

ADUBAÇÃO NITROGENADA NA AVEIA PRETA. II - INFLUÊNCIA NA DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO E RENDIMENTO DE MILHO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO⁽¹⁾

T. J. C. AMADO⁽²⁾, A. SANTI⁽³⁾ & J. A. A. ACOSTA⁽⁴⁾

RESUMO

Na região Sul do Brasil, é comum, no sistema plantio direto, o cultivo da aveia preta como cultura de cobertura antecedendo ao milho. No entanto, em situações de ausência ou de limitada adubação nitrogenada, esta sucessão pode restringir o rendimento de milho, decorrente do processo de imobilização do N. A adubação nitrogenada na cultura de cobertura, visando minimizar este efeito, ainda é uma prática pouco investigada. Este trabalho objetivou avaliar a influência de doses de N aplicadas na cultura da aveia sobre a decomposição e liberação de N dos resíduos e sobre o rendimento de milho cultivado em sucessão. O experimento foi realizado em 1998 e 1999, na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (RS), em um Argissolo Vermelho distrófico arênico (Hapludalf). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e 10 tratamentos, sendo sete com aveia preta (doses de N: 0, 40, 80, 120, 160, 200 e 240 kg ha⁻¹), um com ervilhaca e dois com pousio. Em todos eles, foi cultivado o milho em sucessão, sem adubação nitrogenada, exceto em um dos pousios, no qual o milho recebeu, parceladamente, 160 kg ha⁻¹ de N. A adubação com P e K e a correção da acidez foram as mesmas para todos os tratamentos. A avaliação da decomposição dos resíduos de aveia e de ervilhaca e da liberação de N para o milho foi realizada com o uso de sacos de decomposição em todos os tratamentos, à exceção dos pousios. As amostragens foram realizadas aos 0, 10, 20, 30, 50, 70, 90 e 110 dias, em 1998, e aos 0, 15, 30, 45, 65, 85, 105 e 125 dias, em 1999. Não houve diferença estatística na velocidade de decomposição dos resíduos de aveia adubada com doses de N, mesmo quando a relação C/N da fitomassa foi reduzida de 50 para 26. O N liberado pelos resíduos de aveia foi diretamente proporcional à dose de N utilizada. Embora tenha sido verificado efeito positivo da adubação nitrogenada aplicada na aveia sobre a

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do segundo autor, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Recebido para publicação em fevereiro de 2002 e aprovado em agosto de 2003.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97119-900 Santa Maria (RS). Bolsista do CNPq. E-mail: tamado@smail.ufsm.br

⁽³⁾ Pesquisador da FEPAGRO, Engenheiro-Agrônomo, MSc. em Biodinâmica do Solo. Rua Emílio Grando 239, CEP 99700-000 Erechim (RS). E-mail: anderson-santi@fepagro.rs.gov.br

⁽⁴⁾ Graduando do Curso de Agronomia, UFSM. Bolsista da FAPERGS. E-mail: jacosta@mail.ufsm.br

nutrição e sobre o rendimento do milho cultivado em sucessão, nenhuma das doses avaliadas foi suficiente para alcançar o rendimento obtido no tratamento com pousio e N aplicado em cobertura no milho. Assim, mesmo que a adubação nitrogenada na aveia tenha contribuído para o incremento da disponibilidade de N à cultura em sucessão, o deslocamento total dessa adubação para a aveia não foi uma estratégia eficiente para atender plenamente à demanda do milho.

Termos de indexação: manejo do solo, culturas de cobertura, nitrogênio disponível, sacos de decomposição, *Avena strigosa*.

SUMMARY: *EFFECT OF NITROGEN APPLICATION RATES ON BLACK OAT RESIDUE DECOMPOSITION, NITROGEN RELEASE AND CORN YIELD IN SOIL UNDER NO-TILLAGE*

*In Southern Brazil, black oat (*Avena strigosa*, Schieb), is a common cover crop, preceding maize in no-tillage systems. However, where N supply is restricted or absent, this sequence can affect the corn yield due to the N immobilization process. The practice of fertilizing cover crops with N to control this effect is not well investigated yet. Main goal of this study was to evaluate the effect of N application on black oat regarding residue decomposition and residue N release, as well as corn yield. The experiment was carried out in 1998/99 and 1999/00 at the Federal University of Santa Maria in the experimental area of the Soil Science Department, Santa Maria county, state of Rio Grande do Sul, Brazil, on a typic Hapludalf with sandy loam A horizon. The experimental design was of completely randomized blocks with ten treatments and four replicates. Seven of the treatments were oat, which received N applications of 0, 40, 80, 120, 160, 200, and 240 kg ha⁻¹, one with common vetch, and two fallow. All cover crops were followed by maize cultivated without N fertilization, except for one of the fallow treatments, after which maize received 160 kg ha⁻¹ N in split application. Lime, P, and K were applied at constant rates in all treatments. Residue decomposition of oat and vetch, and N release were determined using mesh bags for all treatments, except for fallow. In 1998, samples were collected after 0, 10, 20, 30, 50, 70, 90, and 110 days and after 0, 15, 30, 45, 65, 85, 105, and 125 days in 1999. Results indicated no significant difference in the residue decomposition rate in relation to any N rate, even when the C/N ratio of the oat residue was reduced from 50 (0 N) to 26 (240 N). Nitrogen released by the oat residues was directly proportional to the applied N dose. Although a positive effect of N fertilization of black oat was verified for the subsequent corn crop in nutrition and yield, none of the evaluated doses brought forth a comparable yield to the one obtained with fallow and subsequent maize with top dressing N. Consequently, the decision to apply all N on black oat would not be an efficient strategy to supply the corn with N, despite the positive effect of oat N fertilization on N availability in the subsequent crop.*

*Index terms: conservation tillage, cover crop, available nitrogen, mesh bags, *Avena strigosa*.*

INTRODUÇÃO

Na região Sul do Brasil, a adoção do sistema plantio direto com o uso da aveia preta, cultura de cobertura hiberna, antecedendo o cultivo de soja e milho no verão, tem-se mostrado como eficiente estratégia de manejo do solo. Dentre as principais vantagens desse sistema, destacam-se o controle da erosão e a ciclagem de nutrientes (Debarba & Amado, 1997; Amado et al., 2001).

A elevada quantidade de resíduos mantidos na superfície, aliada à mínima mobilização do solo

requerida por este sistema conservacionista, altera a dinâmica do N, com reflexos na sua disponibilidade para os cultivos em sucessão, especialmente os de gramíneas, como o milho (Sidoras & Pavan, 1985; Amado et al., 2000).

O processo de decomposição dos resíduos da aveia é responsável pela liberação da maior parte dos nutrientes acumulados na sua fitomassa. Fatores bióticos e abióticos governam o processo de decomposição e, conseqüentemente, a liberação dos nutrientes. Dentre esses fatores, a relação C/N dos resíduos aportados ao solo assume importante papel

na decomposição e imobilização/mineralização de N (Quemada & Cabrera, 1995; Janssen 1996). A imobilização torna-se o processo predominante a partir de uma faixa de relação C/N variável de 15 a 36, dependendo do tipo de planta e do estágio de maturação (Parnas, 1975; Bloemhof & Berendse, 1995; Jensen, 1997; Kudeyarov, 1999). No entanto, de maneira geral, aceita-se que materiais com relação C/N em torno de 25 causam equilíbrio entre esses processos; os valores superiores causam imobilização líquida, enquanto os valores inferiores promovem mineralização líquida de N (Aita, 1997).

No sistema plantio direto, com vistas em controlar a erosão, preconiza-se a manutenção de elevada quantidade de resíduos que protegem a superfície do solo pelo maior período de tempo possível. Por outro lado, para que a cultura de cobertura seja eficiente no suprimento de N e outros nutrientes, há necessidade de que a decomposição dos resíduos ocorra em sincronismo com a demanda da cultura em sucessão. Combinar estes dois objetivos tem sido um desafio para agricultores e técnicos.

Geralmente, a aveia preta apresenta elevada relação C/N da fitomassa, com valores variando de 32 a 48 (Aita et al., 1994; Amado et al., 1999; Flecha, 2000; Giacomini et al., 2000). Essas relações C/N são encontradas em situações em que a aveia é cultivada em solos com baixa capacidade de suprimento de N e em situações de ausência ou limitada adubação com esse nutriente. Neste contexto, o processo de decomposição dos resíduos de aveia é limitado pela disponibilidade de N, havendo predominância da imobilização temporária desse nutriente do solo pela biomassa microbiana (Da Ros & Aita, 1996; Basso & Ceretta, 2000; Flecha, 2000). Como consequência, a nutrição e o rendimento do milho cultivado em sucessão podem ser comprometidos (Pötter & Roman, 1994; Amado et al., 1999).

Uma alternativa, para amenizar os efeitos negativos da imobilização de N, seria modificar a relação C/N da fitomassa das culturas de cobertura. Na literatura, a maioria dos trabalhos avalia a influência da relação C/N da fitomassa de diferentes espécies sobre a dinâmica do N (Tian et al., 1992; Janssen, 1996; Basso, 1999; Amado et al., 2000; Giacomini et al., 2000). Porém, escassos são aqueles que, para uma mesma espécie, avaliam o efeito de diferentes relações C/N no processo de decomposição e liberação de N. A adubação nitrogenada aplicada na aveia, prática ainda pouco utilizada pelos agricultores, pode alterar a relação C/N da fitomassa (Santi, 2001) e, conseqüentemente, o fluxo de N no sistema (Sá, 1996).

Recentemente, alguns estudos realizados no Sul do Brasil objetivaram avaliar mudanças no atual sistema de adubação nitrogenada na sucessão aveia/milho. Neste sentido, em alguns anos, foram encontradas respostas positivas com aplicações

antecipadas de N (pré-semeadura e semeadura do milho) (Yamada, 1996; Basso & Ceretta, 2000), ou aplicando, na aveia preta, parte da adubação nitrogenada destinada ao milho (Sá, 1996).

Partindo da hipótese de que o uso de N na cultura da aveia pode alterar a decomposição dos resíduos e a liberação desse nutriente, com reflexos positivos na nutrição e rendimento do milho, realizou-se este trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

Detalhes experimentais

A pesquisa foi desenvolvida, durante os anos agrícolas de 1998/99 e 1999/00, na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (RS), na região fisiográfica da Depressão Central do Estado, em um Argissolo Vermelho distrófico arênico (Hapludalf) (EMBRAPA, 1999), pertencente à unidade de mapeamento São Pedro.

Na instalação do experimento, em 1998, foi realizada a análise química do solo na profundidade de 0-15 cm, obtendo-se os seguintes resultados: MO = 19 g kg⁻¹; pH (H₂O) = 4,5; P (Mehlich-1) e K disponíveis, respectivamente, 5,2 mg dm⁻³ e 0,22 cmol_c dm⁻³. Ao final do ano de 1999, o solo da área experimental apresentava as seguintes características químicas: MO = 22 g kg⁻¹; pH (H₂O) = 5,8; P = 12,0 mg dm⁻³ e K = 0,22 cmol_c dm⁻³.

O clima da região é subtropical úmido, tipo Cfa 2, conforme classificação de Köppen (Moreno, 1961). A temperatura média das mínimas do mês mais frio é de 9,3 °C e a temperatura média das máximas do mês mais quente é de 31,8 °C, com precipitação média anual de 1.769 mm.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com dez tratamentos (sete com aveia adubada com N, um com ervilhaca e dois pousios de inverno) e quatro repetições. Em todos os tratamentos, durante o verão, foi cultivado milho sob sistema plantio direto. As parcelas experimentais mediram 5 x 5 m, sendo descartadas as bordaduras de 0,5 m para fins de amostragem, totalizando uma área útil de 16 m², no ciclo da aveia. As doses de N aplicadas na aveia preta foram de: 0, 40, 80, 120, 160, 200 e 240 kg ha⁻¹. O parcelamento da adubação nitrogenada está descrito no quadro 1. A adubação da aveia com P e K foi de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de K₂O, em 1998, e de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 de K₂O, em 1999. O milho cultivado em sucessão aos tratamentos não recebeu adubação nitrogenada, exceção ao cultivo após um dos pousios que recebeu 160 kg ha⁻¹ de N, parcelado em 30 kg ha⁻¹ na base + 50 kg ha⁻¹, aos 45 dias da emergência, + 80 kg ha⁻¹, aos 60 dias da emergência do milho.

Quadro 1. Época de aplicação das doses de N na aveia preta, nos anos de 1998 a 1999

Tratamento	Época de aplicação				Total
	Semeadura	20 DAE ⁽¹⁾	50 DAE	80 DAE	
	Dose de N, kg ha ⁻¹				
1	0	0	0	0	0
2	20	20	0	0	40
3	20	30	30	0	80
4	20	50	50	0	120
5	20	50	50	40	160
6	20	60	60	60	200
7	20	70	70	80	240

⁽¹⁾ Dias após a emergência da aveia.

Em 1998, imediatamente antes do estabelecimento da cultura do milho, foi feita a correção do solo com a aplicação, em superfície, de 3.200 kg ha⁻¹ de calcário calcítico, considerando o PRNT 100 %. No primeiro ano, foi semeado o milho Braskalb XL-212 e, no segundo, o Cargill 912. A população de plantas foi ajustada por meio de desbaste para 55.000 plantas ha⁻¹. Para a adubação de base, nos dois anos, foram aplicados 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo. As doses de K aplicadas foram de 50 e 70 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio, respectivamente, para 1998 e 1999. O controle de invasoras foi feito por meio da aplicação de herbicidas pós-emergentes e capina manual, enquanto a lagarta do cartucho foi controlada com a aplicação de inseticida específico.

O déficit hídrico verificado durante o ciclo do milho foi amenizado com irrigações por aspersão, totalizando 80 mm (duas aplicações), em 1998, e 225 mm, em 1999 (seis aplicações).

Avaliações realizadas

A matéria seca da aveia foi determinada no estádio de grão leitoso, com duas amostragens ao acaso dentro da área útil da parcela, com um quadro de 0,7 x 0,7 m. A parte aérea da aveia foi coletada e seca em estufa a 65 °C até peso constante. Após, as amostras foram moídas em um triturador de forrageiras, subamostradas e moídas novamente num moinho tipo Willey. O N foi extraído e determinado segundo o método descrito em Tedesco et al. (1995). O teor de carbono orgânico foi determinado por meio de digestão sulfocrômica com aquecimento externo, também segundo Tedesco et al. (1995).

Em ambos os anos, para determinação da matéria seca de milho, foram coletadas, aleatoriamente, cinco plantas de milho no pendoamento, retiradas das quatro linhas centrais espaçadas com 0,9 m entrelinhas e em uma extensão de 4,0 m, perfazendo

uma área útil durante o ciclo do milho de 14,4 m². Essas plantas foram colocadas em pré-secagem e, posteriormente, levadas à estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, onde permaneceram até peso constante. Após a pesagem, as amostras foram moídas em um triturador de forrageiras, subamostradas e moídas novamente num moinho tipo Willey equipado com peneira de 40 mesh. O N total acumulado na parte aérea da fitomassa do milho foi determinado segundo Tedesco et al. (1995). O rendimento de grãos foi determinado conforme área útil já descrita. Os resultados obtidos foram posteriormente corrigidos a 13 % de umidade.

Para avaliar a decomposição dos resíduos culturais e a liberação de N da aveia e da ervilhaca, foram utilizados sacos de decomposição importadas, confeccionados em náilon, com malha de 53 µm e dimensões externas de 10 x 20 cm. Eles foram preenchidos com resíduos culturais de aveia e ervilhaca, cortados em pedaços de aproximadamente 19 cm de comprimento. A quantidade de resíduos foi proporcional à produção de matéria seca de cada parcela, determinada por uma segunda amostragem com um quadro de 0,5 x 0,5 m. Este material foi seco ao ar por, aproximadamente, 12 dias, sendo posteriormente determinadas as proporções de caules, folhas e panículas, a fim de reproduzi-las no preenchimento dos sacos de decomposição. Em 1999, os sacos de decomposição (nacionais) utilizados apresentavam malha de 500 µm.

Em ambos os anos, foram utilizados sete sacos de decomposição em cada parcela, paralelamente às linhas do milho, excetuando-se aquelas constituídas pelos pousios. As coletas dos sacos de decomposição foram realizadas, no primeiro ano, aos 10, 20, 30, 50, 70, 90 e 110 dias, enquanto, no segundo ano, estas foram feitas aos 15, 30, 45, 65, 85, 105 e 125 dias, após a sua colocação no campo. Nos locais onde foram dispostos os sacos de decomposição, foi efetuada a retirada dos resíduos da superfície, objetivando o melhor contato destes com o solo.

A decomposição dos resíduos de aveia e ervilhaca foi avaliada em campo pela perda de peso em função do tempo. Para a sua estimativa, foi descontada a contaminação com solo nas amostras provenientes dos sacos de decomposição. O método utilizado foi baseado no teor de cinzas dos resíduos, descrito em Hue & Evans (1986) e empregado pelo Departamento de Solos da Auburn University (USA). Em todos os tratamentos e épocas de coleta, foi retirado aproximadamente 1 g de amostra, que foi seca em estufa a 65 °C e incinerada em forno de mufla, a 550 °C, por quatro horas. Primeiramente, foi determinada a percentagem inicial de cinzas das amostras secas ao ar, portanto livre de contaminação com solo. Esta determinação correspondeu ao tempo zero (Ct_0). Em seguida, foi determinado o percentual presente nos tempos subseqüentes, ou seja, tempo "t" (Ct). Assumindo que o teor de cinzas no tempo zero, para cada tratamento, é o mesmo até a última data de coleta, a contaminação por solo foi obtida pela subtração $Ct - Ct_0$. Assim, basta subtrair, percentualmente, esta quantidade do tratamento correspondente para obter o peso da amostra livre de solo (P_{am}). A equação utilizada para expressar o P_{am} foi a seguinte:

$$P_{am} = P_{amc} - \left(P_{amc} \times \left(\frac{Ct - Ct_0}{100} \right) \right)$$

sendo: P_{am} = Peso real da amostra livre de solo (g); P_{amc} = Peso da amostra contaminada por solo (g); Ct = Percentagem de cinzas no tempo "t", e Ct_0 = Percentagem de cinzas no tempo zero (sempre o mesmo valor em cada tratamento).

Ao considerar o teor de cinzas como constante durante o período de avaliação, pode-se incorrer em um pequeno erro. No entanto, como a percentagem de cinzas no tecido é, em geral, baixa (média geral 6,4 % – dados não apresentados), os erros cometidos com essa suposição são pequenos, quando confrontados com os da contaminação de solo na amostra.

Análise estatística

Os dados referentes à velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos foram ajustados por análise de regressão, para cada ano, em separado. Os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais foram selecionados, utilizando o programa Table Curve™ 2D (Jandel Scientific), com base na combinação dos seguintes critérios: simplicidade do modelo, maior coeficiente de determinação e significado biológico. Para a relação C/N dos resíduos, velocidade de decomposição e liberação de N em cada data de coleta dos sacos de decomposição, foi calculado o DMS de Tukey a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Decomposição dos resíduos culturais da aveia preta adubada com nitrogênio

A decomposição dos resíduos culturais da aveia preta (Figura 1), avaliada pelo uso dos sacos de decomposição, seguiu o modelo exponencial de primeira ordem descrito por Wieder & Lang (1982). Em ambos os anos, não houve efeito da adubação nitrogenada aplicada na aveia sobre a velocidade de decomposição dos resíduos.

Um dos fatores citados como de maior influência sobre a velocidade de decomposição dos resíduos é a sua composição bioquímica, principalmente a relação C/N. Nesse caso, embora a adubação nitrogenada tenha reduzido a relação C/N dos resíduos (Quadro 2), esta redução não correspondeu a um incremento na velocidade de decomposição (Figura 1). É provável que o pequeno contato resíduo-solo, verificado sob sistema plantio direto, tenha limitado a velocidade de decomposição dos resíduos de aveia.

Schomberg et al. (1994), trabalhando com resíduos de trigo e sorgo, e Amado et al. (2000) e Acosta et al. (2001), avaliando a decomposição de resíduos de aveia, encontraram aumento na velocidade de decomposição quando os resíduos foram incorporados ao solo. Posteriormente a este trabalho, Acosta et al. (2001) incorporaram a 10 cm de profundidade resíduos de aveia com diferentes valores de relação C/N e, neste caso, verificaram efeito positivo do decréscimo dessa relação no aumento da velocidade de decomposição. Com isto, pode-se inferir que sob sistema plantio direto, no Sul do Brasil, o fator determinante na velocidade de decomposição dos resíduos de aveia é o limitado contato com o solo.

As percentagens dos resíduos de aveia decompostos, até os 110 dias, no ano de 1998, foram, respectivamente, de 39 e 37 %, para os tratamentos 0 e 240 N (Figura 1a). Em 1999, transcorridos 125 dias, elas alcançaram 38 e 49 %, respectivamente, para os mesmos tratamentos anteriores (Figura 1b). No entanto, ressalta-se que estas diferenças não foram estatisticamente significativas. Resultados semelhantes aos apresentados neste trabalho quanto à velocidade de decomposição foram encontrados, anteriormente, por Giacomini et al. (2000), os quais relataram que, após 120 dias da rolagem, aproximadamente 50 % dos resíduos de aveia haviam sido decompostos.

Utilizando os valores de produção de matéria seca de aveia e as equações de decomposição apresentadas na figura 1, estimou-se a quantidade de resíduos remanescentes na superfície do solo aos 30, 80 e 110 dias (Quadro 2). Transcorridos 30 dias do manejo das culturas de cobertura com rolo faca, a quantidade de matéria seca remanescente era elevada em todos os tratamentos, com exceção da ervilhaca.

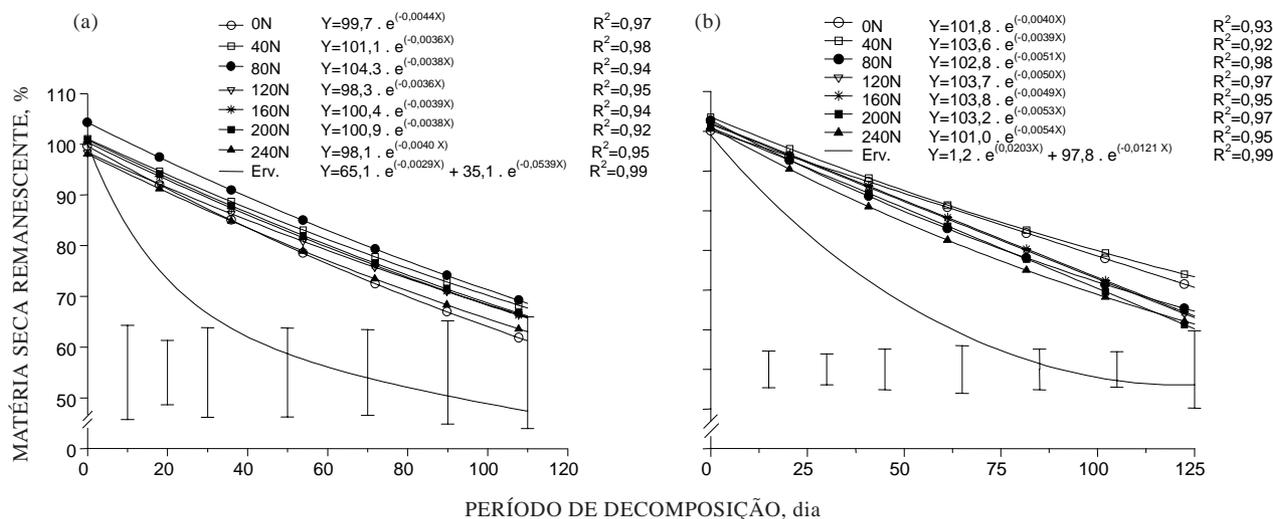


Figura 1. Decomposição dos resíduos culturais de ervilhaca e aveia preta sob sistema plantio direto, avaliada por meio de sacos de decomposição nos anos de 1998 (a) e 1999 (b). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste Tukey a 5 %.

Quadro 2. Relação C/N e matéria seca dos resíduos da aveia preta e da ervilhaca, durante o ciclo do milho nos anos de 1998 e 1999

Tratamento	Matéria seca									
	Relação CN		Tempo de decomposição (dia)							
			0 ⁽¹⁾		30 ⁽²⁾		80 ⁽²⁾		110 ⁽²⁾	
	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
	kg ha ⁻¹									
Aveia 0 N	50,8	48,9	3.807	4.990	3.326	4.505	2.669	3.689	2.339	3.271
Aveia 40 N	49,2	49,5	5.470	5.521	4.964	5.089	4.147	4.187	3.722	3.725
Aveia 80 N	41,3	47,1	6.425	6.680	5.979	5.893	4.944	4.566	4.412	3.919
Aveia 120 N	36,9	37,3	6.941	7.067	6.124	6.308	5.115	4.912	4.592	4.228
Aveia 160 N	35,1	34,3	6.259	6.947	5.590	6.226	4.600	4.873	4.092	4.207
Aveia 200 N	26,6	28,8	6.328	7.758	5.697	6.830	4.711	5.240	4.204	4.470
Aveia 240 N	26,2	28,3	6.231	7.981	5.422	6.855	4.439	5.233	3.937	4.450
Ervilhaca	14,4	11,9	2.986	1.485	1.782	1.043	920	451	435	167
DMS ⁽³⁾	3,7	13,6	1.425	1.019	-	-	-	-	-	-
C.V. (%)	3,7	16,4	11,0	7,2	-	-	-	-	-	-

⁽¹⁾ Matéria seca determinada na rolagem do experimento. ⁽²⁾ Matéria seca estimada por meio dos sacos de decomposição.

⁽³⁾ Tukey a 5 %.

Esse resultado confirma a qualidade da aveia preta como cultura de cobertura do solo. Considerando que 4.000 kg ha⁻¹ de resíduos uniformemente distribuídos na superfície do solo controlam aproximadamente 95 % da erosão hídrica (Lopes et al., 1987), aos 80 dias, todos os tratamentos com aveia adubada com N teriam a erosão controlada. Portanto, a adubação nitrogenada na aveia, dentre outros benefícios, permitiu que uma elevada quantidade de resíduos fosse mantida, por

longo período de tempo, protegendo a superfície do solo. Assim, no ano de 1998, aos 110 dias, o tratamento de aveia adubada com 240 kg ha⁻¹ de N atingia 1.600 kg ha⁻¹ a mais de matéria seca na superfície do solo do que o tratamento sem a aplicação de N (Quadro 2). Esse resultado é explicado pela maior produção de matéria seca da aveia adubada com N (Santi et al., 2003), bem como pela não-alteração na velocidade de decomposição dos resíduos (Figura 1).

Liberação de nitrogênio e relação C/N dos resíduos de aveia preta

A liberação de N dos resíduos culturais da aveia e da ervilhaca, nos dois anos avaliados, seguiu o padrão exponencial decrescente (Figura 2). Na média geral dos tratamentos com aveia, os quais não diferiram entre si, o N liberado no primeiro mês atingiu aproximadamente 15 % para os anos de 1998 (Figura 2a) e 1999 (Figura 2b). Esse percentual foi ligeiramente inferior ao encontrado por Amado et al. (1999) e Giacomini et al. (2000) que, estudando a decomposição da aveia no mesmo período de tempo, encontraram liberação de aproximadamente 20 % do N total nos resíduos.

Aos 110 dias de decomposição, a percentagem do N liberado pela aveia, no ano de 1998 (Figura 2a), foi pequena, alcançando, aproximadamente, 24 e 44 % nos tratamentos 0 e 240N, respectivamente. Para os mesmos tratamentos anteriores, porém em 1999 (Figura 2b), estas percentagens foram de 29 e 49 %, transcorridos 125 dias de estudo. Ressalta-se que estes valores não foram, dentro de cada ano, estatisticamente diferentes entre si. Este período de decomposição dos resíduos de aveia correspondeu, aproximadamente, ao pendoamento do milho cultivado em sucessão. Assim, constata-se que, mesmo naqueles tratamentos em que a quantidade total de N acumulado na aveia foi elevada, a decomposição dos resíduos foi lenta (Figura 1). Este resultado indica o assincronismo com a demanda de N pelo milho.

Por outro lado, aos 30 dias de decomposição dos resíduos, a ervilhaca já havia liberado 51 e 46 % do N total acumulado na sua fitomassa, respectivamente, nos anos de 1998 e 1999 (Figura 2), evidenciando seu elevado potencial de suprimento de N para

culturas cultivadas em sucessão. Esses valores corroboram aqueles encontrados por Da Ros (1993) e são inferiores àqueles reportados por Pavinato (1993) que, para o mesmo período de tempo (30 dias), encontrou liberação de, aproximadamente, 70 % do N acumulado na ervilhaca. Nesse experimento, somente aos 110 (1998) e 125 dias (1999), houve uma liberação de 65 a 74 %, respectivamente.

O N total liberado pela aveia, ao final das avaliações, nos anos de 1998 e 1999, foi inversamente relacionado com a relação C/N de seus resíduos (Figura 3). Em 1998, a quantidade de N mineralizado variou de 10 a 45 kg ha⁻¹ e, em 1999, de 15 a 65 kg ha⁻¹ (Figura 4), dependendo da relação C/N dos resíduos. Assim, o decréscimo em uma unidade da relação C/N correspondeu, com base nas equações ajustadas, a incrementos de 1,5 (1998) e 1,9 kg ha⁻¹ (1999) na quantidade de N mineralizado dos resíduos. Exemplificando: em 1999, a adição de resíduos de aveia com relação C/N = 27 apresentou uma liberação de aproximadamente 44 kg ha⁻¹ de N a mais daquela estimada para resíduos com relação C/N = 50. Este resultado é explicado pela maior quantidade total de N estocado na fitomassa da aveia naqueles tratamentos que receberam adubação, uma vez que a velocidade de liberação desse nutriente não foi afetada (Figura 2).

Com base nas equações de ajuste das curvas de mineralização de N (Figura 2) e utilizando a quantidade de N na parte aérea da aveia e da ervilhaca, foi possível estimar, para cada tratamento, a quantidade de N liberado dos resíduos (Figura 4). Esta informação é importante para avaliar a contribuição dos resíduos da aveia na nutrição do milho. Verificou-se, em ambos os anos, efeito da adubação nitrogenada aplicada na aveia sobre a quantidade total de N disponibilizada pelos resíduos

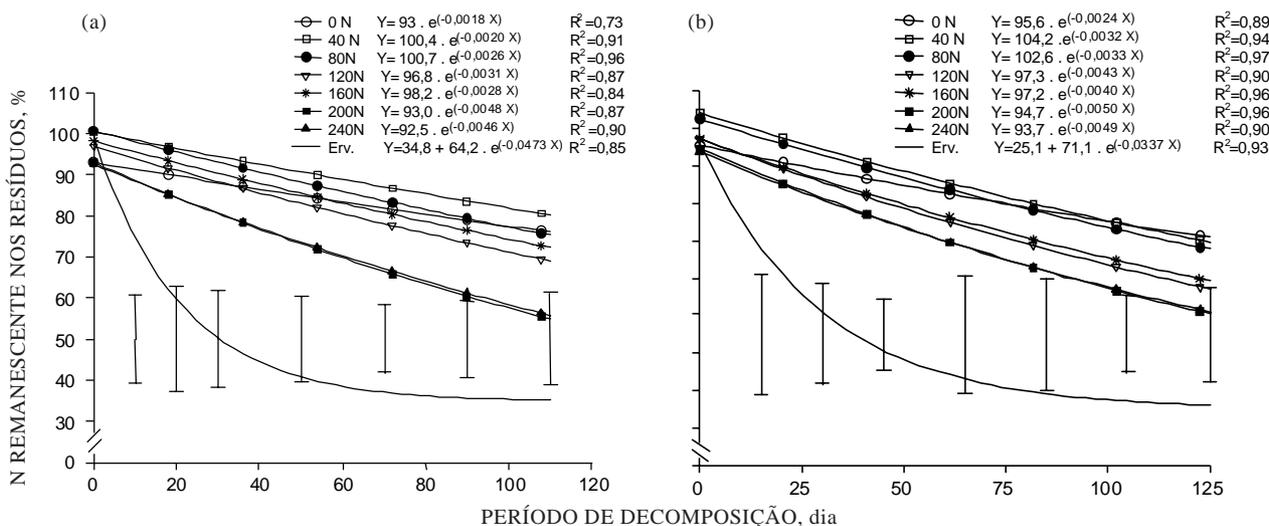


Figura 2. Liberação do N dos resíduos culturais da aveia preta e da ervilhaca no sistema plantio direto, avaliada por meio dos sacos de decomposição nos anos de 1998 (a) e 1999 (b). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste Tukey a 5 %.

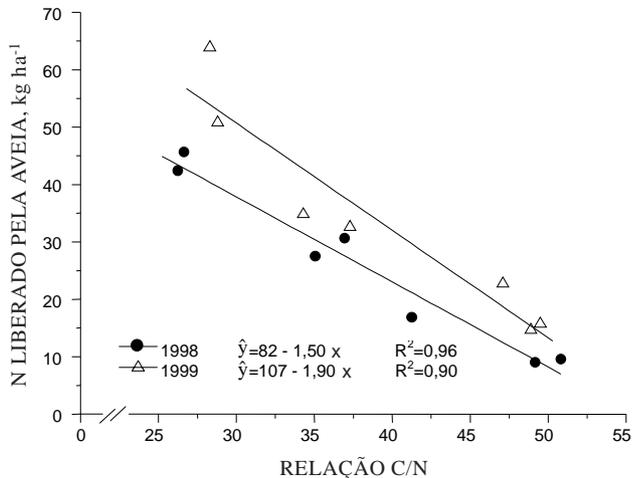


Figura 3. Influência da relação C/N da fitomassa da aveia sobre a quantidade de N liberado aos 110 dias (1998) e aos 125 dias (1999) do manejo dos resíduos.

durante o ciclo do milho. Assim, até o pendoamento do milho, somente nos tratamentos em que foram aplicadas as mais elevadas doses de N na aveia, verificou-se considerável fornecimento de N. Porém, mesmo nesta condição, as quantidades de N liberadas, se consideradas de forma isolada, ficaram aquém daquela demandada pelo milho para alcançar elevados rendimentos.

No primeiro ano de estudo, a ervilhaca apresentou, entre todos os tratamentos, a maior liberação de N, alcançando 55 kg ha^{-1} (Figura 4a). Por outro lado, neste mesmo ano na maior dose de N aplicada na aveia, a liberação deste nutriente, até o pendoamento do milho, foi aproximadamente 73 % daquele verificado na leguminosa. Este resultado confirma que a aveia, mesmo quando adubada com elevadas

doses de N, não apresentou o mesmo potencial da ervilhaca em fornecer N para o milho cultivado em sucessão.

Absorção de nitrogênio pelo milho cultivado em sucessão à aveia preta

As doses de N aplicadas na aveia ocasionaram resposta linear no acúmulo de N pelo milho, cultivado na ausência de adubação nitrogenada (Figura 5). Esse resultado confirma que a adubação nitrogenada aplicada na aveia favoreceu a nutrição do milho cultivado em sucessão. Analisando o coeficiente angular das equações ajustadas, percebe-se que para cada kg de N aplicado na aveia apenas 0,16 e 0,09 kg foram, aparentemente, recuperados pelo milho, respectivamente, em 1998 e 1999. Portanto, a adubação nitrogenada da aveia com elevadas doses, visando ao posterior suprimento de N ao milho, foi uma prática de baixa eficiência. A limitada recuperação de N pelo milho pode ser atribuída, em parte, ao assincronismo entre a liberação de N dos resíduos de aveia e à demanda do milho.

No tratamento em que foram aplicados 240 kg ha^{-1} de N na aveia, a quantidade desse nutriente estocada na fitomassa (parte aérea) foi de aproximadamente 110 kg ha^{-1} , desta apenas $38,4 \text{ kg ha}^{-1}$, em 1998, e $20,6 \text{ kg ha}^{-1}$, em 1999, foram aparentemente recuperados pelo milho (Figura 5). Assim, a maior proporção do N estocado nos resíduos de aveia, provavelmente, teve como destino o estoque de N total do solo, como sugerido por Ladd et al. (1981) e Harris & Hesterman (1990). Nesse caso, a disponibilidade de N para as culturas em sucessão somente seria incrementada a médio e longo prazo, como sugere Sá (1996). Também é possível que outra proporção do N dos resíduos, não contabilizada neste trabalho, tenha sido perdida do sistema.

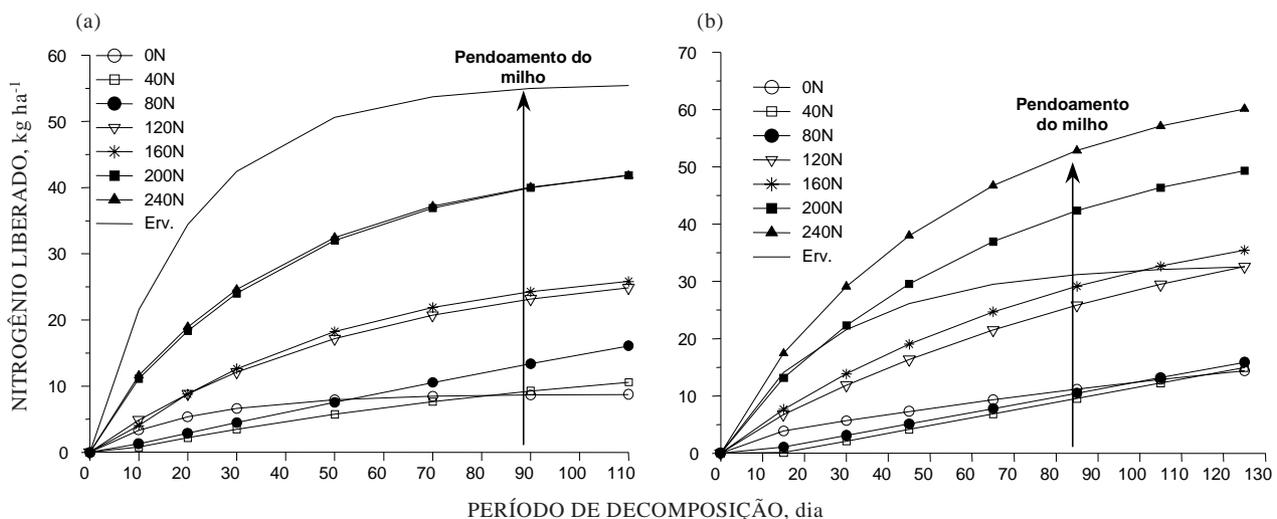


Figura 4. Estimativa da mineralização do N da fitomassa de aveia preta e de ervilhaca no sistema plantio direto, nos anos de 1998 (a) e de 1999 (b).

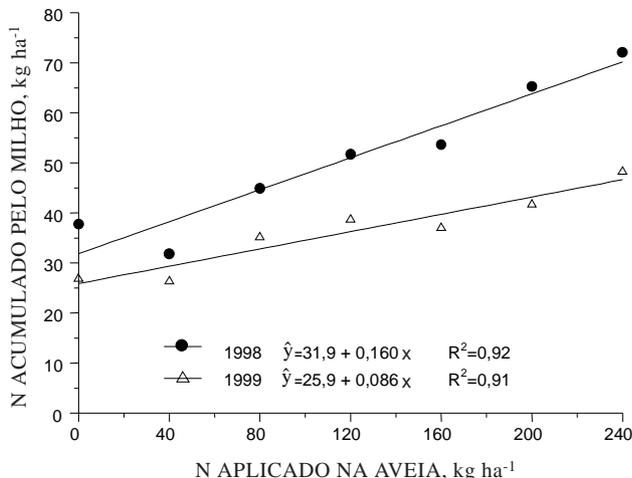


Figura 5. Relação entre o N aplicado na cultura da aveia preta e o N acumulado pela parte aérea do milho, avaliada no pendoamento, nos anos de 1998 e 1999.

Rendimento de milho em sucessão à aveia preta

A adubação nitrogenada aplicada no milho em sucessão ao pousio, quando comparada com o tratamento sem adubação nitrogenada (Pousio 0 N), promoveu um acréscimo de 154 e 272 % na produção de grãos, respectivamente, em 1998 e 1999 (Figura 6). Estes resultados confirmam o baixo potencial de suprimento de N desse solo, fato registrado, anteriormente, em outros experimentos (Basso & Ceretta, 2000; Flecha, 2000; Giacomini, 2001; Santi et al., 2002). O rendimento do milho no segundo ano (Figura 6b) foi inferior ao primeiro (Figura 6a), graças, provavelmente, à distribuição irregular das chuvas e à ocorrência de déficit hídrico,

indicando que as irrigações suplementares não foram suficientes para amenizar esse fenômeno.

O rendimento de grãos de milho, na ausência de adubação nitrogenada, foi crescente com as doses de N aplicadas na aveia (Figura 6). No entanto, todos os tratamentos com adubação nitrogenada na aveia apresentaram rendimentos inferiores àqueles obtidos no tratamento pousio/milho com adubação de 160 kg ha⁻¹ de N aplicada na cultura do milho. Nos dois anos avaliados, a máxima produção de grãos de milho nos tratamentos com aveia, adubada com a maior dose de N, alcançou 80 % daquele obtido no pousio/milho 160 N, sendo próximo ao obtido no tratamento ervilhaca/milho. Os resultados de rendimento de grãos de milho são coerentes com o de acúmulo de N (Figura 5), indicando que há efeito positivo da adubação nitrogenada na aveia sobre a nutrição e rendimento do milho cultivado em sucessão.

Resultados semelhantes foram encontrados por Sá (1996). Apesar do efeito positivo, a estratégia de deslocamento total da fertilização nitrogenada destinada ao milho para a aveia apresentou eficiência inferior à do manejo tradicional (parcelamento da adubação nitrogenada durante o ciclo da cultura do milho).

Além disso, a adubação nitrogenada aplicada na aveia influenciou os processos de imobilização e mineralização líquida de N durante a decomposição dos resíduos (Figura 6a). Assim, seria necessário aplicar aproximadamente 112 kg ha⁻¹ de N na aveia para que a produção de milho atingisse aquela obtida no tratamento pousio 0 N. Os resultados encontrados neste trabalho indicam que a adubação nitrogenada aplicada na aveia pode ser uma alternativa para amenizar o efeito de imobilização de N, verificado geralmente, durante a decomposição dos seus

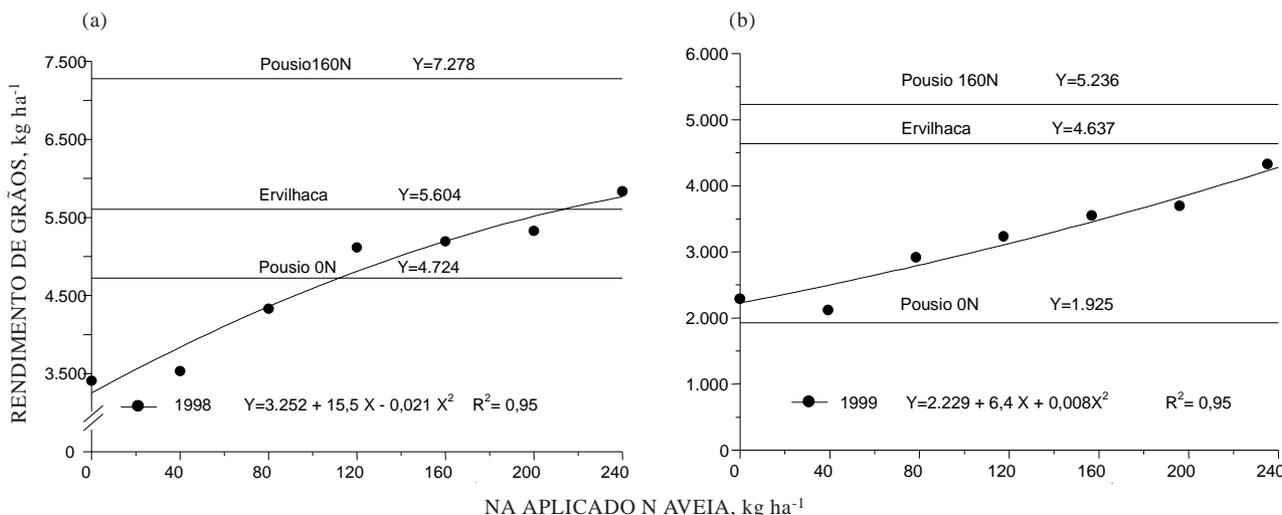


Figura 6. Rendimento de grãos de milho de acordo com o N aplicado na aveia preta, nos anos de 1998 (a) e 1999 (b).

resíduos. Assim, em futuros trabalhos, recomenda-se avaliar a combinação da adubação nitrogenada na cultura de cobertura (aveia) e na cultura econômica (milho).

Rendimento de milho influenciado pela quantidade de nitrogênio liberado e relação C/N dos resíduos de aveia preta

O rendimento de grãos de milho respondeu linearmente à quantidade de N liberado pela aveia, produzindo aproximadamente 60 e 40 kg ha⁻¹ de grãos/kg de N liberado dos resíduos da aveia, respectivamente, para o ano de 1998 e 1999 (Figura 7). Estes resultados evidenciam a eficiência do milho na utilização do N liberado pela aveia. Anteriormente, Amado (1997) verificou que, para cada kg de N liberado de culturas de cobertura (aveia e aveia + ervilhaca), o milho cultivado em sucessão produziu 28 kg de grãos.

No primeiro ano, o rendimento de milho, na ausência de adubação nitrogenada, variou de 3.500 a 5.800 kg ha⁻¹, enquanto o N liberado dos resíduos de aveia variou de 7,5 a 45 kg ha⁻¹. No segundo ano, o rendimento variou de 2.100 a 4.500 kg ha⁻¹, enquanto a quantidade de N liberado variou de 16 a 65 kg ha⁻¹. Assim, no segundo ano, embora o N liberado dos resíduos de aveia tenha sido maior do que no primeiro ano, o rendimento foi inferior, em razão, provavelmente, das condições de déficit hídrico anteriormente discutidas.

Na ausência de adubação nitrogenada no milho, o rendimento de grãos mostrou-se inversamente relacionado com a relação C/N da aveia, manejada no estágio de pleno florescimento (Figura 8). Assim, cada acréscimo em 10 unidades de relação C/N dos resíduos resultou em uma redução no rendimento de milho de 922 e 779 kg ha⁻¹, respectivamente, para os anos de 1998 e 1999. Esses resultados confirmam

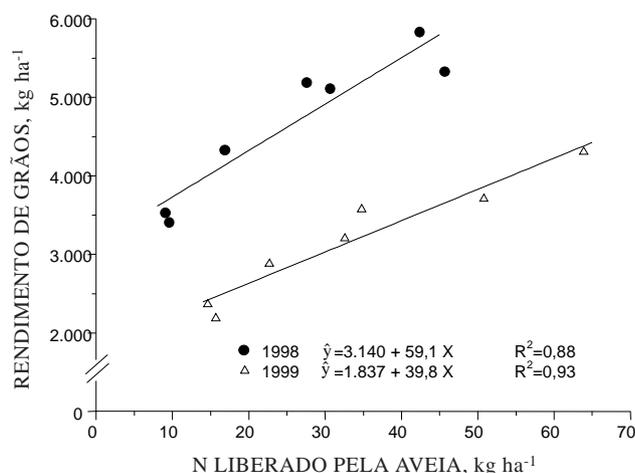


Figura 7. Rendimento de milho de acordo com a quantidade de N liberado pelos resíduos da aveia preta nos anos de 1998 e 1999.

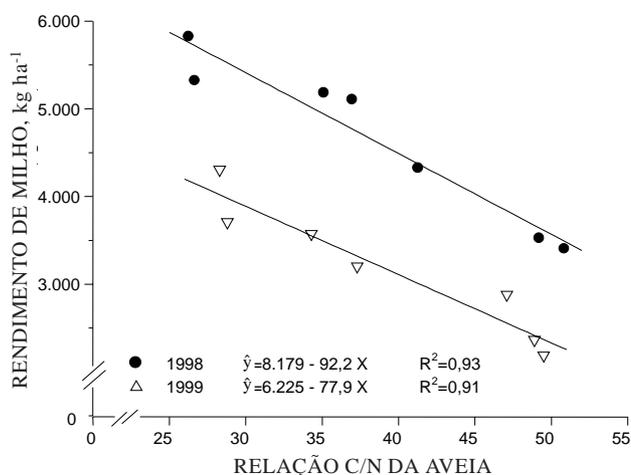


Figura 8. Rendimento de grãos de milho de acordo com a relação C/N da aveia nos anos de 1998 e 1999.

a ocorrência de imobilização do N do solo, quando da adição de resíduos com alta relação C/N, com reflexos negativos no rendimento de milho. A adubação nitrogenada aplicada durante o ciclo da aveia foi uma estratégia eficiente para amenizar este efeito.

CONCLUSÕES

1. A adubação nitrogenada aplicada na aveia permitiu que maior quantidade de resíduos permanecesse protegendo a superfície do solo na cultura subsequente de milho.
2. As doses de N aplicadas na aveia, embora tenham reduzido a relação C/N dos resíduos, não influenciaram as velocidades de decomposição e de liberação de N sob sistema plantio direto.
3. O total de N liberado pela aveia, durante o ciclo do milho, foi positivamente influenciado pela adubação nitrogenada, sendo inversamente proporcional à relação C/N dos resíduos produzidos.
4. A redução da relação C/N da aveia, induzida pela adubação nitrogenada, promoveu incremento linear no rendimento de grãos de milho cultivado em sucessão. Todavia, o N liberado da aveia não foi suficiente para atender plenamente à demanda do milho, restringindo o seu rendimento.

LITERATURA CITADA

- ACOSTA, J.A.A.; SANTI, A.; AMADO, T.J.C.; CONCEIÇÃO, P.C. & ROSSATO, R. Decomposição de resíduos e liberação de nutrientes pela aveia preta adubada com doses de nitrogênio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina, 2001. Anais. Londrina, Midiograf, 2001. p.278.

- AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M.R. & DALMOLIN, R.S.D., eds. Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1997. p.76-111.
- AITA, C.; CERETTA, C.A.; THOMAS, A.L.; PAVINATO, A. & BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 18:101-108, 1994.
- AMADO, T.J.C. Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 201p. (Tese de Doutorado)
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. R. Bras. Ci. Solo, 25:189-197, 2001.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:179-189, 2000.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V. & BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. R. Bras. Ci. Solo, 23:679-686, 1999.
- 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.
- 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. 76p. (Tese Mestrado)
- BLOEMHOF, H.S. & BERENDSE, F. Simulation of the decomposition and nitrogen mineralization of aboveground plant material in two unfertilized grassland ecosystems. Plant Soil, 177:157-173, 1995.
- DA ROS, C.O. & AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura de solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 20:135-140, 1996.
- DA ROS, C.O. Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1993. (Tese de Mestrado)
- DEBARBA, L. & AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no Sul do Brasil com características de sustentabilidade. R. Bras. Ci. Solo, 21:473-480, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FLECHA, A.M.T. Possibilidades de manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho, em sucessão a aveia preta, no sistema plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 37p. (Tese de Mestrado)
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I.C.; HÜBNER, A.P.; ANDRADA, M.C.; NICOLOSO, R.S. & FRIES, M.R. Consorciação de plantas de cobertura: II. Decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa. In: FERBIO, 25., Santa Maria, 2000. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. CD-ROM
- 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)
- HARRIS, G.H. & HESTERMAN, O.B. Quantifying the nitrogen contribution from alfafa to soil and two succeeding crops using Nitrogen-15. Agron. J., 82:129-134, 1990.
- HUE, N.V. & EVANS, C.E. Procedures used for soil and plant analysis by the Auburn University soil testing laboratory. Auburn, Department of Agronomy and Soils, 1986. 40p.
- JANSSEN, B.H. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. Plant Soil, 181:39-45, 1996.
- JENSEN, E.S. Nitrogen immobilization and mineralization during initial decomposition of ¹⁵N-labelled pea and barley residues. Biol. Fertil. Soils, 24:39-44, 1997.
- KUDEYAROV, V.N. The nitrogen and carbon balance in soil. Europ. Soil Sci., 32:73-82, 1999.
- LADD, J.N.; OADES, J.M. & AMATO, M. Distribution and recovery of nitrogen from legume residues decomposing in soils sown to wheat in the field. Soil Biol. Biochem., 13:251-256, 1981.
- LOPES, P.R.C.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhadas uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. R. Bras. Ci. Solo, 11:71-75, 1987.
- MORENO, J.A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961. 46p.
- PARNAS, H. Model for decomposition of organic material by microorganisms. Soil Biol. Biochem., 7:161-169, 1975.
- PAVINATO, A. Teores de carbono e nitrogênio do solo e produtividade de milho afetado por sistemas de culturas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993. 122p. (Tese de Mestrado)
- PÖTKER, D. & ROMAN, E.S. Efeito de resíduos de culturas e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. Pesq. Agropec. Bras., 29:763-770, 1994.
- QUEMADA, M. & CABRERA, M.L. Carbon and nitrogen mineralized from leaves and stems of four cover crops. Soil Sci. Am. J., 59:471-477, 1995.
- SÁ, J.C.M. Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto. Passo Fundo, Aldeia Norte, 1996. 23p.
- SANTI, A. Adubação nitrogenada na aveia preta (*Avena strigosa*, Schieb): decomposição da fitomassa, liberação de nitrogênio e rendimento do milho em sucessão. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2001. 78p. (Tese de Mestrado)

- SANTI, A.; AMADO, T.J.C. & ACOSTA, J.A.A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I - influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1075-1083, 2003.
- SCHOMBERG, H.H.; STEINER, J.L. & UNGER, P.W. Decomposition and nitrogen dynamics of crop residues: residue quality and water effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:372-381, 1994.
- SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:249-254, 1985.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análises de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TIAN, G.; KANG, B.T. & BRUSSAARD, L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions- decomposition and nutrient release. *Soil Biol. Biochem.*, 24:1051-1060, 1992.
- WIEDER, R.K. & LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*, 63:1636-1642, 1982.
- YAMADA, T. Adubação nitrogenada do milho: quanto, como e quando aplicar. *Inf. Agron.*, 74:1-5, 1996.