



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

Cabezas, Waldo Alejandro Ruben Lara; Arruda, Murilo Rodrigues de; Cantarella, Heitor; Pauletti, Volnei; Trivelin, Paulo Cesar Ocheuze; Bendassolli, Jose Albertino
IMOBILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DA URÉIA E DO SULFATO DE AMÔNIO APLICADO EM PRÉ-SEMEADURA OU COBERTURA NA CULTURA DE MILHO, NO SISTEMA PLANTIO DIRETO
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 29, núm. 2, 2005, pp. 215-226
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214036007>

- ▶ 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

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

IMOBILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DA URÉIA E DO SULFATO DE AMÔNIO APLICADO EM PRÉ-SEMEADURA OU COBERTURA NA CULTURA DE MILHO, NO SISTEMA PLANTIO DIRETO⁽¹⁾

**Waldo Alejandro Ruben Lara Cabezas⁽²⁾, Murilo Rodrigues de Arruda⁽³⁾,
Heitor Cantarella⁽⁴⁾, Volnei Pauletti⁽⁵⁾, Paulo Cesar Ocheuze
Trivelin⁽⁶⁾ & Jose Albertino Bendassolli⁽⁷⁾**

RESUMO

Sulfato de amônio (SA) e uréia (U) marcados com ^{15}N foram aplicados na cultura do milho, em sucessão à aveia preta (*Avena strigosa* Schieb.), no sistema plantio direto, 43 dias antes e 31 dias depois da semeadura, na dose de 80 kg ha^{-1} de N, incorporados a 5–7 cm de profundidade, em sulcos espaçados de 0,8 m, nas entrelinhas do milho. O objetivo foi quantificar o N dos fertilizantes imobilizado no solo (^{15}N -orgânico), no sulco de adubação, e o N-recuperado na planta nos estádios de 5–6 folhas, 11–12 folhas, florescimento e maturação fisiológica. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas foram constituídas das fontes U e SA, e as subparcelas, das épocas de aplicação de N. O experimento foi realizado em Latossolo Vermelho ácrico típico fase cerrado subcaducifólio, na Fazenda Floresta do Lobo-Pinusplan, em Uberlândia (MG). Na aplicação em pré-semeadura, a máxima imobilização foi observada aos 19 dias da aplicação do SA ($13,3 \text{ kg ha}^{-1}$ ou 16,6 % do N-aplicado) e aos 40 dias da aplicação da U ($13,7 \text{ kg ha}^{-1}$

⁽¹⁾ Parte do trabalho apresentado no Iº Curso Avançado de Fertilidade e Biodinâmica no Sistema Plantio Direto, Uberlândia, setembro 2000. Financiado pelos convênios Embrapa-Petrobrás e o SN- Centro de Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio Ltda. Recebido para publicação em junho de 2001 e aprovado em novembro de 2004.

⁽²⁾ Professor Visitante, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Caixa Postal 593, CEP 38406-067 Uberlândia (MG). Bolsista CAPES. E-mail: waldolar@terra.com.br

⁽³⁾ Discente PG-Instituto de Ciências Agrárias, UFU. E-mail: murilo@cpaa.embrapa.br

⁽⁴⁾ Pesquisador Científico da Seção de Fertilidade de Solo do Instituto Agronômico de Campinas – IAC. Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas (SP). E-mail: cantarella@iac.sp.gov.br

⁽⁵⁾ Pesquisador, Área de Fertilidade de Solos, Fundação ABC. Caixa Postal 1003, CEP 84166-990 Castro (PR). E-mail: vpauletti@jundacaoabc.org.br

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

⁽⁷⁾ Professor do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP. E-mail: jab@cena.usp.br

ou 17,1 % do N-aplicado). A maior quantidade de N fertilizante assimilado pela planta ocorreu entre os estádios de 5-6 e 11-12 folhas (44,1 e 23,4 % do N-SA e N-U, respectivamente). Na aplicação em cobertura, a imobilização do N-SA foi inferior a 3,5 % do N-aplicado, enquanto a imobilização do N-U foi de 9,9 kg ha⁻¹ e 7,9 kg ha⁻¹, respectivamente, nos estádios de 11-12 folhas e florescimento. Até o estádio de maturação fisiológica da cultura, 61,8 % do N-SA e 42,0 % do N-U foram recuperados pelo milho. Em média, nos estádios de 11-12 folhas e de florescimento, para cada kg de N-SA imobilizado, as plantas de milho recuperaram 8,0 e 16,7 kg ha⁻¹ de N fertilizante em pré-semeadura e cobertura, respectivamente. Nos tratamentos com U, a média foi de 3,1 kg ha⁻¹, independentemente da época de aplicação. As produtividades de grãos obtidas com SA e U, independentemente da época de aplicação, foram de 7.824 kg ha⁻¹ e 6.977 kg ha⁻¹, respectivamente. Na adubação em pré-semeadura do milho, o SA apresentou maior rapidez na ciclagem do N imobilizado-mineralizado (“turnover”), em relação a U, e, consequentemente, causou maior assimilação do N pela cultura. Em cobertura, no sulco de adubação, somente houve imobilização do N-U, retardando a sua assimilação pela planta.

Termos de indexação: N-recuperado na planta, fenologia do milho, isótopo ¹⁵N, razão N fertilizante planta/N fertilizante imobilizado.

SUMMARY: *NITROGEN IMMOBILIZATION OF UREA AND AMMONIUM SULPHATE APPLIED TO MAIZE BEFORE PLANTING AND AS TOP-DRESSING IN A NO-TILL SYSTEM*

*In order to evaluate the amount of immobilized N and the amount of N-fertilizer recovered by corn plants at the stages: 5-6 leaves, 11-12 leaves, flowering, and physiologic maturation, ammonium sulfate (AS) and urea (U), labeled with ¹⁵N, were applied to maize in a no-till system 43 days before planting and 31 days after planting at a single rate of 80 kg ha⁻¹ of N incorporated at 5-7 cm depth and in a spacing of 0.8 m. Corn was sown after black oat (*Avena strigosa* Schreb.). The treatments were applied in split-plots set up in the completely randomized design with three replications. The original plots with two N sources were halved for the application time factor (pre-planting and top-dressing application). The field experiment was carried out on a Typic Acrustox on the farm Floresta do Lobo, Uberlandia, state of Minas Gerais. Results show that in pre-planting application treatments the maximum N-AS immobilization occurred 19 days after the fertilizer application (13.3 kg ha⁻¹ or 16.6 % of N applied) whereas the maximum immobilization of N-U occurred 40 days after fertilizer application (13.7 kg ha⁻¹ or 17.1 % of N applied). The highest amount of ¹⁵N-fertilizer taken up by corn plants was observed between the stages 5-6 leaves and 11-12 leaves, at ratios of 44.1 % of N-AS and 23.4 % of N-U. The immobilized N in the treatment with top-dressed AS was lower than 3.5 % of the applied N whereas in the treatment with top-dressed U it was 9.9 kg ha⁻¹ and 7.9 kg ha⁻¹ at the stages 11-12 leaves and flowering, respectively. The recovery of N-fertilizer measured at the stage of physiologic maturation in the treatments with AS and U was 61.8 % and 42.0 % respectively. The ¹⁵N-fertilizer amounts recovered by corn plants per kg of ¹⁵N immobilized in the treatments with AS were 8.0 kg ha⁻¹ and 16.7 kg ha⁻¹ respectively for pre-planting and top-dressing application. Independent of the application time, the ratio N-fertilizer recovery/immobilized N-fertilizer in the U treatments was 3.1 kg ha⁻¹. The highest corn yields were obtained in the AS treatments (grain mean of 7,824 kg ha⁻¹), independent of the application time. The average crop yield in the treatments with U in both application periods was 6,977 kg ha⁻¹. These results show that when the fertilizers were applied at pre-planting the immobilization-mineralization turnover was faster in the AS than in the U treatment. Consequently, the N-assimilation by corn plants was higher in the AS treatments. For top-dressing application, only U was significantly immobilized.*

Index terms: plant N-recovery, phenology of corn plants, ¹⁵N isotope, rate of plant N-fertilizer/immobilized N-fertilizer.

INTRODUÇÃO

Um dos aspectos mais polêmicos no manejo da adubação nitrogenada na cultura de milho, no sistema plantio direto (SPD), é a época de aplicação de N e a distribuição da quantidade a ser aplicada. Quanto à adubação nitrogenada na semeadura, diversos autores concordam com doses de 30 a 40 kg ha⁻¹ de N, nos primeiros anos de adoção do sistema, reduzindo e, ou, eliminando a carência inicial de N, decorrente da imobilização causada pela decomposição dos resíduos da cultura antecessora (Sá, 1995; Ceretta & Fries, 1998; Wiethölter, 2000). Quanto à adubação de cobertura, Ceretta & Fries (1998) resumiram duas estratégias de aplicação na sucessão gramínea/milho: aplicação de N na semeadura da cultura de inverno com doses de pelo menos 30 kg ha⁻¹ de N, adubação antecipada (pré-semeadura) ou na semeadura do milho, após o manejo da cultura de inverno. As estratégias refletem os resultados obtidos por Sá (1996) em estudos realizados no Paraná, na década de oitenta, com a utilização de U na sucessão aveia preta-milho. O N aplicado em pré-semeadura do milho seria imobilizado de forma temporária pela biomassa microbiana, e, posteriormente, disponibilizado, em parte, nos estádios de maior demanda de N pelo milho, além de operacionalizar as atividades do produtor, como assinalado por Sá (1996). Por sua vez, o N aplicado em cobertura, graças à imobilização, reduziria sua disponibilidade.

Entretanto, trabalhos recentes têm mostrado que o fator climático é determinante na capacidade de imobilização do N no solo, com ênfase nos arenosos, o que influi na produtividade do milho, quando cultivado em sucessão à gramínea. Pauletti (1999), em solo com 28 g kg⁻¹ de matéria orgânica na camada de 0–5 cm, em Arapoti (PR), obteve maior produtividade do milho com cobertura nitrogenada, quando houve baixa produção de palha da aveia preta, como cultura antecessora, causada pela falta de chuva; entretanto, em Ponta Grossa (51 g kg⁻¹ de matéria orgânica na camada de 0–5 cm) e Castro (67 g kg⁻¹ de matéria orgânica na camada 0–5 cm), a produtividade de milho foi similar à do manejo de N em pré-semeadura ou em cobertura.

Basso & Ceretta (2000), em solo arenoso (110 g kg⁻¹ de argila e 19 g kg⁻¹ de MO), na safra 97/98 em Santa Maria (RS), em condições de elevada pluviosidade (550 mm em outubro e 350 mm em novembro) durante o fenômeno do “El Niño”, mostraram que a aplicação do N em cobertura foi mais eficiente que em pré - semeadura. No mesmo local e solo, na safra anterior (96/97), Wolschick et al. (2003), em condições normais de pluviosidade, obtiveram as melhores produtividades com doses de N de 60, 30 e 30 e 90, 30 e 0 kg ha⁻¹, respectivamente, em pré-semeadura (logo após o manejo da aveia), na semeadura e cobertura. Pöttker & Wiethölter (2004), em solo com 36 g kg⁻¹ de matéria orgânica

na camada de 0–40 cm, relataram que, na safra 97/98, em Passo Fundo (RS), quando ocorreu excesso de precipitação, as maiores produtividades do milho, após aveia preta, foram obtidas com aplicação no sulco de semeadura de 30 kg ha⁻¹ de N e 70 kg ha⁻¹ de N na cobertura, a lanço ou incorporado. Em 1998/99, a produtividade de todos os tratamentos foi similar, tanto com a aplicação em pré-semeadura, quanto no sulco de semeadura ou em cobertura.

Verificou-se que condições climáticas mais extremas (falta ou excesso de água) estariam, aparentemente, favorecendo a adubação em cobertura (imobilização restrita pela falta de palha, no primeiro caso, e acentuada nitrificação seguida de lixiviação do nitrato, no segundo). Simulando pluviosidade sob o fenômeno do “El Niño”, Wolschick et al. (2003) verificaram que a extração de N pelo milho foi superior, quando aplicado parceladamente o N, em relação à aplicação antecipada, diminuindo as perdas de N.

Em anos com condições climáticas normais, a adubação em pré-semeadura seria mais favorável, com predomínio da atividade imobilizadora pela biomassa do solo. Para a região do Triângulo Mineiro, MG, a possibilidade de ocorrência de pluviosidade intensa nos meses de outubro e novembro é remota, pelo que a imobilização de N aplicado em pré-semeadura deve ser efetiva, sendo menos expressiva quando aplicado o adubo em cobertura (pluviosidade regular), independentemente das fontes aplicadas e do tipo de cobertura morta presente. No SPD, a biomassa microbiana apresenta maior atividade na camada superficial de solo de 0–10 cm em relação ao sistema convencional (Doran, 1980; Hungria et al., 1997), pelo que a atividade microbiológica, associada às condições climáticas locais, sob o tipo ou qualidade de cobertura morta da cultura antecessora, solteira ou consorciada, cultivada antes do milho, e restos em decomposição de resíduos anteriores deverão condicionar a disponibilidade de N para a cultura do milho (Blevins et al., 1984; Ros & Aita, 1996; Sá, 1998; Bortolini et. al., 2000; Floss, 2000).

Neste estudo, foi quantificado o N imobilizado no sulco de adubação, ao longo do ciclo fenológico da cultura de milho, dos fertilizantes U e SA aplicados em pré-semeadura e cobertura, em relação à assimilação pela cultura do milho em solo muito argiloso e seus efeitos na produtividade no SPD, em sequeiro, em condições edafoclimáticas do Triângulo Mineiro, MG.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Floresta do Lobo - Pinusplan, BR 050, km 93, no município de Uberlândia (MG), entre abril de 1999 e março de 2000, cultivando-se aveia preta (*Avena*

strigosa Schieb.), no inverno, e o milho híbrido simples, precoce, Tork (Syngenta), em sucessão. A área em SPD foi cultivada com soja e milho alternadamente desde 1996/97, com sorgo granífero em 1997 e pousio no inverno de 1998.

Em 15/04/99, foi semeada a aveia preta na área total do talhão, numa densidade de 17,8 kg ha⁻¹ de sementes (valor cultural: 83 %), com espaçamento de 0,5 m, sem adubação. A cultura foi manejada com rolo faca em 10/09/99, 145 dias após a semeadura, efetuando-se a determinação de massa de matéria seca (MMS) produzida com quadrante de 1 m², lançado ao acaso na área experimental em quadruplicata, antes do acamamento do material. No laboratório, cada repetição foi pesada, triturada finamente com triturador de material vegetal, homogeneizada. Foram compostas três amostras para secagem em estufa, com circulação de ar forçado a 60 °C até peso constante, e determinados C e N total por combustão a 1.440 °C com oxigênio em via seca, no LECO CN-2000, CENA/USP, Piracicaba, para o cálculo da relação C/N. Previamente à semeadura do milho, foi determinada a resteva (resíduos da aveia preta e soja da safra anterior), utilizando-se um procedimento similar ao da determinação da MMS da aveia preta.

O Latossolo Vermelho ácrico típico fase cerrado subcadocifólio (Embrapa, 1999) apresentou, para a camada de 0–10 cm, pH (H₂O) 5,5; 9,7 e 110,5 mg dm⁻³ de P (Mehllich-1) e K respectivamente; CTC de 59,5 mmol_c dm⁻³; 56 % de saturação por bases e 43 g dm⁻³ de MO. A camada de 10–20 cm apresentou pH (H₂O) 5,1; 11,6 e 55,4 mg dm⁻³ de P (Mehllich-1) e K; CTC de 64,6 mmol_c dm⁻³; 37 % de saturação por bases e 40 g dm⁻³ de MO. A amostragem do solo foi efetuada em 20/09/99, sendo coletadas 20 amostras simples de cada camada, na entrelinha, coletadas na linha de plantas, segundo citado por Anghinoni & Salet (1998).

Previamente à semeadura do milho, foi feita a adubação de 82 kg ha⁻¹ de K₂O (KCl), a lanço, sem incorporação, como efetuado no restante da área comercial. O híbrido simples Tork, precoce, foi semeado em 15/11/99, com espaçamento de 0,8 m, numa densidade de 65.000 plantas por hectare. No sulco de semeadura, nos tratamentos descritos a seguir, realizou-se a aplicação de 40, 53 e 40 kg ha⁻¹ de N; P₂O₅ e K₂O nas formas de SA, MAP e KCl, respectivamente, e de 0,7 e 1,3 kg ha⁻¹ de B e Mn, respectivamente. A adubação nitrogenada em cobertura foi feita em 16/12/99, com atraso, em razão das dificuldades com disponibilidade de maquinário. Foram executados, também, os tratos culturais de controle de pragas e plantas daninhas adequados para a região.

A colheita foi realizada em 24/03/2000. Nas quatro linhas centrais de cada parcela, foram determinadas a população efetiva de plantas e a produtividade de grãos (umidade corrigida para

130 g kg⁻¹). O acompanhamento das temperaturas máximas e mínimas médias e da pluviosidade foi efetuado, durante todo o período experimental.

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e três repetições, em esquema de parcelas subdivididas no tempo. Os tratamentos foram: (1) U aplicada em pré-semeadura (43 dias antes) e (2) em cobertura (estádio de 5–6 folhas), na dose de 80 kg ha⁻¹ de N, incorporada com haste escarificadora na profundidade de 5–7 cm de profundidade, no meio das futuras e atuais entrelinhas, respectivamente; (3) SA em pré-semeadura e (4) cobertura nas condições citadas anteriormente. Não houve tratamento-testemunha, desnecessário para os objetivos do estudo.

Cada parcela (fonte-época) ficou constituída de 14 linhas, espaçadas de 0,8 e 25 m de comprimento. Dentro de cada parcela correspondente aos tratamentos de U e SA em pré-semeadura, foram instaladas, aleatoriamente, seis subparcelas de 1,0 x 1,6 m, abrangendo o sulco de adubação e duas linhas adjacentes de plantas, onde foi substituído o adubo comercial por fertilizantes enriquecidos com ¹⁵N [U (46,8 % de N) com 5,037 ± 0,009 % e SA (21,4 % de N) com 5,029 ± 0,009 % em abundância de ¹⁵N], aplicados manualmente. Essas subparcelas foram utilizadas para quantificar o N imobilizado proveniente do fertilizante (*Nispf*) e o N na planta proveniente do fertilizante (*Nppf*) no sulco de adubação, após 19 e 40 dias da aplicação dos adubos e nos estádios de 5–6 folhas, 11–12 folhas, florescimento e ponto de maturação fisiológica (PMF). Não foi possível avaliar o *Nispf* e o *Nppf* no estádio de PMF nesses tratamentos, por falhas importantes do estande de plantas em duas das três subparcelas. De igual forma, nos tratamentos com aplicação de N em cobertura, foram instaladas três subparcelas com as fontes marcadas indicadas, em cada repetição, para serem efetuadas amostragens nos estádios de 11–12 folhas, florescimento e PMF.

O *Nispf* determinado nas subparcelas refere-se à fração orgânica do ¹⁵N determinado no sulco de adubação, que somente poderia constituir o N fertilizante assimilado pela biomassa microbiana, não sendo possível diferenciar do N fertilizante que tivesse passado a formar parte da fração húmica do solo com o passar do tempo. O *Nispf*, em cada época fenológica da cultura, foi calculado de forma indireta, pela diferença entre o N total no solo proveniente do fertilizante (*Ntspf*) e o N mineral total no solo proveniente do fertilizante (*Nmispf*), segundo Francis et al. (1993), de acordo com a seguinte expressão de balanço de massas:

$$Nispf = Ntspf - Nmispf \quad (1)$$

O *Ntspf* e *Nmispf* foram determinados a partir de amostras de terra coletadas num volume de 5 dm³

(50 x 10 x 10 cm de comprimento, largura e profundidade, respectivamente), no sulco de adubação, na entrelinha de cada tratamento, efetuando-se quarteio e transporte de amostras de aproximadamente 0,5 kg ao laboratório, conservadas a -18,0 °C até o preparo para a determinação de N total, N mineral total e as respectivas concentrações de ^{15}N . Para determinar o N total, foi separada uma subamostra de aproximadamente 70 g, seca em estufa com ar forçado a 60 °C até peso constante, passada em peneira de 100 µm e acondicionada em saco plástico para seu envio ao CENA/USP, Piracicaba (SP) para análise do teor de N total e determinação da concentração de ^{15}N por espectrometria de massas (ANCA modelo SL, 20–20, da Europa Scientific - Barrie & Prosser (1996)).

Para a análise de $Nmispf$, foi separada uma subamostra de 50 g com umidade atual, a qual foi, posteriormente, submetida à extração com KCl 2 mol L⁻¹ (relação solo:solução = 1:3) e posterior destilação Kjeldahl (Kenney & Nelson, 1982). Após a titulação, cada amostra foi acidulada com H₂SO₄ 0,05 mol L⁻¹, seca em estufa com ar forçado a 50 °C e posterior determinação da concentração de ^{15}N por espectrometria de massas no CENA/USP. Os cálculos da concentração (%) e da quantidade de N total (kg ha⁻¹) do $Ntspf$ e do $Nmispf$ foram efetuados de acordo com as seguintes expressões:

$$Nt(mi)spf = 100 (A-C)/(B-C) \quad (2)$$

$$Nt(mi)spf = [(Nt(mi)spf/100] Nt(mi)spf \quad (3)$$

significando A = concentrações de ^{15}N (%) em abundância em átomos de ^{15}N) no $Ntspf$ e $Nmispf$, B = concentração de ^{15}N do fertilizante e C = concentração isotópica natural do solo (0,363 % de abundância em átomos de ^{15}N), respectivamente. Os cálculos, expressos em kg ha⁻¹, foram referidos ao volume de 125 m³ ($\{0,005 \times 12.500\}/0,5$), abrangido pelo fertilizante na entrelinha, num hectare. No cálculo, foi considerada a densidade média aparente de 1,20 kg dm⁻³, determinada pelo método do anel volumétrico. O $Nispf$ foi expresso também como % do N aplicado (80 kg ha⁻¹). Todos os valores foram referidos com base em solo seco em estufa a 105 °C até peso constante.

Para a determinação do $Nppf$, foram efetuadas, nas subparcelas, amostragens de plantas (5–7), cortadas a 5 cm da superfície do solo. Até o estádio de florescimento, foram separadas em parte aérea (colmo + folhas + inflorescência) e raiz e, no estádio de PMF, separadas em raiz, parte aérea (colmo + folhas), sabugo, espiga e grãos. Cada parte da planta foi triturada, homogeneizada e subamostrada para secagem em estufa a 60 °C até peso constante e moídas em moinho tipo Wiley. As raízes, em cada linha da subparcela, foram coletadas num volume predeterminado em 0,50 x 0,25 x 0,20 m de comprimento, largura e profundidade, respectivamente. As

raízes de ambas as linhas foram reunidas, lavadas e colocadas para secar em estufa com ar forçado a 60 °C, para determinação da MMS de forma similar à parte aérea. Os grãos foram pesados e colocados a secar em estufa, como descrito anteriormente, para posterior determinação de MMS. O $Nppf$ foi determinado por espectrometria de massas e calculado como indicado nas expressões 2 e 3. A expressão em kg ha⁻¹ do $Nppf$ considerou a média das plantas coletadas na microparcela. Os valores de $Nppf$ foram multiplicados pelo fator 2, em decorrência do modelo da subparcela empregado, ou seja, marcação de um segmento de sulco de um metro com fertilizante- ^{15}N e colheita das plantas nas linhas imediatamente adjacentes.

Para as características analisadas, testou-se a normalidade dos erros pelo teste de Lilliefors, bem como a homogeneidade das variâncias pelo teste de Cochran & Bartlett. Para as características que apresentaram falta de normalidade ou variância, heterogênea, foi feita a transformação dos dados. Após a análise de variância, aplicou-se o teste de Tukey a 5 % de probabilidade, para comparar as fontes em uma mesma época e diferentes épocas dentro de cada fonte.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de MMS, o N acumulado na parte aérea e a relação C/N da aveia preta foram de 1,1 t ha⁻¹, 13,2 kg ha⁻¹ de N e 53,9, respectivamente. Apesar de ser uma cultura de outono-inverno adaptada para a região Sul e de ampla utilização no SPD no cerrado, a semeadura tardia (abril), não resultou nas vantagens comentadas por diferentes autores (Primavesi et al., 1999; Heinrichs & Fancelli, 1999; Bortolini et al., 2000), principalmente quanto à produção de MMS, devido principalmente à falta de água. Essa produção de MMS não estaria contribuindo efetivamente para o processo de imobilização das fontes nitrogenadas aplicadas, numa situação equivalente à verificada por Pauletti (1999) em Arapoti (PR). Na véspera da semeadura do milho, foi determinada uma resteva média de 3,17 t ha⁻¹ (resteva da aveia preta e culturas anteriores).

No quadro 1, observa-se a distribuição do N-SA e N-U nas formas $Ntspf$, $Nmispf$ e $Nispf$ após a aplicação incorporada das fontes em pré-semeadura (43 dias antes), até o florescimento.

Em relação a N-SA, após 19 dias da aplicação, antes da semeadura do milho, 65,0 kg ha⁻¹ de $Ntspf$ foi encontrado no sulco de adubação, principalmente na forma de $Nmispf$ (51,7 kg ha⁻¹) e 13,3 kg ha⁻¹ de $Nispf$, correspondendo somente a 16,6 % do N aplicado, mostrando que a imobilização não foi expressiva, em razão da inexpressiva cobertura

fornecida pela aveia preta ($1,1 \text{ t ha}^{-1}$). Portanto, grande proporção do N-SA retido no sulco de adubação foi quantificada como N mineral total na camada superficial. Aumento do N mineral total na camada superficial também foi detectado por outros autores com adubações nitrogenadas antecipadas à semeadura do milho e pluviosidade normal (Sá, 1996; Basso & Ceretta, 2000). Neste estudo, 19 dias após a aplicação do SA, não houve precipitação suficiente ($< 10 \text{ mm}$), para deslocar o fertilizante fora do sulco de adubação, limitando sua lixiviação (Figura 1).

Antes da semeadura do milho (40 dias após a aplicação), houve uma queda significativa do N_{tspf} ($16,3 \text{ kg ha}^{-1}$), sendo $8,2$ e $8,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de $Nmispf$ e $Nispf$, respectivamente (Quadro 1). Na figura 1, pode-se observar que houve aumento da pluviosidade poucos dias antes da semeadura do milho, favorecendo o deslocamento do $Nmispf$ para do sulco de adubação e do N fertilizante reciclado da biomassa. No quadro 1, observa-se, também, nessa época, que a maior parte do N mineral total ($12,3 \text{ kg ha}^{-1}$) foi do $Nmispf$ (66,8 % do total). Parte

do $Nmispf$ poderia estar constituído, nesta época, por N-SA reciclado da biomassa, previamente imobilizado segundo a rota de assimilação MIT (“mineralization-imobilization turnover”), como proposto por Jansson & Persson (1982).

Nos estádios sucessivos até o florescimento, observou-se uma estabilização no N_{tspf} ($4,8 \text{ kg ha}^{-1}$), quase na totalidade na forma de $Nispf$ ($4,7 \text{ kg ha}^{-1}$). Basso & Ceretta (2000), de forma similar, observaram no milho em sucessão à aveia preta, quando foram aplicados 90 e 30 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura e semeadura respectivamente, na camada de $0\text{--}5 \text{ cm}$, valores de $67,7$; $8,0$ e $2,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de N mineral total, respectivamente, para amostragens feitas imediatamente antes da semeadura do milho, antes da aplicação da cobertura e no florescimento, em ano de pluviosidade regular.

Em relação a U aplicada em pré-semeadura (Quadro 1), aos 19 dias da aplicação, foram encontrados $51,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de N_{tspf} , sendo $46,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de $Nmispf$ e $6,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de $Nispf$, representando 8,3 % do N aplicado, inferior ao N-SA imobilizado à

Quadro 1. N total do solo proveniente do fertilizante (N_{tspf}), N mineral do solo e proveniente do fertilizante ($Nmispf$), N imobilizado no solo proveniente do fertilizante ($Nispf$) e fração do N fertilizante imobilizado após a aplicação em pré-semeadura de sulfato de amônio e uréia, para a cultura do milho, em sistema plantio direto⁽¹⁾

Época (estádio)	N total	Concentra- ção de ^{15}N	N_{tspf}		N-min. total	Concentra- ção de ^{15}N	$Nmispf$		$Nispf$	
			Concen- tra- ção	Con- teúdo			Concen- tra- ção	Con- teúdo	Concen- tra- ção	Con- teúdo
d.a.a. ⁽²⁾	kg ha ⁻¹	atom % abun.	%	— kg ha ⁻¹ —	atom % abun.	%	kg ha ⁻¹	% do aplicado	kg ha ⁻¹	
Sulfato de amônio										
19	289 aA	1,412	22,5	65,0 aA	56,9 a	4,600	90,8	51,7 a	16,6 aA	13,3 aA
40	217 bB	0,713	7,5	16,3 bB	12,3 b	3,480	66,8	8,2 b	10,1 abA	8,1 abB
64 (5-6 folhas)	219 bA	0,638	5,9	12,9 bA	9,5 bc	2,971	55,9	5,3 c	9,5 bA	7,6 bA
105 (11-12 folhas)	196 bA	0,502	3,0	5,9 bA	1,5 c	0,820	9,8	0,2 d	7,1 bA	5,7 bA
119 (florescimento)	198 bA	0,475	2,4	4,8 bA	2,2 c	0,615	5,4	0,1 d	5,9 bA	4,7 bA
Uréia										
19	257 aB	1,293	19,9	51,1 aB	53,4 a	4,457	87,6	46,8 a	8,3 bB	6,6 bB
40	247 abA	0,933	12,2	30,1 bA	21,5 b	3,920	76,1	16,4 b	17,1 aA	13,7 aA
64 (5-6 folhas)	216 bcA	0,624	5,6	12,1 cA	6,6 c	2,485	45,4	3,0 c	11,4 abA	9,1 abA
105 (11-12 folhas)	191 cA	0,550	4,0	7,6 cA	0,9 c	0,854	10,5	0,1 d	9,4 bA	7,5 bA
119 (florescimento)	193 cA	0,540	3,8	7,3 cA	1,4 c	0,830	10,0	0,1 d	9,0 bA	7,2 bA
DMS ⁽³⁾	25,3	-	-	9,0	17,4 ns.	-	-	8,2 ns.	4,9	4,0
C.V. (%) ⁽³⁾	4,9	-	-	30,4	46,3	-	-	25,4	37,4	37,1
DMS ⁽⁴⁾	39,1	-	-	11,3	8,0	-	-	0,9	6,6	5,3
C.V. (%) ⁽⁴⁾	7,0	-	-	21,0	27,2	-	-	16,2	26,9	26,9

⁽¹⁾ As médias das fontes, para cada época, seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 0,05. As médias das épocas para cada fonte, seguidas de letra minúscula desigual, diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 0,05. ⁽²⁾ d.a.a. = dias após aplicação de sulfato de amônio e uréia. ⁽³⁾ Entre fontes. ⁽⁴⁾ Entre épocas.

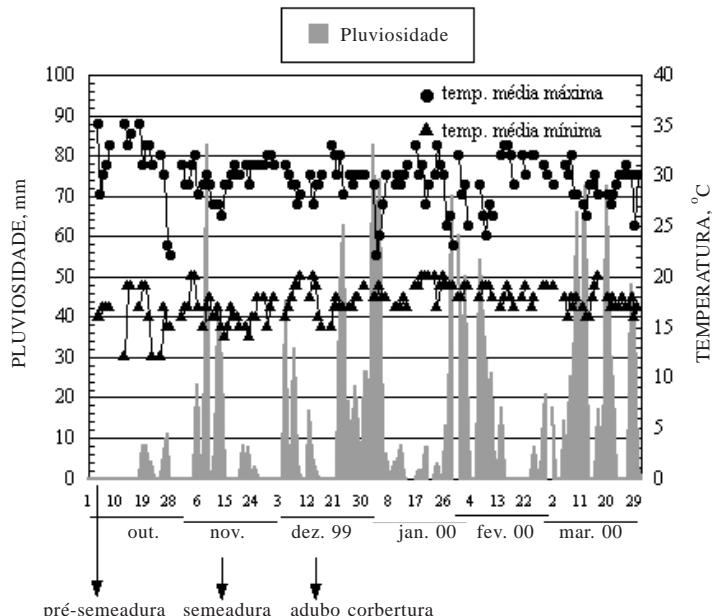


Figura 1. Pluviosidade e temperaturas médias máximas e mínimas durante o ciclo da cultura do milho em sucessão à aveia preta.

época. Aos 40 dias da aplicação da U, uma queda significativa do N_{tspf} ($30,1 \text{ kg ha}^{-1}$) foi observada, ocorrendo aumento significativo do N_{ispf} ($13,7 \text{ kg ha}^{-1}$). A maior incidência de chuvas até esta época poderia ter contribuído para diluir a concentração do N-amoniacial oriundo da U, no sulco de adubação, favorecendo as condições micro-ambientais para a imobilização do N-amoniacial do fertilizante. Nos estádios sucessivos até o florescimento, na presença de sistema radicular, como foi observado com o N-SA, houve uma estabilização do N_{tspf} ($7,3 \text{ kg ha}^{-1}$) sendo principalmente constituído do N_{ispf} .

A quantidade de N_{ppf} assimilado pela planta das fontes aplicadas em pré-semeadura e sua correspondente recuperação (N_{frp}) até o estádio de cinco a seis folhas mostraram que, praticamente, nada de N dos fertilizantes foi assimilado pela cultura (Quadro 2).

Até o estádio de 11–12 folhas, pode-se verificar o grande acúmulo de N total na planta (média de $112,4$ e $94,6 \text{ kg ha}^{-1}$ sob a aplicação do SA e U respectivamente), não havendo diferença entre os tratamentos, sendo o estádio de maior acúmulo de N fertilizante na planta ($35,3$ e $18,7 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente, para SA e U). Segundo Fancelli & Dourado-Neto (1997), até este estádio, o milho apresenta acentuada taxa de absorção de N e K, principalmente, em virtude do aumento da taxa de desenvolvimento da espiga, colmo e pendão. Até o estádio de florescimento, foi observado aumento na assimilação do N fertilizante, acumulando-se $45,8 \text{ e}$

$22,7 \text{ kg ha}^{-1}$ dos fertilizantes SA e U, respectivamente. Houve, portanto, uma recuperação de $57,3\%$ do N-SA aplicado, em relação ao N-U, que foi de $28,4\%$ até o florescimento. Esta assimilação correspondeu a $29,8$ e $21,4\%$, respectivamente, em relação ao N total acumulado pela planta. Portanto, segundo os resultados apresentados, o N-SA teve um “turnover” (imobilização-remineralização) mais dinâmico que o apresentado pelo N-U, favorecendo a maior assimilação pela planta nos estádios iniciais de 5–6 até 11–12 folhas.

As avaliações feitas do N_{tspf} , N_{mispf} e N_{ispf} nos estádios de 11–12 folhas, florescimento e PMF nos tratamentos com aplicação das fontes em cobertura, mostraram que o N-SA não foi alterado pelo processo de imobilização (Quadro 3), visto que proporção inferior a $3,5\%$ do N-SA aplicado foi imobilizada. Neste estudo, considerando que as doses normalmente utilizadas em cobertura não aumentaram significativamente a biomassa do solo, como um indicativo da falta de N para acentuar a imobilização (Blackmer & Green, 1995; Liang & MacKenzie, 1996), tampouco terem as condições de umidade do solo sido favorecidas pela regularidade na pluviosidade (Figura 1), haveria um predomínio da nitrificação do N-amoniacial do N fertilizante, em relação à imobilização, como observado por Francis et al. (1993). Isto, de forma indireta, tem sido observado em estudos realizados no País, quando afetada a produtividade do milho sob alta pluviosidade em adubações de pré-semeadura (Basso & Ceretta, 2000; Pauletti, 1999; Pöttker & Weithölter, 2004; Wolschick et al., 2003).

Quadro 2. Matéria seca (MMS), N total planta, N planta proveniente do fertilizante (*Nppf*) e percentagem do N fertilizante recuperado na planta (*Nfrp*) após a aplicação em pré-semeadura de sulfato de amônio e uréia, para a cultura do milho, em sistema plantio direto⁽¹⁾

Época (estádio)	MMS	N total	Concentração de ^{15}N	Nppf		Nfrp
				Concentração	Conteúdo	
d.a.a. ⁽²⁾	kg ha ⁻¹	atom % abun.	%	kg ha ⁻¹	%	
Sulfato de amônio						
64 (5-6 folhas)	121 b	5,7 b	0,371	0,34	0,02 bA	0,03 bA
105 (11-12 folhas)	6.271 a	112,4 a	1,095	31,40	35,3 aA	44,1 aA
119 (florescimento)	9.098 a	153,8 a	1,058	29,80	45,8 aA	57,3 aA
Uréia						
64 (5-6 folhas)	156 b	7,2 b	0,369	0,26	0,02 bA	0,03 bA
105 (11-12 folhas)	7.450 a	94,6 a	0,825	19,80	18,7 aB	23,4 aB
119 (florescimento)	7.356 a	106,2 a	0,863	21,40	22,7 aB	28,4 aB
DMS ⁽³⁾	3.356 ns	38,4 ns	-	-	7,5	9,5
C.V. (%) ⁽³⁾	29,2	21,2	-	-	3,3	3,6
DMS ⁽⁴⁾	3.388	51,7	-	-	18,9	23,6
C.V. (%) ⁽⁴⁾	40,5	39,2	-	-	8,4	9,0

⁽¹⁾ As médias das fontes, para cada época, seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 0,05 %. As médias das épocas, para cada fonte, seguidas de letra minúsculas desiguais, diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 0,05 %. ⁽²⁾ d.a.a. = dias após aplicação de sulfato de amônio e uréia. ⁽³⁾ Entre fontes. ⁽⁴⁾ Entre épocas.

Quadro 3. N total do solo proveniente do fertilizante (*Ntspf*), N mineral do solo e proveniente do fertilizante (*Nmispf*), N imobilizado do solo proveniente do fertilizante (*Nispf*) e fração do N fertilizante imobilizado após a aplicação em cobertura de sulfato de amônio e uréia, para a cultura do milho, em sistema plantio direto⁽¹⁾

Época (estádio)	N total	Concentração de ^{15}N	Ntspf		N-min. total	Concentração de ^{15}N	Nmispf		Nispf		
			Concentração	Conteúdo			Concentração	Conteúdo	Concentração	Conteúdo	
d.a.a. ⁽²⁾	kg ha ⁻¹	atom % abun.	%	kg ha ⁻¹	atom % abun.	%	kg ha ⁻¹	% do aplicado	kg ha ⁻¹		
Sulfato de amônio											
32 (11-12 folhas)	188	0,423	1,3	2,44 aB	1,5 aB	0,713	7,5	0,11 aB	2,86 aB	2,29 aB	
47 (florescimento)	197	0,423	1,3	2,56 aB	1,8 aA	0,587	4,8	0,09 aA	3,09 aB	2,47 aB	
99 (matur. fisiológica)	190	0,395	0,7	1,33 aB	1,6 aA	0,540	3,8	0,06 aA	1,59 aB	1,27 aB	
Uréia											
32 (11-12 folhas)	202	0,657	6,3	12,73 aA	5,3 aA	2,943	55,2	2,93 aA	12,25 aA	9,80 aA	
47 (florescimento)	192	0,564	4,3	8,26 bA	1,9 bA	1,283	19,7	0,37 bA	9,86abA	7,89abA	
99 (matur. fisiológica)	172	0,531	3,6	6,19 bA	1,5 bA	0,720	7,6	0,11 bA	7,60 bA	6,08 bA	
DMS ⁽³⁾	22,8 ns	-	-	2,4	1,2	-	0,8	1,6	2,4		
C.V. (%) ⁽³⁾	3,6	-	-	12,6	24,0	-	69,0	11,4	11,4		
DMS ⁽⁴⁾	16,6	-	-	3,5	1,6	-	1,1	2,2	1,7		
C.V. (%) ⁽⁴⁾	5,3 ns	-	-	27,1	31,1	-	75,7	21,4	21,4		

⁽¹⁾ As médias das fontes, para cada época, seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 0,05 %. As médias das épocas, para cada fonte, seguidas de letra minúsculas desiguais, diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 0,05 %. ⁽²⁾ d.a.a. = dias após aplicação de sulfato de amônio e uréia. ⁽³⁾ Entre fontes. ⁽⁴⁾ Entre épocas.

O rápido “turnover” observado com o N-SA em pré-semeadura estaria sendo coerente com o comportamento mostrado em cobertura. Talvez, uma amostragem mais próxima à adubação (inferior a 32 dias) teria mostrado valores superiores de N imobilizado do N-SA. Dados não publicados de um segundo ano de estudo (safras 00/01) evidenciaram sensível abaixamento do pH no sulco de adubação, indicando indiretamente, dentre outros fatores, a possibilidade da ocorrência de nitrificação do N-amoniacial do fertilizante.

Em relação a N-U aplicado em cobertura, foi verificado um comportamento completamente diferente (Quadro 3). Nos estádios avaliados, houve imobilização significativa em relação a N-SA, variando de 9,8 até 6,1 kg ha⁻¹ entre o estádio de 11–12 folhas até PMF. É provável que, neste caso, em relação ao estádio crítico de desenvolvimento da cultura, tenha ocorrido imobilização mais expressiva do N-U que em pré-semeadura. De fato, até esse estádio, houve diferença na assimilação pela planta do N-SA em relação a N-U: 44,0 e 18,8 kg ha⁻¹, respectivamente (Quadro 4). Isto também ocorreu com o N total acumulado na planta: 143,7 e 101,4 kg ha⁻¹, respectivamente. No solo, até esse estádio, os resultados obtidos levam a acreditar que o N-U tenha sido mais imobilizado que o N-SA, refletindo-se no N assimilado pela planta. No estádio do florescimento (Quadro 4), observou-se que não houve maior acúmulo na planta, em termos de

N total e *Nppf* com a utilização do N-SA. Por sua vez, foram observados um ganho de N total e um aumento do N-U na planta. Isto evidencia que parte do N imobilizado da U tenha sido remineralizado e aproveitado pela cultura. Até PMF, 61,8 e 42,0 % do N aplicado, respectivamente, do N-SA e N-U foram recuperados na planta. Estes valores representam praticamente o N-assimilado pela planta até à colheita, efetuada no dia seguinte (24/03/00).

Nas figuras 2a e b, observa-se que os maiores valores de *Nispf* em pré-semeadura ocorreram aos 19 e 40 dias da aplicação do N-SA e N-U, respectivamente, sendo mais expressiva que o *Nispf* em cobertura (Figuras 3a e b). Em pré-semeadura, o *Nispf* estaria sendo favorável no sentido de constituir uma forma de reter o N fertilizante na camada superficial para a cultura em sucessão, se a pluviosidade não for elevada. Entretanto, na cobertura, com a pluviosidade mais intensa, estaria diminuindo o *Nispf*, principalmente, para o SA. Nessas figuras, cabe salientar também a coerência observada entre o N total e o N fertilizante acumulados na planta. Tanto para a adubação em pré-semeadura quanto de cobertura, houve maior acúmulo de N total na medida em que foi observada maior recuperação de N fertilizante na planta.

No quadro 5, mostra-se a relação *Nppf/Nispf*, como indicador da imobilização do N fertilizante (*Nispf*), nos estádios de 11 a 12 folhas e florescimento,

Quadro 4. Matéria seca (MMS), N total planta, N planta proveniente do fertilizante (*Nppf*) e percentagem do N fertilizante recuperado na planta (*Nfrp*) após a aplicação em cobertura de sulfato de amônio e uréia, para a cultura do milho, em sistema plantio direto⁽¹⁾

Época (estádio)	MMS	N total	Concentração de ¹⁵N	Nppf		Nfrp
				Concentração	Conteúdo	
d.a.a. ⁽²⁾	kg ha ⁻¹		atom % abun.	%	kg ha ⁻¹	%
			Sulfato de amônio			
1 (5-6 folhas)	143 dA	4,6 b	0,363	-	-	-
32 (11-12 folhas)	8.238 cA	143,7 a	1,078	30,6	44,0 A	55,0
47 (florescimento)	9.407 bA	154,4 a	0,894	22,7	35,0 A	43,7
99 (matur. fisiológica)	17.454 aa	196,0 a	0,950	25,2	49,4 A	61,8
			Uréia			
1 (5-6 folhas)	127,2 dA	4,9 c	0,363	-	-	-
32 (11-12 folhas)	6.493 cB	101,4 b	0,798	18,6	18,8 B	23,5
47 (florescimento)	9.755 bA	163,6 a	0,850	20,8	34,0 A	42,5
99 (matur. fisiológica)	14.928 aB	174,0 a	0,814	19,3	33,6 A	42,0
DMS ₍₃₎	570	68,6			19,9	24,9 ^{ns}
C.V. (%) ⁽³⁾	13,0	25,7			29,3	29,3
DMS ⁽⁴⁾	695	61,4 ^{ns}			24,5 ^{ns}	30,6 ^{ns}
C.V. (%) ⁽⁴⁾	14,5	30,4			37,7	37,7

⁽¹⁾ As médias das fontes, para cada época, seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 0,05 %. As médias das épocas, para cada fonte, seguidas de letra minúscula desigual, diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 0,05 %. ⁽²⁾ d.r.a. = dias referentes à aplicação. ⁽³⁾ Entre fontes. ⁽⁴⁾ Entre épocas.

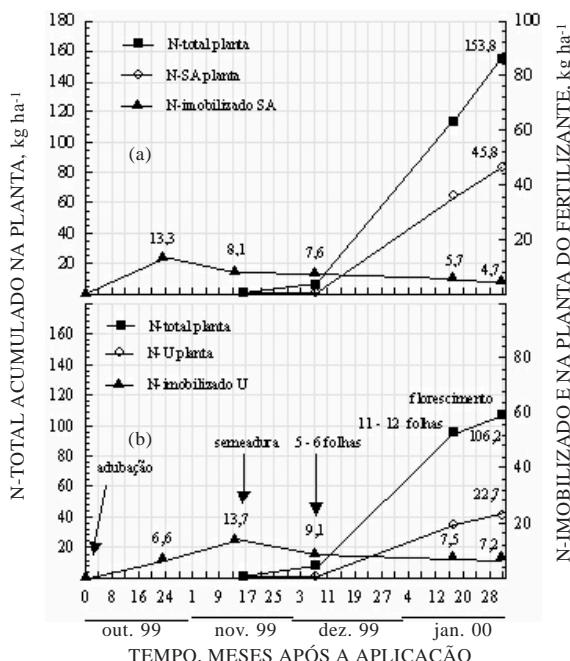


Figura 2. Acúmulo de N total, N na planta proveniente do fertilizante (N_{ppf}) e N do fertilizante imobilizado (N_{ispf}), para sulfato de amônio (a) e uréia (b), aplicados em pré-semeadura do milho, no sistema plantio direto.

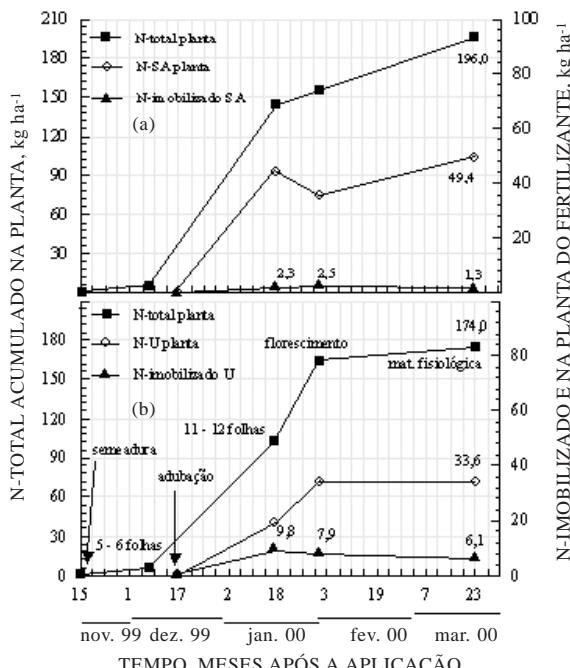


Figura 3. Acúmulo de N total, N na planta proveniente do fertilizante (N_{ppf}) e N do fertilizante imobilizado (N_{ispf}), para sulfato de amônio (a) e uréia (b), aplicados em cobertura do milho, no sistema plantio direto.

comuns aos tratamentos de U e SA aplicados em pré-semeadura e cobertura. Com base em um hectare, o N-SA foi mais assimilado pela planta, quando aplicado em cobertura, sendo de 16,7 kg na planta por kg de N imobilizado em relação a 8,0 kg por kg de N imobilizado em pré-semeadura. Tanto em pré-semeadura quanto em cobertura, as quantidades do N-SA na planta foram superiores ao N-U por kg de N imobilizado. O N-U, por sua vez, independentemente da época de aplicação, não mostrou diferença, variando de 2,9 a 3,1 kg na planta, por kg de N imobilizado.

A produtividade do milho mostrou maior influência da fonte do que da época de aplicação (Figura 4). A aplicação do SA nas duas épocas proporcionou acréscimo médio de 847 kg ha⁻¹ de grãos em relação à aplicação da U. A maior eficiência do N-SA (Quadros 2 e 4) e o indicador de imobilização (Quadro 5) explicam a maior produtividade do milho quando utilizado o SA em pré-semeadura e cobertura. O S presente no SA deve ter contribuído à melhor resposta pela planta. Por outro lado, não havendo diferença entre as épocas para cada fonte, sob o ponto de vista operacional (disponibilidade de maquinário para a semeadura de soja) e precipitação regular até à semeadura de milho, poder-se-ia efetuar a adubação em pré-semeadura (Sá, 1996). A imobilização do fertilizante mostrou-se, neste estudo, um processo importante na ausência de

Quadro 5. Razão de N_{ppf} / N_{ispf} (kg ha⁻¹) após a aplicação dos fertilizantes uréia e sulfato de amônio em pré-semeadura e em cobertura na cultura de milho em sistema plantio direto⁽¹⁾

Estádio	Fonte	
	Sulfato de amônio	Uréia
kg ha ⁻¹		
Pré semeadura		
11-12 folhas	6,2	2,5
Florescimento	9,7	3,2
Média	8,0 Aa	2,9 Ba
Cobertura		
11-12 folhas	19,2	1,9
Florescimento	14,2	4,3
Média	16,7 Ba	3,1 Ba
DMS (entre fontes)	3,9	
C.V.% (entre fontes)	17,6	
DMS (entre épocas)	3,4	
C.V.% (entre épocas)	19,0	

⁽¹⁾ As médias das fontes, para cada época, seguidas de letras maiúsculas desiguais, diferem significativamente pelo teste de Tukey a 0,05 %. As médias das épocas, para cada fonte, seguidas de letras minúsculas iguais, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 0,05 %.

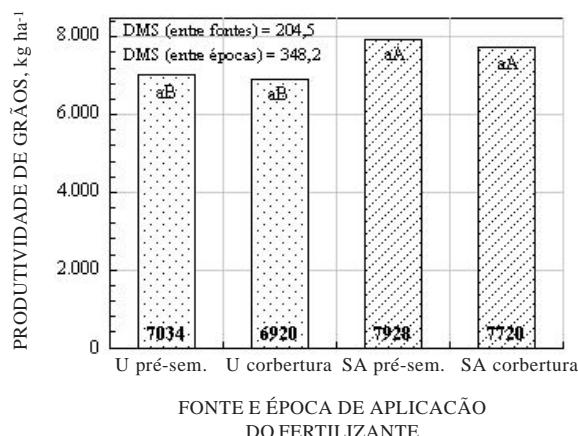


Figura 4. Produtividade do milho influenciada pela aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N como sulfato de amônio ou uréia em pré-semeadura e cobertura, em sistema plantio direto. As médias das fontes seguidas de letras maiúsculas desiguais diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 0,05 %. As médias das épocas, para cada fonte, seguidas de letras minúsculas iguais não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 0,05 %.

plantas (pré-semeadura), disponibilizando o N para a cultura posteriormente. No caso de chuvas intensas até à semeadura, o “turnover” do N aplicado aumentaria, com o agravante de não estar a cultura instalada, favorecendo a mineralização em relação à imobilização do N-aplicado, bem como seu posterior deslocamento fora do alcance do sistema radicular. Ainda assim, devem ser consideradas a quantidade e a qualidade do material de cobertura antecedente à cultura do milho, por ser fator determinante da intensidade da imobilização (Aoyama & Nozawa, 1993; Jensen, 1994; Zagal & Persson, 1994; MacKeeney et al., 1995; Sparling et al., 1996). Colocado desta forma, concorda-se com a seguinte frase colocada por Basso & Ceretta (2000): “No SPD, a aplicação de N em pré-semeadura do milho pode ser uma alternativa técnica, desde que o período de cultivo do milho não seja caracterizado pela ocorrência de intensas e freqüentes chuvas”.

CONCLUSÕES

- Na adubação em pré-semeadura do milho, no sulco de adubação, parte do N aplicado como U e SA foi imobilizada, apresentando o SA maior rapidez na ciclagem do N imobilizado-mineralizado (“turnover”) e consequente maior assimilação pelo milho.

- Na adubação em cobertura no milho, no sulco de adubação, somente ocorreu imobilização do N da U, retardando a sua assimilação pela planta, em relação ao N-SA.

- Para cada kg de N fertilizante imobilizado no sulco de adubação, independentemente da época de aplicação das fontes, maior quantidade de N do SA foi recuperada pela planta entre os estádios de 11-12 folhas e florescimento.

- Maior produtividade de grãos de milho foi obtida pela utilização do SA, independentemente da época de aplicação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Convênio Embrapa-Petrobrás e à SN-Centro de Pesquisa e Divulgação do Sulfato de Amônio (Honeywell), pelo apoio financeiro recebido. Os autores fazem extensivos também os agradecimentos à Professora Dra. Denise G. de Santana, do Instituto de Ciências Agrárias (UFU), pelo auxílio nas análises estatísticas.

LITERATURA CITADA

- ANGHINONI, I. & SALET, R.L. Amostragem de solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUEMBERG, N.J., ed. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1998. p.27-52
- AOYAMA, M. & NOZAWA, T. Microbial biomass nitrogen and mineralization-immobilization processes of nitrogen in soils incubated with various organic materials. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 39:23-32, 1993.
- BARRIE, A. & PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W. & YAMASAKI, S., eds. *Mass spectrometry of soils*. New York, Marcel Dekker, 1996. p.1-46.
- BASSO, C.J. & CERETTA, C.A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:905-915, 2000.
- BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F. & ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:897-903, 2000.
- BLACKMER, A.M. & GREEN, C.J. Nitrogen turnover by sequential immobilization and mineralization during residue decomposition in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:1052-1058, 1995.
- BLEVINS, R.L.; SMITH, M. & THOMAS, G.W. Changes in soil properties under no-tillage. In: PHILLIPS, R.E. & PHILLIPS, S.H., eds. *No tillage agriculture, principles and practices*. New York, Reinhold, 1984. p.190-230.

- 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, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Nucleo Regional Sul. 1998. p.111-120.
- DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:765-771, 1980.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. 412p.
- FANCELLI, A.L. & DOURADO-NETO, D. Fenologia do milho. *Inf. Agron.*, 78: 1-6, 1997. (Encarte Técnico)
- FLOSS, E.L. Manejo de coberturas: aspectos físicos e químicos visando alta produtividade em milho. In: SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DO MILHO, Passo Fundo, 2000. Resumo de Palestras. Passo Fundo, Aldeia Norte, 2000. p.39-51.
- FRANCIS, D.D.; DORAN, J.W. & LOHRY, R.D. Immobilization and uptake of nitrogen to corn as starter fertilizer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:1023-1026, 1993.
- HEINRICHS, R. & FANCELLI, A.L. Influência do cultivo consorciado de aveia preta (*Avena strigosa* Schieb.) e ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) na produção de fitomassa e no aporte de nitrogênio. *Sci. Agric.*, 56:27-31, 1999.
- HUNGRIA, M.; ANDRADE, D.S.; BALOTA, E.L. & COLOZZI-FILHO, A. Importância do sistema de semeadura direta na população microbiana do solo. Londrina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 9p. (Comunicado Técnico, 56)
- JANSSON, S.L. & PERSSON, J. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: STEVENSON, F.J., ed. Nitrogen in agricultural soils. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.229-252 (Agronomy 22)
- JENSEN, E.S. Mineralization-immobilization of nitrogen in soil amended with low C:N ratio plant residues with different particle sizes. *Soil Biol. Biochem.*, 26:519-521, 1994.
- KEENEY, D.R. & NELSON, D.W. Nitrogen - inorganic forms. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., eds. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.687-693. (Agronomy, 9)
- LIANG, B.C. & MACKENZIE, A.F. Effect of fertilization on organic and microbial biomass nitrogen using ^{15}N under corn (*Zea mays* L.) in two Quebec soils. *Fert. Res.*, 44:143-149, 1996.
- McKEENEY, D.J.; WANG, S.W.; DRURY, C.F. & FINDLAY, W.I. Denitrification, immobilization, and mineralization in nitrate limited and nonlimited residue-amended soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:118-124, 1995.
- PAULETTI, V. A importância da palha e da atividade biológica na fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 3., Cruz Alta, 1999. Resumo de Palestras. Passo Fundo, Aldeia Norte, 1999. p.56-65.
- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O. & GODOY, R. Extração de nutrientes e eficiência nutricional de cultivares de aveia, em relação ao nitrogênio e à intensidades de corte. *Sci. Agric.*, 56:613-620, 1999.
- PÖTTKER, D. & WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. *Ci. Rural*, 34:1015-1020, 2004.
- ROS, C.O. & AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:135-140, 1996.
- SÁ, J.C.M. Nitrogênio: Influência da rotação de culturas e resposta da cultura de milho em solos sob plantio direto. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, Castro, 1995. Anais. Castro, Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, 1995. p.212-227.
- SÁ, J.C.M. Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto. Passo Fundo, Aldeia Norte, 1996. 23p.
- SÁ, J.C.M. Reciclagem de nutrientes e parâmetros para recomendação de adubação das culturas em sistemas de produção sob plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1., Rio Verde, 1998. Resumo de Palestras. Passo Fundo, Aldeia Norte, 1998. p.13-52.
- SPARLING, G.P.; CHUNYA, Z. & FILLERY, I.R.P. Microbial immobilization of ^{15}N from legume residues in soils of differing textures: measurement by persulphate oxidation and ammonia diffusion methods. *Soil Biol. Biochem.*, 28:1707-1715, 1996.
- WIETHÖLTER, S. Manejo da fertilidade do solo na cultura de milho. In: SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DO MILHO. Passo Fundo, 2000. Resumo de Palestras. Passo Fundo. Aldeia Norte, 200. p.5-38.
- WOLSCHEICK, D.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T. & JADOSKI, S.O. Adubação nitrogenada na cultura do milho no sistema plantio direto em ano com precipitação pluvial normal e com "El Niño". *R. Bras. Ci. Solo*, 2: 461-468, 2003.
- ZAGAL, E. & PERSSON, J. Immobilization and remineralization of nitrate during glucose decomposition at four rates of nitrogen addition. *Soil Biol. Biochem.*, 26:1313-1321, 1994.