

CONSORCIAÇÃO DE PLANTAS DE COBERTURA ANTECEDENDO O MILHO EM PLANTIO DIRETO. I - DINÂMICA DO NITROGÊNIO NO SOLO⁽¹⁾

C. AITA⁽²⁾, S. J. GIACOMINI⁽³⁾, A. P. HÜBNER⁽³⁾,
I. C. CHIAPINOTTO⁽⁴⁾ & M. R. FRIES^{(5)†}

RESUMO

A dinâmica do N no solo é um assunto ainda pouco estudado no Sul do Brasil, principalmente no sistema plantio direto. O presente estudo avaliou a dinâmica do N no solo durante o ciclo do milho, em sucessão à aveia preta (AP) (*Avena strigosa* Schieb), ervilhaca comum (EC) (*Vicia sativa* L.) e nabo forrageiro (NF) (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.), em cultivos solteiros e consorciados. O trabalho foi realizado nos anos agrícolas de 1998/99 e 1999/00, em área do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (RS) em um Argissolo Vermelho distrófico arênico (Hapludalf). Utilizou-se o delineamento experimental de blocos inteiramente ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram os seguintes: 100 % AP (80 kg ha⁻¹ de sementes), 100 % EC (80 kg ha⁻¹), 100 % NF (14 kg ha⁻¹), 15 % AP + 85 % EC, 45 % AP + 55 % EC e 30 % AP + 70 % NF. Além desses, foram utilizados dois tratamentos em pousio invernal onde cresceu a vegetação espontânea da área. Num tratamento, o milho foi cultivado sem adubação nitrogenada e, no outro, o milho foi adubado com 180 kg ha⁻¹ de N-uréia. A partir de 10 dias do manejo das plantas de cobertura, avaliou-se a quantidade de N mineral do solo, nas camadas de 0-5, 5-15, 15-30, 30-60 e 60-90 cm, em nove épocas. A soma das quantidades de N mineral das cinco camadas de solo no tratamento com ervilhaca solteira foi superior à dos tratamentos em pousio e aveia solteira. Ao final do primeiro mês, a diferença em favor da ervilhaca foi de aproximadamente 30 kg ha⁻¹ de N. Nos tratamentos com nabo forrageiro, as quantidades de N mineral foram inferiores às da ervilhaca solteira e próximas às dos consórcios de aveia e ervilhaca. Os resultados deste trabalho evidenciaram que a consorciação de aveia e ervilhaca provocou

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do segundo autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Pesquisa parcialmente financiada com recursos da FAPERGS e do PRONEX-CNPq/FINEP. Recebido para publicação em novembro de 2001 e aprovado em junho de 2004.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: caita@ccr.ufsm.br

⁽³⁾ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFSM. Bolsistas da CAPES e CNPq. E-mail: sjgiacomini@mail.ufsm.br; andrepaulohubner@yahoo.com.br

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, MSc, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI. Rod. Admar Gonzaga 1347, Itacorubi, CEP 88034-901 Florianópolis (SC). E-mail: ivan-chiapinotto@epagri.rct-sc.br

^{(5)†} Professor Adjunto do Departamento de Solos, UFSM. *In memoriam*.

uma diminuição na quantidade de N mineral do solo em relação à ervilhaca solteira, tendo sido esse efeito proporcional à participação de aveia no consórcio. Verificou-se também que o potencial de perdas de N por lixiviação foi maior após a ervilhaca solteira do que após a aveia e o nabo solteiros e os consórcios de aveia e ervilhaca.

Termos de indexação: mineralização, imobilização, lixiviação de N, adubação verde, resíduos culturais

SUMMARY: COVER CROP MIXTURES PRECEDING NO-TILL CORN. I - SOIL NITROGEN DYNAMICS

*The dynamics of nitrogen in soils under no-tillage in Southern Brazil are poorly studied so far. A field experiment on a typic Hapludalf on the experimental area of the Soil Science Department, Federal University of Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul State, Brazil, was carried out in 1998/99 and 1999/00 to evaluate the effect of single crop and mixtures of black oat (BO) (*Avena strigosa* Schieb), common vetch (CV) (*Vicia sativa* L.) and oilseed radish (OR) (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.) on the soil nitrogen (N) dynamics. The experiment was set in a complete randomized block design with four replications. The treatments were: 100 % BO (80 kg ha⁻¹ of seeds), 100 % CV (80 kg ha⁻¹), 100 % OR (14 kg ha⁻¹), 15 % BO + 85 % CV, 45 % BO + 55 % CV, and 30 % BO + 70 % OR. Additionally, two plots under winter fallow were also used for comparison. Other two control treatments were corn cultivated without N fertilizer in one plot and fertilized with 180 kg ha⁻¹ of N-urea in another one. Mineral soil N was measured nine times, beginning ten days after cover crops were killed. Samples were taken from the 0-5, 5-15, 15-30, 30-60, and 60-90 cm soil layers. The sum of mineral N in the five soil depths was greater for single common vetch than for fallow and single BO treatment. At the end of the first month, common vetch had already approximately 30 kg ha⁻¹ more N than the other treatments. The soil under oilseed radish had lower mineral N contents than single common vetch and similar values to those of the mixture between oat and common vetch. The results of this study indicated that the oat-vetch mixture reduced the amount of mineral soil N in relation to single vetch and this effect was proportional to the amount of oat in the crop mixture. It was also verified that the potential N loss by leaching was greater after single vetch than after oat and oilseed radish and greater than oat and vetch mixture.*

Index terms: N mineralization, immobilization, N leaching, green manure, crop residues.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de N no solo é controlada pelos processos microbianos de mineralização e imobilização, os quais dependem basicamente da relação C/N e da composição bioquímica dos resíduos culturais em decomposição (Heinzmann, 1985; Mary et al., 1996). Segundo Allison (1966), há um equilíbrio entre esses dois processos quando a relação C/N situa-se em torno de 25. Abaixo desse valor, a mineralização irá predominar sobre a imobilização, ocorrendo o inverso para valores de C/N superiores a 25.

As leguminosas caracterizam-se pela capacidade de fixar o N₂ atmosférico e pela estreita relação C/N, o que confere uma rápida mineralização do N presente em seus resíduos culturais (Heinzmann, 1985; Stute & Posner, 1995). Como a maior parte desse N é liberada durante a fase inicial da decomposição, onde a demanda em N pela cultura em sucessão é baixa, o N poderá acumular-se no solo, aumentando o

potencial de perdas via volatilização de amônia, denitrificação e, ou, lixiviação de nitrato (Huntington et al., 1985; Rannels & Wagger, 1996; Aita et al., 2001). As gramíneas, por outro lado, embora demonstrem grande habilidade em absorver nitrato (N-NO₃⁻) durante o inverno (Rannels & Wagger, 1997), apresentam uma palhada com elevada relação C/N, o que resulta, na maioria dos casos, em imobilização microbiana de N, diminuindo a quantidade de N disponível no solo (Rannels & Wagger, 1997; Amado, 1997; Vaughan et al., 2000).

Por meio do consórcio entre plantas de cobertura, é possível controlar a velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos culturais, já que a fitomassa obtida apresenta uma relação C/N intermediária àquela das culturas solteiras (Giacomini, 2001). Para maximizar o aproveitamento do N acumulado pelos consórcios entre plantas de cobertura de solo no outono/inverno, a liberação do N dos resíduos culturais deverá ocorrer em sincronia

com a demanda de N das culturas comerciais em sucessão (Stute & Posner, 1995). Se o N mineral estiver disponível precocemente, podem ocorrer perdas do nutriente por lixiviação de N-NO_3^- e, ou, desnitrificação (Rosecrance et al., 2000). Por outro lado, se a liberação do N for excessivamente tardia, poderá haver prejuízos na produtividade das culturas (Huntington et al., 1985). O desafio maior está, portanto, em estabelecer consórcios entre espécies de outono/inverno que permitam atender à demanda em N pelas culturas comerciais de forma equilibrada.

O cultivo consorciado de plantas de cobertura no outono/inverno e a proporção de cada espécie no consórcio influem na dinâmica do N no solo.

Com o objetivo de avaliar essa hipótese, realizou-se este trabalho, durante dois anos consecutivos, em que o milho foi instalado no sistema plantio direto, em sucessão à ervilhaca, nabo forrageiro e aveia preta, cultivados isoladamente ou consorciados em diferentes proporções.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado nos anos agrícolas de 1998/99 e 1999/00 na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (RS). O clima da região é subtropical úmido, tipo Cfa2, conforme classificação de Köppen. As médias anuais de temperatura, precipitação e umidade relativa são de 19,3 °C, 1.561 mm e 82 %, respectivamente.

O solo do local foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (Hapludalf), com textura superficial franco-arenosa no horizonte A e franco-argilosa no horizonte B. Anteriormente à instalação do experimento, a área foi cultivada, durante dois anos, com a sucessão aveia/soja em sistema plantio direto, tendo sido as culturas adubadas conforme recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo – CFSRS/SC (1995). No início do experimento, o solo da camada de 0–20 cm apresentou as seguintes características físico-químicas, determinadas conforme descrito em Tedesco et al. (1995): 150 g kg^{-1} de argila; $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}(1:1) = 5,5$; índice SMP = 6,2; 13,4 mg dm^{-3} de P e 57,5 mg dm^{-3} de K (extraídos por Mehlich-1); 0,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Al^{3+} , 2,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Ca^{2+} e 0,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Mg^{2+} (extraídos por KCl 1 mol L^{-1}); 2,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de H + Al e 16 g kg^{-1} de matéria orgânica.

O experimento faz parte de um projeto que visa melhorar a eficiência no uso de N pelo milho no sistema plantio direto, com o uso de plantas de cobertura, na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul. O delineamento experimental foi o de blocos inteiramente ao acaso com quatro repetições, em parcelas de 5 x 4 m. Avaliou-se o

efeito do cultivo solteiro e consorciado de três espécies de plantas de cobertura de solo no outono/inverno: ervilhaca comum (EC) (*Vicia sativa* L.), nabo forrageiro (NF) (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.) e aveia preta (AP) (*Avena strigosa* Schieb) sobre a dinâmica do N no solo durante o ciclo da cultura do milho, nos seguintes tratamentos: 100 % AP, 100 % EC, 100 % NF, 15 % AP + 85 % EC, 45 % AP + 55 % EC (apenas em 1999/00) e 30 % AP + 70 % NF (apenas 1998/99). Além desses, foram utilizados dois tratamentos em solo em pousio invernal (vegetação espontânea da área). Num tratamento sob pousio, foram aplicados 180 kg ha^{-1} de N-uréia na cultura do milho e, no outro, o milho foi plantado sem adubação nitrogenada.

Os valores de percentagem em cada tratamento representam as quantidades de sementes em kg ha^{-1} utilizadas na semeadura de cada espécie. Para as culturas solteiras, foram utilizados 80 kg ha^{-1} de sementes para a aveia preta e ervilhaca comum e 14 kg ha^{-1} para o nabo forrageiro.

A quantidade de N adicionada pela parte aérea das plantas de cobertura e pelas plantas invasoras no pousio invernal foi determinada a partir da avaliação da quantidade de matéria seca (MS) produzida e da concentração de N do tecido vegetal. A avaliação da matéria seca foi feita aos 130 e 133 dias da semeadura das espécies, em 1998 e 1999, respectivamente. Para tal, coletaram-se, aleatoriamente, duas subamostras de 0,49 m^2 em cada parcela, que foram reunidas em uma amostra composta. No momento da avaliação, a aveia encontrava-se no estágio de pleno florescimento, a ervilhaca no início do florescimento e o nabo forrageiro no final do florescimento. Nos tratamentos constituídos por consórcios, procedeu-se à separação das espécies a fim de determinar a contribuição de cada espécie na produção total de MS. O material coletado foi submetido à secagem a 65 °C em estufa com circulação de ar até peso constante, pesado, moído em um triturador de forragens, subamostrado e moído novamente em moinho Willey equipado com peneira de 40 mesh.

No material seco e moído, foram determinadas as concentrações de N total e C orgânico, conforme métodos descritos por Tedesco et al. (1995). A quantidade de N acumulado e a relação C/N da fitomassa de cada tratamento encontram-se no quadro 1.

O manejo das plantas de cobertura foi efetuado 141 e 146 dias após a semeadura, em 1998 e 1999, respectivamente, e constou da aplicação de herbicida (960 g ha^{-1} de i.a. de glifosate) e posterior passagem de rolo faca. Aos 10 dias do manejo das plantas de cobertura, em 1998/99, e aos 23 dias, em 1999/00, foi realizada a semeadura do milho (Braskalb XL 212 em 1998/99 e Cargil 901 em 1999/00) sobre os resíduos culturais com semeadora para plantio direto. O espaçamento entrelinhas foi de 0,90 m, perfazendo uma população final de aproximadamente 55.000 plantas ha^{-1} .

Na semeadura do milho, a adubação com P e K foi uniforme em todos os tratamentos. No tratamento em pousio com aplicação de 180 kg ha⁻¹ de N-uréia, foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de N logo após a semeadura do milho, na superfície do solo, próximo à linha de semeadura. O restante do N foi dividido em duas aplicações em cobertura (65 kg ha⁻¹ de N-uréia), efetuadas manualmente a lanço, em toda a área da parcela, aos 36 e 55 dias da semeadura. Todas as aplicações de N-uréia foram realizadas ao final do dia e, com exceção daquela realizada logo após a semeadura, quando o solo apresentava-se úmido, as demais foram seguidas por uma irrigação por aspersão, cuja lâmina d'água foi de aproximadamente 25 mm.

O teor de N mineral do solo foi avaliado nas camadas de 0-5; 5-15; 15-30; 30-60 e 60-90 cm, desde os 10 dias após o manejo das plantas de cobertura

até seis e nove dias após a colheita do milho, em 1998/99 e 1999/00, respectivamente. O tratamento com a aplicação de N mineral no milho (180 kg ha⁻¹ de N) foi avaliado apenas em 1999/00. O calendário de coletas de solo em 1998/99 e 1999/00 é apresentado no quadro 2. O solo foi coletado por meio de um trado calador com diâmetro de 2 cm em cinco pontos aleatórios de cada subparcela. As cinco subamostras de cada subparcela foram misturadas, constituindo uma amostra composta, que foi acondicionada em sacos plásticos e mantida em congelador a - 20 °C até à execução das análises. Por ocasião da análise, as amostras foram descongeladas à temperatura ambiente e homogeneizadas manualmente.

O N mineral foi extraído do solo úmido com KCl 1 mol L⁻¹, utilizando-se uma relação solo:solução extratora de 1:4. Após a extração, foram adicionados

Quadro 1. Nitrogênio adicionado e relação C/N da parte aérea das plantas de cobertura de solo nos dois anos agrícolas

Tratamento	N adicionado ⁽²⁾		Relação C/N	
	1998/99	1999/00	1998/99	1999/00
	————— kg ha ⁻¹ —————			
100% AP ⁽¹⁾	59,0	56,9	34,2	32,5
100% EC	112,8	91,1	12,8	13,7
100% NF	101,7	66,7	22,4	22,5
15% AP + 85% EC	98,9	88,8	25,2	16,2
45% AP + 55% EC	—	87,4	—	—
30% AP + 70% NF	104,9	66,8	22,3	—
Pousio ⁽³⁾	16,3	13,6	20,5	26,8

⁽¹⁾ AP = Aveia preta; EC = Ervilhaca comum; NF = Nabo forrageiro. ⁽²⁾ A adição de N pela ervilhaca quando consorciada à aveia em 85% foi de 34 kg ha⁻¹ em 1998/99 e de 74 kg ha⁻¹ em 1999/00. No tratamento com 55% de ervilhaca, em 1999/00, a adição de N pela leguminosa foi de 63 kg ha⁻¹. Quando consorciado à aveia, o nabo adicionou 84 kg ha⁻¹ de N em 1998/99 e 44 kg ha⁻¹ de N em 1999/00. ⁽³⁾ A adição de N e a relação C/N do pousio referem-se à vegetação espontânea da área.

Quadro 2. Calendário de coletas de solo em 1998/99 e 1999/00 e quantidades de água (chuva + irrigação) em cada intervalo de coleta de solo

1998/99			1999/00		
Coleta de solo	Intervalo entre coletas	Chuva + irrigação	Coleta de solo	Intervalo entre coletas	Chuva + irrigação
data	dia ⁽¹⁾	mm	data	dia	mm
20/10/98	0-10	4,3	21/10/99	0-10	132,3
30/10/98	11-20	83,5	08/11/99	11-28	80,9
10/11/98	21-31	14,1	22/11/99	29-42	41,6
21/11/98	32-42	46,9	06/12/99	43-56	47,9
10/12/98	43-61	68,6	20/12/99	57-70	85,3
14/01/99	62-96	209,3	03/01/00	71-84	84,4
24/03/99	97-165	327,3	14/01/00	85-95	123,9
—	—	—	14/02/00	96-125	252,3
—	—	—	08/04/00	126-179	304,8

⁽¹⁾ Cada intervalo de tempo refere-se ao número de dias decorridos após o manejo das espécies.

0,2 g de MgO e 0,2 g de liga de Devarda em uma alíquota de 20 mL do sobrenadante, procedendo-se à destilação em destilador de arraste de vapor semimicro Kjeldahl para a determinação conjunta de $N-NH_4^+$ + $N-NO_2^-$ + $N-NO_3^-$ (Tedesco et al., 1995). As três formas de N mineral foram analisadas conjuntamente, uma vez que, desde as primeiras amostragens, a maior parte do N mineral estava presente como $N-NO_3^-$. Na segunda amostragem, realizada em 1998/99, por exemplo, a quantidade de $N-NO_3^-$ presente na camada de 0-90 cm representava 83 % do N mineral total e, na camada de 60-90 cm, este valor era de 91 %. Todos os resultados relativos a N mineral referem-se a solo seco a 105 °C. As quantidades de N mineral em cada camada de solo foram expressas em $kg\ ha^{-1}$, considerando a concentração de N mineral e a densidade do solo, determinada no início do experimento, nas camadas de 0-5 ($1,53\ Mg\ m^{-3}$), 5-15 ($1,63\ Mg\ m^{-3}$), 15-30 ($1,66\ Mg\ m^{-3}$), 30-60 ($1,61\ Mg\ m^{-3}$) e 60-90 cm ($1,61\ Mg\ m^{-3}$).

Nos dois anos, foram realizadas irrigações por aspersão durante o ciclo da cultura do milho, sempre que necessário. No quadro 2, estão indicadas as quantidades d'água adicionadas pela chuva e pelas irrigações durante toda a fase experimental. O controle de ervas daninhas, nos dois anos, foi feito por meio da aplicação da mistura dos herbicidas ametryne ($2.000\ g\ ha^{-1}$ de i.a.) e nicosulfuron ($40\ g\ ha^{-1}$ de i.a.) dez dias após a emergência do milho.

Com vistas em estimar os processos líquidos de mineralização e imobilização de N durante a decomposição dos resíduos culturais, calculou-se a diferença entre as quantidades de N mineral no solo (soma das cinco camadas até 90 cm) dos tratamentos com plantas de cobertura e as do tratamento em pousio (ΔN mineral), na ausência de adubação nitrogenada.

A análise estatística dos resultados foi feita separadamente para cada ano por meio da análise da variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 %. Em cada coleta realizada, a comparação das quantidades de N mineral no solo entre os tratamentos foi feita para a camada de 0-90 cm, considerando a soma das quantidades de N mineral presente em cada camada analisada. Já a comparação das quantidades de N mineral no perfil do solo em cada coleta foi feita separadamente para cada camada de solo nos diferentes tratamentos.

Para avaliar o efeito do aumento na proporção de aveia nos consórcios com ervilhaca sobre os valores de ΔN mineral no solo, utilizou-se a análise de regressão simples. Para isso, considerou-se apenas o segundo ano, quando foram avaliadas quatro proporções de densidade de semeadura entre aveia e ervilhaca, bem como as amostragens realizadas nos primeiros 42 dias após o manejo das espécies, onde a quantidade de N absorvido pelo milho ainda era pequena, já que a cultura apresentava aproximadamente 12 dias de emergência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quantidade de N mineral no solo

A quantidade de N disponível na camada de 0-90 cm do solo na fase inicial do experimento foi maior no primeiro do que no segundo ano (Figura 1). Tomando como exemplo a amostragem realizada aos 10 dias, observa-se que, em 1998/99 (Figura 1a), a quantidade média de N mineral dos tratamentos com nabo solteiro, aveia solteira e pousio foi superior àquela de 1999/00 (Figura 1b) em aproximadamente $30\ kg\ ha^{-1}$ de N. Essa diferença pode ser atribuída ao fato de que, durante os dois anos que antecederam o início do experimento, a área foi cultivada com soja, enquanto, em 1999/00, a cultura antecedente foi o milho. Conforme resultados de Wiethölter (1996),

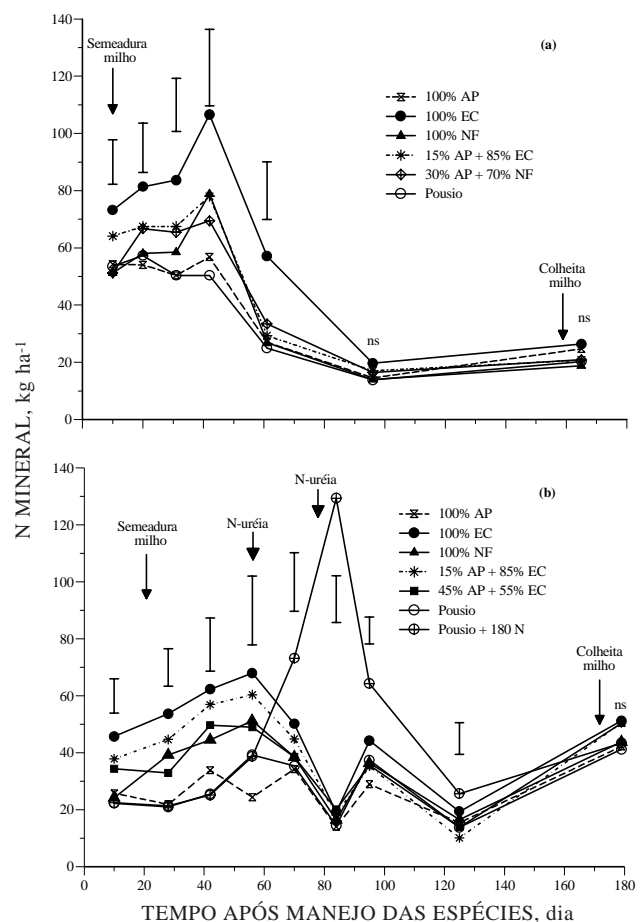


Figura 1. Evolução das quantidades de N mineral ($N-NH_4^+$ + $N-NO_2^-$ + $N-NO_3^-$) na camada de 0-90 cm do solo nos anos agrícolas de 1998/99 (a) e 1999/00 (b). AP = Aveia preta; EC = Ervilhaca comum; NF = Nabo forrageiro. As barras verticais correspondem à diferença mínima significativa (Tukey a 5 %). ns = não-significativo. Em 1999/00, estão indicadas as duas épocas de aplicação de N-uréia ($75\ kg\ ha^{-1}$ de N) em cobertura no milho.

os resíduos culturais pós colheita da soja podem deixar no solo de 17 a 59 kg ha⁻¹ de N.

Comparando os tratamentos com plantas de cobertura em cada ano, observa-se que a quantidade de N mineral diferiu entre eles durante os primeiros 60 dias após o manejo. No primeiro ano, a diferença na quantidade de N disponível em favor da ervilhaca solteira, em relação à média dos tratamentos com pousio e aveia, aumentou de aproximadamente 19,6 kg ha⁻¹ de N na amostragem dos 10 dias após o manejo para 49,8 kg ha⁻¹ de N aos 42 dias (Figura 1a). No segundo ano, a diferença entre esses tratamentos manteve-se relativamente constante no mesmo período, situando-se em torno de 26,7 kg ha⁻¹ de N em favor da ervilhaca (Figura 1b). Tais resultados coincidem com os de Vaughan & Evanylo (1999) que avaliaram a dinâmica de N no solo após a ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth) e o centeio (*Secale cereale* L.), em culturas solteiras e consorciadas, e encontraram maior quantidade de N disponível após a ervilhaca, no período de 14 a 45 dias após o manejo dessas espécies. A maior disponibilidade de N no solo após ervilhaca do que após aveia, também relatado por Vaughan & Evanylo (1999), Vaughan et al. (2000) e Almeida (2000), pode ser atribuída à facilidade com que o N da leguminosa é mineralizado, em virtude da baixa relação C/N de seus resíduos culturais (Quadro 1).

Embora a quantidade de N mineral no solo do tratamento com ervilhaca solteira não tenha diferido significativamente do tratamento 15 % AP + 85 % EC, nos dois anos, tampouco do tratamento 45 % AP + 55 % EC, no segundo ano, nota-se uma tendência de diminuição na disponibilidade de N no solo com o aumento na proporção da aveia nos consórcios com ervilhaca. Tal resultado é ilustrado na figura 2, onde é apresentada a relação entre a variação nas proporções entre aveia e ervilhaca e os valores de ΔN mineral. Utilizando equações ajustadas, verifica-se, para cada ponto percentual de aumento na proporção de aveia, uma diminuição nos valores de ΔN mineral de 0,18; 0,28 e 0,31 kg ha⁻¹ de N, aos 10, 28 e 42 dias do manejo das espécies, respectivamente.

O tratamento que continha 45 % de aveia provocou uma redução média em torno de 16 kg ha⁻¹ de N na quantidade de N mineral na camada de 0-90 cm do solo nos primeiros dois meses, em relação à leguminosa solteira (Figura 1b), apesar de terem os dois tratamentos adicionado ao solo quantidades próximas de N pela fitomassa, ou seja, 87,4 kg ha⁻¹ de N no tratamento com 45 % AP + 55 % EC e 91,1 kg ha⁻¹ de N no tratamento com ervilhaca solteira. Tal resultado evidencia que a disponibilidade de N mineral no solo durante a decomposição dos resíduos culturais dos consórcios entre aveia e ervilhaca é condicionada pela proporção da leguminosa no consórcio, que, por sua vez, determina o balanço entre os processos de mineralização e imobilização de N.

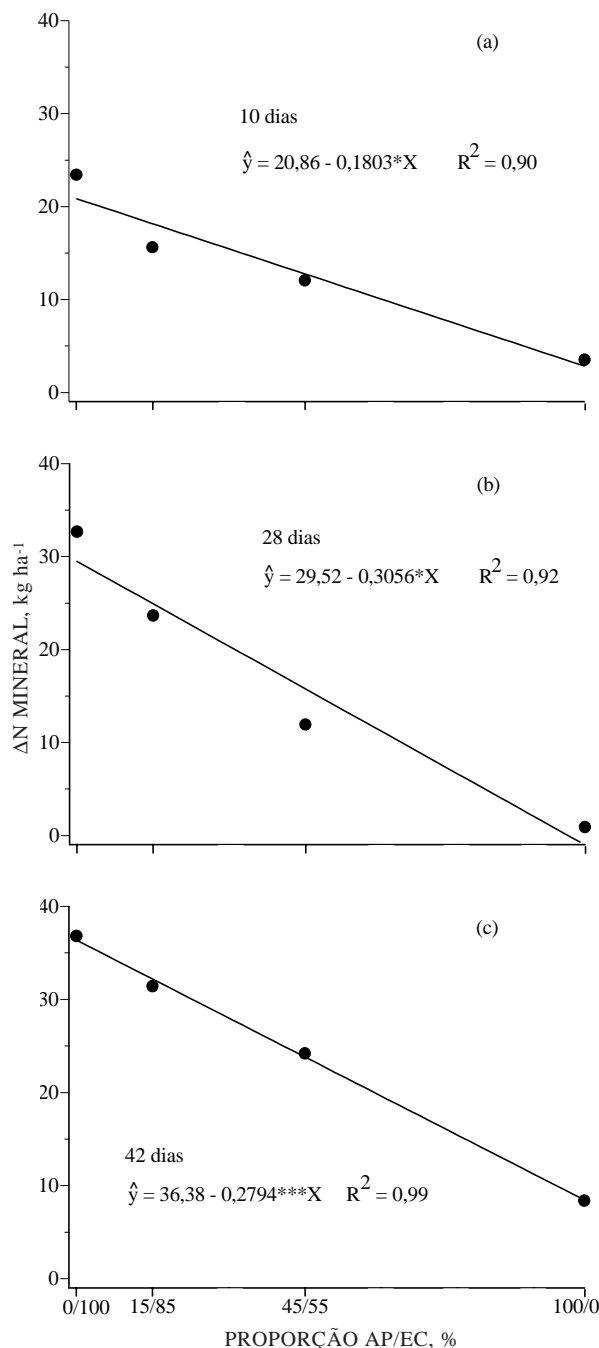


Figura 2. Relação entre a proporção de aveia preta (AP) e ervilhaca comum (EC) e a diferença nas quantidades de N mineral dos tratamentos com consórcio de aveia + ervilhaca e o pousio (ΔN mineral) no solo da camada de 0-90 cm em três datas no ano agrícola 1999/00.

Nas amostragens de solo realizadas no primeiro ano, verificou-se que nenhum dos tratamentos com plantas de cobertura apresentou quantidade de N mineral significativamente inferior ao pousio invernical, indicando que, nesses tratamentos, o solo permaneceu em regime de mineralização líquida. Considerando a relação C/N de 34,2 dos resíduos

culturais da aveia (Quadro 1), esperava-se a ocorrência de uma fase inicial de imobilização líquida de N correspondente à decomposição da fração solúvel em água, que é rica em carboidratos facilmente decomponíveis pela população microbiana do solo (Reinertsen et al., 1984).

Trabalhando no mesmo tipo de solo do presente estudo, em sistema plantio direto (SPD), Basso (1999) e Almeida (2000) também não encontraram efeito significativo da palhada de aveia na imobilização de N do solo. Almeida (2000) atribuiu esse resultado ao pequeno contato entre o C da palha da aveia e a população microbiana, já que em SPD os resíduos culturais permanecem na superfície do solo. Por sua vez, Amado (1997) verificou que a adição de palha de aveia, tanto na superfície do solo como incorporada, provocou uma redução de 60 % no teor de nitrato no solo, em relação ao pousio, atribuindo o resultado à imobilização microbiana. Convém destacar que a relação C/N da palha utilizada no trabalho de Amado (1997) era de 46,8.

O efeito do manejo da palha da aveia e da sua relação C/N sobre a dinâmica do N deve ser mais bem investigado, sobretudo em condições de campo, a fim de estabelecer o potencial real de imobilização de N do solo por parte da população microbiana decompositora dos resíduos culturais da gramínea.

Em condições de laboratório, Kuo & Sainju (1998), avaliando a mineralização do N dos resíduos culturais do consórcio de ervilhaca peluda e centeio, em diferentes proporções, constataram a imobilização líquida de N quando a proporção da leguminosa foi inferior a 60 % da matéria seca total do consórcio. No presente trabalho, a ervilhaca participou com apenas 19 % da MS do consórcio 15 % AP + 85 % EC em 1998/99 e, apesar da baixa proporção de MS da leguminosa, em relação à gramínea, não foi detectada imobilização líquida de N (Figuras 1a e 3a). A discrepância entre esses resultados e aqueles de Kuo & Sainju (1998) pode ser explicada pelo fato de esses autores terem trabalhado em condições controladas e ótimas de temperatura e umidade e com tecido vegetal finamente moído e uniformemente misturado ao solo. Tais condições aceleram a taxa de decomposição dos resíduos culturais e, conseqüentemente, a demanda de N pela biomassa microbiana, favorecendo a imobilização de N.

A variação nos valores de ΔN mineral nos diferentes tratamentos pode ser utilizada como um indicativo da ocorrência dos processos líquidos de mineralização e imobilização de N durante a decomposição dos resíduos culturais. Para valores positivos de ΔN mineral, considera-se que houve predominância da mineralização sobre a imobilização (mineralização líquida de N) e, para valores negativos, o inverso é verdadeiro (imobilização líquida de N).

Na figura 3a, observa-se que, nos tratamentos com ervilhaca, os valores de ΔN mineral foram sempre positivos, indicando a ocorrência de mineralização líquida. Na amostragem realizada ao final do primeiro mês após o manejo das espécies, a quantidade de N no solo do tratamento com ervilhaca solteira foi superior ao do pousio em 33,3 kg ha⁻¹ de N, em 1998/99, e 32,7 kg ha⁻¹ de N, em 1999/00. Considerando esses valores e as quantidades de N adicionadas pela leguminosa (Quadro 1), é possível estimar uma mineralização líquida de N nesse período de aproximadamente 0,30 kg de N para cada kg de N-ervilhaca adicionado em 1998 e de 0,36 kg de N para cada kg de N-ervilhaca adicionado em 1999. Esses valores de mineralização líquida são próximos daquele relatado por Marstorp & Kirchmann (1991) para as leguminosas *Trifolium repens* L. e *Medicago lupina* L. de 0,36 kg de N para cada kg de N adicionado.

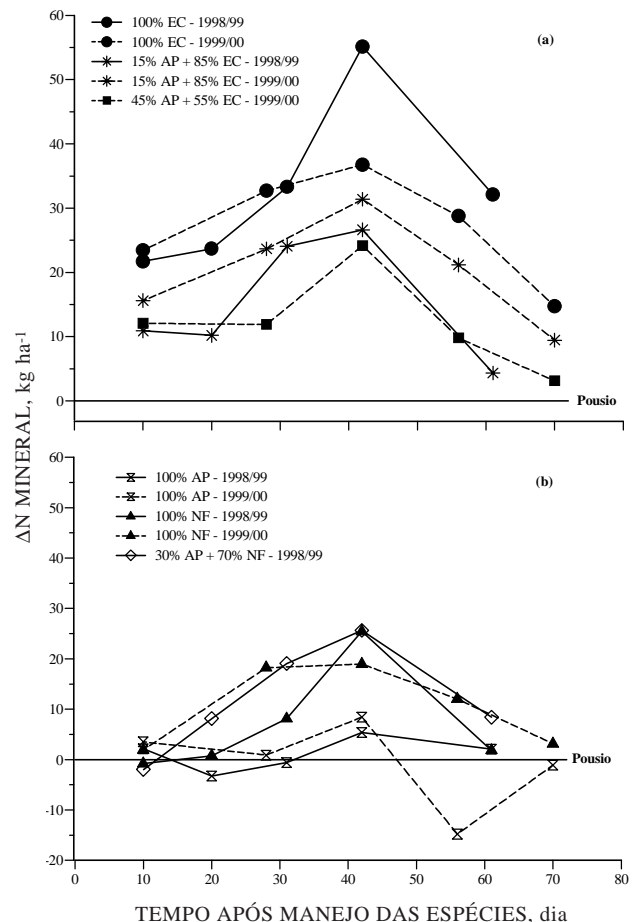


Figura 3. Diferença (ΔN mineral) entre as quantidades de N mineral na camada de 0-90 cm do solo dos tratamentos com ervilhaca e aveia (a) e nabo e aveia (b), em relação ao pousio, nas amostragens realizadas nos primeiros 70 dias após o manejo das espécies em 1998/99 e 1999/00. AP = Aveia preta; EC = Ervilhaca comum; NF = Nabo forrageiro.

A estimativa da mineralização e da imobilização de N a partir da diferença entre as quantidades de N mineral dos tratamentos com e sem plantas de cobertura (pousio) é feita, considerando que os resíduos culturais das plantas de cobertura não influem na taxa de mineralização do N da matéria orgânica do solo ("priming effect"). Embora isso tenha sido constatado por Dalenberg & Jager (1989), também existem resultados de pesquisa segundo os quais a adição de uma fonte de C facilmente decomponível estimula a população microbiana que pode acelerar a mineralização da matéria orgânica do solo (Kuzyakov et al., 2000). Portanto, é importante enfatizar que os valores de mineralização líquida encontrados neste trabalho podem estar superestimados, caso a ervilhaca tenha proporcionado a ocorrência de "priming effect".

A menor diferença na quantidade de N mineral do solo entre os tratamentos com ervilhaca solteira e o pousio, no segundo ano, é atribuída, provavelmente, ao fato de ter sido a adição de N pela leguminosa 19 % inferior àquela de 1998/99 (Quadro 1). Além disso o regime de chuvas nos primeiros 42 dias diferiu nos dois anos (Quadro 2). Em 1999/00, as precipitações pluviométricas ocorridas nesse período superaram aquelas de 1998/99 em 106 mm, o que pode ter favorecido a perda de $N-NO_3^-$ por lixiviação.

Um aspecto interessante a ressaltar é que a maior disponibilidade de N nos tratamentos com plantas de cobertura, em relação ao pousio, ocorreu 42 dias após o manejo das plantas (Figura 3), coincidindo com o estágio de quatro a seis folhas no milho, em que, segundo Magdoff (1991), uma adequada disponibilidade de N no solo é fundamental para atingir elevados níveis de produtividade de grãos. Todavia, como em 1999/00 a semeadura do milho foi realizada somente 23 dias após o manejo das espécies, podem ter ocorrido perdas de N, principalmente por lixiviação de $N-NO_3^-$. Isso porque a demanda de N pela cultura, nesse período de máximo acúmulo do N no solo, ainda era pequena. Segundo Heinzmann (1985) e Aita et al. (2001), para maximizar o aproveitamento do N proveniente das plantas de cobertura, a semeadura do milho deve ser efetuada o mais próximo possível do manejo das plantas.

A partir de 42 dias, em 1998/99, e de 56 dias, em 1999/00, há uma redução nas quantidades de N mineral no solo e nas diferenças entre os tratamentos com plantas de cobertura e o pousio (Figura 1). Essa redução na disponibilidade de N nos tratamentos com plantas de cobertura deveu-se ao aumento da demanda de N pela cultura do milho e à diminuição da taxa de liberação de N pelos resíduos culturais das plantas de cobertura. Aita et al. (2001) e Giacomini (2001) verificaram que aproximadamente 60 % do N contido no tecido vegetal das leguminosas é liberado no primeiro mês após o manejo dessas espécies. Trabalhando com a cultura do milho, Vaughan et al. (2000) também encontraram

diferenças na disponibilidade de N no solo entre os tratamentos com plantas de cobertura somente até os primeiros 42 dias após o manejo dessas plantas.

A avaliação das quantidades de N mineral no tratamento em pousio com a aplicação de 180 kg ha^{-1} de N-uréia, feita apenas no segundo ano (Figura 1b), indica que, até a primeira adubação de cobertura, as quantidades de N mineral no solo não diferiram entre os dois tratamentos em pousio, com e sem aplicação de N. Isto se deve ao fato de ter sido a adubação nitrogenada na semeadura do milho (30 kg ha^{-1} de N) efetuada nas linhas de semeadura, enquanto as coletas de solo foram realizadas nas entrelinhas do milho. A partir da amostragem realizada após a primeira adubação nitrogenada em cobertura e até a amostragem realizada aos 95 dias, que coincidiu com o florescimento pleno do milho, a quantidade de N mineral no solo do tratamento com aplicação de N-uréia superou todos os demais tratamentos. A máxima diferença entre a quantidade de N mineral do tratamento com uréia e do pousio sem N ocorreu na amostragem realizada aos 84 dias, atingindo 115 kg ha^{-1} de N, o que corresponde a 77 % do N aplicado com as duas adubações de cobertura.

Distribuição do N mineral no perfil do solo

O estudo da dinâmica do N no solo com o uso de plantas de cobertura deve envolver não apenas o monitoramento da evolução das quantidades de N mineral, mas também a sua distribuição no perfil do solo. Observou-se que, nos dois anos avaliados e, em praticamente todas as amostragens e camadas analisadas, a quantidade de N mineral do tratamento com ervilhaca solteira foi superior à do pousio e da aveia solteira, não diferindo significativamente do tratamento com consórcio de aveia e ervilhaca (Figuras 4 e 5). De maneira geral, a distribuição do N mineral no perfil do solo dos tratamentos com nabo e naqueles com consórcio de aveia e ervilhaca situou-se num nível intermediário ao observado na aveia e ervilhaca solteiras.

Em praticamente todas as amostragens realizadas, nota-se uma tendência de a ervilhaca solteira apresentar maiores valores de N mineral do que os demais tratamentos na camada mais profunda (60–90 cm). A diferença na quantidade de N mineral nessa camada no tratamento com ervilhaca em relação à aveia é de aproximadamente 7 kg ha^{-1} aos 61 dias em 1998/99 (Figura 4e) e de 10 kg ha^{-1} aos 70 dias, em 1999/00 (Figura 5e). Tais resultados indicam que, após a ervilhaca solteira, o potencial de perdas de N por lixiviação é maior do que após aveia e nabo solteiros e após os consórcios de aveia e ervilhaca.

Aos 70 e 95 dias do manejo das plantas de cobertura, observa-se que, no tratamento com aplicação de $180 \text{ kg de N-uréia ha}^{-1}$, a quantidade de N mineral foi superior à dos demais tratamentos

até a camada de 30-60 cm (Figuras 5e e 5f). Todavia, na camada mais profunda (60-90 cm), a quantidade de N nunca diferiu da dos demais tratamentos. Tais resultados indicam que a aplicação do N-uréia de forma parcelada, conforme a curva de acúmulo de N no milho, contribuiu para manter níveis mais elevados de N mineral na camada de 0-60 cm, diminuindo o potencial de perdas de N por lixiviação de $N-NO_3^-$.

Segundo os resultados deste estudo, conforme a elevada taxa de decomposição dos resíduos culturais da ervilhaca, o N liberado acumula-se rapidamente no solo. Acredita-se que, para aumentar a eficiência no aproveitamento desse N, a semeadura do milho deva ser feita o mais próximo possível do manejo da leguminosa, tanto em cultura pura como consorciada à aveia. Um questionamento decorrente desses

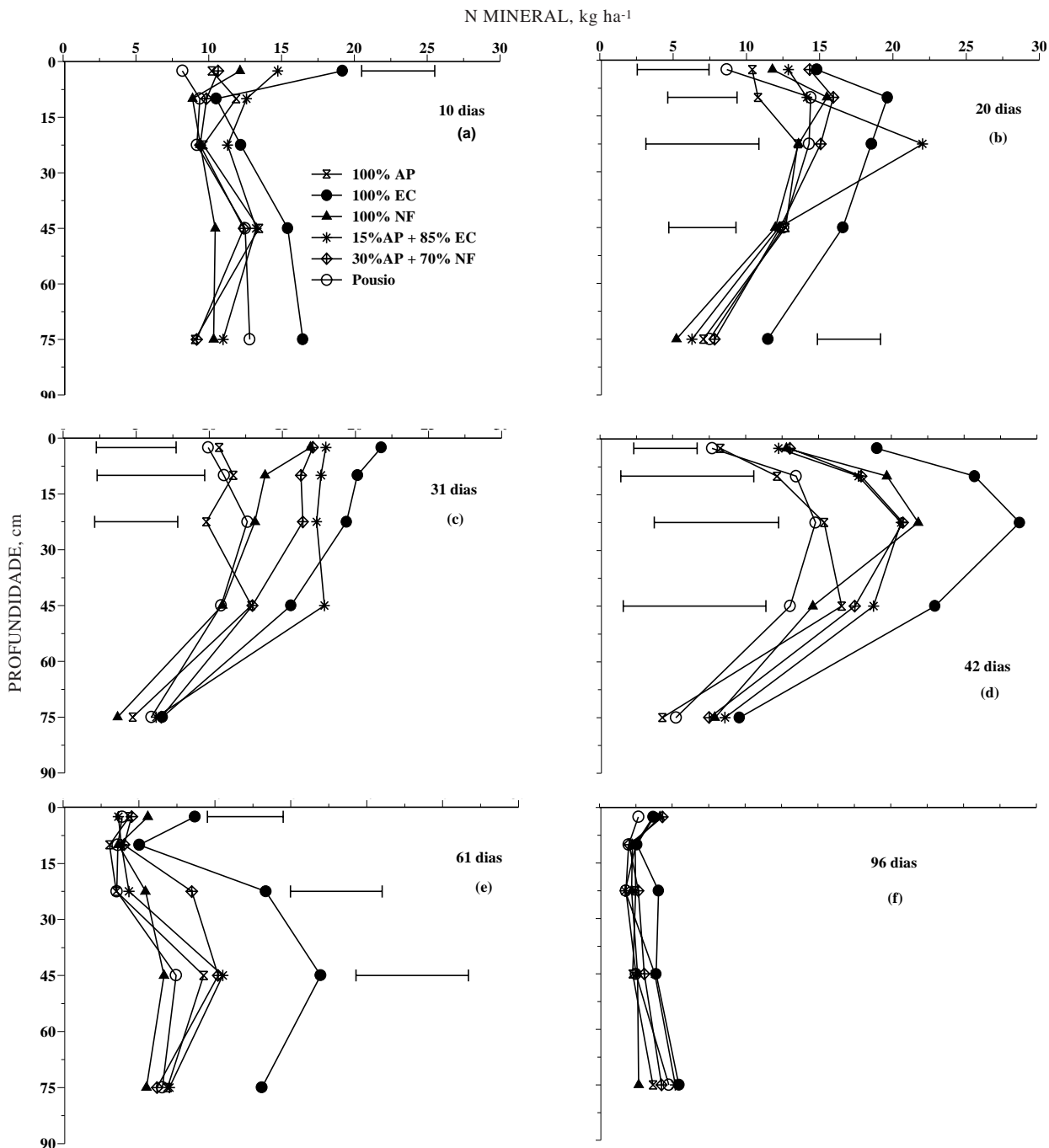


Figura 4. Quantidades de N mineral ($N-NH_4^+ + N-NO_2^- + N-NO_3^-$) em diferentes camadas de solo nos primeiros 96 dias após o manejo das plantas de cobertura, em 1998/99. Nas camadas em que as quantidades de N diferiram significativamente entre os tratamentos (Tukey a 5 %), as diferenças estão representadas por barras horizontais. AP = Aveia preta; EC = Ervilhaca comum; NF = Nabo forrageiro.

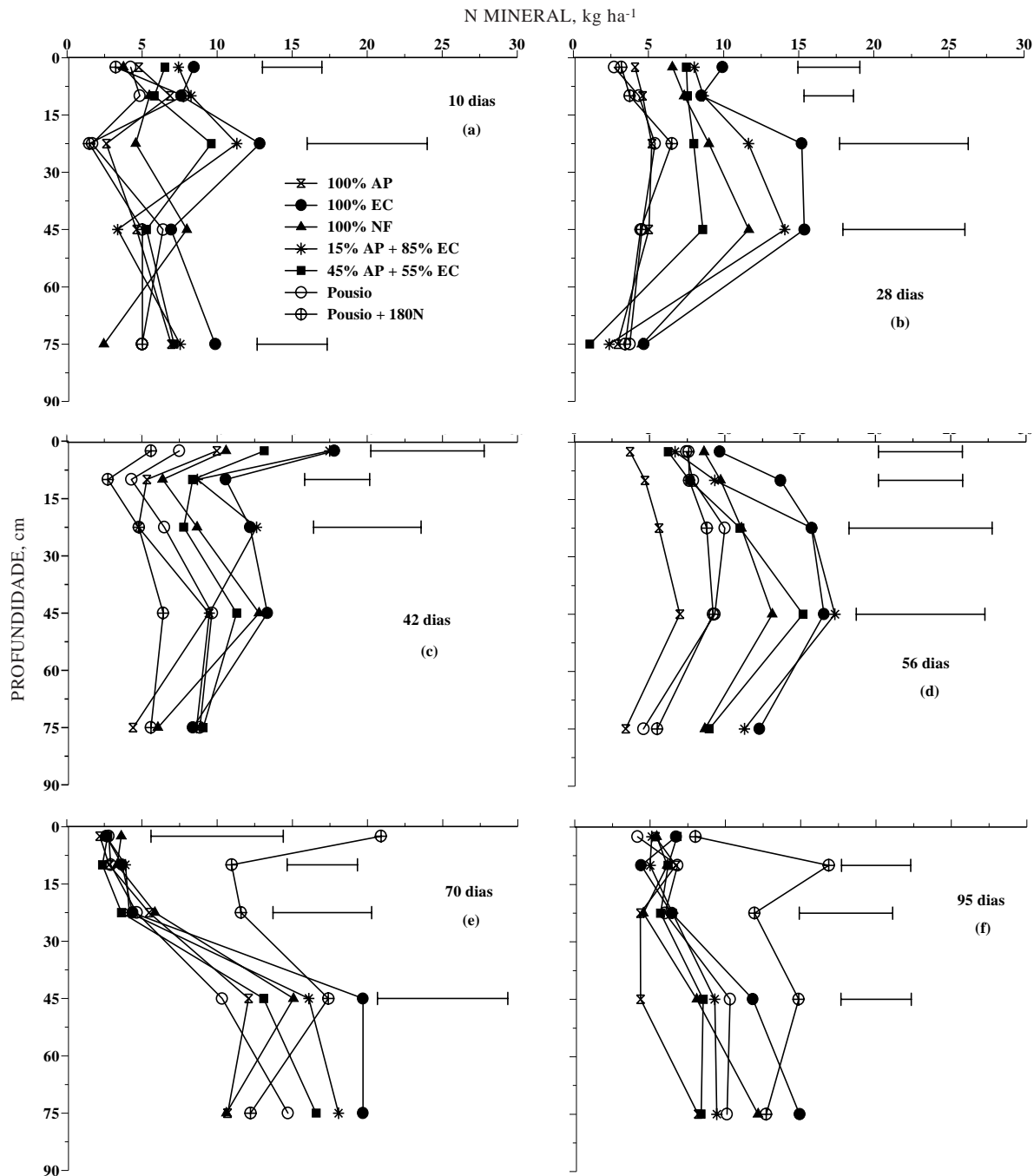


Figura 5. Quantidades de N mineral ($N-NH_4^+ + N-NO_2^- + N-NO_3^-$) em diferentes camadas de solo nos primeiros 95 dias após o manejo das plantas de cobertura, em 1999/00. Nas camadas em que as quantidades de N diferiram significativamente entre os tratamentos (Tukey a 5%), as diferenças estão representadas por barras horizontais. AP = Aveia preta; EC = Ervilhaca comum; NF = Nabo forrageiro.

resultados envolve o manejo da adubação nitrogenada do milho em sistema plantio direto: será que há necessidade de aplicar de 10 a 15 kg ha⁻¹ de N por ocasião da semeadura do milho em sucessão a leguminosas no outono/inverno, conforme recomendação atual da Comissão de Fertilidade do Solo para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina (1995)?

CONCLUSÕES

1. A consorciação de aveia e ervilhaca provocou uma diminuição na quantidade de N mineral do solo em relação à ervilhaca solteira, sendo esse efeito inversamente proporcional à quantidade de aveia no consórcio.

2. O potencial de perdas de N por lixiviação foi maior após a ervilhaca solteira do que após a aveia e o nabo solteiros e os consórcios de aveia e ervilhaca.

LITERATURA CITADA

- AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N. & DA ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. R. Bras. Ci. Solo, 25:157-1165, 2001.
- ALLISON, F.E. The fate of nitrogen applied to soils. Adv. Agron., 18:219-258, 1966.
- ALMEIDA, A.C.R. Uso associado de esterco líquido de suínos e plantas de cobertura de solo na cultura do milho. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 144p. (Tese de Mestrado)
- AMADO, T.J.C. Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo de solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 201p. (Tese de Doutorado)
- BASSO, C.J. Épocas de aplicação de nitrogênio para o milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de solo, no sistema plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1999. 91p. (Tese de Mestrado)
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFSRS/SC. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul/Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1995. 223p.
- DALENBERG, J.W. & JAGER, G. Priming effect of some organic additions to ¹⁴C labeled soil. Soil Biol. Biochem., 21:443-448, 1989.
- GIACOMINI, S.J. Consorciação de plantas de cobertura no outono/inverno e fornecimento de nitrogênio ao milho em sistema plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2001. 124p. (Tese de Mestrado)
- HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de inverno. Pesq. Agropec. Bras., 20:1021-1030, 1985.
- HUNTINGTON, T.G.; GROVE, J.H. & FRYE, W.W. Release and recovery of nitrogen from winter annual cover crops in no-till corn production. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 16:193-211, 1985.
- KUO, S. & SAINJU, U.M. Nitrogen mineralization and availability of mixed leguminous and non-leguminous cover crop residues in soil. Biol. Fertil. Soil, 26:346-353, 1998.
- KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J.K. & STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. Soil Biol. Biochem., 32:1485-1498, 2000.
- MAGDOFF, F. Understanding the Magdoff pre-sidedress nitrate test for corn. J. Prod. Agric., 4:297-305, 1991.
- MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D. & ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. Plant Soil, 181:71-82, 1996.
- MARSTORP, H. & KIRCHMANN, H. Carbon and nitrogen mineralization and crop uptake of nitrogen from six green manure legumes decomposing in soil. Acta Agric. Scand., 41:243-252, 1991.
- RANELLS, N.N. & WAGGER, M.G. Nitrogen release by grass and legume cover crop monocultures and bicultures. Agron. J., 88:777-782, 1996.
- RANELLS, N.N. & WAGGER, M.G. Nitrogen-15 recovery and release by rye and crimson clover cover crops. Agron. J., 61:943-948, 1997.
- REINERTSEN, S.A.; ELLIOT, L.F.; COCHRAN, V.L. & CAMPBELL, G.S. The role of available C and N in determining the rate of wheat straw decomposition. Soil Biol. Biochem., 16:459-464, 1984.
- ROSECRANCE, R.C.; McCARTY, G.W.; SHELTON, D.R. & TEASDALE, J.R. Denitrification and N mineralization from hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) and rye (*Secale cereale* L.) cover crop monocultures and bicultures. Plant Soil, 227:283-290, 2000.
- STUTE, J.K. & POSNER, J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the upper Midwest. Agron. J., 87:1063-1069, 1995.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- VAUGHAN, J.D. & EVANYLO, G.K. Soil nitrogen dynamics in winter cover crop-corn systems. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 30:31-52, 1999.
- VAUGHAN, J.D.; HOYT, G.D. & WOLLUM, A.G. Cover crop nitrogen availability to conventional and no-till corn: Soil mineral nitrogen, corn nitrogen status, and corn yield. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 31:1017-1041, 2000.
- WIETHÖLTER, S. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. Passo Fundo, Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1996. 44p.