



Bragantia

ISSN: 0006-8705

editor@iac.sp.gov.br

Instituto Agronômico de Campinas

Brasil

de Castro Gava, Glauber José; Ocheuze Trivelin, Paulo Cesar; Wagner Oliveira, Mauro; Heinrichs, Reges; de Almeida Silva, Marcelo

Balanço do nitrogênio da uréia (15n) no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta na cultura do milho

Bragantia, vol. 65, núm. 3, 2006, pp. 477-486

Instituto Agronômico de Campinas

Campinas, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90865314>

- ▶ 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

BALANÇO DO NITROGÊNIO DA URÉIA (^{15}N) NO SISTEMA SOLO-PLANTA NA IMPLANTAÇÃO DA SEMEADURA DIRETA NA CULTURA DO MILHO (¹)

GLAUBER JOSÉ DE CASTRO GAVA (^{2*}); PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN (³);
MAURO WAGNER OLIVEIRA (⁴); REGES HEINRICHS (⁵);
MARCELO DE ALMEIDA SILVA (²)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar as possíveis alterações na produção e partição da fitomassa vegetal, no acúmulo de nitrogênio total e do nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF), utilizando-se uréia (^{15}N) aplicada em adubação de cobertura, na cultura do milho, na fase de implantação do manejo de semeadura direta. Com essa finalidade foi desenvolvido um experimento em campo, em Nitossolo localizado na Fazenda Água Sumida próximo ao município de Barra Bonita (SP). O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos estudados foram: sistema de plantio convencional (uma aração e duas gradagens) e sistema de semeadura direta, ambos adubados com uréia (^{15}N), na dose de 100 kg ha^{-1} de N em cobertura. Em todos os tratamentos, foi feita adubação de semeadura, aplicando-se 25 kg ha^{-1} de N na forma de uréia, 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato simples e 60 kg ha^{-1} de K_2O como cloreto de potássio. No fim do ciclo foram realizadas comparações entre os tratamentos, da produtividade da cultura; da acumulação de nitrogênio pela parte aérea e parte subterrânea; da utilização do nitrogênio da uréia (^{15}N) pela cultura do milho e do nitrogênio residual do fertilizante no solo. As modificações no solo causadas pela implantação da semeadura direta não restringiram a disponibilidade de N para as plantas de milho e, por conseguinte, a produção de material seco. A eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) pelo milho e a recuperação do fertilizante nitrogenado no solo (RFNS) foram, respectivamente, em torno de 45% e 30% para o N-uréia aplicado em cobertura não havendo diferença entre os sistemas de cultivo convencional e direto. Independentemente do sistema, o nitrogênio não recuperado da uréia, aplicado em cobertura na cultura do milho (NNR) foi em média de 25%.

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

ABSTRACT

BALANCE OF NITROGEN FROM UREA (^{15}N) IN THE SOIL-PLANT SYSTEM
AT THE ESTABLISHMENT OF NO-TILL IN MAIZE

This work aimed to study possible alterations in the production and partitioning of the phytomass, in the accumulation of total nitrogen and nitrogen in the plant derived from the fertilizer, by using the ^{15}N side-dressing fertilization at the establishment of no-till management. The experiment was carried out in a Nitosol at Água Sumida Farm located near Barra Bonita, State of São Paulo. The experiment was

(¹) Recebido para a publicação em 4 de agosto de 2005 e aceito em 14 de março de 2006.

(²) Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Pólo de Desenvolvimento Regional do Centro-Oeste, Caixa Postal 66, 17201-970 Jaú (SP). E-mail: ggava@aptaregional.sp.gov.br. *Autor correspondente; marcelosilva@aptaregional.sp.gov.br.

(³) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo (CENA-USP), Caixa Postal 96, 13400-970 Piracicaba (SP). E-mail: pcotrive@cena.usp.br

(⁴) Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Caixa Postal 24, 57072-970 Maceio (AL). E-mail: mwagner@ceca.ufal.br

(⁵) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) Caixa Postal 96, 17340-000 Dracena (SP). E-mail: reges@dracena.unesp.br

arranged in completely randomized block design, with 4 replicates. The following treatments were studied: conventional tillage system (one ploughing and two harrowings) and no-tillage, both fertilized with urea (^{15}N) applied at the rate of 100 kg ha^{-1} nitrogen. All treatments were subjected to sowing fertilization, by applying 25 kg ha^{-1} N as urea, 80 kg ha^{-1} P_2O_5 as simple superphosphate and 60 kg ha^{-1} K_2O as potassium chloride. At the end of the phenological cycle, the following comparisons among the treatments were performed: crop yield; nitrogen accumulation in the aerial and underground parts; use of nitrogen from urea (^{15}N) and residual nitrogen in the soil. The modifications of the soil caused by implantation of no-till neither restricted the availability of nitrogen to maize plants, nor the production of dry matter. The use efficiency of nitrogen fertilization of maize plants and the recovery of the soil nitrogen fertilizer were around 45% and 30%, respectively, for the urea-N side-dressing fertilization in both conventional and no-till systems. Nitrogen applied as side-dressing fertilization, and not recovered from urea (NNR) averaged 25%, independently of the sowing system.

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

1. INTRODUÇÃO

A técnica de manejo de solo denominada semeadura direta, conhecida e aplicada nos Estados Unidos da América, desde 1945 caracteriza-se, segundo BRADFORD e PETERSON (2000) e OLIVEIRA et al. (2002), por ser um manejo de solo conservacionista, em que a semeadura de uma cultura é realizada em solo não revolvido, protegido por resíduos vegetais de culturas anteriores. Essa técnica de manejo do solo foi iniciada no Brasil, na região de Ponta Grossa, a partir de 1970, para diminuir os sérios problemas de degradação do solo, causados principalmente pela erosão (MUZILLI, 1981). A partir do sucesso de sua utilização, ela evoluiu para o sistema plantio direto, outro manejo de solo conservacionista que, além de realizar a semeadura direta, agrupa outras práticas de conservação do solo como a rotação de culturas. As razões para a acentuada adoção desses sistemas são: controle da erosão, ganho de tempo para a semeadura, economia de combustível, melhor estabelecimento da cultura, maior retenção de água no solo, economia de mão-de-obra e em máquinas e implementos (MUZILLI, 1981). Entretanto, na implantação da semeadura direta, podem ocorrer modificações nas condições do ambiente do solo.

A implantação da semeadura direta, pelo não-revolvimento e ao acúmulo de material orgânico em superfície, causa várias alterações, destacando-se a disponibilidade de N às culturas (KITUR et al., 1984). Nesse particular, as mudanças ocorrerão no acúmulo de matéria orgânica e, por conseguinte, do nitrogênio total no solo, com possíveis reflexos na eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN), podendo ou não causar redução na produtividade da cultura do milho, na utilização desse sistema (LEEG et al., 1979; KITUR et al., 1984; TIMMONS e CRUSE 1990).

PHILLIPS et al. (1980) verificaram que a cultura do milho em semeadura direta necessitou de maior quantidade de N-fertilizante, comparado ao manejo

convencional. Essa conclusão foi baseada na premissa de que o fertilizante nitrogenado teve menor eficiência de utilização. Segundo SA (1996; 1999), no período de implantação do plantio direto, a matéria orgânica do solo expressaria, ao máximo, seu caráter de dreno de N. Esse fato tem favorecido a ocorrência de maior resposta a N em lavouras de milho na fase de implementação do sistema plantio direto, mesmo quando cultivado após leguminosa (SILVA et al., 2003). Em virtude disso, normalmente, recomenda-se para o manejo da adubação nitrogenada, principalmente em sua fase inicial, doses de N 10% a 30% maiores que as aplicadas no plantio convencional (CERETTA, 1997; CERETTA e FRIES, 1998; SOUZA, 1998). O presente trabalho teve como objetivo estudar as possíveis alterações na produção e participação da fitomassa vegetal, no acúmulo de nitrogênio total e do nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) e na eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN), na cultura do milho, causadas pelo manejo da semeadura direta sem irrigação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Água Sumida, próxima ao município de Barra Bonita, Centro-Oeste paulista. A área experimental encontra-se situada, geograficamente, na latitude 18º 55' Sul, longitude 48º 17' Oeste, e altitude de 480 m do nível do mar. O híbrido utilizado foi o Ag-5011 (Agroceres). Na área experimental cultivava-se cana-de-açúcar de maneira convencional por 20 anos; a partir da safra 1999/2000, introduziu-se a semeadura direta tendo como seqüência de cultivo milho, pousio e milho. Na safra 2000/2001, iniciou-se o experimento, após a colheita mecânica da cultura do milho (safra 1999/2000) e, antes da instalação do experimento, realizaram-se amostragens de solo ao acaso nas profundidades de 0-5, 5-10, e 10-20. O solo da área foi classificado como Nitossolo Vermelho eutroférico

(EMBRAPA, 1999) de textura argilosa, cujas características químicas, são apresentadas na Tabela 1. A análise granulométrica deste solo resultou em 327, 130 e 543 g kg⁻¹ respectivamente de areia, silte e argila.

A semeadura e adubação foram realizadas em 27 de dezembro de 2000. A emergência das plantas de milho, ocorreu aos 9 dias após a semeadura. A duração do experimento no campo foi de 131 dias, período em que as médias das temperaturas mínimas e máximas foram, respectivamente, de 19 e 31 °C, e a precipitação pluvial foi de 469 mm.

Cada parcela - área de 81 m² - constituiu-se de seis segmentos de linhas de milho, de 15 m de comprimento, com espaçamento entre as linhas de 90 cm. Para a área útil de cada parcela (repetição), excluiram-se 2,5 m das duas extremidades e utilizaram-se quatro segmentos de linhas centrais de milho, de 10 m de comprimento, totalizando 36 m². Em cada parcela foi instalada uma microparcela, que recebeu a uréia marcada com ¹⁵N. Cada microparcela possuía dois segmentos de linha de 1,5 m de comprimento, sendo a área útil de amostragens de plantas e solo restrita ao 1 m central, em ambas as linhas, deixando-se 0,25 m nas extremidades como bordadura.

O delineamento experimental foi o de blocos completamente casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos estudados foram: sistema de plantio convencional (uma aração e duas gradagens) e sistema de semeadura direta, ambos adubados com uréia (¹⁵N), na dose de 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

Todos os tratamentos receberam uma adubação de semeadura de 25 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato

simples e 60 kg ha⁻¹ de K₂O como cloreto de potássio. A fertilização nitrogenada de cobertura foi efetuada entre os estádios fenológicos de 6 a 8 folhas expandidas (DOURADO NETO e FANCELLI, 2000). A uréia foi aplicada em sulcos com 10 cm de profundidade, distante 45 cm de cada lado da linha de milho (fertilização na entrelinha), sendo o fertilizante coberto com solo após a aplicação. Nas microparcelas, a uréia aplicada representava abundância de 4,387% em átomos de ¹⁵N.

No período de 15 de maio a 3 de junho de 2001, foram realizadas as colheitas da parte aérea, das raízes do milho, bem como a do solo.

Colheu-se a parte aérea das plantas das microparcelas com uréia-¹⁵N, e em posições correspondentes nas linhas adjacentes. As plantas foram separadas em amostras de colmo (C), folhas (F), grãos (G), sabugo mais a palha (S + P) e pendão (P), determinando-se a matéria seca, o teor de nitrogênio (g kg⁻¹) e a abundância de ¹⁵N (% em átomos), por espectrometria de massas (BARRIE e PROSSER, 1996). Finda a colheita da parte aérea das plantas de milho, coletaram-se as raízes, localizadas a 0,50 m central da linha de milho até a profundidade de 30 cm. As amostras de raízes foram lavadas em água destilada, secas em estufa com ventilação forçada a 65 °C até atingirem massa constante, determinando-se a massa de material seco. Em subamostras do material da parte subterrânea, foram feitas as determinações dos teores de nitrogênio e de abundância de ¹⁵N (% em átomos) em espectrômetro de massas acoplado a analisador de CNS, ANCA (Europe Scientific, UK) segundo BARRIE e PROSSER (1996).

Tabela 1. Características químicas do solo por ocasião da instalação do experimento ⁽¹⁾

Profundidade	Semeadura direta									
	pH	M. O.	P	S-SO ₄	K	Ca	Mg	Al	H+Al	V
cm	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³				%
0-5	5,0	30,0	50,0	17,0	10,3	38,5	15,0	0	34,5	64,5
5-10	4,9	28,0	101	44,0	9,0	46,5	14,5	0	32,5	67,5
10-20	4,9	25,5	60,5	33,5	7,3	34,5	12,0	1	36,0	58,5
Profundidade	Plantio convencional									
	pH	M. O.	P	S-SO ₄	K	Ca	Mg	Al	H+Al	V
cm	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³				%
0-5	5,2	29,0	72,0	21,0	10,3	51,0	18,0	1	34,0	70,0
5-10	4,8	29,0	57,0	18,0	9,2	43,0	15,0	0	38,0	64,0
10-20	5,0	25,0	44,0	18,0	9,2	43,0	15,0	0	38,0	64,0

⁽¹⁾ Método descrito por RAU et al. (2001).

No mesmo local em que foi realizada a amostragem das raízes do milho, abriu-se uma trincheira ($0,5 \times 0,5 \times 0,5$ m) no centro da entrelinha. As amostras de solo foram retiradas após a homogeneização do solo contido em cada trincheira e postas para secar ao ar. Determinou-se a umidade por meio da secagem do material em estufa com ventilação forçada a 105°C até atingir massa constante. Em subamostras de solo secas ao ar, foram feitas as determinações do teor de nitrogênio e da abundância de ^{15}N (% em átomos), por espectrometria de massas (BARRIE e PROSSER, 1996).

A matéria seca e o conteúdo de N foram expressos em kg ha^{-1} considerando existirem 55.555 plantas de milho por hectare.

Com os resultados de abundância isotópica de nitrogênio (% em átomos de ^{15}N), das amostras de parte aérea e das raízes do milho na colheita final da safra 2000/2001, foram calculados o nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) e a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN), por meio das equações 1, 2 e 3.

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

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

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

significando: a e b as abundâncias de ^{15}N (% em átomos em excesso) na planta e no fertilizante, respectivamente; NT é o nitrogênio total acumulado na planta de milho (kg ha^{-1}); NF é a dose de N-fertilizante (kg ha^{-1}); NPPF é nitrogênio na planta proveniente do fertilizante; EUFN é a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado.

Com os resultados de abundância isotópica de nitrogênio (% em átomos de ^{15}N) e dos teores de nitrogênio das subamostras de solo, calculou-se o nitrogênio residual do solo proveniente do fertilizante até a profundidade de 50 cm, utilizando-se as equações 4, 5, 6.

$$\text{NSPF (\%)} = (a / b) 100 \quad (4)$$

$$\text{NSPF (kg ha}^{-1}) = 11.111,11 [\text{NSPF(\%)}] \text{ NT.V . D} \quad (5)$$

$$\text{RFNS (\%)} = [\text{NSPF(kg ha}^{-1}) / \text{NF(kg ha}^{-1})] 100 \quad (6)$$

significando: a e b as abundâncias de ^{15}N (% em átomos em excesso) no solo e no fertilizante, respectivamente; NT é o teor de nitrogênio (g kg^{-1}) do solo; NF é a dose de N-fertilizante (kg ha^{-1}); V é o volume de solo contido em uma trincheira de 0,5 de comprimento por 0,5 m de largura e 0,5 m de profundidade, correspondendo a um volume de solo de $0,125 \text{ m}^3$, densidade global do solo de $1.400 \text{ (kg m}^{-3})$, 11.111,11 fator de conversão e RFNS porcentagem de recuperação do fertilizante nitrogenado no solo (%).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e as médias dos tratamentos comparadas ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Recuperação do N da uréia na parte aérea do milho na implantação dos manejos de semeadura direta e plantio convencional

Na produção de material seco, nitrogênio acumulado, nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) e eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) do colmo, das folhas, dos grãos, pendão e sabugo mais palha e da parte aérea não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 2).

O índice de colheita (IC) – fração dos grãos produzidos em relação ao material seco da parte aérea da planta foi de 0,49 tanto para PC como para o tratamento SD. Segundo DOURADO NETO e FANCELLI (2000) o IC pode variar de 0,60 para híbridos de alta produtividade a até 0,10 para genótipos de baixa produtividade. Resultados concordantes com o deste trabalho foram obtidos por LARA CABEZAS et al. (2000) de 0,54; COELHO et al. (1991) de 0,46; TIMMONS e BAKER (1992) de 0,53 e TIMMONS e CRUSE (1990) de 0,27 a 0,46, constatando forte interação entre IC com as condições climáticas vigentes no ano agrícola. Relataram ainda que o baixo IC foi obtido nos anos agrícolas em que ocorreu estresse nas plantas, causado por condições climáticas adversas, geralmente falta de água.

Em média, 73% do N total alocou-se nos grãos, restando 29% para os demais segmentos. O NPPF representou uma tendência de distribuição superior ao do N total acumulado na parte aérea da planta. Tendência semelhante a essa foi obtida por GAVA et al. (2000) e DUETE (2000). Os resultados deste experimento e os da literatura evidenciam que o maior dreno de N na planta localiza-se no grão e que grande quantidade do nitrogênio das partes vegetativas da planta, é translocado até o grão, onde é acumulado, fazendo parte de aminoácidos e proteínas na sua formação (TA e WEILAND, 1992).

A quantidade média de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF), foi de 43 kg ha^{-1} representando cerca de 27% e 23% do total de N acumulado na parte aérea do milho, respectivamente, para os tratamentos plantio convencional e semeadura direta. Esses valores foram concordantes com os 31% obtidos por COELHO et al. (1991); com os de LARA CABEZAS et al. (2000), de aproximadamente 24%; de DUETE (2001) de 28% e de CANTARELLA et al. (2003) de 18% a 28% do total de N acumulado na parte aérea,

proveniente do fertilizante. Em média, 25% do N total acumulado na parte aérea do milho proveio da fonte fertilizante e 75% veio de outras fontes. Esse fato demonstra que em condições variadas de solo, clima e genótipo de milho o nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) geralmente representa uma pequena fração do nitrogênio total (N-total) acumulado na parte aérea da cultura. Infere-se, portanto, que o potencial de mineralização do N-orgânico do solo constitui-se em uma importante fonte de N para a planta (SAMPAIO et al., 1995); muitas vezes, esse nitrogênio orgânico contido no solo exerce grande influência sobre os valores de NPPF obtidos em campo (TOBERT et al., 1992; LIANG e MACKENZIE, 1994).

A eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) foi em média de 43% para a parte aérea e de 34% para os grãos de milho (Tabela 2). Este valor de EUFN foi semelhante aos obtidos por LIANG e MACKENZIE (1994), de 40% a 26% para a parte aérea, nas respectivas doses de 170 e 400 kg ha⁻¹ de N, e de SANCHEZ e BLACKMER (1988) que variou de 41% a 31% na parte aérea, nas respectivas doses de 112 e 224 kg ha⁻¹ de N, considerando-se as diferentes condições edafoclimáticas a que foi submetida a cultura e da forma de aplicação do N-fertilizante. Em diversos trabalhos realizados com milho observou-se grande variação na determinação da EUFN, de 10 a 65%, e

essa variação ocorre, segundo HAUCK (1973) e TOBERT et al. (1992), principalmente, em função do tipo de solo, condições climáticas, qualidade e tipo do fertilizante. Dividindo-se esses vários trabalhos de pesquisa em dois grandes grupos referentes ao manejo contrastante, plantio convencional (SANCHEZ e BLACKMER, 1988; WALTERS e MALZER, 1990; LIANG e MACKENZIE, 1994; COELHO et al., 1991; JOKELA e RANDALL, 1997; GAVA et al., 2000) e semeadura direta (KITUR et al., 1984; TIMMONS, e CRUSE, 1990; TIMMONS e BAKER, 1991; 1992; LARA CABEZAS et al., 2000; CANTARELLA et al., 2003; SILVA et al., 2003), verifica-se que as medias de EUFN foram semelhantes, da ordem de 43% para a planta e 28% para os grãos de milho.

A mudança de manejo do solo parece ter causado pouco efeito na EUFN no milho. Entretanto, trabalhos desenvolvidos por LEEG et al. (1979), KITUR et al. (1984) e MEISINGER et al. (1985) relataram que na semeadura direta, em baixas doses de N-fertilizante, ocorreu uma redução da EUFN, e do rendimento de matéria seca da planta de milho. Segundo KITUR et al. (1984), a possível ocorrência de maior imobilização do N-mineral na semeadura direta, principalmente na superfície do solo em pequenas doses de N-fertilizante (84 kg de N ha⁻¹), foi a responsável pela menor EUFN na semeadura direta em relação ao manejo convencional.

Tabela 2. Massa de material seco, nitrogênio acumulado, nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) e eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado na parte aérea de plantas de milho (EUFN) na ocasião da colheita de grãos

Partes da planta	Sistema de cultivo	Material seco	N acumulado	NPPF	EUFN
				kg ha ⁻¹	%
Colmo	Convencional	2.144 ± _{178a}	12,3 ± _{3,3a}	2,5 ± _{0,3a}	2,5 ± _{0,3a}
	Semeadura direta	2.386 ± _{232a}	13,6 ± _{2,9a}	2,9 ± _{1,0a}	2,9 ± _{1,0a}
Folhas	Convencional	2.111 ± _{104a}	23,1 ± _{1,7a}	4,2 ± _{1,5a}	4,2 ± _{1,5a}
	Semeadura direta	2.502 ± _{217a}	31,9 ± _{4,2a}	4,2 ± _{0,8a}	4,2 ± _{0,8a}
Grãos	Convencional	6.281 ± _{382a}	111,6 ± _{12,4a}	32,8 ± _{14,5a}	32,8 ± _{14,5a}
	Semeadura direta	6.816 ± _{504a}	131,1 ± _{12,7a}	33,8 ± _{10,7a}	33,8 ± _{10,7a}
Pendão	Convencional	135 ± _{22a}	1,4 ± _{0,4a}	0,3 ± _{0,2a}	0,3 ± _{0,2a}
	Semeadura direta	138 ± _{19a}	1,4 ± _{0,2a}	0,2 ± _{0,1a}	0,2 ± _{0,1a}
Sabugo + palha	Convencional	2.163 ± _{163a}	8,4 ± _{0,8a}	2,7 ± _{1,1a}	2,7 ± _{1,1a}
	Semeadura direta	2.199 ± _{281a}	8,3 ± _{1,7a}	2,4 ± _{0,8a}	2,4 ± _{0,8a}
Parte aérea	Convencional	12.835 ± _{582a}	156,8 ± _{10,6a}	42,5 ± _{16,7a}	42,5 ± _{16,7a}
	Semeadura direta	14.041 ± _{1135a}	186,3 ± _{20,2a}	43,4 ± _{13,1a}	43,4 ± _{13,1a}

Médias e desvio-padrão da média de quatro repetições. As médias entre tratamentos de uma mesma parte da planta seguida de letras distintas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Dose de N em cobertura de 100 kg ha⁻¹.

O aumento na demanda de N pela cultura do milho na semeadura direta, devido à possível elevação da imobilização, não foi verificado neste trabalho, provavelmente porque a dose de comparação entre os dois manejos de solo (100 kg ha^{-1} de N), satisfez as necessidades de N no sistema solo-planta, em ambos os sistemas de cultivo. Portanto, nas condições edafoclimáticas deste experimento, a dose de 100 kg ha^{-1} de N foi suficiente para impedir a queda da produção de material seco, nitrogênio acumulado, NPPF, e EUFN no manejo de semeadura direta de plantio convencional.

3.2 Recuperação do N da uréia nas raízes do milho e no solo em semeadura direta e no plantio convencional

Na tabela 3, observa-se a produção de material seco e o N acumulado nas raízes do milho até a profundidade de 30 cm. Não foi verificada diferença entre os tratamentos. A média da produção de material seco foi de 877 kg ha^{-1} . Observou-se no N acumulado um comportamento semelhante, sendo a média de 11 kg ha^{-1} de N. A parte radicular da planta de milho representou em média, 7% da matéria seca da planta toda e 6% do N total acumulado. Resultados semelhantes foram obtidos por COELHO et al. (1991) e

por LARA CABEZAS et al. (2000), em que o sistema radicular do milho representou em média 8% da matéria seca da planta toda e 5% para o N total acumulado na planta. Importante ressaltar que tanto neste trabalho, como nos trabalhos de COELHO et al. (1991), e LARA CABEZAS et al. (2000) os valores de produção de material seco e de N acumulado nas raízes do milho foram verificados no fim do ciclo da cultura, cuja participação do sistema radicular é pouco relevante.

Os resultados de NPPF e EUFN não diferiram entre os tratamentos. A quantidade de NPPF acumulada na parte subterrânea do milho representou em média $1,10 \text{ kg ha}^{-1}$; esse valor correspondeu a uma eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) de 1% do N-fertilizante aplicado.

As possíveis modificações causadas devido à implantação da semeadura direta no sistema radicular não foram observadas, ou seja, o efeito da modificação inicial do manejo do solo, não promoveu alterações nas variáveis estudadas. Conforme mencionado anteriormente, possivelmente a adubação de comparação entre os dois manejos de solo (100 kg ha^{-1} de N), satisfez as necessidades de N no sistema solo-planta tanto na semeadura direta como no plantio convencional para a safra de 2000/2001.

Tabela 3. Massa de material seco, nitrogênio acumulado, nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) e eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) nas raízes do milho por ocasião da colheita de grãos

Tratamentos	Material seco	N acumulado kg ha^{-1}	NPPF	EUFN
			%	
Plantio convencional	$770 \pm_{135a}$	$10,9 \pm_{2,1a}$	$1,0 \pm_{0,4a}$	$1,0 \pm_{0,4a}$
Semeadura direta	$983 \pm_{103a}$	$11,2 \pm_{1,4a}$	$1,1 \pm_{0,7a}$	$1,1 \pm_{0,7a}$

Médias e desvio-padrão da média de quatro repetições. As médias entre tratamentos seguidas de letras distintas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Dose de N em cobertura de 100 kg ha^{-1} .

Tabela 4. Teor de nitrogênio, massa de nitrogênio total, nitrogênio do solo proveniente do fertilizante (NSPF) e recuperação do fertilizante nitrogenado no solo (RFNS) à profundidade de 50 cm imediatamente após a colheita

Tratamentos	Teor de N g kg^{-1}	N-total kg ha^{-1}	NSPF	RFNS
			%	
Plantio convencional	$1,1 \pm_{0,1a}$	$2.106 \pm_{165a}$	$25,4 \pm_{13a}$	$25 \pm_{13a}$
Semeadura direta	$1,1 \pm_{0,1a}$	$2.198 \pm_{122a}$	$34,7 \pm_{14a}$	$35 \pm_{14a}$

Médias e desvio-padrão da média de quatro repetições. As médias entre tratamentos seguidas de letras distintas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Dose de N em cobertura de 100 kg ha^{-1} .

Pela análise da tabela 4, pode-se observar que o teor de nitrogênio no solo, a massa de nitrogênio total do solo, o nitrogênio do solo proveniente do fertilizante (NSPF) e a recuperação do fertilizante nitrogenado no solo (RFNS) dos tratamentos plantio convencional e semeadura direta não foram diferentes até a profundidade de 50 cm. Verifica-se também que o NSPF foi de 25 e 35 kg ha⁻¹ de N para os respectivos tratamentos com plantio convencional e semeadura direta. Esses valores foram concordantes com os obtidos por JOKELA e RANDALL (1997), de 25 e 37 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, para as doses de N-fertilizante de 75 e 100 kg ha⁻¹; aos de WALTERS e MALZER (1990) de 33 kg ha⁻¹ de N para a dose de 90 kg ha⁻¹ e aos de SANCHES e BLACKMER (1988) de 40 kg ha⁻¹ de N, para a dose de 112 kg ha⁻¹.

Os resultados de NSPF verificados no presente trabalho demonstram que em solo argiloso, uma grande proporção do N-fertilizante permaneceu retida no solo, possivelmente devido à imobilização microbiológica (KITUR et al., 1984; TIMMONS e CRUSE 1990). Deve-se também mencionar que a menor quantidade de precipitação pluvial nessa safra, provavelmente, promoveu uma menor movimentação do N-fertilizante no perfil do solo, aumentando assim a capacidade de retenção de N no solo (GAVA, 2003).

A recuperação do fertilizante nitrogenado no solo (RFNS) não diferiu entre os tratamentos, sendo na média de 30%. Resultados semelhantes aos constantes da tabela 4 foram obtidos por TIMMONS e CRUSE (1990); COELHO et al., (1991) e JOKELA e RANDALL (1997).

JOKELA e RANDALL (1997) verificaram que para as doses de 75 e 100 kg ha⁻¹ de N, a RFNS foi, respectivamente, de 33% e 37%, estando a maior parte desse N na forma orgânica. KITUR et al. (1984) pesquisaram duas doses de N-fertilizante, uma dose chamada de baixa (84 kg ha⁻¹ de N) e outra denominada alta (168 kg ha⁻¹ de N) e verificaram que no plantio convencional a RFNS foi de 28% e 37%, respectivamente, para as doses denominadas baixa e alta. Na semeadura direta, esses valores foram de 42% e 39% para a dose baixa e alta respectivamente. Observa-se que na tabela 4, aproximadamente metade do N-fertilizante recuperado estava na camada de 0-5 cm de profundidade na semeadura direta. Já em plantio convencional, a maior parte do N-fertilizante recuperado estava uniformemente distribuída até a profundidade de 0-30 cm no perfil do solo. Segundo KITUR et al. (1984), a imobilização do N no solo pode ser considerada o principal dreno do N-fertilizante, pois elevadas porcentagens foram recuperadas no solo mesmo depois de três anos de cultivo.

Em média, 30 kg ha⁻¹ de N permaneceram nas camadas subsuperficiais no solo. Resultados semelhantes também foram obtidos por KITUR et al. (1984) e JOKELA e RANDALL (1997). A essa quantidade recuperada de nitrogênio do solo proveniente do fertilizante, tem-se atribuído principalmente, à imobilização microbiológica de nitrogênio (KITUR et al., 1984; TIMMONS e CRUSE 1990).

3.3 Balanço do nitrogênio do fertilizante no sistema solo-planta

Pelo balanço do nitrogênio do fertilizante no sistema solo-planta (Figura 1), observa-se que 43,5 (44%) e 44,5 (45%) kg ha⁻¹ de N-fertilizante foram recuperados no compartimento planta e 25,4 (25%) e 34,7 (35%) kg ha⁻¹ de N-fertilizante ficaram retidos no compartimento solo nos respectivos tratamentos plantio convencional e semeadura direta. Portanto no sistema solo-planta, recuperaram-se 69% e 80% do N-fertilizante aplicado na adubação de cobertura do milho nos tratamentos plantio convencional e semeadura direta respectivamente. Resultados semelhantes de recuperação do N-fertilizante foram obtidos por COELHO et al. (1991) na dose de 60 kg ha⁻¹ de N (EUFN = 79%); por TIMMONS e BAKER (1992) para dose de 200 kg ha⁻¹ de N (EUFN = 69%) e de 125 kg ha⁻¹ de N, (EUFN= 82%); por SANCHEZ e BLACKMER (1988) para a dose de 224 kg ha⁻¹ de N (EUFN = 63%) e para dose de 112 kg ha⁻¹ de N (EUFN = 81%), e por TOBERT et al (1992) na dose de 168 kg ha⁻¹ (EUFN = 74%), média de dois tipos de solo.

O N não recuperado (NNR) da fonte uréia foi de 31 (31%) e 20 (20%) kg ha⁻¹ de N-fertilizante, respectivamente, para os cultivos convencional e direto. Esses resultados foram da mesma ordem dos obtidos por TIMMONS e BAKER (1992) de 31% para dose de 200 kg ha⁻¹ de N e de 18% para a dose de 125 kg ha⁻¹ de N, aos de SANCHEZ e BLACKMER (1988) de 37% para a dose de 224 kg ha⁻¹ de N-fertilizante, e de 19% para dose de 112 kg ha⁻¹ de N.

Por se tratar de um experimento em campo, o N não recuperado das fontes ¹⁵N, inclui além de possíveis erros experimentais não controlados, as perdas de N do solo por lixiviação, volatilização de amônia e desnitrificação (LARA CABEZAS et al., 2000; CLOUGH et al., 2001) ou pela parte aérea, na forma de NH₃ junto à corrente transpiratória, na senescência foliar (FARQUHAR et al., 1979; HARPER e SHARPE, 1995).

Verifica-se também que, na semeadura direta, houve maior recuperação de N-fertilizante no compartimento solo, possivelmente devido ao maior potencial de imobilização do N-fertilizante nesse manejo (KITUR et al., 1984; TIMMONS e CRUSE, 1990; TOBERT et al., 1992).

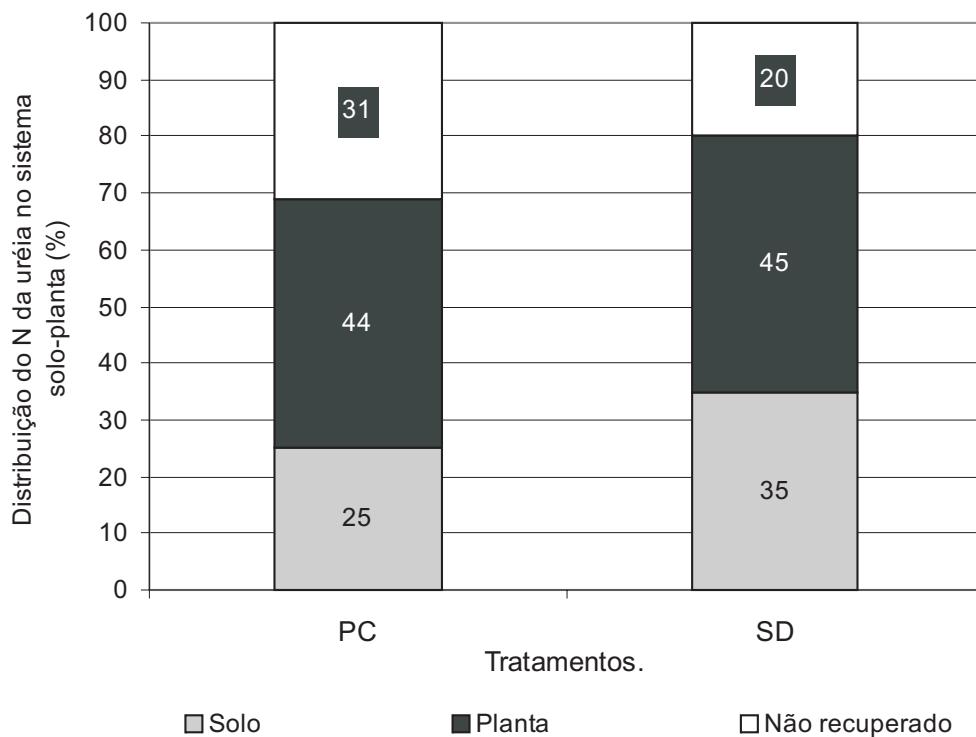


Figura 1. Balanço do N da uréia no sistema solo-planta, em milho sob plantio convencional (PC) e semeadura direta (SD), dose de 100 kg ha⁻¹ de N.

Embora a técnica isotópica do ¹⁵N possa ser considerada a mais precisa para se determinar a EUFN em um agroecossistema, muitas vezes a interpretação dos resultados obtidos por essa técnica são contraditórios, pois em muitos casos o N aplicado via fertilizante pode ser “trocado” com N-orgânico pelo ciclo de reações de mineralização e imobilização (JANSSON e PERSSON, 1982; WALTERS e MALZER, 1990), gerando uma subestimativa de aproveitamento do fertilizante quando se considera apenas o NPPF para calcular a EUFN. Segundo TOBERT et al. (1992), o mais correto para calcular a EUFN seria em termos de quantidade de recuperação do N no sistema solo-planta e não apenas na planta.

Possivelmente, a desnitrificação foi o principal processo de perda de N no sistema solo-planta, uma vez que a lixiviação do N representou cerca de 1% do N-fertilizante conforme verificado por GAVA (2003), e as perdas por volatilização podem ser consideradas baixas porque o fertilizante foi incorporado no solo. CLOUGH et al. (2001), realizaram um balanço de N, em uma câmara fechada denominada “glovebox”, e verificaram que o N perdido por desnitrificação foi em média de 23%.

Outro processo de perda de N no sistema solo planta inclui as perdas de NH₃ na parte aérea das

plantas devido a elevadas concentrações de N no solo durante crescimento vegetativo da planta ou na senescência foliar (FARQUHAR et al., 1979; HARPER e SHARPE, 1995). A intensidade e o sentido com que ocorrem as trocas de amônia entre as folhas e a atmosfera dependem do ponto de compensação de amônia (FARQUHAR et al., 1980), que pode variar com a temperatura, intensidade luminosa e fotoperíodo; com a nutrição nitrogenada da planta, a espécie e a cultivar da mesma espécie, e o estádio vegetativo da planta (TRIVELIN et al., 2002).

4. CONCLUSÕES

1. As modificações no solo causadas pela semeadura direta não restrinham a disponibilidade de N para as plantas de milho e, por conseguinte, a produção de material seco.
2. Nos sistemas de plantio convencional e direto, a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) pelo milho e a recuperação do fertilizante nitrogenado no solo (RFNS) foram semelhantes, com valores, respectivamente, em torno de 45% e 30% para o N-uréia aplicado na adubação de cobertura.

3. Independentemente do sistema (convencional ou direto), o nitrogênio não recuperado (NNR) da uréia aplicada em cobertura, na cultura do milho, foi em média de 25%.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

- ANDRASKI, B.J.; MUELLER, D.H.; DANIEL, T.C. Effects of tillage and rainfall simulation date on water and soil losses. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 49, n. 2, p.1512-1517, 1985.
- BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S. (Ed.). **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-46.
- BRADFORD, J.M.; HUANG, C. Interrill soil erosion as effected by tillage and residue cover. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 31, n. 4, p.353-361, 1994.
- BRADFORD, J.M.; PETERSON, G.A. Conservation tillage In: SUMMER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. New York CRC Press, 2000. p.G247-C298.
- CANTARELLA, H.; LERA, F.L.; BOLONHEZI, D.; LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Antecipação de N em milho em sistema de plantio direto usando ^{15}N -uréia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÉNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. **Resumos...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. CD-ROM.
- CERETTA, C.A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia/milho, no sistema plantio direto. In: FRIES, M.R.; DALMOLIN, R.S.D. Ed.). **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Pallotti, 1997. p.112-124.
- CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: SBCS, 1998. p.111-120.
- CLOUGH, T.J.; SHERLOCK, R.R.; CAMERON, K.C.; STEVENS, R.J.; LAUGHLIN, R.J. & MÜLLER, C. Resolution of the ^{15}N balance enigma? **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 39, n. 6, p.1419-1431, 2001.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio (^{15}N) em um Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciéncia do Solo**, Campinas v. 15, n. 2, p.187-193, 1991.
- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. **Produção de milho**. Guáiba: Agropecuária, 2000. 360p.
- DUETE, R.R.C. **Estudo de doses, parcelamento e formas de nitrogênio na adubação de milho usando ^{15}N** . 2000. 152 f. Tese (Doutorado) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412p.
- FARQUHAR, G.D.; FIRTH, P.M.; WETSELAAR, R.; WEIR, B. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and the environment: determination of the ammonia compensation point. **Plant Physiology**, Rockville, v. 66, n. 6, p. 710-714, 1980.
- FARQUHAR, G.D.; WETSELAAR, R.; FIRTH, P.M. Ammonia volatilization from senescing leaves of maize. **Science**, New York, v. 203, n. 4386, p.1257-1258, 1979.
- GAVA, G.J.C. **Compartimentalização do nitrogênio no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta no ciclo da cultura do milho**. 2003. 125f. (Tese de Doutorado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; NICOLELLA, A.C. Acumulação e distribuição do sulfato de amônio (^{15}N) na cultura do milho, aplicado no solo em diferentes épocas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., Uberlândia, 2000. **Resumos...** Uberlândia, ABMS, 2000. CD-ROM.
- HARPER, L.H.; SHARPE, R.R. Nitrogen dynamics in irrigated corn: soil-plant nitrogen and atmospheric ammonia transport. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 4, p. 669-675, 1995.
- HAUCK, R.D. Nitrogen tracers in nitrogen cycle studies-past use and future needs. **Journal of Environmental Quality**, Madison v. 2, n. 3, p. 317-327, 1973.
- JANSSON, S.L.; PERSSON, J. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: STEVENSON, F.J. ed. **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: America Society of Agronomy, 1982. p. 229-252.
- JOKELA, W.E.; RANDALL, G.W. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time rate of application on corn. **Soil Science Society of America Journal**, Madison v. 61, n. 6, p.1695-1703, 1997.
- KITUR, B.K.; SMITH, M.S.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Fate of ^{15}N -depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage maize. **Agronomy Journal**, Madison v. 76, n. 2, p. 240-242, 1984.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KONDÖRFER, G.H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciéncia do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 363-376, 2000.

- LEEG, J.O.; STANFORD, G.; BENNETT, O.L. Utilization of labeled-N fertilizer by silage corn under conventional and no-till culture. *Agronomy Journal*, Madison v. 71, n. 2, p.1009-1015, 1979.
- LIANG, B.C.; MACKENZIE, A.F. Corn yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency as influenced by nitrogen fertilization. *Canadian Journal of Soil Science*, Manitoba, v. 74, n. 2, p. 235-240, 1994.
- MEISINGER, J.J.; BANDEL, V.A.; STANFORD, G.; LEGG, J.O. Nitrogen utilization of maize under minimal tillage and moldboard plow tillage: I four-year results using labeled N fertilizer on an Atlantic coastal plain soil. *Agronomy Journal*, Madison, v. 77, n.4, p. 602-611, 1985.
- MUZILLI, O. Desenvolvimento e produtividade das culturas. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. *Plantio direto no Estado do Paraná*. Londrina: IAPAR, 1981. p.199-203. (Circular, 23).
- OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; CANTARUTTI, V.R.B.; BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Eds.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: SBCS, 2002. v.2, p.393-486.
- PHILLIPS, R.E.; THOMAS, G.W.; FRYE, W.W.; PHILLIPS, S.H. No tillage agriculture. *Science*, New York, v. 208, n. 4448, p.1108-1113, 1980.
- RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285 p.
- SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Eds.). *Inter-relação fertilidade, biologia, do solo e nutrição de plantas*. Viçosa, SBCS; Lavras: UFLA, 1999. p. 267-319.
- SÁ, J.C.M. *Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto*. Passo Fundo, Aldeia Norte, 1996. 24 p.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; SILVA, V.M.; ALVES, G.D. Capacidade de suprimento de nitrogênio e resposta à fertilização de vinte solos de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas v. 19, n.3, p. 269-279, 1995.
- SANCHEZ C.A.; BLACKMER, A.M. Recovery of anhydrous ammonia-derived nitrogen-15 during three years of corn production in Iowa. *Agronomy Journal*, Madison, v. 80, n.1 p. 102-108, 1988.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L. Doses e épocas de aplicação e utilização do nitrogênio (^{15}N) pelo milho sob plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, Ribeirão Preto, 2003. *Resumos...* Ribeirão Preto: SBCS, 2003. CD-ROM.
- SOUZA, D.M.G. Manejo da fertilidade do solo sob cerrado com ênfase em plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, Dourados, 1997. *Anais...* Dourados: EMBRAPA, CNPMS, 1998. p.53-58. (Documentos, 22)
- TA, C.T.; WEILAND, R.T. Nitrogen partitioning in maize during ear development. *Crop Science*, Madison, v. 32, n. 2, p. 443-451, 1992.
- TIMMONS, D.R.; BAKER, J.L. Fertilizer management effect on recovery of labeled nitrogen by continuous no-till. *Agronomy Journal*, Madison, v. 84, n. 5, p. 490-496, 1992.
- TIMMONS, D.R.; BAKER, J.L. Recovery of point-injected labeled nitrogen by corn as affected by timing, rate and tillage. *Agronomy Journal*, v. 83, p. 850-857, 1991.
- TIMMONS, D.R.; CRUSE, R.M. Effect of fertilization method and tillage on nitrogen-15 recovery by corn. *Agronomy Journal*, Madison, v. 82, n. 4, p. 777-784, 1990.
- TOBERT, H.A.; MULVANEY, R.M.; HEUVEL, V.; HOEFT, R.G. Soil type and moisture regime effects on fertilizer efficiency calculation methods in a nitrogen-15 tracer study. *Agronomy Journal*, Madison, v. 84, n. 1, p. 66-70, 1992.
- TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; BENDASSOLLI, J.A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 2, p. 193 - 201, 2002.
- WALTERS, D.T.; MALZER, G.L. Nitrogen management and nitrification inhibitor effects on nitrogen-15 urea: I yield and fertilizer use efficiency. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 54, n.1, p. 115-122, 1990.