meio de melhorar a produtividade da cultura. Entretanto, os caminhos para se obter genótipos mais eficientes na utilização do N são bastante complexos, pois o metabolismo do N é influenciado por diversos fatores ambientais (HIREL et al., 2001; MAJEROWICZ et al., 2002).

Vários trabalhos científicos têm constatado o aumento da produtividade na cultura do milho com a elevação da dose de N-fertilizante aplicado, isto devido principalmente ao aumento da produção de fitomassa que conseqüentemente proporciona maior acúmulo de N na planta (LEEG et al., 1979; TIMMONS; BAKER, 1991; MENELIK; RENEAU;

MARTENS, 1994; JOKELA; RANDALL, 1997; ROZAS et al., 1999; SILVA et al., 2003). Porém, existem estudos em que o efeito de doses de N-fertilizante não foi constatado (KITUR et al., 1984; TIMMONS; BAKER, 1992; LIANG; MACKENZIE, 1994).

Cultivares de milho de elevada produtividade demandam altas quantidades de N e dependendo do cultivar considerado e das condições edafoclimáticas de cada região produtora o acúmulo de N na parte aérea pode alcançar valores entre 150 a 350 kg ha⁻¹ (LEEG et al., 1979; HARPER; SHARPE, 1995; VASCONCELLOS; VIANA; FERREIRA, 1998; ROZAS et al., 1999; GAVA et al., 2000; GAVA et al., 2006). Rozas et al. (1999) estudaram a influencia de diferentes doses de N-fertilizante (0, 70, e 210 kg ha⁻¹) em semeadura direta durante duas safras consecutivas na cultura do milho e verificaram um acúmulo de N na planta de 98, 140, 218 kg ha⁻¹ e uma produtividade de 6.710, 9.279 e 10.907 kg ha⁻¹ de grãos.

Atualmente a técnica mais utilizada para se determinar o destino de N-fertilizante nos diversos agroecossistemas em que se cultiva o milho é a do isótopo ¹⁵N. O emprego deste método visa determinar e eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) na cultura do milho em várias localizações geográficas e condições climáticas, porem dos vários resultados obtidos verifica-se que há uma grande variação na determinação da EUFN pela cultura do milho, de 10 a 65% do N aplicado (KITUR et al., 1984; TIMMONS; CRUSE, 1990; TIMMONS; BAKER, 1991; TIMMONS; BAKER, 1992; LARA CABEZAS et al., 2000; CANTARELLA et al., 2003; SILVA et al., 2003; GAVA et al., 2006).

Segundo Hauck (1973) as variações verificadas em experimentos que utilizam a técnica com ¹⁵N ocorreram em função não apenas do tipo de solo, espécie de planta, estação de ano, regime pluviométrico, qualidade e tipo do fertilizante empregado, mas também pela técnica experimental aplicada. Por exemplo, o N recuperado em

experimentos realizados em vasos na casa-de-vegetação possui média levemente superior que o recuperado em lisímetro, e que a EUFN decresce na medida que se aumenta a dose de N-fertilizante aplicado (TIMMONS; BAKER, 1992; LIANG; MACKENZIE, 1994; SILVA et al., 2003).

Quantidades muito baixas de EUFN, geralmente estão associadas às condições adversas de clima, no caso de secas, ou em condições de impedimento da absorção do fertilizante nitrogenado pelas plantas quando existe excessiva quantidade de precipitação ou irrigação, causando perdas consideráveis de N-fertilizante por meio da desnitrificação e da lixiviação (TORBERT et al. 1992). Segundo Lara Cabezas et al. (2000) a baixa EUFN pelas culturas muitas vezes está relacionada a quatro processos que atuam simultaneamente e podem ser classificados em: perdas de volatilização de amônia e desnitrificação, o escoamento superficial, a lixiviação e a imobilização microbiana.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar possíveis alterações na produtividade, no acúmulo de fitomassa vegetal e da eficiência de utilização de nitrogênio no milho, cultivado com diferentes doses de N-fertilizante, utilizando-se a técnica de diluição isotópica com ¹⁵N.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Água Sumida, próximo ao município de Barra Bonita, SP. Localizada nas coordenadas geográficas de 18° 55' S, e 48° 17' W, e altitude de 480 metros.

Antes da instalação do experimento, foram realizadas amostragens de solo ao acaso na profundidade de 0-20 cm sendo os resultados expressos em: pH (CaCl₂) 4,8; matéria orgânica 33,0 mg dm⁻³; P (resina) 50,0 mg dm⁻³; H + Al de 34,0 mmol_c dm⁻³; K 7,7 mmol_c dm⁻³; Ca 34,0 mmol_c dm⁻³; Mg 12,0 mmol_c dm⁻³; V de 61% e uma composição em areia, silte e argila de 360, 140 e 500 g kg⁻¹, respectivamente. O solo da área experimental foi

classificado como Nitossolo Vermelho eutroférico (EMBRAPA, 1997), textura argilosa.

O experimento teve duração de 140 dias. Nesse período, os valores das temperaturas máxima e mínima registradas foram, respectivamente, de 31 e 19°C, e a precipitação no período totalizou 469 mm.

A data de semeadura foi 20 de dezembro de 2000 a cultivar de milho utilizada foi o Ag-5011, híbrido simples. Cada parcela experimental tinha uma área de 81 m², contendo seis linhas de milho de 15 m de comprimento com espaçamento entre as linhas de 0,9 m e entre plantas de 0,2 m. A área útil para estimar a produtividade de grãos foi composta de quatro segmentos de linhas centrais de 10 m de comprimento, totalizando 36 m². Em cada parcela, foi instalada uma microparcela que recebeu a uréia marcada com ¹⁵N. Cada microparcela possuía dois segmentos de linha de 1,5 m de comprimento (1,5 m x 1,8 m), sendo a área útil de amostragens de plantas restrita ao 1 m central em ambas as linhas, considerando-se 0,25 m como bordadura nas extremidades.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com 5 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos das seguintes doses de nitrogênio em cobertura: 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N sendo que a fonte utilizada foi N-uréia. A fertilização nitrogenada de cobertura foi efetuada aos 33 DAE (dias após a emergência). A uréia foi aplicada em sulcos com 10 cm de profundidade, distante 45 cm de cada lado da linha de milho, sendo o fertilizante coberto com solo após a aplicação. Nas microparcelas, a uréia aplicada apresentava uma abundância de 4,387 % em átomos de ¹⁵N. Todos os tratamentos receberam adubação de semeadura de 25 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 60 kg ha⁻¹ de K₂O como cloreto de potássio.

Ao longo do ciclo da cultura foram efetuadas cinco amostragens da biomassa da parte aérea da planta, nos períodos de: 12 dia após a emergência

(DAE), (16 de janeiro de 2001); no 32 DAE (5 de fevereiro de 2001); aos 50 DAE (23 de fevereiro de 2001); no 81 DAE (26 de março de 2001,) e aos 131 DAE (15 de maio de 2001).

Em cada coleta quatro plantas (parte aérea) por parcela foram colhidas, rente ao solo e levados para o laboratório para secagem das plantas, no qual foi realizada em estufa de circulação de ar forçada a 65°C, até massa constante e após pesadas para determinação da biomassa seca. A estimativa da produção média de biomassa seca foi transformada para kg ha⁻¹ tendo como parâmetro uma densidade final de plantas de 55.555 por hectare. Após foram ajustadas curvas sigmóides do acúmulo de biomassa seca e calculada a taxa de produção de matéria seca (TPMS), segundo Lucchesi (1984).

No período de 15 de maio a 3 de junho de 2001 foi realizada a colheita final do experimento. Primeiro, colheu-se os grãos da área útil de cada parcela para determinar a produtividade. Em seguida, coletou-se a parte aérea de dez plantas da área útil das microparcels com uréia-¹⁵N. Essas plantas foram separadas em amostras de colmo (C), folhas (F), grãos (G), sabugo mais a palha (S+P) e pendão (P), determinando-se a matéria seca, o teor de nitrogênio (g kg⁻¹) e a abundância de ¹⁵N (% em átomos) por espectrometria de massas (BARRIE; PROSSER, 1996).

Com os resultados de abundância isotópica de N (% em átomos de ¹⁵N), das amostras de parte aérea do milho na colheita final da safra, foram calculados o N na planta proveniente do fertilizante (NPPF) e a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN), por meio das equações 1, 2 e 3.

$$\text{NPPF (\%)} = (a / b) * 100 \quad (1)$$

$$\text{NPPF (kg ha}^{-1}\text{)} = [2 * \text{NPPF(\%)} / 100] * \text{NT (kg ha}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

$$\text{EUFN (\%)} = [\text{NPPF(kg ha}^{-1}\text{)} / \text{NF(kg ha}^{-1}\text{)}] * 100 \quad (3)$$

significando: a e b as abundâncias de ¹⁵N (% em átomos em excesso) na planta e no fertilizante, respectivamente; NT é o nitrogênio total acumulado na planta de milho (kg ha⁻¹); NF é a dose de

N-fertilizante (kg ha⁻¹); NPPF é nitrogênio na planta proveniente do fertilizante; EUFN é a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado.

Todos os resultados foram transformados para uma densidade de 55.555 plantas de milho por hectare.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e de Tukey a 5% de probabilidade. Os efeitos das doses de N na produtividade de grãos, foram avaliados por regressão.

Resultados e Discussão

Análise quantitativa do acúmulo de fitomassa em diferentes estádios fisiológicos da cultura do milho

O acúmulo de matéria seca na parte aérea do milho, em todos os tratamentos, apresentou uma forma sigmóide (Figura 1). Resultados com a mesma tendência foi constatado por Goldsworthy e Colegrove (1974a) e essas curvas obtidas mostraram que o acúmulo de biomassa seca aumentou com a adubação nitrogenada. A biomassa seca da planta é afetada pelo teor de N disponível, que é constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucléicos fitocromos e da clorofila, além de afetar as taxas de iniciação e de expansão foliar, o tamanho final e intensidade de senescência foliar (SCHRÖDER et al., 2000).

Quanto ao acúmulo de massa de matéria seca de um vegetal, na maioria dos casos, observam-se as três fases de ontogênese na planta (MAGALHÃES, 1979). Os valores obtidos da acumulação de matéria seca total média, para os cinco tratamentos avaliados, também representam essas três fases de desenvolvimento do vegetal. Na figura 1, observa-se que a primeira fase de desenvolvimento foi de 0 aos 20 DAE, sendo que o crescimento nesta época foi lento e a planta acumulou cerca de 2% de sua matéria seca total da parte aérea. A segunda fase de desenvolvimento ocorreu no período de 20 à 90 DAE, quando a parte aérea da planta apresentou uma

velocidade de crescimento elevada, sendo que neste intervalo houve acúmulo de 91% da matéria seca. A terceira fase, caracterizada como fase de maturação, ocorreu dos 90 aos 140 DAE, acumulando 7% da sua matéria seca na parte aérea.

As diferentes fases de acúmulo de matéria seca, caracterizadas neste experimento ficaram semelhantes às definidas por Magalhães, (1979), primeiro por uma fase inicial em que o crescimento é lento, seguida de uma fase de crescimento rápido, no qual 80 a 90% de toda matéria seca é acumulada, e de uma fase final em que o crescimento torna-se novamente lento, acumulando cerca de 7 a 9% da matéria seca total.

Verifica-se na figura 1, que o a aplicação das diferentes doses de N-fertilizante provocou uma alteração na velocidade e na quantidade final de acúmulo de biomassa seca da curva de crescimento sigmóide: $Y = Y_{\max} / (1 + (\text{DAE} / A)^{-B})$. Para

os tratamentos 0 e 50 kg ha⁻¹ de N aplicados em cobertura observa-se uma assíntota horizontal (Y_{max}), média de 12 Mg ha⁻¹ e uma constante de crescimento (-B) módulo de 3,6. Para os demais tratamentos 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N, verifica-se uma assíntota horizontal (Y_{max}), média de 15 Mg ha⁻¹ e uma constante de crescimento (-B) módulo de 4,6.

O comportamento da taxa de produção de matéria seca (TPMS) no decorrer do desenvolvimento da cultura e de acordo com as doses de nitrogênio aplicadas está representado na figura 2. O conjunto de resultados da TPMS, em função do tempo apresentou uma curva com formato de sino, para todos os tratamentos. Observa-se que a TPMS foi baixa no início do ciclo, aumentou rapidamente até atingir um valor máximo, para em seguida decrescer. Esse comportamento foi semelhante ao obtidos por Goldsworthy e Colegrove (1974a) e Goldsworthy, Palmer e Sperling (1974b) na cultura do milho.

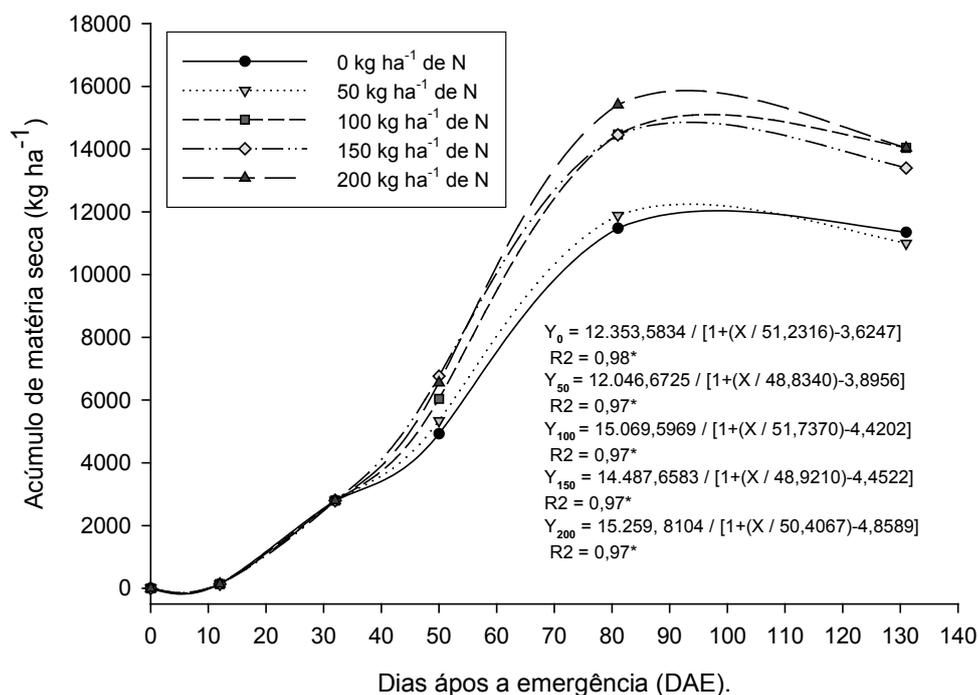


Figura 1. Acúmulo de matéria seca e equações ajustadas em diferentes estádios de crescimento do milho, nos tratamentos. * Significativo (p < 0,05).

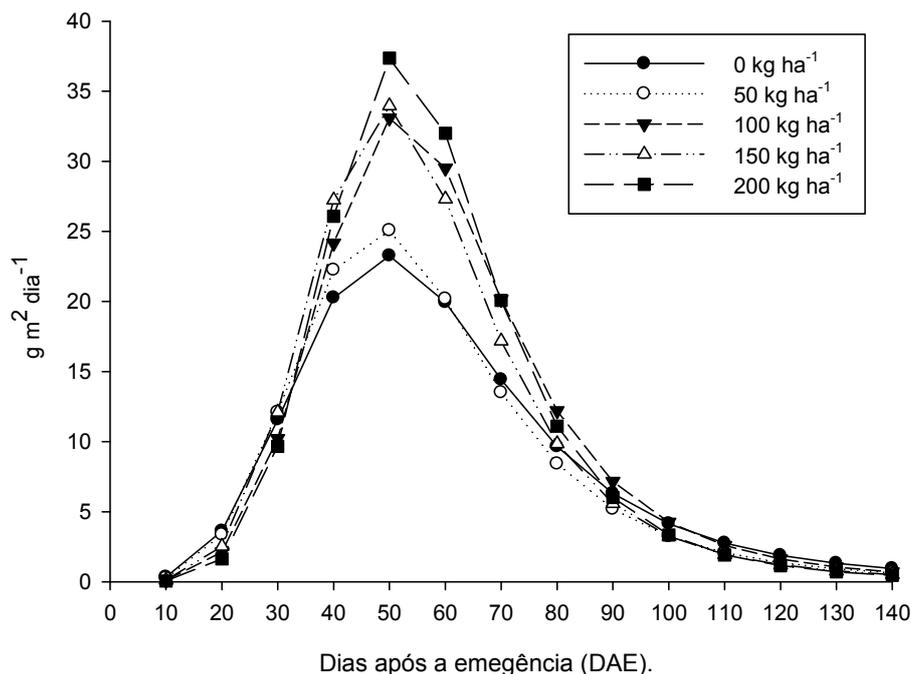


Figura 2. Taxa de produção da matéria seca da parte aérea do milho em diferentes estádios de crescimento.

A taxa de produção de matéria seca pela cultura (TPMS) foi obtida pela derivada da matéria seca em relação ao tempo, tais valores de TPMS foram compatíveis com aqueles encontrados por Silva et al. (1974) e dentro do intervalo de 25 a 53 g m⁻² dia⁻¹ relatado por Fischer e Palmer (1980) para a cultura do milho em diversas condições climáticas.

A máxima TPMS ocorreu próxima dos 46 DAE em todos os tratamentos. Para a dose de 0 kg ha⁻¹ de N a TPMS máxima foi de 23,3 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 8,6 g m⁻² dia⁻¹; na dose de 50 kg ha⁻¹ de N a TPMS máxima foi de 25,1 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 8,5 g m⁻² dia⁻¹; para 100 kg ha⁻¹ de N a TPMS máxima foi de 33,1 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 10,6 g m⁻² dia⁻¹; na dose de 150 kg ha⁻¹ de N a TPMS máxima foi de 34,0 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 10,3 g m⁻² dia⁻¹ e na dose de 200 kg ha⁻¹ de N a TPMS máxima foi de 37,4 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 10,8 g m⁻² dia⁻¹.

Guissem et al. (2002) verificaram que os maiores valores de incremento de biomassa seca por planta foi entre 35 a 48 dias após a emergência, estes resultados coincidem com o deste trabalho, pois

observa-se nas figuras 1 e 2, que em torno de 46 dias ocorreu um maior incremento de matéria seca da parte aérea da planta por dia.

Verifica-se que a TPMS máxima e média elevou-se à medida que a dose de N-fertilizante foi aumentada, sendo respectivamente 60 e 26 % maiores na dose de 200 kg ha⁻¹ de N, comparando-se com a testemunha sem aplicação de N-fertilizante em cobertura. A TPMS é um parâmetro importante porque demonstra o incremento de matéria seca por unidade de área e por unidade de tempo, sendo classificada por Lucchesi (1984) como produtividade primária líquida.

Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio na parte aérea do milho submetido a diferentes doses de ¹⁵N-uréia

Na colheita final (Tabela 1), a produção de material seco do colmo, pendão e sabugo mais palha não se mostrou diferente entre os tratamentos, mas para folhas, grãos e parte aérea do milho, ocorreram

diferenças de acúmulo de material seco, sendo que os maiores valores de produção da parte aérea do milho ocorreram nas doses de 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N, média de 13.823 kg ha⁻¹ e os menores valores em 0 e 50 kg ha⁻¹ de N, sendo de 11.170 kg ha⁻¹.

Quanto à quantidade de N acumulado nas partes das plantas estudadas (Tabela 1), apenas no sabugo+palha e no pendão, é que as doses de N estudadas não diferiram estatisticamente. Para

as quantidades de N acumulado nas folhas, grãos, e parte aérea da planta, observa-se que a dose de 100 kg ha⁻¹ de N diferiu estatisticamente da dose de 0 e 50 kg ha⁻¹ de N e que esta dose apesar de não diferir estatisticamente das doses de 150 e 200 kg ha⁻¹ de N, esta apresentou os maiores valores de N acumulados, com valores de 32, 131 e 186 kg ha⁻¹ de N respectivamente para folhas, grãos e parte aérea da planta.

Tabela 1. Massa de matéria seca, N acumulado, nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) e eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado na parte aérea de plantas de milho (EUFN) na colheita final, safra 2000/2001*.

Parte da planta	Dose de nitrogênio	Material seco	N acumulado		
			(kg ha ⁻¹)	NPPF	EUFN
		-----			-----(%)----
Colmo	0	2.009 ±441a	7,0 ±1,8c	--	--
	50	2.014 ±215a	9,9 ± 2,8bc	1,1 ± 0,3c	2,1 ±0,7a
	100	2.386 ±232a	13,6 ±2,9ab	2,9 ±1,0b	2,9 ±1,0a
	150	2.317 ±388a	14,5 ±3,3ab	4,4 ±1,4a	2,9 ±1,0a
	200	2.307 ±157a	16,8 ±1,6a	3,3 ±0,9a	1,7 ±0,5a
Folha	0	1.998 ±246b	18,3 ±3,5c	--	--
	50	2.127 ±205a b	22,3 ± 4,9bc	1,9 ±0,7b	3,9 ±1,4ab
	100	2.502 ±217a	31,9 ±4,2a	4,2 ±0,8a	4,2 ±0,8a
	150	2.282 ±130ab	26,9 ±1,9abc	4,6 ±0,6a	3,0 ±0,4ab
	200	2.496 ±275ab	30,8 ±3,2ab	4,0 ±0,5a	2,0 ±0,2b
Sabugo e palha	0	1.715 ±335a	8,6 ±1,0a	--	--
	50	1.692 ±228a	8,6 ± 2,6a	1,5 ±0,2b	2,9 ±0,3a
	100	2.199 ±281a	8,3 ±1,7a	2,4 ±0,8ab	2,4 ±0,8ab
	150	2.069 ±210a	9,0 ±1,6a	2,9 ±0,8a	2,0 ±0,6bc
	200	2.178 ±210a	9,0 ±0,4a	2,3 ±0,2ab	1,1 ±0,1c
Pendão	0	139 ±13a	1,3 ±0,2b	--	--
	50	148 ±8a	1,4 ± 0,2b	0,2 ±0,1a	0,3 ±0,1a
	100	138 ±19a	1,4 ±0,2b	0,2 ±0,1a	0,2 ±0,1a
	150	157 ±22a	1,7 ±0,3ab	0,3 ±0,1a	0,2 ±0,0a
	200	173 ±13a	2,0 ±0,2a	0,3 ±0,1a	0,2 ±0,1a
Grãos	0	5.488 ±541b	91,9 ±13,3b	--	--
	50	5.012 ±513b	92,1 ± 15,6b	15,2 ±2,7b	30,3 ±5,4a
	100	6.816 ±304a	131,1 ±12,7a	33,8 ±10,7a	33,8 ±10,7a
	150	6.571 ±194a	121,2 ±4,2a	39,5 ±9,6a	26,3 ±6,4ab
	200	6.877 ±219a	124,8 ±3,3a	28,0 ±3,1a	14,0 ±1,5b

	0	11.347 _{±818b}	127,0 _{±17,9c}	--	--
	50	10.993 _{±312b}	134,4 _{± 25,1bc}	19,8 _{±3,5b}	39,6 _{±7,1a}
	100	14.041 _{±135a}	186,3 _{±20,2a}	43,4 _{±3,1a}	43,4 _{±3,1a}
Parte aérea	150	13.396 _{±521a}	173,3 _{±6,0ab}	51,7 _{±8,2a}	34,5 _{±8,1ab}
	200	14.032 _{±532a}	183,4 _{±11,6a}	37,9 _{±4,1a}	19,0 _{±2,1b}

*Médias e desvio padrão da média de quatro repetições. As médias entre tratamentos de uma mesma parte da planta seguidas de letras distintas diferem significativamente pelo teste Tukey ($p = 0,05$).

Os valores encontrados de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) mostraram que independente das partes da planta estudada a dose de 150 kg ha⁻¹ de N foi a que apresentou maiores valores, porém não diferindo estatisticamente das doses de 100 e 200 kg ha⁻¹ de N. A quantidade do N-fertilizante na parte aérea do milho nas doses de 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N, foi respectivamente, de 20, 43, 52 e 38 kg ha⁻¹, representando cerca de 15, 23, 30 e 21% do total de N acumulado na parte aérea do milho. Estes valores mostraram-se concordantes com os de 31% obtido por Coelho et al. (1991), ao de Lara Cabezas et al. (2000), de aproximadamente 24%; Duete (2000) obteve 28% e Cantarella et al. (2003) que observaram valores de 18 a 28% do total de N acumulado na parte aérea, proveio do fertilizante.

Em média, 22% do N total acumulado na parte aérea do milho proveio da fonte fertilizante e 78% veio de outras fontes. Este fato demonstra que em condições variadas de solo, clima e genótipo de milho, o nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) pode representar uma pequena fração do nitrogênio total (N-total) acumulado na parte aérea da cultura. Infere-se, portanto que o potencial de mineralização do N-orgânico do solo constitui-se de uma importante fonte de N para a planta (SAMPAIO et. al., 1990), sendo que em muitas vezes esse nitrogênio orgânico contido no solo exerce uma grande influência nos valores de NPPF obtidos em experimentos de campo (TORBERT et al., 1992; LIANG; MACKENZIE, 1994).

A distribuição do N acumulado, nas diferentes partes da parte aérea do milho, foi semelhante em

todos os tratamentos. Em média, 70% do N total alocou-se nos grãos e 30% no restante da parte aérea, sendo que o NPPF apresentou um padrão de distribuição um pouco superior ao do N total acumulado na parte aérea da planta. Distribuição semelhante a essa foi obtido por Duete (2000) e Gava et al. (2006). Os resultados deste experimento e os encontrados em literatura evidenciam que o maior dreno de N na planta localiza-se nos grãos e que grande quantidade do nitrogênio das partes vegetativas da planta translocou-se até os grãos, onde foi acumulado, fazendo parte de aminoácidos e proteínas na formação do mesmo (TA; WEILAND, 1992).

Os valores de EUFN entre as doses estudadas foram de 40, 43 e 34 e 19%, nas doses de 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. O valor médio da EUFN foi de 34%, semelhante aos obtidos por Liang e Mackenzie (1994), que variaram de 40 a 26% nas respectivas doses de 170 e 400 kg ha⁻¹ de N, aos de Timmons e Baker (1992), variando de 57 a 36% nas doses de 125 e 200 kg ha⁻¹ de N, e aos de Sanchez e Blackmer (1988), que variou de 41 a 31% nas respectivas doses de 112 e 224 kg ha⁻¹ de N, considerando-se as diferentes condições edafoclimáticas a que foi submetida a cultura e da forma de aplicação do N-fertilizante.

Diversos estudos realizados com milho mostraram grande variação na determinação da EUFN sendo que essa variação segundo Hauck (1973) e Torbert et al. (1992), ocorrem principalmente, em função do tipo de solo, condições climáticas, qualidade e tipo do fertilizante.

De maneira geral, observa-se que as maiores doses de N, aumentaram a quantidade de NPPF (200, 150 e 100 kg ha⁻¹ de N-fertilizante, média de 44 kg ha⁻¹ de N), em relação a menor dose (50 kg ha⁻¹ de N-fertilizante, de 19,8 kg de N ha⁻¹). Já a EUFN apresenta um comportamento oposto, diminuindo na maior dose 200 kg ha⁻¹ de N, média de 19% e aumentando nas menores doses 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N, média de 40%. Comportamento semelhante a este foi obtido na maioria dos relatos científicos encontrados na literatura, que utilizaram diferentes doses de ^{15}N , tanto em semeadura direta (LEEG et al., 1979; TIMMONS; BAKER 1992; SILVA et al., 2003), como no plantio convencional (LIANG; MACKENZIE, 1994; JOKELA; RANDALL, 1997; DUETE, 2000). Segundo os autores citados no parágrafo anterior, em maiores doses de N-fertilizante o NPPF, se eleva porque existe uma maior quantidade de N, prontamente disponível para planta. Entretanto essa maior quantidade de N do fertilizante disponível no sistema para planta pode ser perdida, pelos processos de volatilização, lixiviação, desnitrificação, resultando em uma menor EUFN.

O índice de colheita (IC), fração dos grãos produzidos em relação ao material seco da parte aérea da planta, constitui-se em um índice que pode ser empregado para avaliação de genótipos submetidos a diferentes tipos de tratamentos e em condições diferentes de clima. Este índice permite identificar a habilidade de um cultivar em combinar elevada capacidade de produção total e de destinar a matéria seca acumulada para componentes de interesse econômico, neste caso a produção de grãos (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000). Segundo esses mesmos autores o IC pode variar de 0,60 para cultivares de alta produtividade a 0,10 para cultivares de baixa produtividade.

Os índices de colheita (IC) verificados na tabela 1, foram de: 0,48, 0,45, 0,48, 0,49 e 0,49, respectivamente, para os tratamentos 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N. Considerados todos os tratamento,

a média foi de 0,48. Resultados concordantes com deste trabalho foram obtidos por Lara Cabezas et al. (2000), de aproximadamente 0,54; Coelho et al. (1991) que obtiveram 0,46; Liang e Mackenzie (1994) observaram valores de 0,41 a 0,62 e Timmons e Cruse (1990) verificaram valores de 0,27 a 0,46 no estágio fenológico de maturação fisiológica. Tanto Timmons e Cruse (1990) em semeadura direta, como Liang e Mackenzie (1994), constataram uma forte interação entre o IC com as condições climáticas vigentes no ano agrícola. Relataram que o baixo IC foi obtido nos anos agrícolas em que ocorreu estresse nas plantas, causado por condições climáticas adversas, geralmente falta de água.

Estimativa da produtividade de grãos de milho em diferentes doses de N-uréia

Com relação às doses de N estudadas na semeadura direta, houve resposta significativa da produtividade de grãos com as diferentes doses de N-fertilizante (Figura 3), sendo observado produtividades de 5.012 a 6.877 kg ha⁻¹ de grãos.

A dose de nitrogênio que proporcionou valores máximos de massa dos grãos (6.877 kg ha⁻¹) foi de 200 kg ha⁻¹ de N aplicados em cobertura.

A produtividade média de grãos do tratamento que não recebeu N-fertilizante em cobertura foi de 5.488 kg ha⁻¹, acima da média nacional, que é 3.272 kg ha⁻¹ (COELHO; CRUZ; PEREIRA FILHO, 2003), evidenciando que o solo possuía capacidade satisfatória de suprimento de N assim como dos demais nutrientes essenciais.

O aumento do rendimento de grãos (Figura 3) em função do incremento nas doses de N pode ter sido determinado, principalmente, pelas diferenças no período efetivo de enchimento dos grãos, à semelhança dos obtidos por Lemcoff e Loomis (1986). No presente trabalho, aos 100 dias após a emergência, observou-se, nas parcelas que não receberam o N em cobertura ou naquelas com doses

mais baixas, que as folhas inferiores e a palha da espiga apresentavam-se bem secas, enquanto nas parcelas com doses a partir de 100 kg ha⁻¹ de N,

as plantas estavam bem mais verdes, prolongando o período de translocação de açúcares e N para os grãos e aumentando a sua massa final.

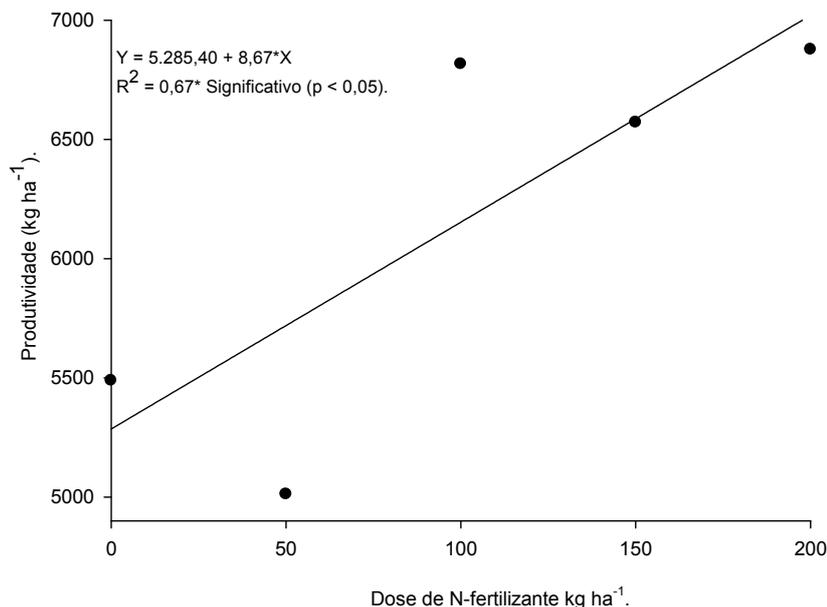


Figura 3. Produtividade de grãos de milho (kg ha⁻¹) em função das doses de N (kg ha⁻¹) aplicadas no cultivo do milho em semeadura direta.

Conclusões

A elevação da dose de N-fertilizante promoveu aumento da massa de matéria seca, na taxa de produção de matéria seca da cultura, da produtividade e acúmulo de N nas plantas de milho.

Maiores doses de N, aumentaram a quantidade de nitrogênio da planta proveniente do fertilizante, já a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) apresentou um comportamento oposto, diminuindo em maiores doses.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (processo 99/06986-6) pelo apoio financeiro.

Referências

- BARRIE, A.; PROSSER, S. J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T. W.; YAMASAKI, S. (Ed.). *Mass spectrometry of soils*. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 1-46.
- BELOW, F. E.; CRAFTS-BRANDNER, S. J.; HARPER, J. E.; HAGEMAN, R. H. Uptake, distribution, and remobilization of ¹⁵N-labeled urea applied to maize canopies. *Agronomy Journal*, Madison, v. 77, n. 3, p. 412-415, 1985.
- 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: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. *Resumos...* Ribeirão Preto: SBCS, 2003. CD-ROM.
- COELHO, A. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Rendimento do milho no Brasil: chegamos ao máximo? *Informações Agronômicas*, Piracicaba, v. 101, p. 1-12, 2003. Encarte Técnico.

- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA, 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*, Viçosa, MG, v. 15, n. 2, p. 187-193, 1991.
- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. *Produção de milho*. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.
- DUETE, R. R. C. Estudo de doses, parcelamento e formas de nitrogênio na adubação de milho usando ¹⁵N. Piracicaba, 2000. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo, Piracicaba..
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análises de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.
- GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; HEINRICH, R.; SILVA, M. A. Balanço do nitrogênio da uréia (¹⁵N) no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta na cultura do milho. *Bragantia*, Campinas, v. 65, n. 3, p. 477-486, 2006.
- GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; NICOLELLA, A. C. Acumulação e distribuição do sulfato de amônio (¹⁵N) na cultura do milho, aplicado no solo em diferentes épocas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2000, Uberlândia. *Resumos...* Uberlândia, 2000. CD-ROM.
- GOLDSWORTHY, P. R.; COLEGROVE, M. L. Growth and yield of highland maize in Mexico. *Journal of Agricultural Science*, México, v. 83, n. 2, p. 213-221, oct., 1974a.
- GOLDSWORTHY, P. R.; PALMER, F. E.; SPERLING, D. W. Growth and yield of lowland tropical maize in Mexico. *Journal of Agricultural Science*, México, v. 83, n. 2, p. 223-230, oct., 1974b.
- GUISCHEM, J. M.; SANS, L. M. A.; MAGALHÃES, P. C.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Crescimento e desenvolvimento de cultivares de milho (*Zea mays* L.) no plantio de “safrinha”. In: CONGRESSO NACIONAL DO MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. *Resumos...* Florianópolis: SBMS, 2002. CD-ROM.
- HARPER, L. H.; SHARPE, R. R. Nitrogen dynamics in irrigated corn: soil-plant nitrogen and atmospheric ammonia transport. *Agronomy Journal*, Madison, v. 87, n. 4, p. 669-675, 1995.
- HAUCK, R. D. Nitrogen tracers in nitrogen cycle studies-past use and future needs. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 2, n. 3, p. 317-327, 1973.
- HIREL, B.; BERTIN, P.; QUILLERÉ, I.; BOURDONCLE, W.; ATTAGNANT, C.; DELLAY, C.; GOUY, A.; CADIOU, S.; RETAILLIAU, C.; FALQUE, M.; GALLAIS, A. Towards a better understanding of the genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. *Plant Physiology*, Sofia, v. 125, n. 3, p. 1258-1270, 2001.
- JOKELA, W. E.; RANDALL, G. W. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time rate of application on corn. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 61, n. 6, p. 1695-1703, 1997.
- KITUR, B. K.; SMITH, M. S.; BLEVINS, R. L.; FRYE, W. W. Fate of N-15-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage maize. *Agronomy Journal*, Madison, v. 76, n. 2, p. 240-242, 1984.
- 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 (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 363-376, 2000.
- LEEG, J. O.; STANFORD, G.; BENNETT, O. L. Utilization of labeled-nitrogen fertilizer by silage corn under conventional and no-till culture. *Agronomy Journal*, Madison, v. 71, n. 6, p. 1009-1015, 1979.
- LEMCOFF, J. H.; LOOMIS, R. S. Nitrogen influences on yield determination in maize. *Crop Science*, Madison, v. 26, n. 5, p. 1017-1022, 1986.
- LIANG, B. C.; MACKENZIE, A. F. Corn yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency as influenced by nitrogen fertilization. *Canadian Journal of Soil Science*, Manitoba, v. 74, n. 2, p. 235-240, 1994.
- LUCCHESI, A. A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. *Anais da escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”*, Piracicaba, v. 41, n. 1, p. 181-201, 1984.
- MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. (Ed.). *Fisiologia vegetal*. São Paulo: EDUSP, 1979. v. 1, p. 331-349.
- MAJEROWICZ, N.; PEREIRA, J. M. S.; MEDICI, L. O.; PEREIRA, O. B. M. B.; SANTOS JÚNIOR, U. M. Estudo da eficiência de uso do nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho. *Revista Brasileira Botânica*, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 129-136, 2002.
- MENELIK, G.; RENEAU, R. B.; MARTENS, D. C. Corn yield nitrogen uptake as influenced by tillage and applied nitrogen. *Journal of Plant Nutrition*, London, v. 17, n. 6, p. 911-931, 1994.

- ROZAS, H. S.; ECHEVERRÍA, H. E.; STUDDERT, G. A.; ANDRADE, F. H. No-till maize nitrogen uptake and yield: effect of urease inhibitor and application time. *Agronomy Journal*, Madison, v. 91, n. 6, p. 950-955, 1999.
- SAMPAIO, E. V. S.; SALCEDO, I. H.; LIMA JUNIOR, M. A.; BETTANY, J. Decomposição de palha de milho (14C-15N) incorporada a três profundidades em um Latossolo Vermelho-Amarelo de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 14, n. 2, p. 269-276, 1990.
- SANCHEZ, C. A.; BLACKMER, A. M. Recovery of anhydrous ammonia-derived nitrogen-15 during three years of corn production in Iowa. *Agronomy Journal*, Madison, v. 80, n. 1, p. 102-108, 1988.
- SCHRÖDER, J. J.; NEETESON, J. J.; OENEMA, O.; STRUIK, P. C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of art. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 66, n. 2, p. 151-164, 2000.
- SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L. Doses e épocas de aplicação e utilização do nitrogênio (¹⁵N) pelo milho sob plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. *Resumos...* Ribeirão Preto: SBSCS, 2003. CD-ROM.
- SILVA, W. J.; MONTOJOS, J. C.; PEREIRA, A. R. Análise de crescimento em dois híbridos simples de milho avaliada em duas densidades de população. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 360-365, 1974.
- TA, C. T.; WEILAND, R. T. Nitrogen partitioning in maize during ear development. *Crop Science*, Madison, v. 32, n. 2, p. 443-451, 1992.
- TIMMONS, D. R.; BAKER, J. L. Fertilizer management effect on recovery of labeled nitrogen by continuous no-till. *Agronomy Journal*, Madison, v. 84, n. 3, p. 490-496, 1992.
- _____. Recovery of point-injected labeled nitrogen by corn as affected by timing, rate and tillage. *Agronomy Journal*, Madison, v. 83, n. 5, p. 850-857, 1991.
- TIMMONS, D. R.; CRUSE, R. M. Effect of fertilization method and tillage on N-15 recovery by corn. *Agronomy Journal*, Madison, v. 82, n. 4, p. 777-784, 1990.
- TORBERT, H. A.; MULVANEY, R. M.; HEUVEL, V.; HOEFT, R. G. Soil type and moisture regime effects on fertilizer efficiency calculation methods in a N-15 tracer study. *Agronomy Journal*, Madison, v. 84, n. 1, p. 66-70, 1992.
- 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*, Brasília, v. 33, n. 11, p. 1835-1845, 1998.
- YAMADA, T. Manejo do nitrogênio na cultura do milho. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. (Coord.). *Tecnologia da produção de milho*. Piracicaba: ESALQ, 1997. p. 121-130.