

# NITROGÊNIO EM COBERTURA NA CULTURA DO MILHO EM PREPARO CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO CONSOLIDADOS<sup>1</sup>

Rogério Farinelli<sup>2</sup>, Leandro Borges Lemos<sup>3</sup>

## ABSTRACT

### TOPDRESSING NITROGEN IN MAIZE CROP UNDER CONSOLIDATED CONVENTIONAL AND NO-TILLAGE SYSTEMS

Nitrogen is the nutrient most required by the maize crop, being often the most limiting one to grain yield. This research aimed to evaluate maize response to yield, agronomic traits, and efficiency of nitrogen (N) use, in relation to nitrogen topdressing, under conventional and no-tillage systems, in an area where soil management systems have been studied for twenty years (1985-2005), in the Universidade Estadual Paulista, in Botucatu, São Paulo State, Brazil. The experimental design was randomized blocks, in a split-plot arrangement, with four replications. The plots consisted of conventional and no-tillage systems and the subplots comprised topdressing nitrogen doses (0 kg ha<sup>-1</sup>, 40 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 120 kg ha<sup>-1</sup>, and 160 kg ha<sup>-1</sup>). The nitrogen topdressing promoted significant increases in maize agronomic and nutritional traits, with maximum grain yield obtained with 151 kg ha<sup>-1</sup> of N. For the 90 kg ha<sup>-1</sup> and 145 kg ha<sup>-1</sup> nitrogen topdressing doses, the agronomic and recovery efficiency values were similar, when considered the conventional and no-tillage systems, respectively. The grain yield and maize agronomic and nutritional traits were not affected by soil management system.

KEY-WORDS: *Zea mays* L.; soil management systems; doses and efficiency of nitrogen use.

## RESUMO

O nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do milho, sendo o que mais frequentemente limita a produtividade de grãos. O objetivo do trabalho foi avaliar, em área com vinte anos (1985-2005) de estudo de sistemas de manejo de solo, na Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu (SP), a resposta do milho à produtividade, características agrônômicas e eficiência de uso de nitrogênio (N), em função da adubação nitrogenada em cobertura, nos sistemas de preparo convencional e plantio direto. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram representadas por preparo convencional do solo e plantio direto e as subparcelas por doses de adubação nitrogenada em cobertura (0 kg ha<sup>-1</sup>, 40 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 120 kg ha<sup>-1</sup> e 160 kg ha<sup>-1</sup>). A adubação nitrogenada de cobertura promoveu acréscimos significativos nas características agrônômicas e nutricionais do milho, com a produtividade máxima de grãos obtida com 151 kg ha<sup>-1</sup> de N. Nas doses de 90 kg ha<sup>-1</sup> e 145 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, os valores da eficiência agrônômica e de recuperação foram semelhantes, para o preparo convencional do solo e plantio direto, respectivamente. As produtividades de grãos e as características agrônômicas e nutricionais do milho não foram afetadas pelo tipo de preparo do solo.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays* L.; sistemas de manejo de solo; doses e eficiência do uso de nitrogênio.

## INTRODUÇÃO

O potencial produtivo da cultura do milho requer que suas exigências nutricionais sejam plenamente atendidas, em virtude da grande extração de nutrientes do solo. Neste sentido, o nitrogênio (N) é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura, sendo o que mais frequentemente limita a produtividade de grãos, pois exerce importante função nos processos bioquímicos da planta, como

constituente de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e clorofila (Fornasieri Filho 2007).

A disponibilidade de N no solo, para a cultura do milho, é controlada, basicamente, pela decomposição da matéria orgânica e por adubações nitrogenadas, sendo que, quando são utilizadas culturas com baixa relação C:N na matéria seca, em rotação ou sucessão, aliada ao manejo de incorporação dos restos culturais, a decomposição e a mineralização

1. Trabalho recebido em jun./2011 e aceito para publicação em fev./2012 (nº registro: PAT 14867).

2. Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos (Unifeb), Barretos, SP, Brasil. *E-mail*: rog.farinelli@hotmail.com.

3. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Departamento de Produção Vegetal, Jaboticabal, SP, Brasil. *E-mail*: leandrobl@fcav.unesp.br.

são mais rápidas e a ciclagem de N ocorre em curto espaço de tempo (Silva et al. 2006).

O sistema plantio direto, em razão do emprego da rotação de culturas, tem proporcionado produtividade de milho superior à de outros sistemas de cultivo. Neste sistema, verifica-se elevação da quantidade de N potencialmente mineralizável do solo, aumentando os teores totais nas camadas superficiais, em virtude da permanência de resíduos, e modificando os processos de imobilização, mineralização, lixiviação e desnitrificação (Silva et al. 2005b), principalmente em áreas onde o uso deste sistema já esteja consolidado (Gomes et al. 2007).

Segundo Coelho (2007), a quantidade média de N utilizada em lavouras comerciais de milho, no Brasil, é de 60 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto, nos Estados Unidos e na China, é de 150 kg ha<sup>-1</sup> e 130 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para a obtenção de altas produtividades, a recomendação técnica é utilizar 60-100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, para cultivo em sequeiro, e 120-160 kg ha<sup>-1</sup> de N, para cultivo irrigado (Cantarella et al. 1997, Souza et al. 2003, Amaral Filho et al. 2005, Coelho 2007, Pavinato et al. 2008).

Vale ressaltar que as influências da adubação nitrogenada, na cultura do milho, são distintas, em relação aos sistemas de manejo de solo adotados. Em sistema de preparo convencional do solo, Veloso et al. (2006) verificaram produtividade máxima de grãos com a aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, enquanto Meira et al. (2009) obtiveram maior produtividade mediante as doses de 90-120 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura. Quanto ao sistema plantio direto, alguns trabalhos de pesquisa também tem demonstrado resposta a doses de N entre 90 kg ha<sup>-1</sup> (Silva et al. 2005a) e 150 kg ha<sup>-1</sup> (Gomes et al. 2007). Contudo, em outros trabalhos, para alcançar máximo potencial produtivo, a cultura necessitou de quantidades acima de 150 kg ha<sup>-1</sup> (Amaral Filho et al. 2005), de 200 kg ha<sup>-1</sup> (Ohland et al. 2005) e, em condições irrigadas, de 280 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura (Pavinato et al. 2008).

De acordo com Rambo et al. (2004), o manejo correto da adubação nitrogenada torna-se essencial para os princípios da agricultura de precisão, visando a aumentar a eficiência de uso do N, e, desta forma, o estudo da adubação nitrogenada em cobertura, na cultura do milho, é uma prática importante, inserida nos aspectos de nutrição mineral, permitindo minimizar os custos de produção. No entanto, a eficiência da adubação nitrogenada depende, dentre outros fatores,

das condições climáticas, tipo de solo e capacidade de extração da cultura (Neumann et al. 2005).

Também é importante salientar que os diversos híbridos e variedades de milho requerem quantidades diferentes de N, de acordo com seu potencial produtivo, sendo que os híbridos são menos eficientes no uso do nitrogênio em altos níveis do suplemento nitrogenado. Além disto, a eficiência do uso de N diminuiu, em relação ao aumento de doses aplicadas, em vista de o suprimento de N exceder as necessidades da cultura (Fernandes et al. 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta da cultura do milho, quanto à produtividade, características agrônomicas e eficiência do uso de N, em função de doses de N em cobertura, em área com vinte anos (1985-2005) de estudo de preparo convencional do solo e de sistema plantio direto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista, Campus Botucatu (SP) (22°51'S e 48°26'W), em Nitossolo Vermelho distrófico. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, subtropical, com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos.

A área experimental faz parte de um programa de estudos a longo prazo, na qual foi possível comparar os sistemas de manejo de solo, utilizando-se o preparo convencional e o plantio direto. Iniciado em 1985, o programa utilizou a sequência de culturas de trigo e soja, até 1995, tendo permanecido em pousio, até 1999, quando a área foi ocupada pela cultura do milho, nestes dois sistemas de manejo de solo. Após este experimento, a área permaneceu, novamente, em pousio até 2002, quando foi instalado um projeto de pesquisa envolvendo a cultura do feijão e adubação nitrogenada em cobertura, durante dois anos agrícolas, empregando-se a sucessão aveia preta (outono/inverno)-milheto (primavera)-feijão (verão).

Deve ser ressaltado que, até o período de instalação deste trabalho, a área experimental contava com 20 anos de estudo de manejos de solo, podendo-se inferir ser esta a área mais antiga ou a pioneira neste tipo de estudo, no Estado de São Paulo. Trabalhos em áreas de manejo de solo com a mesma duração do respectivo experimento são escassos, sendo identificada, de forma comparativa, apenas a pesquisa de Santos et al. (2008), envolvendo

sistema de plantio direto consolidado, também com 20 anos de execução, com a cultura do milho, porém, o mesmo foi realizado em Passo Fundo (RS), região com características edafoclimáticas distintas e mais favoráveis à implantação do sistema plantio direto, comparativamente ao Estado de São Paulo.

Antes da cultura do milho, visando a estabelecer um sistema de sucessão de culturas, para a produção de matéria seca, foi implantada, na área experimental, em 2005, a cultura da aveia preta, no período de outono-inverno, sendo manejada aos 70 dias após a emergência, por meio de dessecação com glifosato, na dose de 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de produto comercial.

Utilizou-se o híbrido triplo DKB 466, de ciclo precoce, com arquitetura foliar semiereta, alta sanidade de colmo e destinado à produção de grãos. A semeadura foi realizada em 13/12/2005, tendo o seu desenvolvimento ocorrido durante o verão, em condições de sequeiro, utilizando-se densidade populacional de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>, no espaçamento entrelinhas de 0,90 m. Para a adubação de semeadura, foram aplicados 350 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 8-28-16 + 0,5% Zn, mediante os resultados da análise química de solo (Tabela 1).

Os tratamentos fitossanitários, como manejo de plantas daninhas e insetos-praga, foram empregados utilizando-se produtos recomendados à cultura.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram representadas pelo preparo convencional do solo, incluindo uma aração com discos, seguida de duas gradagens com grade niveladora, e plantio direto. As subparcelas foram constituídas por cinco doses de adubação nitrogenada em cobertura (0 kg ha<sup>-1</sup>,

40 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 120 kg ha<sup>-1</sup> e 160 kg ha<sup>-1</sup>), empregando-se a ureia como fonte de N. Cada subparcela foi formada por 5 linhas de milho, espaçadas em 0,9 m, em 8,0 m de comprimento, tendo sido consideradas úteis as 3 linhas centrais, desprezando-se 0,5 m de cada extremidade, constituindo-se uma área de 18,90 m<sup>2</sup>. As adubações de cobertura foram efetuadas no estágio V6, caracterizado pela presença da sexta folha completamente desenvolvida (Cantarella et al. 1997), com aplicação na superfície, em filete contínuo, a 10,0 cm de distância das plantas de milho.

Por ocasião do florescimento feminino, foram coletadas, em dez plantas por subparcela, o terço central de dez folhas opostas e abaixo à primeira espiga, segundo Coelho et al. (2002). Após a secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 60-70°C, as folhas foram moídas em moinho tipo Wiley, sendo determinado o teor de N, segundo o método descrito em Malavolta et al. (1997).

A colheita foi realizada manualmente, na área útil de cada subparcela, tendo sido colhidas todas as espigas com palha. Posteriormente, avaliaram-se as variáveis rendimento de espiga (por meio do peso de grãos e peso total das espigas com palha) e a massa de 100 grãos (por meio da coleta de 4 amostras de 100 grãos por subparcela e posterior pesagem, sendo calculada em 13% de base úmida). O teor de N nos grãos foi obtido mediante a aplicação da metodologia de Kjeldahl (Malavolta et al. 1997) e, após o processo de debulha das espigas, a produtividade de grãos foi obtida mediante a massa de grãos, determinando-se o teor de água, calculado em 13% de base úmida.

De acordo com as metodologias propostas por Fageria & Baligar (2005), também foram determinados os modos de eficiência de uso de N, na cultura do milho. A eficiência agrônômica (EA) foi

Tabela 1. Análise química estratificada, no sistema de preparo convencional do solo (PC) e sistema plantio direto (PD) (Botucatu, SP, 2005).

Profundidade cm	pH	MO	P resina	H + Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	CaCl <sub>2</sub>	g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%			
0-5 (PC)	5,1	31,0	46,8	4,00	0,30	4,25	1,75	6,30	103,0	61,1
5-10 (PC)	5,2	29,5	46,0	3,80	0,23	4,33	1,85	6,41	102,1	62,8
10-20 (PC)	5,2	28,0	40,0	4,03	0,20	4,13	1,63	5,96	99,9	59,6
20-40 (PC)	5,3	33,0	34,2	3,86	0,04	4,40	1,74	6,18	100,4	61,5
0-5 (PD)	5,6	42,5	83,7	3,45	0,36	5,80	2,80	8,96	124,1	72,2
5-10 (PD)	5,3	32,5	75,5	3,90	0,29	5,53	2,48	8,30	122,0	68,0
10-20 (PD)	5,4	30,3	50,8	3,63	0,23	5,05	2,04	7,32	109,5	66,8
20-40 (PD)	5,3	31,1	16,4	3,55	0,10	4,20	1,70	6,00	95,5	62,8

calculada utilizando-se a fórmula  $EA = (PG_{cf} - PG_{sf}) / (QN_a)$ , expressa em  $kg\ kg^{-1}$ , onde  $PG_{cf}$  é a produção de grãos com fertilizante nitrogenado,  $PG_{sf}$  a produção de grãos sem fertilizante nitrogenado e  $QN_a$  a quantidade de nitrogênio aplicada (em kg). A eficiência agrofisiológica (EAF) foi calculada mediante o uso da fórmula  $EAF = (PG_{cf} - PG_{sf}) / (AC_{cf} - AC_{sf})$ , expressa em  $kg\ kg^{-1}$ , onde  $AC_{cf}$  é a quantidade de N acumulado na parte aérea e nos grãos com fertilizante nitrogenado e  $AC_{sf}$  a quantidade de N acumulado na parte aérea e nos grãos sem fertilizante nitrogenado. A eficiência de recuperação (ER) foi determinada pela equação  $ER = (AC_{cf} - AC_{sf}) / (QN_a) \times 100$ , expressa em porcentagem.

Além destas avaliações, foi realizada análise agroeconômica, utilizando-se a dose de  $90\ kg\ ha^{-1}$  de N, para a obtenção da máxima produtividade de grãos, segundo a classe de resposta alta ao N (Cantarella et al. 1997), como, também, a dose da máxima eficiência agrônômica, considerando-se o valor de R\$ 26,00, para a saca de 60 kg de milho, e de R\$ 1.000,00, para a tonelada do fertilizante nitrogenado (ureia).

Os resultados foram submetidos a análise de variância, empregando-se o teste F, a 5%, para a comparação dos manejos de solo, e análise de regressão polinomial, para os estudos das doses de N em cobertura, como, também, para os desdobramentos da interação sistemas de manejo de solo x doses de N.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características agrônômicas e a produtividade foram influenciadas pela adubação nitrogenada em cobertura (Tabela 2), sendo que o máximo rendimento de espigas (78,13%) foi obtido com o uso de  $92,30\ kg\ ha^{-1}$  de N, o que se refletiu em ganhos de produtividade. Quanto à massa de 100 grãos, os resultados foram crescentes, mediante às doses de nitrogênio em cobertura, sendo coerentes com os obtidos em outros trabalhos, como o de Amaral Filho et al. (2005) e Ohland et al. (2005), os quais utilizaram quantidades de  $0-150\ kg\ ha^{-1}$  e  $0-200\ kg\ ha^{-1}$  de N em cobertura, respectivamente, diferentemente de Gomes et al. (2007), que não obtiveram resposta positiva da adubação de N em cobertura. Os resultados discordantes na literatura demonstram que a massa de grãos é uma característica influenciada pelo genótipo, pela disponibilidade de nutrientes e pelas condições climáticas, durante a fase de enchimento de grãos (Ohland et al. 2005).

Os teores de nitrogênio foliar ( $y = 0,042x + 22,03$ ) e nos grãos ( $y = 0,049x + 14,10$ ) aumentaram linearmente, mediante as doses de N aplicadas (Tabela 2), justificando a sua consequente participação como constituinte da clorofila, no processo fotossintético e na formação de aminoácidos e proteínas (Fornasieri Filho 2007). Apesar de as doses de  $0-80\ kg\ ha^{-1}$  de N terem promovido teores

Tabela 2. Rendimento de espiga, massa de 100 grãos, produtividade de grãos, teor foliar de N e teor de N nos grãos, na cultura do milho, em função da adubação nitrogenada de cobertura, no sistema de preparo convencional do solo (PC) e no sistema plantio direto (PD) (Botucatu, SP, 2005/2006).

Tratamentos	Rendimento de espiga	Massa de 100 grãos	Produtividade de grãos	Teor foliar de N	Teor de N nos grãos
	%	g	$kg\ ha^{-1}$	$g\ kg^{-1}$	
Manejos (M)					
PC	78,06	38,18	7,940	25,88	17,64
PD	77,00	37,69	8,166	25,00	18,50
Teste F	66,88 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	2,04 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>
CV (%)	0,53	3,68	6,24	8,85	12,60
Doses de N (D)					
0	76,52*	35,23**	6,678***	21,05****	14,73*****
40	77,85	35,90	7,570	23,93	16,10
80	77,91	38,47	8,240	26,51	16,25
120	78,07	39,95	9,030	28,33	21,15
160	77,31	40,11	8,748	27,36	22,13
Teste F	19,08*	21,06*	28,52*	10,35*	12,81*
CV (%)	1,28	3,52	4,50	7,93	7,93
M x D	12,54 <sup>ns</sup>	2,11 <sup>ns</sup>	2,11 <sup>ns</sup>	2,57 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>

\* $y = -0,000182x^2 + 0,0336x + 76,59$ ,  $R^2 = 0,94^{**}$ . \*\* $y = 0,034x + 35,17$ ,  $R^2 = 0,92^{**}$ . \*\*\* $y = -0,099x^2 + 29,897x + 6,615$ ,  $R^2 = 0,97^{*}$ . \*\*\*\* $y = 0,042x + 22,03$ ,  $R^2 = 0,83^{*}$ . \*\*\*\*\* $y = 0,049x + 14,10$ ,  $R^2 = 0,89^{*}$ . <sup>ns</sup>Não-significativo. \* Significativo a 5%.

foliares inferiores aos adequados à cultura, que são de 27-35 g kg<sup>-1</sup> (Cantarella et al. 1997), não houve comprometimento no desenvolvimento das plantas, pois a quantidade fornecida na adubação de semeadura, aliada à mineralização dos restos culturais da aveia preta, permitiu uma produtividade satisfatória, mesmo na ausência do nutriente em cobertura e nas doses menores, sendo o mesmo efeito observado por Amaral Filho et al. (2005) e Gomes et al. (2007).

Em relação à produtividade de grãos, as doses de N em cobertura ajustaram-se a um modelo de equação quadrático ( $y = -0,099x^2 + 29,897x + 6,615$ ), onde foram estabelecidos 8.872 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, com a aplicação de 151 kg ha<sup>-1</sup> de N (Tabela 1), corroborando os resultados de Gomes et al. (2007), que, em área com dez anos de plantio direto, verificaram máxima produtividade, com a mesma dose de N em cobertura.

Na literatura, os trabalhos são distintos, quanto à resposta da produtividade do milho, em relação ao sistema de manejo de solo empregado. Silva et al. (2006), no sistema plantio direto, também obtiveram respostas próximas às deste trabalho, em sucessão à crotalaria e no pousio, nas doses de 144 kg ha<sup>-1</sup> e 149 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, enquanto Pavinato et al. (2008), em condição irrigada, alcançaram produtividade máxima sob a aplicação de 280 kg ha<sup>-1</sup> de N. Já com relação ao sistema de preparo convencional do solo, Veloso et al. (2006) verificaram máxima produtividade de grãos mediante a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, enquanto Meira et al. (2009) obtiveram maior produtividade com a aplicação de 90-120 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura. Estes resultados demonstram que o efeito do N na cultura do milho, no sistema plantio direto e convencional, é dependente da dose aplicada, do histórico da área e das condições climáticas do ano agrícola.

O cultivo, durante vinte anos, nas áreas dos dois sistemas de manejo de solo, utilizando-se as culturas de trigo, soja, feijão, milheto e aveia preta, permitiu melhorias nos atributos químicos do solo, principalmente nos teores de matéria orgânica, fósforo, cálcio e magnésio (Tabela 1), sendo os valores mais pronunciados no sistema plantio direto. A consolidação dos sistemas de manejo de solo, associada ao emprego da sucessão de culturas, resultou na ausência de efeito do preparo convencional e plantio direto nas características agrônômicas e nutricionais do milho e na interação da adubação nitrogenada, e ainda promoveu produtividades semelhantes, com

valores de 7.940 kg ha<sup>-1</sup> e 8.167 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, respectivamente (Tabela 2).

Quanto à eficiência do uso de N, observou-se interação significativa para todas as avaliações (Tabela 3), sendo que, para a eficiência agrônômica (EA), no plantio direto, os resultados decresceram, em relação às doses (Figura 1), confirmando o já relatado por Fernandes et al. (2005), onde há diminuição dos valores, de acordo com o aumento de doses de N aplicadas, em vista de o suprimento de N exceder as necessidades da cultura.

No preparo convencional, a resposta inicial foi, de certa forma, oposta, obtendo-se somente a diminuição da EA a partir da dose de 77 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura (Figura 1). Vale destacar que, na menor dose utilizada, o plantio direto sobressaiu-se, em comparação ao preparo convencional, o que pode estar relacionado à mineralização mais lenta dos restos culturais da cultura antecessora, permitindo um aporte de matéria seca na superfície do solo, bem como aos maiores teores de matéria orgânica na análise de solo estratificada (Tabela 1). Nota-se, ainda, que, na dose de 90 kg ha<sup>-1</sup>, os resultados da EA foram semelhantes, com 24,04 kg kg<sup>-1</sup> de N, para o preparo convencional, e 24,36 kg kg<sup>-1</sup>, para o sistema plantio direto. Segundo Raun & Johnson (1999 apud

Tabela 3. Eficiência agrônômica, agrofisiológica e de recuperação na cultura do milho, em função da adubação nitrogenada de cobertura, no sistema de preparo convencional do solo (PC) e no sistema plantio direto (PD) (Botucatu, SP, 2005/2006).

Tratamentos	Eficiência	Eficiência	Eficiência de
	agronômica	agrofisiológica	recuperação
	kg kg <sup>-1</sup>		%
Manejos (M)			
PC	20,56	299,98 a <sup>1</sup>	8,28 b
PD	22,12	132,87 b	15,39 a
Teste F	1,53 <sup>ns</sup>	100,97**	75,93*
CV (%)	14,46	18,82	16,88
Doses de N (D)			
0	-	-	-
40	32,05	275,28	15,33
80	19,31	246,06	9,81
120	21,83	205,00	12,68
160	12,18	139,16	9,51
Teste F	58,61**	33,94**	8,78**
CV (%)	12,33	11,46	19,08
M x D	29,58**	35,40**	20,59**

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% e 1%, respectivamente. <sup>ns</sup> Não significativo. \* e \*\* Significativo a 5% e 1%, respectivamente.

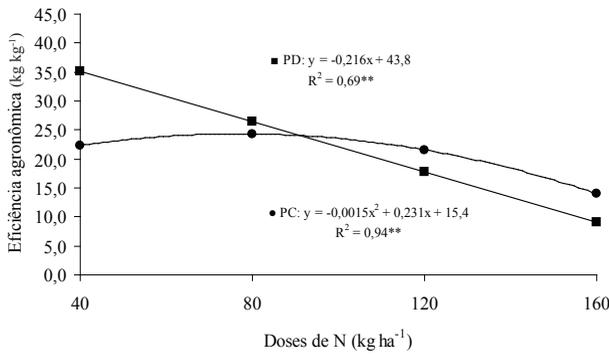


Figura 1. Eficiência agrônômica na cultura do milho, em função da adubação nitrogenada de cobertura, no sistema de preparo convencional do solo (PC) e no sistema plantio direto (PD). \*\* Significativo a 1%, pelo teste F (Botucatu, SP, 2005/2006).

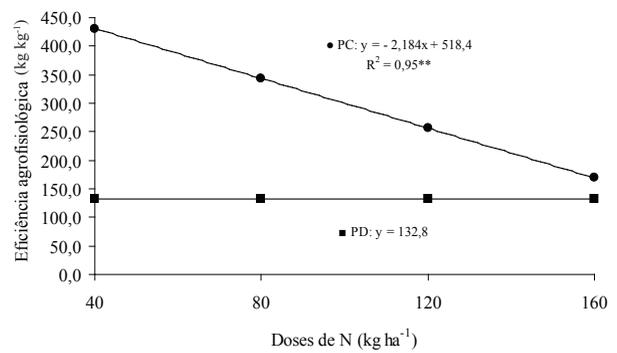


Figura 2. Eficiência agrofisiológica na cultura do milho, em função da adubação nitrogenada de cobertura, no sistema de preparo convencional do solo (PC) e no sistema plantio direto (PD). \*\* Significativo a 1%, pelo teste F (Botucatu, SP, 2005/2006).

Rambo et al. 2007), a eficiência mundial estimada de uso do N em cereais é de apenas 33%, sendo que uma das alternativas para aumentar esta eficiência é adotar melhores práticas de manejo, como o uso de dose e época de aplicação adequada.

Em relação à eficiência agrofisiológica (Figura 2), apenas no sistema de preparo convencional os valores foram decrescentes, enquanto, no plantio direto, não houve variação com as doses de N em cobertura, o que demonstra que, neste sistema, a cultura do milho apresentou produtividade compatível com a acumulação de N, havendo adequada conversão do nutriente em produtividade de grãos.

Já na eficiência de recuperação (ER), os resultados foram distintos, para os dois sistemas, onde, no plantio direto, os valores foram diminuindo, com a aplicação da adubação nitrogenada, e, no preparo convencional, apesar dos resultados inferiores, houve acréscimo significativo (Figura 3).

As atividades de revolvimento do solo, no preparo convencional, possibilitaram decomposição mais rápida do material orgânico e, conseqüentemente, maiores perdas de N, em virtude dos processos de volatilização e de lixiviação (Silva et al. 2005b). Porém, a adição das doses de N em cobertura contribuíram para o aumento da recuperação do nutriente, possivelmente minimizando as perdas do elemento para o ambiente e permitindo adequado acúmulo de N na parte aérea. Mesmo com as diferenças de respostas, pôde-se observar, novamente, que há um ponto de intersecção entre os dois sistemas de manejo de solo, mediante as doses aplicadas, caracterizado na quantidade de 145 kg ha<sup>-1</sup> de N, na qual permitiram-se

valores próximos (10,04% e 10,28%, para o plantio direto e preparo convencional, respectivamente).

Na Tabela 4, são apresentados os resultados da análise agroeconômica da cultura do milho, em relação à aplicação de N em cobertura. Primeiramente, a produtividade de grãos, na dose de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N, foi obtida substituindo-se este valor na equação da máxima produtividade. Deste modo, os resultados permitiram revelar que, mesmo com o custo da adubação sendo menor na aplicação desta quantidade, não foi suficiente para superar os valores obtidos pela dose de 151 kg ha<sup>-1</sup> de N, a qual proporcionou, ainda, acréscimo de R\$ 106,00. Isto permite afirmar que, com o incremento na dose de N em cobertura, a produtividade continua a crescer e a eficiência de

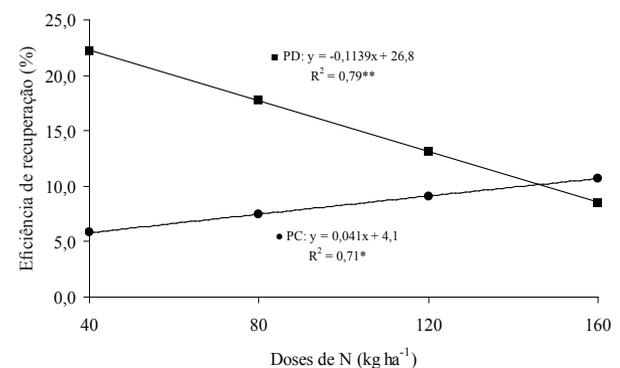


Figura 3. Eficiência de recuperação na cultura do milho, em função da adubação nitrogenada de cobertura, no sistema de preparo convencional (PC) e no sistema plantio direto (PD). \* e \*\* Significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F (Botucatu, SP, 2005/2006).

Tabela 4. Análise agroeconômica da cultura do milho, em função da adubação nitrogenada de cobertura (Botucatu, SP, 2005/2006).

Doses de N kg ha <sup>-1</sup>	Produtividade de grãos kg ha <sup>-1</sup>	Acréscimo sacas ha <sup>-1</sup>	Receita bruta* R\$ ha <sup>-1</sup>	Custo da adubação N** R\$ ha <sup>-1</sup>	Receita líquida R\$ ha <sup>-1</sup>	Diferença R\$ ha <sup>-1</sup>
0	6.615	-	2.860	-	2.860	-
90	8.501	31	3.666	205	3.401	541
150	8.872	37	3.848	341	3.507	647

\* Preço da saca de milho (60 kg): R\$ 26,00. \*\* Preço da ureia (1.000 t): R\$ 1.000,00.

uso do nutriente tende a decrescer. Sendo assim, para produtores rurais que buscam elevadas produtividades, podem ser recomendadas quantidades maiores de N em cobertura e, para aqueles com restrições tecnológicas e financeiras, seriam mais indicadas doses menores, como, por exemplo, 90 kg ha<sup>-1</sup>, pois, associada à quantidade aplicada na semeadura (28 kg ha<sup>-1</sup> de N), a exigência nutricional supre a recomendação técnica de N para obtenção de altas produtividades, no cultivo de milho em sequeiro (primavera-verão), próxima a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N (Coelho 2007).

Em trabalho desenvolvido por Hurtado et al. (2009), também foram obtidas respostas distintas, quanto à adubação nitrogenada, onde a estimativa de produtividade máxima correspondeu à aplicação de 242 kg ha<sup>-1</sup> de N, enquanto, para a dose econômica, de acordo com a relação de preços do fertilizante e do produto colhido, a dose foi de 143 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura.

## CONCLUSÕES

1. A adubação nitrogenada de cobertura promoveu acréscimos significativos nas características agrônomicas e nutricionais do milho, com a produtividade máxima de grãos obtida com 151 kg ha<sup>-1</sup> de N.
2. Nas doses de 90 kg ha<sup>-1</sup> e 145 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, os valores da eficiência agrônômica e de recuperação foram semelhantes, para o preparo convencional do solo e plantio direto, respectivamente.
3. As produtividades de grãos e as características agrônomicas e nutricionais do milho não diferiram entre os tipos de manejo, o que pode ser atribuído à consolidação dos sistemas de manejo de solo, ao longo de vinte anos de cultivo, e à sucessão de culturas.

## REFERÊNCIAS

AMARAL FILHO, J. P. R. et al. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho.

*Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 467-473, 2005.

CANTARELLA, H. et al. *Recomendações técnicas de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomico, 1997. p. 45-57. (Boletim técnico, 100).

COELHO, A. M. *Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Circular técnica, 96).

COELHO, A. M. et al. *Cultivo do milho: diagnose foliar do estado nutricional da planta*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. (Comunicado técnico, 45).

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, New York, v. 88, n. 1, p. 97-185, 2005.

FERNANDES, F. C. S. et al. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 4, n. 2, p. 195-204, 2005.

FORNASIERI FILHO, D. *Manual da cultura do milho*. Jaboticabal: Funep, 2007.

GOMES, R. F. et al. Efeito de doses e época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônomicos da cultura do milho sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 931-938, 2007.

HURTADO, S. M. C. et al. Variação espacial da resposta do milho à adubação nitrogenada de cobertura em lavoura do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 44, n. 3, p. 300-309, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.

MEIRA, F. A. et al. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. *Semina Ciências Agrárias*, Londrina, v. 30, n. 2, p. 275-284, 2009.

NEUMANN, M. et al. Rendimentos e componentes de produção de plantas de milho (*Zea mays* L.) para silagem, em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, p. 418-427, 2005.

- OHLAND, R. A. A. et al. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005.
- PAVINATO, P. S. et al. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 358-364, 2008.
- RAMBO, L. et al. Monitoramento do nitrogênio na planta e no solo para predição da adubação nitrogenada em milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 42, n. 3, p. 407-417, 2007.
- RAMBO, L. et al. Parâmetros de plantas para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura de milho. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1637-1645, 2004.
- SANTOS, H. P. dos et al. Efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. *Bragantia*, Campinas, v. 67, n. 2, p. 441-454, 2008.
- SILVA, E. C. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 353-362, 2005a.
- SILVA, E. C. et al. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 725-733, 2005b.
- SILVA, E. C. et al. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 477-486, 2006.
- SOUZA, L. C. F. et al. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na produtividade de milho em plantio direto irrigado. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 3, n. 2, p. 55-62, 2003.
- VELOSO, M. E. C. et al. Doses de nitrogênio na cultura do milho, em solos de várzea, sob sistema de drenagem subterrânea. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 5, n. 3, p. 382-394, 2006.