

Adubação nitrogenada na cultura do milho

Luiz Alberto Navarro de Araújo⁽¹⁾, Manoel Evaristo Ferreira⁽¹⁾ e Mara Cristina Pessôa da Cruz⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Estadual Paulista, Dep. de Solos e Adubos, Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/nº, CEP 14884-900 Jaboticabal, SP. E-mail: navarroaraujo@ig.com.br, evaristo@fcav.unesp.br, mcpcruz@fcav.unesp.br

Resumo – O uso adequado do fertilizante nitrogenado na cultura irrigada de milho aumenta a produtividade e o lucro, além de reduzir o risco de poluição da água. O objetivo deste trabalho foi determinar a resposta do milho à aplicação de nitrogênio. O experimento foi realizado em Latossolo Vermelho distroférico típico, de textura argilosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições, tendo como tratamento nas parcelas as doses de N em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹), utilizando a uréia e, nas subparcelas, as seqüências de culturas milho-milho-milho e milho-soja-milho. A adubação nitrogenada proporcionou, em relação à testemunha, aumento de 28% (2.448 kg ha⁻¹) na produção de grãos de milho. A maior produtividade de grãos, 11.203 kg ha⁻¹, foi alcançada com a maior dose de N (240 kg ha⁻¹). O sistema de rotação não teve efeito na produtividade, mas os teores de N na massa de matéria seca da parte aérea da planta e nos grãos de milho foram maiores no sistema milho-soja-milho.

Termos para indexação: *Zea mays*, nitrogênio, irrigação, rotação milho-soja.

Nitrogen fertilization to corn

Abstract – Appropriate use of N fertilizer for irrigated corn increases the yield and the economic return, and it also reduces the risk of water pollution. The objective of this study was to determine corn response to nitrogen. The field experiment was carried out on a clayey typical Haplustox, using a complete split-plot randomized block design with four replications. Nitrogen rates (0, 60, 120, 180 and 240 kg ha⁻¹ N as urea, in dress application split through the season) were the main plots and the rotation cropping systems, corn-corn-corn and corn-soybean-corn, were the split-plots. Nitrogen fertilization increases the corn yield in 28% in relation to control. Greatest grain yield, 11,203 kg ha⁻¹, was obtained with the highest N rate (240 kg ha⁻¹). There was no effect of cropping system in grain yield, but N content in shoot dry matter and in corn grains were larger in corn-soybean-corn system.

Index terms: *Zea mays*, nitrogen, irrigation, corn-soybean rotation.

Introdução

A produção mundial de milho está em torno de 597 milhões de toneladas, sendo 241 milhões nos Estados Unidos, 114 milhões na China e 35 milhões de toneladas no Brasil (Estados Unidos, 2003). Apesar de o Brasil ser o terceiro maior produtor do cereal, a produtividade média é baixa (de 3.000 kg ha⁻¹) quando comparada com a da China (4.700 kg ha⁻¹) e com a dos Estados Unidos (8.670 kg ha⁻¹).

Entre os fatores responsáveis pela alta produtividade da cultura do milho nos EUA, está o aumento expressivo do uso dos fertilizantes nitrogenados. Segundo Lemaire & Gastal (1997), o N é o elemento exigido em maior quantidade pelo milho, e é o que mais freqüentemente limita a produtividade de grãos. Enquan-

to no Brasil a quantidade utilizada desse nutriente é, em média, de 60 kg ha⁻¹, na China é de 130 kg ha⁻¹ e nos Estados Unidos, de 150 kg ha⁻¹ (International Fertilizer Industry Association, 2002).

Segundo Uhart & Andrade (1995) e Escosteguy et al. (1997), o N determina o desenvolvimento das plantas de milho, com aumento significativo na área foliar e na produção de massa de matéria seca, resultando em maior produtividade de grãos. A recuperação aparente do N do fertilizante vem sendo usada como uma estimativa da eficiência da adubação, que decresce com o aumento da dose aplicada. No entanto, segundo Grove (1979), é a recuperação líquida do N, ou seja, o aumento da quantidade de N na matéria seca da parte aérea por unidade do fertilizante, que melhor relaciona absorção de N pela cultura com o N aplicado.

Outra prática, utilizada no aumento da produtividade, é a da rotação da cultura do milho com a cultura da soja. O cultivo de milho em rotação com a soja produz até 30% mais do que se cultivado em monocultura, por causa do aporte de N da leguminosa para a cultura subsequente (Peterson & Varvel, 1989; Crookston et al., 1991; Bundy et al., 1993; Omay et al., 1998). Resultados semelhantes, principalmente em anos secos ou em condições de estresse, foram obtidos por Raimbault & Vyn (1991) e Randall & Iragavarapu (1995).

Comparações entre as quantidades de N fixado simbioticamente e retornado ao solo pelos resíduos da soja, com as quantidades de N removidas na colheita de grãos, sugerem que parte da contribuição do N atribuída à soja é feita à custa da diminuição do N disponível do solo (Alvarez et al., 1995; Vanotti & Bundy, 1995). No entanto, pesquisas que utilizam ^{15}N têm sugerido que a maior parte do N da fitomassa das leguminosas tem como destino o solo (Harris & Hesterman, 1990), ficando acumulado na forma de N orgânico. A quantidade e distribuição de N inorgânico, principalmente NO_3^- , que permanece no perfil do solo, é resultante do fertilizante utilizado, do regime de temperatura e umidade do solo e da aplicação de doses de N maiores do que as necessárias para atingir produtividades ótimas (Roder et al., 1989; Teixeira et al., 1994; Torbert et al., 1996; Barrios et al., 1998).

O objetivo deste trabalho foi determinar a resposta do milho à aplicação de nitrogênio.

Material e Métodos

O experimento foi realizado na fazenda Lago Azul (20°40'S, 48°15'W e altitude 554 m), Município de Morro Agudo, SP, em área irrigada por aspersão (pivô central). O solo da área, um Latossolo Vermelho distroférrico típico, de textura argilosa, analisado segundo Camargo et al. (1986) apresentava, em g kg^{-1} : argila, 590; limo, 210; areia muito fina, 90; areia fina, 90; e areia média, 20. Foi utilizado, em todos os cultivos, o método reduzido de preparo do solo, com arado escarificador e grade niveladora.

O milho foi cultivado de setembro de 1999 a fevereiro de 2000. No ano agrícola de 2000/2001, a área experimental, 1.634 m^2 , foi dividida em quatro blocos. Em cada bloco, foram distribuídas cinco parcelas, correspondentes a cinco doses de N, com 8 m de largura por 7 m de comprimento. Da divisão da parcela, no sentido da largura, obtiveram-se as subparcelas (4x7 m)

utilizadas na rotação milho-milho ou milho-soja. Entre os blocos e as parcelas, foram mantidos carregadores com 3 m e 2 m de largura, respectivamente. Em março de 2000, foi semeada soja, cultivar Conquista MG/BR46 e, em maio, o milho, segundo os tratamentos. As populações foram de 450.000 e 60.000 plantas ha^{-1} , utilizando espaçamento de 0,4 e 0,8 m nas entrelinhas de soja e milho, respectivamente. As adubações foram feitas com base nos resultados de análise de solo e nas expectativas de produtividades. A soja foi colhida em junho e o milho, em outubro. A resteva da cultura da soja foi mantida na subparcela de origem e a do milho, cortada rente ao solo e picada com auxílio de uma enxada rotativa, deixada na respectiva subparcela.

O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas tiveram como tratamentos as doses de N (uréia) aplicado em cobertura, e as subparcelas, duas seqüências de culturas, milho-milho-milho e milho-soja-milho. As doses de N utilizadas foram 0,0, 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 vezes o sugerido em Raij & Cantarella (1996), considerando o solo como sendo de alta resposta à adubação nitrogenada e expectativa de produtividade de grãos entre 8 e 10 t ha^{-1} , correspondendo às doses 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha^{-1} de nitrogênio.

Em outubro de 2000, procedeu-se à amostragem de solo, coletando-se 20 amostras simples por amostra composta, na camada de 0 a 0,2 m de profundidade, de cada subparcela, a fim de avaliar a fertilidade do solo antes da instalação do experimento. Parte das amostras foi destinada à determinação de NH_4^+ e de NO_3^- , conforme Silva et al. (1999). A outra parte das amostras foi destinada à análise de rotina, segundo Raij et al. (1987).

Em novembro de 2000, foi semeado o milho, genótipo Cargill 333 B, um híbrido simples de ciclo normal, 950 U.C., no espaçamento de 0,8 m nas entrelinhas e 8 a 10 sementes/m e, após 15 dias, foi feito o desbaste para 70.000 plantas ha^{-1} . A adubação na semeadura foi feita de acordo com Raij & Cantarella (1996), com base na média geral dos resultados da análise de solo (Tabela 1) e na expectativa de produtividade de 8 a 10 t ha^{-1} de grãos, para solo classificado como de alta resposta a nitrogênio com 30, 50, 50 e 36 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 , K_2O e S, respectivamente. O parcelamento do N foi feito em razão das fases de desenvolvimento da cultura, segundo Resende et al. (1990) (Tabela 2).

No estágio de pendramento do milho, foi colhida de cada subparcela a parte aérea de cinco plantas, que foi lavada, secada, pesada e moída para a avaliação do teor de N na planta.

Em abril de 2001, foi avaliada a produtividade de grãos de milho, colhendo-se três linhas centrais de cada subparcela, descartando-se 1 m de cada extremidade. O peso de grãos foi corrigido para 14% de umidade. Na determinação do N nos grãos do milho, o método semimicro-Kjeldahl foi utilizado, conforme Sarruge & Haag (1974). Após a colheita, o solo das subparcelas foi amostrado, em 20 subamostras por amostra, nas profundidades de 0–0,2 e 0,2–0,4 m, para caracterização química. A recuperação do fertilizante nitrogenado foi calculada subtraindo o N removido na parcela-testemunha do N removido nas outras parcelas, dividido pela quantidade de N aplicado em cada uma delas e multiplicado por 100, conforme citado por Omay et al. (1998).

Os dados foram submetidos a análises de variância, de regressão e de correlação, de acordo com os procedimentos do Statistical Analysis System (SAS Institute, 1990). Na comparação das médias, foi usado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Houve efeito das doses de N na produtividade, nos teores e quantidade total de N nos grãos e na massa de matéria seca da parte aérea da planta (Tabela 3). A rotação de culturas afetou os teores de N na matéria seca e nos grãos. Os valores observados foram menores nos tratamentos em que a cultura anterior foi o milho.

A diferença entre a produção de matéria seca na testemunha e a obtida com a maior dose de N (240 kg ha⁻¹) foi de 37%. O teor de N contido na matéria seca da parte aérea (MSPA), em função das doses de N aplicadas, aumentou proporcionalmente mais do que o total extraído pela planta, principalmente nas doses menores. A quantidade máxima de N no grão foi obtida com a dose de 120 kg ha⁻¹ de N, enquanto na MSPA, foi com 240 kg ha⁻¹ de N, indicando uma tendência ao consumo de luxo de N pela planta, conforme já relatado por Uhart & Andrade (1995). Não houve efeito da adubação nitrogenada no teor de N dos grãos; contudo, a quantidade total de N nos grãos aumentou de 131 até 176 kg ha⁻¹ e esteve entre 14,9 e 16 kg de N por tonelada de grãos, com valores próximos aos 17 kg t⁻¹ citados em Rajj et al. (1996).

Os dois sistemas removeram mais N quando altas doses foram aplicadas, sem diferença entre sistemas (Tabela 3). Nas parcelas-testemunha, em monocultura, o milho removeu 217 kg ha⁻¹ de N e, em rotação, 223 kg ha⁻¹ de N; com a dose de 60 kg ha⁻¹ de N, 254 e 256; com a dose de 120 kg ha⁻¹ de N, 264 e 286; com a dose de 180 kg ha⁻¹ de N, 295 e 308, e com a dose de 240 kg ha⁻¹ de N, 330 e 344, respectivamente. Resultados semelhantes foram observados por Torbert et al. (1996), e são atribuídos à maior atividade radicular das plantas de milho cultivadas após a soja do que após o

Tabela 1. Análise química de solo das subparcelas antes da aplicação das doses de nitrogênio.

N (kg ha ⁻¹) ⁽¹⁾	P (resina)		pH _{CaCl2}		K ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺		H+Al	
	Milho	Soja-milho	Milho	Soja-milho	Milho	Soja-milho	Milho	Soja-milho	Milho	Soja-milho	Milho	Soja-milho
	---- (mg dm ⁻³) ----											
	----- (mmol _c dm ⁻³) -----											
0	145	142	5,8	5,8	4,7	4,2	52	50	13	14	31	30
60	151	160	5,9	6,0	4,9	4,2	59	65	17	18	29	26
120	141	162	6,0	5,9	4,8	4,5	56	60	16	17	25	28
180	150	153	6,0	5,9	4,7	4,6	61	59	17	17	27	30
240	156	154	5,7	6,0	4,9	4,1	52	65	15	18	33	26

⁽¹⁾Doses de N que foram posteriormente aplicadas.

Tabela 2. Parcelamento da aplicação de nitrogênio em cobertura e doses utilizadas.

Fases de desenvolvimento do milho ⁽¹⁾	Tratamentos ⁽²⁾				
	N ₀	N _{0,5}	N ₁	N _{1,5}	N ₂
	----- (kg ha ⁻¹) -----				
Quatro folhas ⁽³⁾	0	60	60	60	60
Oito folhas ⁽³⁾	0	0	20	40	60
Doze folhas ⁽³⁾	0	0	20	40	60
Pendoamento	0	0	20	40	60
Total	0	60	120	180	240

⁽¹⁾Resende et al. (1990). ⁽²⁾N₀, N_{0,5}, N₁, N_{1,5} e N₂ correspondem a submúltiplos e múltiplos da dose recomendada, em cobertura com N, para produtividade entre 8 e 10 t ha⁻¹ e classe alta de resposta a N (Rajj & Cantarella, 1996). ⁽³⁾Folhas recém-maduras (lígula visível).

milho. Segundo esses autores, a rotação melhora as condições físicas do solo, promovendo o crescimento de raízes e melhor uso do N do solo e do fertilizante. A eficiência no uso do fertilizante nitrogenado variou de 39% a 62% no milho em monocultura e de 47% a 56% no milho em rotação com soja, valores semelhantes aos encontrados por Wienhold et al. (1995), Anderson et al. (1997) e Gentry et al. (2001).

A produtividade de grãos e o total de N acumulado aumentaram com o aumento das doses de N aplicadas, e o efeito das doses de N na produtividade foi linear (Figura 1). Esse aumento indica que a disponibilidade de N foi limitada nas parcelas-testemunha. A aplicação de 240 kg ha⁻¹ de N proporcionou a maior produtividade e, em relação à testemunha, aumento de 2.448 kg ha⁻¹ (28%) na produtividade de grãos. Esta dose está próxima das citadas por Cantarella (1993) e por Coelho & França (2001). O primeiro cita que, em várias partes do mundo, a recomendação de N para culturas de milho de alta produtividade, ou seja, maior do que 9.000 kg ha⁻¹, varia de 150 a 300 kg ha⁻¹, e os segundos recomendam o uso de 100 a 200 kg ha⁻¹ de N para a cultura de milho irrigada.

Na monocultura, a quantidade de N necessária para atingir 90% da maior produção de grãos estimada pela equação (11.269 kg ha⁻¹) foi de 127 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Na rotação, 90% da maior produção (11.550 kg ha⁻¹) foi alcançada com 129 kg ha⁻¹ de nitrogênio. A dose de 120 kg ha⁻¹ de N é a recomendada por Rajj & Cantarella (1996) para produção estimada de 8.000 a 10.000 kg ha⁻¹ em solos que permitam à planta alta resposta ao nitrogênio. Vanotti & Bundy (1994), em um estudo de 24 anos, determinaram que a dose econô-

mica variou de 168 kg ha⁻¹ de N, em anos de alta produtividade, a 176 kg ha⁻¹ de N, em anos de baixa produtividade.

Estes resultados contrastam com a expectativa dos efeitos benéficos da rotação sobre a monocultura na produtividade de grãos de milho (Peterson & Varvel, 1989; Omay et al., 1998). Uma das prováveis causas da pequena variação na produtividade de grãos entre os sistemas é o teor elevado de matéria orgânica (MO) do solo, no início do experimento (Tabela 4), que sofreu redução com o tempo, e com a profundidade. Como não foram observadas variações significativas nos teores de MO entre as parcelas que receberam monocultura e rotação, que pudessem refletir desuniformidade na área experimental, pode ter ocorrido efeito na mineralização do N por causa do preparo do solo, com menor intensidade de sua mobilização. O preparo de solo associado ao sistema de irrigação tende a proporcionar umidade suficiente para a decomposição da matéria orgânica (Sanchez, 1976). Autores têm relatado que sistemas de manejo conservacionistas criam um ambiente no solo diferente do verificado no sistema convencional, com acúmulo superficial de matéria orgânica e de fertilizantes (Schulte & Bundy, 1985). A utilização do arado escarificador é considerada como preparo conservacionista, pois permite cobertura do solo acima de 30% (Klein et al., 1995).

Outra provável causa da pequena variação na produtividade de grãos entre os sistemas é o acúmulo de NO₃⁻ no perfil do solo, em anos secos, que poderia alterar o

Tabela 3. Matéria seca da parte aérea (MSPA), produtividade de grãos, teor de nitrogênio nos grãos e quantidade de nitrogênio extraído pela matéria seca da parte aérea e pelos grãos de milho em função das doses de nitrogênio aplicadas e da rotação de culturas⁽¹⁾.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	Produção		Teor de N		N extraído		
	MSPA	Grãos	MSPA	Grãos	MSPA	Grãos	Total
	------(kg ha ⁻¹)-----		------(g)-----		------(kg ha ⁻¹)-----		
0	10.558,0c	8.755,4d	7,94d	14,93a	83,80d	130,80c	214,60e
60	11.583,3bc	9.741,0c	8,89c	15,08a	103,38cd	147,01b	250,40d
120	12.276,9bc	10.246,8bc	9,75b	15,52a	119,76bc	163,57a	283,33c
180	13.279,5ab	10.974,0ab	10,11b	15,72a	134,46b	170,32a	304,80b
240	14.482,6a	11.203,3a	10,95a	15,97a	158,76a	176,23a	335,00a
Milho-milho	12.297,0a	10.068,0a	9,28b	15,24b	116,32a	155,70a	275,80a
Soja-milho	12.575,0a	10.300,2a	9,78a	15,64a	123,74a	159,48a	281,39a
Dose x rotação	0,14 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,28 ^{ns}	3,03 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,94 ^{ns}	1,35 ^{ns}
CV (%)	8,52	5,36	5,08	3,75	11,33	6,87	6,55

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. ^{ns}Não-significativo.

efeito do N proveniente da leguminosa (Randall & Iragavarapu, 1995). Dados climáticos da área experimental indicam uma temperatura média de 24°C e precipitação de 1.491 mm durante o período experimental (outubro de 2000 a abril de 2001) e uma temperatura média de 20°C e precipitação pluvial de 790 mm no período de maio a outubro de 2000, anterior à instalação do experimento. Esse período foi marcado pelo menor volume de chuvas, na região, nos últimos 10 anos. Tais condições sugerem que parte do NO_3^- contido nas amostras de solo é originária do N orgânico, mineralizado e acumulado no perfil do solo. Segundo Barrios et al. (1998), em região de clima quente e seco, embora a percolação da água no solo seja mínima, a mineralização do N continua a ocorrer, havendo acúmulo de NH_4^+ antes do período das chuvas, com rápida conversão de NH_4^+ para NO_3^- no início do período úmido. A adversidade das condições climáticas durante o período experimental foi menos evidente, e o desenvolvimento da cultura foi normal para a época e região, exceto no mês de

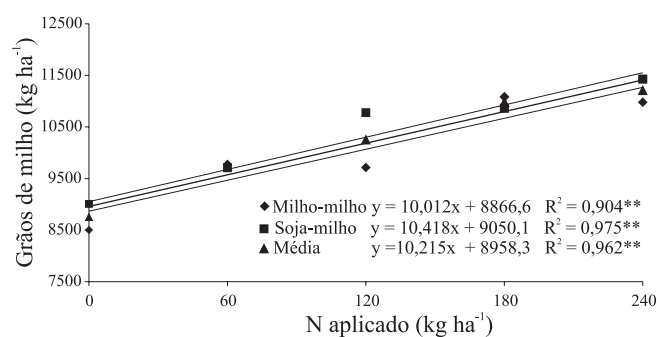


Figura 1. Produtividade de grãos de milho de acordo com doses de nitrogênio aplicadas.

novembro (semeadura), quando o volume de chuvas ultrapassou a média histórica de dez anos da região.

De acordo com Escosteguy et al. (1997), são necessários 20 kg ha⁻¹ de N para produção de 1.000 kg ha⁻¹ de grãos de milho. Assim, para a quantidade de grãos produzida na parcela-testemunha (8.755 kg ha⁻¹), estima-se que o suprimento de N do solo foi cerca de 174 kg ha⁻¹. A contribuição de N do solo, com a suplementação hídrica, pode ter influenciado a resposta dos tratamentos, possibilitando alta produtividade da testemunha e dos sistemas estudados. Resultados semelhantes foram observados por Escosteguy et al. (1997).

Houve redução significativa (82%) nos teores originais de NO_3^- durante o período experimental (Tabela 4). A mudança nesses teores revela a mobilidade do NO_3^- no solo (18% retidos nas camadas de 0 a 0,2 m e 22% na de 0,2 a 0,4 m de profundidade). Em virtude das condições climáticas durante o período experimental, era esperado que a lixiviação do NO_3^- ocorresse nas parcelas que receberam as maiores doses de N, mas os dados indicam uma elevada capacidade de mineralização deste solo em condições de alternância de períodos secos e úmidos. As reduções, nos valores de NO_3^- , são semelhantes às encontradas por Randall & Iragavarapu (1995). Segundo esses autores, em anos secos, as perdas foram inferiores a 3% do N aplicado e, nos chuvosos, variaram de 25% a 70%. Esses resultados discordam do citado em Coelho & França (2001), segundo os quais, a baixa intensidade de nitrificação e de perdas por lixiviação, nos perfis dos solos de textura média e argilosa, não justifica mais do que uma única adubação nitrogenada em cobertura, aos 35 ou 40 dias após o plantio.

Tabela 4. Teores de matéria orgânica (MO) e de nitrato (NO_3^-) das subparcelas.

N (kg ha ⁻¹)	Antes da aplicação de N				Depois da aplicação de N							
	Camada de 0 a 0,2 m				Camada de 0 a 0,2 m				Camada de 0,2 a 0,4 m			
	MO		NO_3^-		MO		NO_3^-		MO		NO_3^-	
	Milho	Soja-milho	Milho	Soja-milho	Milho	Soja-milho	Milho	Soja-milho	Milho	Soja-milho	Milho	Soja-milho
0	30,2	29,5	39,4	42,1	24,0	23,5	8,6	3,7	16,2	16,5	10,8	6,9
60	31,5	30,7	42,2	40,0	23,5	22,7	8,6	6,9	17,2	17,5	9,0	6,5
120	30,5	31,0	42,4	45,0	22,2	21,7	11,0	8,1	15,7	15,7	9,9	9,5
180	31,5	32,2	38,6	43,1	22,0	22,7	8,9	8,0	15,7	15,5	9,3	11,3
240	31,7	30,7	43,5	44,1	22,7	22,7	7,0	4,9	15,5	15,2	9,0	9,6

Conclusão

A produtividade de grãos e de matéria seca da parte aérea da planta de milho aumenta com a elevação das doses de nitrogênio.

Agradecimento

À Fapesp pelo financiamento da pesquisa.

Referências

- ALVAREZ, R.; LEMCOFF, J.H.; MERZARI, A.H. Balance de nitrógeno en un suelo cultivado con soja. *Ciencia del Suelo*, v.13, p.38-40, 1995.
- ANDERSON, I.C.; BUXTON, D.R.; KARLEN, D.L.; CAMBARDELLA, C. Cropping system effects on nitrogen removal, soil nitrogen, aggregate stability, and subsequent corn grain yield. *Agronomy Journal*, v.89, p.881-886, 1997.
- BARRIOS, E.; KWESIGA, F.; BURESH, R.J.; SPRENT, J.I.; COE, R. Relating pre-season soil nitrogen to maize yield in tree legume-maize rotations. *Soil Science Society of America Journal*, v.62, p.1604-1609, 1998.
- BUNDY, L.G.; ANDRASKI, T.W.; WOLKOWSKI, R.P. Nitrogen credits in soybean-corn crop sequences on three soils. *Agronomy Journal*, v.85, p.1061-1067, 1993.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas*. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106).
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.). *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Potafos, 1993. p.147-185.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. *Nutrição e adubação do milho*. Disponível em: <<http://www.cnpmc.embrapa.br/milho/deficiencia/deficiencia.html>> Acesso em: 9 nov. 2001.
- CROOKSTON, R.K.; KURLE, J.E.; COPELAND, P.J.; FORD, J.H.; LUESCHEN, W.E. Rotational cropping sequence affects yield of corn and soybean. *Agronomy Journal*, v.83, p.108-113, 1991.
- ESCOSTEGUY, P.A.V.; RIZZARDI, M.A.; ARGENTA, G. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em duas épocas de semeadura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.71-77, 1997.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. *World agricultural production*. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/wap/circular/2003/03-01/wap_01-03.pdf> Acesso em 10 fev. 2003.
- GENTRY, L.E.; BELOW, F.E.; DAVID, M.B.; BERGEROU, J.A. Source of the soybean N credit in maize production. *Plant and Soil*, v.236, p.175-184, 2001.
- GROVE, T.L. *Nitrogen fertility in oxisols and ultisols of the humid tropics*. Ithaca: Cornell University, 1979. 28p. (Cornell International Agriculture Bulletin, 36).
- HARRIS, G.H.; HESTERMAN, O.B. Quantifying the nitrogen contribution from alfalfa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. *Agronomy Journal*, v.82, p.129-134, 1990.
- INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION (Paris, França). *Fertilizer use by crop*. 5th ed. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org>>. Acesso em: 9 nov. 2002.
- KLEIN, V.A.; BOLLER, W.; CANDATEN, A.; BORTOLOTTI, D.R.; DALPAZ, R.C. Avaliação de escarificadores e resposta da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.307-311, 1995.
- LEMAIRE, G.; GASTAL, F.N. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAITRE, G. (Ed.). *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Berlin: Springer, 1997. p.3-43.
- OMAY, A.B.; RICE, C.W.; MADDUX, L.D.; GORDON, W.B. Corn yield and nitrogen uptake in monoculture and in rotation with soybean. *Soil Science Society of America Journal*, v.62, p.1596-1603, 1998.
- PETERSON, T.A.; VARVEL, G.E. Crop yield as affected by rotation and nitrogen rate. Corn. *Agronomy Journal*, v.81, p.735-738, 1989.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. p.56-59. (Boletim Técnico, 100).
- RAIMBAULT, B.A.; VYN, T.J. Crop rotation and tillage effects on corn growth and soil structural stability. *Agronomy Journal*, v.83, p.979-985, 1991.
- RANDALL, G.W.; IRAGAVARAPU, T.K. Impact of long-term tillage systems for continuous corn on nitrate leaching to tile drainage. *Journal of Environmental Quality*, v.24, p.360-366, 1995.
- RESENDE, M.; ALVES, V.M.C.; FRANÇA, G.E.; MONTEIRO, J.A. Manejo de irrigação e fertilizantes na cultura do milho. *Informe Agropecuário*, v.14, p.26-34, 1990.
- RODER, W.; MASON, S.C.; CLEGG, M.D.; KNIEP, K.R. Yield-soil water relationships in sorghum-soybean cropping systems with different fertilizer regimes. *Agronomy Journal*, v.81, p.470-475, 1989.
- SANCHEZ, P. *Properties and management of soils in the tropics*. New York: John Wiley, 1976. 618p.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba: Esalq, 1974. 55p.

- SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). **SAS user's guide:** statistic. Cary, 1990. 846p.
- SCHULTE, E.E.; BUNDY, L.G. Sampling soils for testing under conservation tillage. **Better Crops with Plant Food**, v.69, p.22-23, 1985.
- SILVA, F.C.; EIRA, P.A. da; RAIJ, B. van; SILVA, C.A.; ABREU, C.A.; GIANELLO, C.; PÉREZ, D.V.; QUAGGIO, J.A.; TEDESCO, M.J.; ABREU, M.F.; BARRETO, W. de O. Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F.C. da. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999. p.75-169. (Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia).
- TEIXEIRA, L.A.J.; TESTA, V.M.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.207-214, 1994.
- TORBERT, H.A.; REEVES, D.W.; MULVANEY, R.L. Winter legume cover crop benefits to corn: rotation vs. fixed-nitrogen effects. **Agronomy Journal**, v.88, p.527-535, 1996.
- UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen deficiency in maize. I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. **Crop Science**, v.35, p.1376-1383, 1995.
- VANOTTI, M.B.; BUNDY, L.G. An alternative rationale for corn nitrogen fertilizer recommendations. **Journal of Production Agriculture**, v.7, p.243-249, 1994.
- VANOTTI, M.B.; BUNDY, L.G. Soybean effects on soil nitrogen availability in crop rotations. **Agronomy Journal**, v.87, p.676-680, 1995.
- WIENHOLD, B.J.; TROOIJEN, T.P.; REICHMAN, G.A. Yield and nitrogen use efficiency of irrigated corn in the northern Great Plains. **Agronomy Journal**, v.87, p.842-846, 1995.

Recebido em 3 de julho de 2003 e aprovado em 19 de março de 2004