



Acta Scientiarum. Agronomy

ISSN: 1679-9275

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá

Brasil

Cabral da Silva, Edson; Muraoka, Takashi; Câmara Monteiro, Rodrigo Otávio; Buzetti, Salatiér  
Análise econômica da adubação nitrogenada no milho sob plantio direto em sucessão a plantas de  
cobertura em Latossolo Vermelho

Acta Scientiarum. Agronomy, vol. 29, núm. 4, 2007, pp. 445-452

Universidade Estadual de Maringá

Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026575002>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Análise econômica da adubação nitrogenada no milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura em Latossolo Vermelho

**Edson Cabral da Silva<sup>1\*</sup>, Takashi Muraoka<sup>1</sup>, Rodrigo Otávio Câmara Monteiro<sup>2</sup> e Salatiér Buzetti<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Av. Centenário, 303, 13400-970, Piracicaba, São Paulo, Brasil. <sup>2</sup>Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil. <sup>3</sup>Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: ecsilva@cena.usp.br

**RESUMO.** O nitrogênio é o nutriente mais absorvido e oneroso na produção do milho. O estudo foi desenvolvido na Fazenda experimental da Feis/Unesp, Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. Os objetivos foram avaliar, em termos econômicos, a melhor dose e época de aplicação do N, na forma de uréia, no milho sob plantio direto em sucessão à crotalária juncea, milheto e ao solo em pousio e quantificar a contribuição do N proveniente dos adubos verdes, equivalente ao N do fertilizante uréia. O delineamento foi o de blocos casualizados com 24 tratamentos e quatro repetições, em esquema fatorial  $3 \times 3 \times 2 + 6$ , três doses de N: 80, 130 e 180 kg  $ha^{-1}$ ; três sistemas de cobertura do solo: crotalária, milheto e pousio; duas épocas de aplicação do N: estádio quatro ou oito folhas e seis tratamentos adicionais (três sem N e três com 30 kg  $ha^{-1}$  de N na semeadura). O cultivo do milho em sucessão à crotalária e a aplicação do N no milho com quatro folhas em sucessão ao milheto e ao solo em pousio proporcionaram maior produtividade física e econômica de grãos.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L., custo de produção, máxima produtividade econômica, pousio, adubo verde, uréia.

**ABSTRACT.** **Economic analysis of nitrogen fertilizer in corn crop under no-tillage in succession to cover crops in Red Latosol.** Nitrogen is the most absorbed nutrient and also the most expensive in corn crop production. This study was conducted at the Experimental Farm of Unesp/Feis, located in Selvíria, state of Mato Grosso do Sul, Brazil. One objective was to evaluate, in economic terms, the best rate and time of N application, as urea, in corn crop grown under no-tillage in succession to sunnhemp, millet and fallow ground. The study also aimed to quantify the contribution of N from green manure equivalent to N from urea fertilizer. The experiment was designed in randomized complete blocks, with 24 treatments and four replications in an incomplete factorial,  $3 \times 3 \times 2 + 6$ , three N rates: 80, 130 and 180 kg N  $ha^{-1}$ ; three preceding cover crops: sunnhemp, millet and fallow ground; two N application time: stage four leaves or eight leaves; and six additional treatments (three without N application and three that received 30 kg N  $ha^{-1}$  at seeding). The corn crop in succession to sunnhemp and the application of N in the four leaves stage in succession to millet and fallow ground soil promoted larger physical and economical grains yield.

**Key words:** *Zea mays* L., cost of production, maximum economical yield, fallow, green manure, urea.

## Introdução

O milho é cultivado em todo território brasileiro, ocupando, dentre os grãos, o segundo lugar em área plantada, volume produzido e valor da produção, sendo superado apenas pela soja (Conab, 2005). Sua importância reside ainda na grande capacidade de geração de emprego mão-de-obra na zona rural e na zona urbana, devido à sua participação como matéria-prima para mais de 500 segmentos industriais. O milho é também o principal insumo na confecção de rações utilizadas na alimentação animal, correspondendo à aproximadamente 80% do

volume produzido (Fancelli e Dourado Neto, 2000).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, com participação média de 6% na oferta mundial desse cereal, superado pelos EUA (~40%), maior produtor mundial, e pela China, cuja produção equivale a aproximadamente 20% da oferta mundial de milho (Souza e Braga, 2004). No Brasil, o milho é cultivado anualmente em cerca de 13 milhões de hectares com uma produção de por volta de 42 milhões de toneladas de grãos e produtividade média de 3,2 toneladas por hectare (Conab, 2005). Dentre os vários fatores que causam essa baixa

produtividade de milho, destaca-se o manejo incorreto do N, nutriente absorvido em maior quantidade, que mais influencia a resposta de produtividade de grãos e, também, o que mais onera o custo de produção da cultura (Amado *et al.*, 2002; Coelho *et al.*, 2003; Silva *et al.*, 2005).

A expansão da área cultivada em sistema plantio direto (SPD) tem sido notável nos últimos anos, tendo atingido, na safra 2002/03, aproximadamente 72 milhões de hectares no mundo, dos quais, por volta de 20,2 milhões, no Brasil, o que significa aproximadamente 48% da área cultivada com grãos no país (Febrapdp, 2005). O milho é uma das principais culturas desse sistema de manejo no Brasil, sendo, praticamente, o responsável por essa consolidação, principalmente na Região de Cerrado, devido ao grande aporte de massa vegetal ao solo, com alta relação C/N. Além disso, é a principal cultura utilizada no esquema de rotação e/ou sucessão com a soja e, nos últimos anos, também com algodão.

Atualmente são cultivados, no Brasil, cerca de 47,4 milhões de hectares com culturas anuais (Conab, 2005). Pequena parte dessa área é manejada na entressafra com plantas de cobertura do solo, ficando o restante exposto à ação da erosão, lixiviação de nutrientes e infestação por plantas daninhas. O cultivo de plantas de cobertura tem mostrado eficiência no controle da erosão, aumento no teor de matéria orgânica do solo (MOS) e reciclagem de nutrientes, principalmente de N (Gonçalves *et al.*, 2000; Calegari, 2004).

Freqüentemente sem muito êxito, pesquisadores de várias partes do mundo investigam um método seguro que relate parâmetros da análise de solo com a recomendação da dose de N a ser aplicada para a cultura do milho. Nos EUA, uma recomendação de adubação nitrogenada muito utilizada é a de 17,8 a 21,4 kg ha<sup>-1</sup> de N por tonelada de grãos a ser produzida (Sims *et al.*, 1995). Esse valor é descontado da contribuição em N pela leguminosa cultivada anteriormente, 17 kg ha<sup>-1</sup> de N por tonelada de grãos de soja, até um máximo de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, ou da aplicação de adubos orgânicos ou outras fontes de N (Below, 2002). Em alguns estados brasileiros, a dose de N recomendada para o milho está relacionada com o teor de MOS, o histórico da área, produtividade esperada, o preço do fertilizante (Raij *et al.*, 1996; Sousa e Lobato, 2004) e, também, a cultura de cobertura antecessora (Amado *et al.*, 2002).

Os preços do milho acompanham os movimentos da oferta, estabelecendo flutuações de acordo os períodos de safra e entressafra. Dentre os principais fatores que influenciam no processo de

formação do preço do milho destacam-se: a oferta e demanda no mercado interno, oferta e demanda dos países produtores e exportadores, política de financiamento de custeio e de gerenciamento de preços mínimos, custo de produção, fluxo de formação do comércio, políticas de importação e taxas de juros e de câmbio (Souza e Braga, 2004).

De maneira geral, o produtor brasileiro de milho tem sofrido perda de receita nos últimos anos, em função dos aumentos significativos no custo de produção, principalmente em função de o milho não ter seu preço em dólar, como a soja, por exemplo, enquanto os insumos utilizados em seu cultivo acompanham a variação cambial. Melo Filho (2000), estudando o custo de produção do milho cultivado SPD e sistema convencional, concluiu que a despesa com insumos foi maior no SPD. Os custos, entretanto, com as operações agrícolas foram bem maiores no sistema convencional e o resultado final foi um custo 10,3% menor no SPD, em relação ao sistema convencional.

O objetivo deste trabalho foi avaliar, em termos econômicos, a melhor dose e época de aplicação do N, na forma de uréia, ao milho sob plantio direto em sucessão à crotalária (*Crotalaria juncea*), ao milheto (*Pennisetum americanum*) e ao solo em pousio e quantificar a contribuição do N proveniente dos adubos verdes equivalente ao N do fertilizante uréia.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp, situada no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul, cujas coordenadas geográficas são 51°22' de longitude Oeste e 20°22' de latitude Sul, com altitude de 335 metros. Segundo a classificação de Köeppen, o clima da região é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa média anual de 23,5°C, 1370 mm e 64,8%, respectivamente.

O solo do local foi classificado como Latossolo Vermelho distroférreo típico A, moderado, textura argilosa, fase cerrado tropical subcaducifólio, relevo suave, ondulado (Embrapa, 1999). O experimento foi conduzido nos anos agrícolas 2001/02 e de 2002/03, em áreas individuais e anexas, com histórico de 19 anos de plantio convencional com culturas anuais (feijão, milho, soja e arroz) e os últimos cinco anos em SPD, tendo sido cultivado com arroz no último ano agrícola (2000/01), sucedido por milheto e crotalária no inverno/primavera, com uma parte permanecendo

em pousio (vegetação espontânea).

Na caracterização química do solo, em amostras coletadas em julho de 2001 e julho de 2002, determinadas conforme metodologias descritas em Raji *et al.* (2001), encontrou-se nas camadas de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, respectivamente: pH ( $\text{CaCl}_2$ ) 5,1 e 4,7; N total 0,9 e 0,8  $\text{g kg}^{-1}$ ; M.O. 20,4 e 17,7  $\text{g dm}^{-3}$ ; P (resina) 13,6 e 5,5  $\text{mg dm}^{-3}$ ; Ca 18,5 e 10,0  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ; Mg 16,2 e 7,2  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ; K 2,9 e 1,3  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ; H+Al 23,3 e 27,2  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ; S 6,6 e 6,1  $\text{mg dm}^{-3}$ ; SB 37,6 e 18,5  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ; CTC 60,9 e 45,7  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$  e saturação por bases de 61,7 e 40,5 %. Nas análises granulométricas, na camada de 0 a 0,20 m, encontrou-se um teor médio de 420, 530 e 50  $\text{g kg}^{-1}$  de areia, argila e silte, respectivamente.

As semeaduras da crotalária e do milheto foram realizadas, mecanicamente, em 17/9/01, no primeiro ano agrícola e 24/9/2002, no segundo. O manejo da crotalária, do milheto e da vegetação espontânea (pousio) foi mecânico com triturador de palha em 30/11/2001 e 26/11/2002 no primeiro e segundo ano agrícola, respectivamente. Realizou-se irrigação suplementar por aspersão nos períodos de estiagem prolongada para as plantas de coberturas.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com 24 tratamentos e quatro repetições, dispostos em esquema fatorial incompleto, 3 x 3 x 2 + 6 tratamentos adicionais, dos quais três tratamentos controles sem a aplicação de N (0  $\text{kg ha}^{-1}$  de N no milho sobre crotalária, milheto e pousio) e três que receberam somente 30  $\text{kg ha}^{-1}$  de N na semeadura (30  $\text{kg ha}^{-1}$  de N no milho sobre crotalária, milheto e pousio). Os demais tratamentos constituíram-se pela combinação de três doses de N no milho: 80, 130 e 180  $\text{kg ha}^{-1}$ , aplicando-se 30  $\text{kg ha}^{-1}$  de N na semeadura + 50, 100 e 150  $\text{kg ha}^{-1}$  de N em cobertura; três sistemas de cobertura do solo: crotalária, milheto e pousio e duas épocas de aplicação N: estádio quatro folhas ou estádio oito folhas. As parcelas experimentais constaram de oito linhas de 7,0 m de comprimento e 0,80 m de largura entre si, perfazendo uma área total de 44,8  $\text{m}^2$ . Foram consideradas, como área útil, as quatro linhas centrais, desprezando-se 1,0 m em cada extremidade, perfazendo uma área de 16,0  $\text{m}^2$ .

As semeaduras do milho foram realizadas mecanicamente em 5/12/2001 no primeiro ano agrícola, e 28/11/2002, no segundo, utilizando-se sementes de um híbrido simples (Pioneer 30F80), de ciclo semiprecoce, numa densidade de 65.000 sementes por hectare. A adubação de semeadura foi de 105  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 60  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  e 4  $\text{kg ha}^{-1}$  de Zn, aplicada a 0,05 m abaixo e ao lado das sementes. No mesmo dia da semeadura do milho, foram aplicados os

herbicidas glyphosate e 2,4 D, nas doses de 1080 e 670 g i.a.  $\text{ha}^{-1}$ , respectivamente. O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi realizado com o milho no estádio de cinco folhas, utilizando-se o herbicida Nicossulfuron na dose de 60 g i.a.  $\text{ha}^{-1}$ .

As coberturas nitrogenadas, tendo como fonte a uréia (45% de N), foram realizadas manualmente em um sulco superficial a 0,20 m da linha da cultura do milho e coberta com uma camada de solo. No mesmo dia da aplicação do N no estádio quatro folhas, em ambos os anos agrícolas, foram aplicados também 50  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , tendo como fonte o cloreto de potássio, conforme recomendação descrita em Raji *et al.* (1996).

A máxima produtividade física (MPF) foi obtida mediante a derivada primeira da função polinomial quadrática  $y = c + bN - aN^2$ , igualando-a a zero. A máxima produtividade econômica (MPE) foi obtida mediante a derivada primeira da função  $y = c + bN - aN^2$ , igualando-a à relação entre o preço do N e o preço do produto (Raji, 1991). Em ambos os casos, o y refere-se à produtividade de grãos e N à dose de nitrogênio, expressos em  $\text{kg ha}^{-1}$ . Tal função foi obtida do desdobramento do efeito de doses de N em relação à produtividade de grãos, com significância  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ . Considerou-se a média dos preços mínimos do milho pago pelo governo Federal na safra 2004/05 na Região Centro-Sul, equivalente a R\$ 0,22  $\text{kg}^{-1}$  (Mapa, 2005) e o preço do N, na forma de uréia, de R\$ 2,19  $\text{kg}^{-1}$ , como uma média dos últimos cinco anos (Agriannual, 2005).

A produtividade de milho em kg de grãos (PG) para cada kg de N investido (aplicado) foi calculada mediante a diferença entre a máxima produtividade econômica em  $\text{kg ha}^{-1}$  (MPE) e a produtividade do tratamento controle em  $\text{kg ha}^{-1}$  (PC), para cada sistema de cobertura e época de aplicação do N. O resultado obtido foi dividido pela respectiva máxima dose econômica em kg de N (MDE), conforme a equação abaixo:

$$PG (\text{kg}^{-1} \text{ de grãos } \text{kg}^{-1} \text{ de N}) = (MPE - PC) / MDE$$

O retorno econômico (RE) para cada kg de N investido foi obtido multiplicando-se a produtividade de grãos em  $\text{kg}^{-1}$  de grãos  $\text{kg}^{-1}$  de N (PG) pelo preço do milho (PM) em  $\text{R\$ kg}^{-1}$  de grãos, conforme a equação abaixo:

$$RE (\text{R\$ kg}^{-1} \text{ de N}) = PG \times PM$$

A contribuição do N dos adubos verdes em equivalência ao N do fertilizante (uréia), foi obtida mediante a derivada primeira da função polinomial

quadrática  $y = c + bN - aN^2$ , igualando-a a produtividade sem aplicação de N (dose zero) do sistema de cobertura do solo que proporcionou a maior produtividade de grãos.

Os dados de produtividade de grãos foram submetidos à análise de variância aplicando-se o teste F, comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e análise de regressão. Foi utilizado, para isso, o programa estatístico “SAS System for Windows-release 6.11” (SAS, 1996).

## Resultados e discussão

Em ambos os anos agrícolas, a maior produtividade física de grãos foi para o milho cultivado em sucessão à crotalária, comparada com as demais sucessões (Tabela 1). A sucessão pousio-milho foi superior a milheto-milho no ano agrícola 2001/02, quando apenas o N foi aplicado no estádio oito folhas, no ano agrícola 2002/03. As épocas de aplicação do N não influenciaram a produtividade de grãos da sucessão crotalária-milho, provavelmente devido à menor relação C/N dos resíduos vegetais da crotalária ter proporcionando mais rápida mineralização, condicionando um fornecimento mais regular desse nutriente durante a maior fase de absorção pela planta.

**Tabela 1.** Produtividade de grãos de milho em função dos sistemas de cobertura do solo (crotalária, pousio ou milheto) e épocas de aplicação do N (estádio quatro ou oito folhas), anos agrícolas 2001/02 e 2002/03.

Sistema de cobertura	Produtividade de grãos kg ha <sup>-1</sup>	
	Quatro folhas	Oito folhas
Ano agrícola 2001/02		
Crotalária	7793 aA	7788 aA
Pousio	6381 bA	6269 bB
Milheto	6096 cA	5622 cB
Ano agrícola 2002/03		
Crotalária	7693 aA	7818 aA
Pousio	6400 bA	6281 bA
Milheto	6338 bA	5798 cB

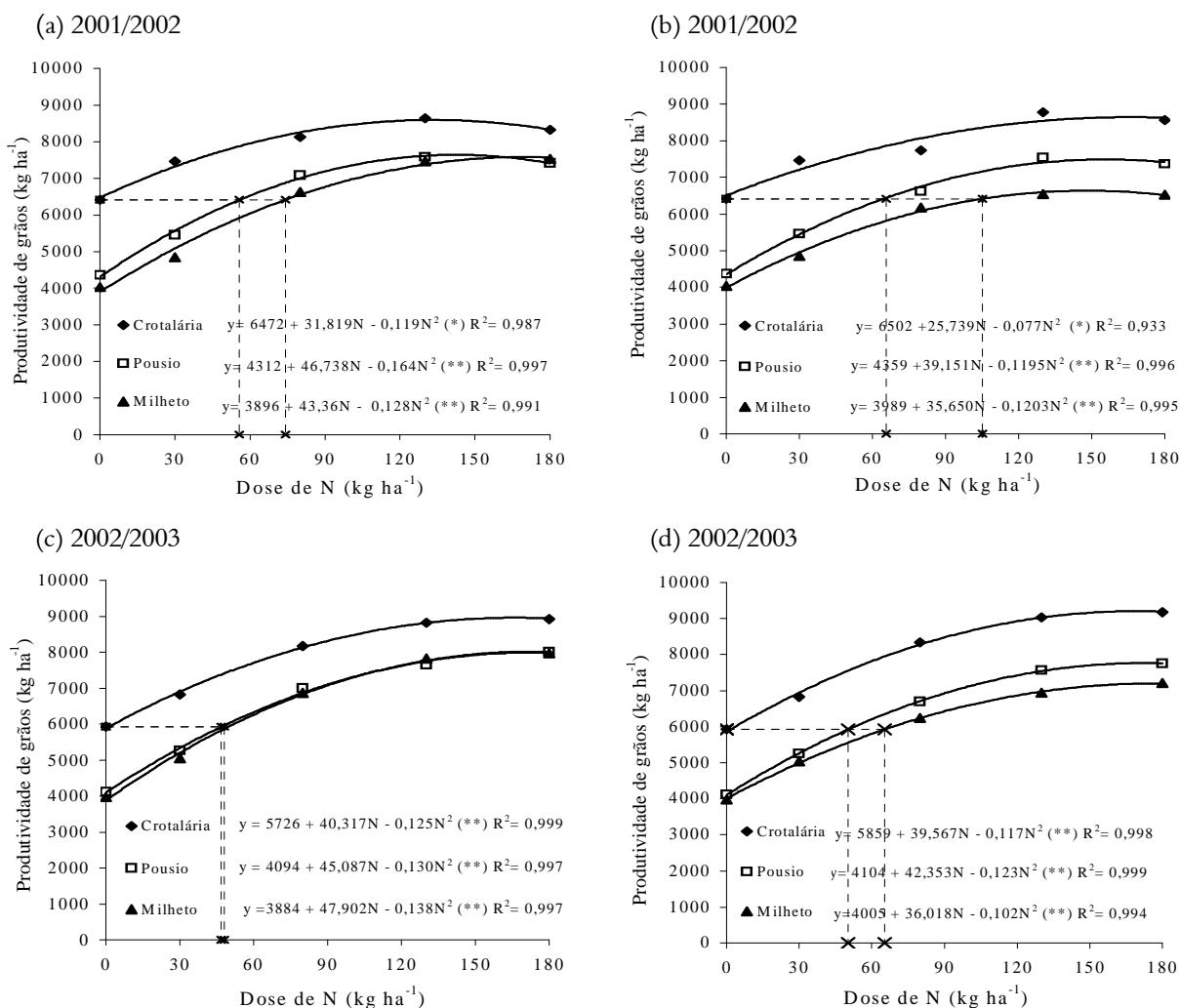
Médias seguidas por letras distintas, dentro do mesmo ano agrícola, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

A menor produtividade de grãos para o milho cultivado em sucessão ao milheto (Tabela 1), possivelmente, foi em virtude da imobilização do N do fertilizante pela microbiota do solo, para a decomposição dos resíduos vegetais de alta relação C/N dessa gramínea e também, devido à imobilização do N mineral do solo, que constitui, na maioria das vezes, a principal fonte de N para as culturas (Amado et al., 2002). Em adição, a dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados na semeadura, provavelmente não foi suficiente para compensar tal efeito nessa sucessão porque, como se verifica na Figura 1, a dose 30 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionou produtividade de grãos inferior ao cultivo em

sucessão à crotalária sem a aplicação de N. No SPD, pesquisas têm demonstrado que a maior presença de resíduos orgânicos de alta relação C/N na superfície do solo favorece a maior atividade e imobilização do N pelos microorganismos quimiorganotróficos (Sá, 1996; Cantarella et al., 2003), o que pode comprometer a disponibilidade de N para o milho (Amado et al., 2002).

A produtividade de grãos aumentou de forma quadrática (Figura 1) em função das doses de N aplicadas, nos dois os anos agrícolas. No primeiro ano agrícola (2001/02), a máxima produtividade física, com a aplicação do N no estádio quatro folhas (Figura 1a), foi alcançada com as doses de 133, 142 e 170 kg ha<sup>-1</sup> de N, no milho cultivado em sucessão à crotalária (8.599 kg ha<sup>-1</sup>), pousio (7.642 kg ha<sup>-1</sup>) e milheto (7.569 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente. Para o estádio de oito folhas (Figura 1b), a produtividade foi alcançada com as doses de 166, 163 e 148 kg ha<sup>-1</sup> de N, no milho cultivado em sucessão à crotalária (8.652 kg ha<sup>-1</sup>), pousio (7.991 kg ha<sup>-1</sup>) e milheto (8.016 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente. No segundo ano agrícola, as produtividades também se ajustaram a um modelo quadrático e a máxima eficiência técnica, com a aplicação do N no estádio quatro folhas (Figura 1c), foi alcançada com as doses de 160, 173 e 172 kg ha<sup>-1</sup> de N, no milho cultivado em sucessão à crotalária (8.966 kg ha<sup>-1</sup>), pousio (7.991 kg ha<sup>-1</sup>) e milheto (8.016 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente. Para o estádio de oito folhas (Figura 1d), a produtividade foi alcançada com as doses de 169, 172 e 177 kg ha<sup>-1</sup> de N, no milho em sucessão crotalária (9.201 kg ha<sup>-1</sup>), pousio (7.759 kg ha<sup>-1</sup>) e milheto (7.194 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente.

A máxima produtividade econômica de grãos de milho, considerando a relação preço do milho (Mapa, 2005) e o preço do N (Agriannual, 2005) de 10/1, para o primeiro ano agrícola com o N aplicado no estádio quatro folhas, foi obtida com as doses de 92, 112 e 130 kg ha<sup>-1</sup> de N, no milho cultivado em sucessão à crotalária (8.389 kg ha<sup>-1</sup>), pousio (7.489 kg ha<sup>-1</sup>) e milheto (7.343 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente. Para o estádio de oito folhas, ela foi alcançada com as doses de 102, 122 e 107 kg ha<sup>-1</sup> de N, no milho em sucessão à crotalária (8.327 kg ha<sup>-1</sup>), pousio (7.357 kg ha<sup>-1</sup>) e milheto (6.423 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente. No segundo ano agrícola, para a aplicação do N no estádio quatro folhas, ela foi alcançada com as doses de 121, 135 e 137 kg ha<sup>-1</sup> de N, no milho cultivado em sucessão à crotalária (8.771 kg ha<sup>-1</sup>), pousio (7.803 kg ha<sup>-1</sup>) e milheto (7.836 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente. Para o estádio de oito folhas, a produtividade foi alcançada com as doses de 126, 131 e 128 kg ha<sup>-1</sup> de N, no milho em sucessão à crotalária (8.989 kg ha<sup>-1</sup>), pousio (7.552 kg ha<sup>-1</sup>) e milheto (6.944 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente.



**Figura 1.** Produtividade de grãos de milho em função de doses de N aplicadas no estádio quatro folhas (a e c) ou oito folhas (b e d) e sistemas de cobertura do solo, anos agrícolas 2001/02 e 2002/03. (Obs. \* e \*\*: significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente).

Verifica-se que, de maneira geral, nos dois anos agrícolas, a máxima produtividade econômica de grãos foi superior para o milho cultivado em sucessão à crotalária, além da necessidade de uma menor dose de N para a sua obtenção, tendo sido a produtividade de grãos, praticamente, indiferente quanto à aplicação do N no estádio quatro ou oito folhas.

Para o milho em sucessão ao milheto, a máxima produtividade econômica de grãos com menor dose de N, foi obtida com a aplicação no estádio quatro folhas, observando-se o mesmo fato com menor intensidade também para o milho cultivado sobre o solo em pousio na entressafra. Essa diferença, porém, foi menor em favor do estádio quatro folhas, no segundo ano agrícola comparado ao primeiro, considerando que as doses máximas econômicas para as duas épocas de aplicação do N foram quase semelhantes.

Embora o milho em sucessão ao milheto tenha demandado maior dose de N para atingir a máxima produtividade física e econômica, foi o sistema que proporcionou menor produtividade de grãos, ao contrário da crotalária, que proporcionou maior produtividade com menor dose de N.

Observa-se pela Tabela 2 que o cultivo do milho, em sucessão ao milheto e ao solo em pousio na entressafra proporcionou maior retorno econômico por kg de N investido, comparado ao milho em sucessão à crotalária. No entanto, opostamente, a crotalária proporcionou maior produtividade física e econômica de grãos ao milho cultivado em sucessão (Figura 1), indicando que a dose de N deve ter sido suficiente para maximizar os rendimentos, fato comprovado pelas equações ajustadas. Assim, a diferença em relação às demais sucessões foi, possivelmente, em função dos benefícios proporcionados pela inclusão dessa leguminosa em

rotação ao milho, o que pode estar relacionado com o fornecimento de outros nutrientes mineralizados concomitantemente ao N, processo favorecido pela menor relação C/N dessa leguminosa (Muraoka *et al.*, 2002). Em adição, a crotalária provavelmente deve ter promovido outros benefícios ao milho, não mensurados neste estudo, a exemplo do relatado por Igue (1984) e Calegari (2004) como o fornecimento de outros nutrientes, melhoria das condições de aeração, de infiltração e retenção de água, diminuição da amplitude de variação térmica e outros.

**Tabela 2.** Produtividade física de grãos e retorno econômico (RE) por kg de N investido, em função dos sistemas de cobertura do solo (crotalária, pousio ou milheto) e épocas de aplicação do N (estádio quatro ou oito folhas), anos agrícolas 2001/02 e 2002/03.

Sistema de cobertura	Prod. grãos kg <sup>-1</sup> de N		RE kg <sup>-1</sup> de N	
	kg		R\$	
	Quatro folhas	Oito folhas	Quatro folhas	Oito folhas
Ano agrícola 2001/02				
Crotalária	21,59 cA	18,76 cB	4,75	4,13
Pousio	27,88 aA	24,51 aB	6,13	5,39
Milheto	25,64 bA	22,43 bB	5,64	4,93
Ano agrícola 2002/03				
Crotalária	23,48 bA	24,26 bA	5,17	5,34
Pousio	27,37 aA	26,17 aB	6,02	5,76
Milheto	28,31 aA	23,31 bB	6,23	5,13

Médias seguidas por letras distintas, dentro do mesmo ano agrícola, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Considerando a média para os dois anos agrícolas, para a dose máxima econômica de N e a máxima produtividade econômica de grãos, cada kg de N-uréia aplicado, desconsiderando a produtividade do tratamento controle, equivaleu à produtividade (produção relativa) de 79,1; 60,6 e 67,1 kg de grãos de milho, respectivamente, quando cultivado em sucessão à crotalária, pousio e milheto. Esses valores correspondem a 0,77; 0,99 e 1,05 kg ha<sup>-1</sup> de N por saca de 60 kg de grãos de milho colhida (13% de umidade). Nos EUA, em Illinois, para determinar a dose de N tem sido considerado a produtividade comprovada para aquele campo, utilizando-se a equação: dose de N (kg ha<sup>-1</sup>) = (fator 0,02 x produtividade comprovada, em kg ha<sup>-1</sup>) - (crédito para leguminosa antecessora + crédito para N de esterco + crédito para N associado com a aplicação de P). No caso, o fator 0,02 equivale ao mesmo que 1,2 kg de N/60 kg de milho. No entanto, embora esse sistema funcione para alguns locais, ele não prediz o fator, com precisão, para cada ano e cada local (Hoeft, 2003). Também nos EUA, uma recomendação de adubação nitrogenada muito utilizada é a de 17,8 a 21,4 kg ha<sup>-1</sup> de N por tonelada de grãos a ser produzida, da mesma forma, descontada da contribuição de outras fontes de N, leguminosas, adubos orgânicos e outros (Sims *et al.*, 1995; Below, 2002).

Dentre todos os nutrientes de plantas, o N é o que proporciona maior resposta em produtividade de grãos por unidade aplicada. Conforme Raji *et al.* (1981) para situações em que 1 kg de N equivale a 7 kg de milho, as doses de N a serem aplicadas seriam de zero, 85 e 147 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, para áreas com produtividade de grãos menores que 3.000 kg ha<sup>-1</sup>, de 3.000 a 7.000 kg ha<sup>-1</sup> e de 7.000 a 8.500 kg ha<sup>-1</sup>. Fernandes *et al.* (1998), trabalhando em três sistemas de preparo e quatro doses de N em cobertura (0, 60, 120 e 240 kg ha<sup>-1</sup>), verificaram que os dados de produtividade de grãos se ajustaram a funções quadráticas, sendo que 71 kg ha<sup>-1</sup> de N foram suficientes para a obtenção de 90% da produtividade máxima de grãos. No presente trabalho, as doses de N para a obtenção da máxima produtividade econômica, exceto para o milho em sucessão à crotalária no primeiro ano agrícola, ficaram dentro da faixa recomendada por Raji *et al.* (1996) para produtividade esperada de 8.000 a 10.000 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, considerando a classe de alta resposta esperada a N, embora com produtividade de grãos menor. Da mesma forma, foram superiores às doses recomendadas por Sousa e Lobato (2004), podendo esse resultado ser devido ao híbrido utilizado, condições climáticas vigentes e/ou ao histórico de uso e manejo do solo com cultivo predominante de gramíneas.

A grande variação relativa nas recomendações de N para o milho ocorre em virtude das condições edafoclimáticas distintas em que são conduzidos os experimentos de campo e, também, devido aos distintos genótipos utilizados, impossibilitando as generalizações. Assim sendo, todas as recomendações apresentam certo grau de probabilidade de falta de respostas pelo milho, devido às transformações do N no solo serem mediadas por microrganismos, que, assim como o processo de absorção, dependem das condições climáticas. Dessa forma, uma proposta de recomendação de N deve ser dinâmica, incorporando novos resultados de pesquisa, sendo primordial que o técnico responsável conheça o histórico da área e das produtividades obtidas. Outro aspecto que deve ser considerado é o preço de mercado do fertilizante e o preço do milho, apesar da dificuldade de previsão e dos riscos climáticos, principalmente na segunda safra de milho (safrinha).

Pela análise da Figura 1a e b, observa-se que, em média, considerando-se a aplicação do N nos estádios quatro e oito folhas, a produtividade de grãos de milho em sucessão à crotalária sem a aplicação de N-fertilizante, no primeiro ano agrícola (6.410 kg ha<sup>-1</sup>) foi equivalente à mesma

produtividade com a aplicação de 60,50 kg ha<sup>-1</sup> de N para o milho cultivado no solo em pousio e de 90,00 kg de N para o milho em sucessão ao milheto. Já, no segundo ano agrícola (5.923 kg ha<sup>-1</sup>), Figura 1c e d, foi equivalente à aplicação de 50,00 e de 58,00 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, para o milho cultivado no solo em pousio e em sucessão ao milheto. Nos dois anos agrícolas, tanto para o milho em sucessão ao solo em pousio, quanto em sucessão ao milheto, a maior quantidade de N para equiparar à produtividade de grãos do milho em sucessão à crotalária sem a aplicação de N, foi com a aplicação do N no estádio oito folhas, sendo que a necessidade foi, em média, superior a 10% da quantidade aplicada no estádio quatro folhas. Nesse sentido, rendimentos de milho sem a adubação nitrogenada, cerca de duas a três toneladas por hectare menores quando cultivado após aveia do que após uma leguminosa, foram observados por Aita *et al.* (1994), Teixeira *et al.* (1994) e Amado *et al.* (2000), o que permitiu estimar uma contribuição aparente das leguminosas usadas (ervilhaca, ervilha forrageira e tremoço) de 30 a 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, compatível com as estimativas do presente estudo.

Verifica-se, ainda, (Figura 1) que, mesmo com a aplicação de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura, a produtividade de grãos para o milho em sucessão ao solo em pousio e ao milheto, foi relativamente baixa quando comparada com a do milho em sucessão à crotalária. Tal fato indica que essa dose, provavelmente, foi insuficiente para suprir a demanda da planta e o processo de imobilização do N mineral da solução do solo pelos microrganismos quimiorganotróficos, para a decomposição dos resíduos vegetais. Resultados, nesse sentido, também foram observados em outros estudos (Sá, 1996; Gonçalves *et al.*, 2000; Amado *et al.*, 2002). No caso do milho cultivado em sucessão ao solo em pousio, ao milheto ou a outras plantas de cobertura que apresentem alta relação C/N, em condições edafoclimáticas parecidas com a do presente estudo, existe grande probabilidade de respostas a doses de N superiores a 30 kg ha<sup>-1</sup> na semeadura.

Pelas produtividades de grãos obtidas no milho cultivado em sucessão à crotalária sem a aplicação de N, 6.410 kg ha<sup>-1</sup> no ano agrícola 2001/02, e 5.923 kg ha<sup>-1</sup> no ano agrícola 2002/03, pode-se inferir que essa leguminosa se traduz numa excelente opção como fonte de N para produtor que trabalha com média tecnologia, podendo substituir, integralmente, o uso de uma fonte inorgânica de N para o milho.

Apesar de tudo, deve-se considerar que cada propriedade apresenta particularidades quanto à fertilidade e manejo do solo, tipos de máquinas,

nível tecnológico, aspectos administrativos e outros, o que as tornam diferenciadas quanto à estrutura do custo de produção (Melo Filho, 2000). Os custos, portanto, podem variar, sendo que as diferenças podem recair tanto sobre o custo fixo quanto sobre o custo variável. O ponto de equilíbrio pode variar em função das alterações no custo de produção ou no preço de venda do produto, resultando em maior ou menor rentabilidade econômica para o produtor. Ressalta-se ainda que as diferenças nas quantidades de N a serem utilizadas dependem, além da produtividade esperada, do histórico da área, características do solo, principalmente o teor de MOS, das condições climáticas, do sistema de manejo utilizado, da cultura antecessora e do preço de mercado do fertilizante e do milho. Esses fatores visam reduzir as perdas, aumentar o aproveitamento do N, a produtividade e a qualidade de grãos e, consequentemente, a lucratividade do produtor com menor risco para o meio ambiente, conceito imprescindível na "agricultura sustentável".

## Conclusão

a) O cultivo do milho em sucessão à crotalária proporcionou maior produtividade física e econômica de grãos, comparado ao milho em sucessão ao milheto e ao solo em pousio;

b) a aplicação do N no milho com quatro folhas em sucessão ao milheto e ao solo em pousio, proporcionou maior produtividade de grãos e maior retorno econômico, comparada à aplicação no estádio oito folhas;

c) a contribuição do N proveniente da crotalária para o milho cultivado na seqüência foi, em média, equivalente à aplicação de 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de N-fertilizante no ano agrícola 2001/02 e 50 e 58 kg ha<sup>-1</sup> em 2002/03, respectivamente, para o milho cultivado sobre o solo em pousio e em sucessão ao milheto;

d) em termos econômicos, cada kg de N-uréia investido proporcionou, em média, retorno de R\$ 4,85; R\$ 5,80 e R\$ 5,48, respectivamente, para o milho em sucessão à crotalária, pousio e milheto;

e) a crotalária demonstrou ser uma fonte alternativa de N para o produtor de milho que utiliza média tecnologia, podendo substituir, integralmente, a utilização de uma fonte inorgânica;

f) nas condições experimentais, para o milho em sucessão ao milheto e ao solo em pousio, a aplicação de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura demonstrou ser insuficiente para suprir a demanda da planta e dos microrganismos para a decomposição dos resíduos vegetais.

## Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Fapesp, pela concessão de bolsa de estudo e à International Atomic Energy Agency – IAEA, pelo apoio financeiro.

## Referências

- AGRIANUAL: *Anuário da agricultura brasileira*. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2005. p. 417-438.
- AITA, C. et al. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho em sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 18, n. 1, p. 101-108, 1994.
- AMADO, T.J.C. et al. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 179-189, 2000.
- AMADO, T.J.C. et al. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.
- BELOW, F.E. *Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho*. Piracicaba: Potafos, 2002. p. 7-12. (Informações Agronômicas, 99).
- CALEGARI, A. Alternativa de rotação de culturas para plantio direto. *Rev. Plantio Direto*, Passo Fundo, v. 80, p. 62-70, 2004.
- CANTARELLA, H. et al. Antecipação de nitrogênio milho em sistema de plantio direto usando  $^{15}\text{N}$ -uréia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003. Ribeirão Preto. *Resumos...* Ribeirão Preto: SBCS, 2003.
- COELHO, A.M. et al. *Rendimento do milho no Brasil: chegamos ao máximo?* Piracicaba: Potafos, 2003. p. 1-12. (Informações Agronômicas, 101).
- CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento. Comparativo da área, produção e produtividade: safras 2001/02 e 2002/03. Disponível em: <<http://conab.gov.br/safra.asp>>. Acesso em: 29 jun. 2005.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de informações, Rio de Janeiro, 1999.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. *Produção de milho*. Guaíba: Agropecuária, 2000.
- FEBRAPDP-Federação Brasileira de Plantio na Palha. *Evolução da área de plantio direto no Brasil*. Disponível em: <<http://www.agri.com.br/febrapdp>>. Acesso em: 1º set. 2005.
- FERNANDES, L.A. et al. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho em Latossolo sob vegetação de Cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 247-254, 1998.
- GONÇALVES, C.N. et al. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 153-159, 2000.
- HOEFT, R.G. *Desafios para obtenção de altas produtividades de milho e de soja nos EUA*. Piracicaba: Potafos, 2003. (Informações Agronômicas, 104).
- IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: *Adubação verde no Brasil*. Campinas: Fundação Cargil, 1984. p. 232-267.
- MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano agrícola e pecuário 2004/05. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 30 jun. 2005.
- MELO FILHO, G.A. *Custos: plantio direto x plantio convencional. Direto no Cerrado*. Brasília: APDC/FEBRAPDP, 2000. v. 5, n. 18.
- MURAOKA, T. et al. Eficiencia de abonos verdes (crotalaria y mucuna) y urea, aplicadas solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. *Terra, Chapino*, v. 20, n. 1, p. 17-23, 2002.
- RAIJ, B. Van. et al. Análise de solo para discriminar resposta á adubação para a cultura do milho. *Bragantia*, Campinas, v. 40, n. 1, p. 57-75, 1981.
- RAIJ, B. Van. et al. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 2001.
- RAIJ, B. van. et al. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B. Van. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba, Potafos, 1991.
- SÁ, J.C.M. *Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto*. Passo Fundo, Aldeia Norte, 1996.
- SAS - Institute Incorporation. *The SAS-System for Windows release 6.11 (software)*. Cary, 1996.
- SILVA, E.C. et al. Aspectos econômicos da adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema plantio direto em Latossolo Vermelho distroférrico fase cerrado. *Rev. Bras. Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, p. 286-297, 2005.
- SIMS, J.T. et al. Evaluation of soil and plant nitrogen tests for maize on manured soils of the Atlantic Coastal-Plain. *Agron. J.*, Madison, v. 87, n. 2, p. 213-222, 1995.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. cap. 5, p. 129-144.
- SOUZA, P.M.; BRAGA, M.J. Aspectos econômicos da produção e comercialização do milho no Brasil. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. (Ed.). *Tecnologia de produção de milho*. Viçosa: UFV, 2004. cap. 3, p. 13-53.
- TEIXEIRA, L.A.J. et al. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento do milho afetado por sistemas de cultura. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 18, n. 2, p. 207-214, 1994.

Received on October 26, 2005.

Accepted on August 16, 2006.