

# DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO DE RESÍDUOS CULTURAIS DE PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO SOLTEIRAS E CONSORCIADAS<sup>(1)</sup>

C. AITA<sup>(2)</sup> & S. J. GIACOMINI<sup>(3)</sup>

## RESUMO

A dinâmica de decomposição e liberação de nitrogênio (N) de resíduos culturais provenientes de plantas de cobertura de solo, solteiras e consorciadas, foi avaliada em um experimento realizado em condições de campo, utilizando-se os seguintes materiais: (a) aveia preta (*Avena strigosa* Schieb); (b) ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.); (c) nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.); (d) 32 % de aveia preta + 68 % de ervilhaca comum, e (e) 51 % de aveia preta + 49 % de ervilhaca comum. Para monitorar o processo de decomposição, o material vegetal, seco ao ar, foi colocado em bolsas de nylon de 0,2 x 0,2 m e com malha de 0,5 mm, as quais foram deixadas na superfície do solo e recolhidas após 15, 29, 43, 59, 71, 82, 112 e 182 dias. Nos materiais coletados, foram feitas determinações das quantidades remanescentes de matéria seca (MS) e da sua concentração de N. Aos valores obtidos para as quantidades remanescentes de matéria seca e N, foram ajustados modelos não-lineares, com vistas em separar a MS e o N dos resíduos culturais em dois compartimentos, sendo um mais facilmente decomponível e outro mais recalcitrante. Dentre as espécies solteiras, a ervilhaca foi a que apresentou a maior taxa de decomposição ( $0,06119 \text{ dia}^{-1}$ ) da MS do compartimento mais facilmente decomponível. A presença da aveia nos consórcios com ervilhaca reduziu em 30 % ( $0,04264 \text{ dia}^{-1}$ ) e 50 % ( $0,03113 \text{ dia}^{-1}$ ) a decomposição da MS desse compartimento, quando a proporção de matéria seca da gramínea foi de 32 e 51 %, respectivamente. Da quantidade total de N liberada durante os 182 dias do experimento, a maior parte ocorreu nos primeiros 15 dias. Os resultados deste estudo evidenciaram que, consorciando aveia e ervilhaca, não houve redução na taxa de liberação do N do compartimento mais facilmente mineralizável, em relação à ervilhaca solteira. No entanto, os resíduos culturais do consórcio entre aveia e ervilhaca apresentaram maior persistência no solo do que aqueles da ervilhaca solteira e liberaram maiores quantidades de N do que a aveia e o nabo solteiros.

**Termos de indexação:** mineralização de N, taxas de decomposição, composição bioquímica, aveia preta, ervilhaca comum, nabo forrageiro.

<sup>(1)</sup> 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 agosto de 2002 e aprovado em maio de 2003.

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

<sup>(3)</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFSM. Bolsista CAPES. E-mail: sjgiacomini@mail.ufsm.br

**SUMMARY: CROP RESIDUE DECOMPOSITION AND NITROGEN RELEASE IN SINGLE AND MIXED COVER CROPS**

*Dynamics of decomposition and nitrogen (N) release of cover crop residues in mixed and single cultures was evaluated in a field experiment. The following materials were used: (a) black oat (Avena strigosa Schieb); (b) common vetch (Vicia sativa L.); (c) oilseed radish (Raphanus sativus L. var. oleiferus Metzg.); (d) 32 % black oat + 68 % common vetch, and (e) 51 % black oat + 49 % common vetch. To monitor the residue decomposition, air-dried plant material was inserted in 0.5 mm mesh nylon-bags (0.2 by 0.2 m), which were placed on the surface of the soil and collected after 15, 29, 43, 59, 71, 82, 112, and 182 days. Remaining dry matter amounts (DM) and N concentrations were determined in the collected materials. Nonlinear models were fit to the values obtained for the remaining amounts of dry matter and nitrogen, which separated the DM and N of crop residues in two compartments, one more easily decomposable and the other more recalcitrant. Among the single crops, common vetch presented the highest decomposition rate ( $0.06119 \text{ day}^{-1}$ ) of DM within the more easily decomposable compartment. Where oat was mixed with common vetch there were reductions of 30 % ( $0.04264 \text{ day}^{-1}$ ) and 50 % ( $0.03113 \text{ day}^{-1}$ ) in the DM decomposition of this compartment when the DM proportion of the grass was 32 and 51 %, respectively. The highest amount of totally released N occurred during the first 15 days of the experiment, which lasted 182 days. Results show that an association of oat and common vetch does not reduce the N release rate of the more easily mineralizable compartment, compared to single common vetch. However, cultural residues of common vetch - oat mixtures presented a higher persistence in the soil than those of single common vetch and released higher amounts of N than single oat and single oilseed radish.*

*Index terms: N mineralization, decomposition rates, biochemical composition, black oat, common vetch, oilseed radish.*

## INTRODUÇÃO

Nas duas últimas décadas, foram realizados diversos trabalhos com plantas de cobertura de solo no outono/inverno, tanto no Brasil como em outros países, procurando-se caracterizar a decomposição e a liberação de N de seus resíduos culturais (Wagger, 1989a; Ranells & Wagger, 1992; Da Ros, 1993; Ranells & Wagger, 1996). Esses estudos evidenciaram que as leguminosas, especialmente quando usadas como culturas solteiras, foram rapidamente decompostas após o seu manejo, mesmo em sistema plantio direto, resultando num assincronismo entre a liberação de N dos seus resíduos culturais e a demanda em N pelo milho em sucessão. A elevada taxa de decomposição das leguminosas, resultante da baixa relação C/N de seus resíduos culturais, também contribui para diminuir a sua eficiência na manutenção da umidade e na proteção do solo contra a erosão (Derpsch et al., 1985).

Consoiciando leguminosas e gramíneas, é possível obter uma fitomassa com relação C/N intermediária àquela das espécies em culturas solteiras, conforme demonstraram Ranells & Wagger (1996), para o consórcio entre centeio e ervilhaca peluda, e Heinrichs et al. (2001), para o consórcio entre aveia preta e ervilhaca comum. Além

da relação C/N, as proporções dos carboidratos estruturais e lignina também podem ser alteradas nos resíduos culturais de espécies consorciadas (Ranells & Wagger, 1996). Essas mudanças na composição da fitomassa podem provocar alterações na taxa de decomposição dos resíduos culturais, uma vez que esse processo é controlado por diversos atributos intrínsecos aos resíduos como, por exemplo, as concentrações em fração solúvel em água, em N, em lignina e em polifenóis, além das relações C/N, lignina/N e lignina + polifenóis/N (Reinertsen et al., 1984; Trinsoutrot et al., 2000).

A liberação de N dos resíduos culturais do consórcio entre centeio e ervilhaca peluda foi avaliada por Ranells & Wagger (1996), os quais constataram que a quantidade de N liberada obedeceu à seguinte ordem: ervilhaca peluda > ervilhaca peluda + centeio > centeio. Nesse mesmo trabalho, o N liberado dos resíduos culturais do consórcio, nos primeiros 15 dias, foi 13,4 % menor do que aquele encontrado no tratamento com ervilhaca solteira.

Na região Sul do Brasil, ainda são escassas as informações obtidas em condições de campo relativas ao estudo da dinâmica de decomposição e de liberação de N dos resíduos culturais de plantas de cobertura de solo consorciadas no outono/inverno (Heinrichs et al., 2001). O conhecimento desses

processos é fundamental para que as plantas de cobertura possam ser eficientemente introduzidas no sistema de produção de milho, sendo necessário compatibilizar a máxima persistência dos resíduos culturais na superfície do solo com o fornecimento adequado de N ao milho.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a decomposição e a liberação de N de resíduos culturais provenientes de plantas de cobertura de outono/inverno, cultivadas solteiras e consorciadas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização do local

O trabalho foi realizado durante o período de outubro de 1999 a março de 2000, na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Argissolo Vermelho distrófico arênico relevo ondulado de acordo com EMBRAPA (1999) com as seguintes características na camada arável: 150 g kg<sup>-1</sup> de argila; pH H<sub>2</sub>O (1:1) 5,5; índice SMP 6,2; 13,4 mg dm<sup>-3</sup> de P; 57,5 mg dm<sup>-3</sup> de K; 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al<sup>3+</sup>; 2,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup>; 0,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>2+</sup> e 16 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica.

### Delineamento experimental e tratamentos

O estudo foi realizado com resíduos culturais provenientes de plantas utilizadas para cobertura de solo no outono/inverno, a saber: (a) aveia preta (AP) (*Avena strigosa* Schieb); (b) ervilhaca comum (EC) (*Vicia sativa* L.); (c) nabo forrageiro (NF) (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.). As plantas de cobertura foram cultivadas no período de maio a setembro de 1999, em sistema solteiro ou consorciado. No cultivo solteiro da aveia preta e da ervilhaca comum, foram utilizados 80 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, e no cultivo solteiro do nabo forrageiro, 14 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, considerando-se um poder germinativo de 100 %. Foram utilizados dois sistemas de cultivo consorciado entre aveia e ervilhaca, sendo um com 12 kg ha<sup>-1</sup> de sementes de AP + 68 kg ha<sup>-1</sup> de sementes de EC e outro com 36 kg ha<sup>-1</sup> de sementes de AP + 44 kg ha<sup>-1</sup> de sementes de EC.

A coleta das plantas para o estudo foi efetuada quando a aveia encontrava-se na fase de pleno florescimento, a ervilhaca no início do florescimento e o nabo forrageiro no final do florescimento. Foram coletadas duas subamostras de 0,36 m<sup>2</sup> por parcela de cada tratamento que foram reunidas para compor uma amostra única. Nos sistemas consorciados, procedeu-se à separação da aveia e da ervilhaca para determinar a contribuição de cada espécie na produção total de matéria seca (MS) dos consórcios.

Para facilitar a compreensão dos resultados, os tratamentos serão sempre referenciados em relação à proporção de matéria seca das espécies e não à proporção de sementes utilizadas. Portanto, os tratamentos relativos aos sistemas solteiros e consorciados ficaram assim constituídos: T1 - 100 % AP; T2 - 100 % EC; T3 - 100 % NF; T4 - 32 % AP + 68 % EC e T5 - 51 % AP + 49 % EC.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. A unidade experimental consistiu de oito bolsas teladas de nylon com dimensões de 0,2 x 0,2 m e malha de 0,5 mm que continham resíduos culturais de cada um dos cinco tratamentos descritos. O total de bolsas teladas confeccionadas foi de 160.

A aveia foi separada em colmos, folhas e panículas, a ervilhaca em talos e folhas e o nabo forrageiro em hastes, folhas e inflorescências. Estes constituintes, com tamanho de até 19 cm, foram submetidos à secagem ao ar em ambiente protegido (25 a 30 °C) até massa constante antes de serem colocados nas bolsas, em quantidades equivalentes à produção de cada espécie. A secagem ao ar do material foi feita para evitar possíveis alterações das suas características químicas caso ele fosse submetido à secagem em estufa.

### Caracterização química dos resíduos culturais

Antes da instalação do experimento, foi feita a caracterização química dos resíduos culturais (Quadro 1). Para isso, tomou-se uma amostra de material em cada tratamento para a determinação da quantidade inicial de matéria seca, secando-se o material em estufa a 65 °C até massa constante. Após a secagem, o material foi pesado e moído em moinho Wiley equipado com peneira de 40 mesh. Nesse material, foram determinadas as concentrações de C orgânico (C) e N total (N) (Tedesco et al., 1995), celulose (CEL), hemicelulose (HEM) e lignina (LIG) (Van Soest, 1963). Nos resíduos culturais, também foram feitas determinações da quantidade de matéria seca solúvel em água fria (MS<sub>sa</sub>), conforme método descrito em Aita (1996), e da sua concentração em C orgânico (C<sub>sa</sub>) e N total (N<sub>sa</sub>) (Tedesco et al., 1995). Para Reinertsen et al. (1984), é importante conhecer esses três atributos nos resíduos culturais para melhor compreender a dinâmica de sua decomposição no solo, principalmente na fase inicial do processo. As quantidades adicionadas de matéria seca, C e N nas bolsas de decomposição com os resíduos culturais de cada tratamento encontram-se no quadro 2.

### Avaliações efetuadas

Em outubro de 1999, as unidades experimentais foram confeccionadas e colocadas na superfície do solo. A avaliação da decomposição e da liberação de N dos resíduos culturais foi feita de acordo com o

**Quadro 1. Características químicas dos resíduos culturais das plantas de cobertura colocados nas bolsas de decomposição**

Tratamento <sup>(1)</sup>	C <sup>(2)</sup>	N	MSsa	Nsa	Csa	CEL	HEM	LIG	C/N	Csa/Nsa	LIG/N
100 % AP	443	11,1	134	5,7	50,1	344,7	268,8	66,5	40,3	8,8	6,0
100 % EC	432	28,8	235	12,4	86,7	256,8	115,3	83,4	14,8	6,9	2,9
100 % NF	416	14,2	200	6,3	67,9	331,8	94,5	92,1	30,6	10,8	6,5
32 % AP + 68 % EC	448	23,9	206	10,5	75,7	278,3	156,1	81,4	18,1	7,2	3,4
51 % AP + 49 % EC	425	20,9	169	8,9	66,7	299,2	197,6	78,3	20,6	7,5	3,7

<sup>(1)</sup> AP = aveia preta; EC = ervilhaca comum; NF = nabo forrageiro. <sup>(2)</sup> C = carbono; N = nitrogênio; MSsa = matéria seca solúvel em água; Nsa = nitrogênio solúvel em água; Csa = carbono solúvel em água; CEL = celulose; HEM = hemicelulose; LIG = lignina.

**Quadro 2. Matéria seca, nitrogênio, carbono, matéria seca solúvel em água, nitrogênio solúvel em água e carbono solúvel em água adicionados nas bolsas de decomposição com os resíduos culturais das plantas de cobertura**

Tratamento <sup>(1)</sup>	Quantidade adicionada											
	Matéria seca				Nitrogênio				Carbono	MSsa <sup>(2)</sup>	Nsa	Csa
	AP	EC	NF	Total	AP	EC	NF	Total				
kg ha <sup>-1</sup>												
100 % AP	4.390	-	-	4.390	49	-	-	49	1.950	588	25	220
100 % EC	-	2.660	-	2.660	-	77	-	77	1.150	624	33	230
100 % NF	-	-	3.720	3.720	-	-	53	53	1.550	744	23	252
32 % AP + 68 % EC	1.120	2.370	-	3.490	17	66	-	83	1.560	720	37	264
51 % AP + 49 % EC	2.160	2.080	-	4.240	28	60	-	88	1.800	717	38	283

<sup>(1)</sup> AP = aveia preta; EC = ervilhaca comum; NF = nabo forrageiro. <sup>(2)</sup> MSsa = matéria seca solúvel em água; Nsa = nitrogênio solúvel em água; Csa = carbono orgânico solúvel em água.

tempo, realizando-se oito coletas (uma bolsa/coleta): aos 15, 29, 43, 59, 71, 82, 112 e 182 dias da instalação das parcelas. Durante a realização do experimento no campo, foram registrados dados de precipitação pluviométrica e temperatura do ar, para subsidiar a interpretação dos resultados (Figura 1).

Após cada período de amostragem, os resíduos vegetais foram submetidos à secagem em estufa a 65 °C até obtenção de massa constante, para a determinação da matéria seca remanescente (MSR). Nesses materiais, foi tomada uma fração de 1 g, a qual foi incinerada em mufla a 550 °C durante 4 h para a determinação de cinzas, expressando-se a matéria seca livre da contaminação com solo, conforme procedimento descrito por Christensen (1985).

Na MSR dos resíduos culturais de cada coleta, foram determinadas as concentrações de N para calcular as quantidades remanescentes de N (NR). Na coleta realizada aos 15 dias, também foram determinadas a quantidade de MSsa e a sua concentração em Csa e Nsa.

### Análise dos efeitos dos tratamentos

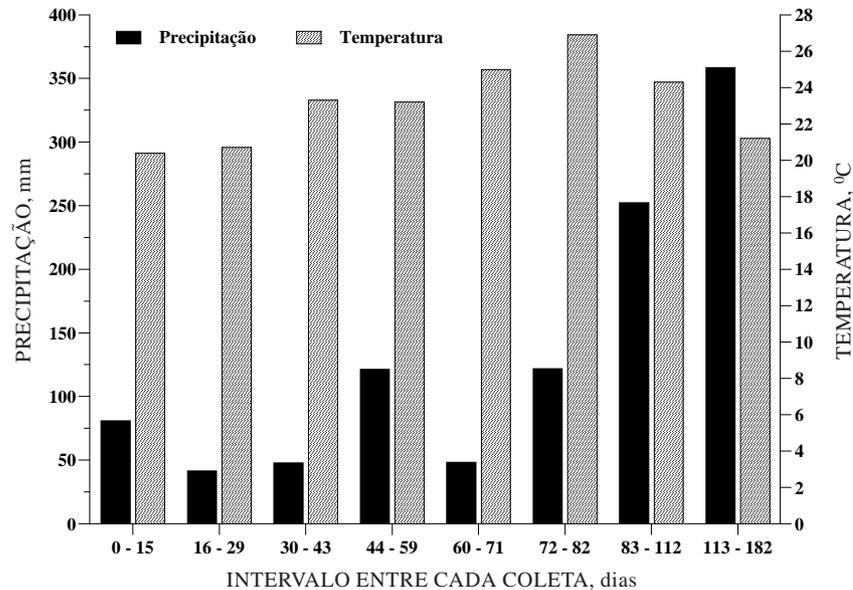
As taxas de decomposição da matéria seca (MS) e de liberação de N dos resíduos culturais das plantas de cobertura foram estimadas, ajustando-se modelos de regressão não lineares aos valores observados, conforme proposto por Wieder & Lang (1982). Os dois modelos ajustados têm a seguinte equação matemática:

$$MSR \text{ e } NR = A e^{-kat} + (100-A) \quad (1)$$

$$MSR \text{ e } NR = A e^{-kat} + (100-A) e^{-kbt} \quad (2)$$

em que MSR e NR = percentagem de matéria seca e N remanescentes no tempo  $t$  (dias);  $k_a$ ,  $k_b$  = taxas constantes de decomposição da matéria seca e de liberação de N do compartimento mais facilmente decomponível (A) e do compartimento mais recalcitrante (100-A), respectivamente.

Os dois modelos consideram que a MS e o N dos resíduos culturais podem ser divididos em dois compartimentos. No modelo assintótico (Eq. 1),



**Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura média do ar em cada intervalo de coleta dos sacos de decomposição durante o período em que permaneceram no campo.**

apenas a MS e o N do compartimento mais facilmente decomponível (A) são transformados, diminuindo exponencialmente com o tempo a uma taxa constante. A MS e o N do segundo compartimento (100-A) são considerados mais recalcitrantes e, por isso, não sofrem transformação no período de tempo considerado. No modelo exponencial duplo (Eq. 2), a MS e o N dos dois compartimentos diminuem exponencialmente a taxas constantes, sendo que a primeira fração é transformada a taxas mais elevadas do que a segunda, que é de mais difícil decomposição (recalcitrante).

A escolha do tipo de modelo em cada tratamento foi feita com base nos valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o qual indica o grau de associação entre o modelo ajustado e os valores observados.

A partir dos valores da constante de decomposição da MS ou da liberação de N de cada compartimento, calculou-se o tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ), ou seja, o tempo necessário para que 50 % da MS daquele compartimento seja decomposta e 50 % do N seja liberado. Para este cálculo, utilizou-se a fórmula a seguir, cuja dedução é apresentada em Paul & Clark (1996):

$$t_{1/2} = 0,693 / k_{(a,b)} \quad (3)$$

Utilizando os modelos ajustados para a liberação de N em cada tratamento, estimou-se a liberação cumulativa de N durante o período de avaliação. Para isso, multiplicou-se a percentagem de liberação do nutriente em cada coleta, obtida através dos modelos, pelas quantidades iniciais de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) contidas nos sacos de decomposição (Quadro 2).

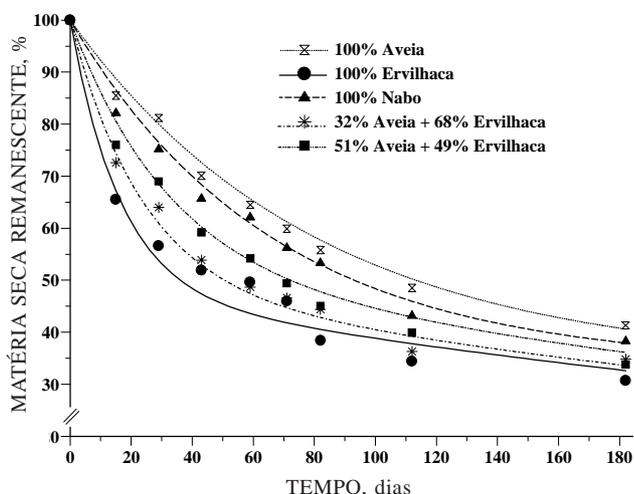
Os dados obtidos para a fração solúvel em água fria da primeira coleta e para os parâmetros dos modelos ajustados (compartimento A, taxas de decomposição e liberação de N e  $t_{1/2}$ ) foram submetidos à análise de variância, comparando-se as médias de tratamento pelo teste Tukey a 5 %.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Decomposição dos resíduos culturais

Em todos os tratamentos, a cinética do processo de decomposição dos resíduos culturais apresentou um padrão semelhante, com uma fase inicial rápida seguida de outra mais lenta (Figura 2). Ao final do primeiro mês após a colocação das bolsas de decomposição no campo, 81 % da matéria seca (MS) inicial da aveia ainda permanecia na superfície do solo contra 57 % da ervilhaca, confirmando resultados de outros estudos em que a taxa de decomposição de leguminosas superou a de gramíneas (Ranells & Waggar, 1992; Da Ros, 1993). O nabo apresentou um comportamento intermediário ao da aveia e ervilhaca solteiras, uma vez que, nesse período, 75 % da sua MS inicial ainda estava sobre o solo.

A presença da aveia nos consórcios com ervilhaca reduziu a velocidade de decomposição dos resíduos culturais em relação à ervilhaca solteira. Com isso, as curvas de decomposição dos dois tratamentos envolvendo consórcio entre aveia e ervilhaca situaram-se num patamar intermediário ao observado nos tratamentos com essas duas espécies



**Figura 2. Matéria seca remanescente dos resíduos culturais de plantas de cobertura solteiras e consorciadas, em avaliações realizadas no campo até 182 dias após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo.**

em culturas solteiras (Figura 2). Tais resultados podem ser atribuídos às alterações na composição química da fitomassa dos consórcios em relação às culturas solteiras.

Observa-se, no quadro 1, que as concentrações de N total (N), N solúvel em água (Nsa) e C solúvel em água (Csa) diminuíram com o aumento na proporção de MS de aveia (AP). Segundo Reinertsen et al. (1984), quanto maior a quantidade de C e N solúveis em água, mais rápida será a decomposição inicial dos resíduos culturais, especialmente pela flora bacteriana. Além disso, os compostos carbonados e nitrogenados solúveis em água podem ser lixiviados dos resíduos culturais, aumentando sua decomposição inicial (Swift et al., 1979).

O aumento nas relações C/N e Csa/Nsa da fitomassa com o aumento na proporção de MS de aveia (Quadro 1) também deve ter contribuído para diminuir a velocidade de decomposição dos resíduos culturais, em relação à ervilhaca solteira. Essa redução na taxa de decomposição, induzida pelo aumento de aveia, constitui-se numa vantagem do consórcio entre aveia e ervilhaca, em relação à ervilhaca solteira, já que ele preserva maior quantidade de resíduos culturais sobre o solo, contribuindo para a manutenção da umidade do solo e para sua proteção contra o efeito erosivo da chuva.

A análise de correlação linear simples entre a matéria seca remanescente (MSR) em três datas (29, 82 e 182 dias após o manejo das espécies) e alguns constituintes dos resíduos culturais mostrou que a MSR foi inversamente proporcional aos teores de N, Nsa e Csa e diretamente proporcional à relação C/N (Quadro 3), confirmando resultados de outros estudos tanto em condições de laboratório como de campo (Ranells & Wagge, 1992; Trinsoutrot et al., 2000).

A ervilhaca solteira, com maior concentração de N, Nsa e Csa do que os resíduos culturais da aveia (Quadro 1), apresentou a menor quantidade de MSR (Figura 2). Em trabalho realizado por Trinsoutrot et al. (2000), em condições de laboratório, também houve uma correlação positiva entre a fração solúvel em água dos resíduos culturais de colza (*Brassica napus* L.) e a sua taxa de decomposição nos primeiros dias após a incubação. Esses autores observaram que, a partir dos 28 dias, outras formas de C, como celulose (CEL) hemicelulose (HEM) e lignina (LIG), e a relação LIG/N correlacionaram-se melhor com a velocidade de decomposição do material orgânico.

Para Reinertsen et al. (1984) e Christensen (1985), a elevada taxa inicial de decomposição dos resíduos culturais se deve à facilidade com que os compostos orgânicos, especialmente os carboidratos

**Quadro 3. Coeficientes de correlação linear simples entre as quantidades remanescentes de matéria seca e de nitrogênio com algumas características dos resíduos culturais, nas coletas realizadas aos 29, 82 e 182 dias da distribuição das bolsas de decomposição no campo**

Variável	N <sup>(1)</sup>	C/N	Nsa	Csa	Csa/Nsa	CEL	HEM	LIG	LIG/N
MSR <sup>(2)</sup>									
29 dias	-0,994***	0,951**	-0,987**	-0,956**	0,714	0,992***	0,559	-0,392	0,897*
82 dias	-0,993***	0,951**	-0,985**	-0,892*	0,798	0,986**	0,434	-0,277	0,950**
182 dias	-0,967*	0,967**	-0,942**	-0,902*	0,704	0,949**	0,518	-0,389	0,899*
NR									
29 dias	-0,987**	0,947**	-0,982**	-0,853	0,852	0,986***	0,433	-0,297	0,960**
82 dias	-0,982**	0,920*	-0,983**	-0,830	0,878	0,994***	0,485	-0,326	0,937**
182 dias	-0,946**	0,979**	-0,915*	-0,977**	0,552	0,882*	0,818	-0,698	0,701

<sup>(1)</sup> N = nitrogênio; Nsa = nitrogênio solúvel em água; Csa = carbono solúvel em água; CEL = celulose; HEM = hemicelulose; LIG = lignina. <sup>(2)</sup> AP = aveia preta; EC = ervilhaca comum; NF = nabo forrageiro. <sup>(2)</sup> MSR = matéria seca remanescente; NR = nitrogênio remanescente. \*, \*\*, \*\*\*, significativos a 5, 1 e 0,1 %, respectivamente.

da fração solúvel em água, são utilizados como fonte de energia pela população microbiana. Nos primeiros 15 dias após a colocação dos resíduos culturais no campo, houve uma redução, em todos os tratamentos, nas quantidades iniciais de MSsa, Csa e Nsa e na relação Csa/Nsa (Quadro 4). Essa redução foi maior nos valores de MSsa, variando de 68 % na aveia solteira a 86 % na ervilhaca solteira, seguida pelos valores de Csa que variaram de 50 a 78 % nesses mesmos tratamentos.

Considerando que, durante os primeiros 15 dias, a quantidade de água das precipitações pluviométricas ocorridas totalizou 80,9 mm (Figura 1), é provável que, além da decomposição microbiana, parte da diminuição nas quantidades de MSsa, Csa e Nsa dos resíduos culturais tenha sido provocada por lixiviação. Todavia, as determinações realizadas não permitem separar a magnitude desses dois processos, os quais ocorrem simultaneamente.

Embora diversos estudos indiquem que a taxa de decomposição dos resíduos culturais é inversamente proporcional à sua concentração em lignina (Trinsoutrot et al., 2000; Ranells & Wagger, 1992), isso não foi observado no presente estudo (Quadro 3). Tomando como exemplo as culturas solteiras de aveia e ervilhaca, observa-se que a gramínea, apesar de ter apresentado menor proporção de LIG (66,5 g kg<sup>-1</sup>) do que a ervilhaca (83,4 g kg<sup>-1</sup>), foi mais lentamente decomposta do que a leguminosa (Figura 2). Observa-se, no quadro 3, que a proporção entre LIG/N e a concentração de CEL dos resíduos culturais foram os melhores indicadores da dinâmica da decomposição. Tais resultados evidenciam que, utilizada isoladamente, a concentração de LIG pode não ser um bom indicador da velocidade de decomposição dos resíduos culturais.

Com relação aos modelos avaliados, aquele que melhor se ajustou aos valores de MSR observados na aveia e no nabo solteiros foi o assintótico (Eq. 1), enquanto o modelo exponencial duplo (Eq. 2) foi o

mais adequado aos valores de MSR dos três tratamentos com ervilhaca (Quadro 5). Na ervilhaca solteira, o compartimento mais facilmente decomponível (A) representou 52,3 % da MS dos resíduos culturais cuja taxa constante de decomposição (*k*) foi de 0,06119 dia<sup>-1</sup>, o que resultou num tempo de meia vida (*t*<sub>1/2</sub>) da MS deste compartimento de 11 dias. Na aveia e no nabo, observa-se que, aproximadamente, 66 % da MS apresentou valores de *k* e de meia vida que não diferiram significativamente entre as duas espécies, embora haja uma tendência à maior decomposição dos resíduos culturais do nabo (*t*<sub>1/2</sub> 11 % inferior ao da aveia).

A alteração na composição bioquímica dos resíduos culturais, pela inclusão da aveia nos consórcios com ervilhaca (Quadro 1), modificou significativamente alguns parâmetros do modelo, em relação à ervilhaca solteira, especialmente a taxa constante de decomposição (*k*) do compartimento mais facilmente decomponível. Quando a proporção de MS de aveia foi de 51 %, o valor de *k* da MS desse compartimento foi praticamente a metade (*k*<sub>a</sub> = 0,03113 dia<sup>-1</sup>) daquele da ervilhaca solteira (*k*<sub>a</sub> = 0,06119 dia<sup>-1</sup>).

A quantidade de MS do compartimento mais facilmente decomponível e os valores da constante de decomposição (*k*<sub>b</sub>) e de meia vida (*t*<sub>1/2</sub>) da MS do compartimento mais lentamente decomponível (100-A) foram próximos nos três tratamentos com ervilhaca (Quadro 5). Para aproximadamente a metade da quantidade de fitomassa do tratamento com ervilhaca solteira e daquele com 51 % AP + 49 % EC, o tempo de meia vida foi de 331 e 341 dias, respectivamente. Já o tempo de meia vida dos outros 50 % da fitomassa (compartimento A) desses mesmos tratamentos foi de apenas 11 e 22 dias, respectivamente.

Esse resultado se deve ao fato de que, após a rápida decomposição inicial daquela fração de MS mais facilmente decomponível (Christensen, 1985),

**Quadro 4. Matéria seca, carbono e nitrogênio solúveis em água nos resíduos culturais da coleta realizada 15 dias após a distribuição das bolsas de decomposição no campo**

Tratamento <sup>(1)</sup>	Fração solúvel em água			
	MSsa <sup>(2)</sup>	Csa	Nsa	Csa/Nsa
	kg ha <sup>-1</sup>			
100 % AP	187 (68) <sup>(3)</sup>	111 (50)	14,7 (41)	7,6 (14)
100 % EC	88 (86)	51 (78)	8,9 (73)	5,7 (17)
100 % NF	168 (77)	102 (60)	13,5 (41)	7,5 (31)
32 % AP + 68 % EC	131 (82)	74 (72)	13,4 (64)	5,5 (24)
51 % AP + 49 % EC	165 (77)	107 (62)	17,5 (54)	6,2 (17)
Tukey 5 %	96	29	4,2	0,9

<sup>(1)</sup> AP = aveia preta; EC = ervilhaca comum; NF = nabo forrageiro. <sup>(2)</sup> MSsa = matéria seca solúvel em água; Csa = carbono orgânico solúvel em água; Nsa = nitrogênio solúvel em água; <sup>(3)</sup> Valores entre parênteses referem-se à percentagem de redução, em relação às quantidades de MSsa, Csa e Nsa colocadas inicialmente no campo.

**Quadro 5. Parâmetros dos modelos ajustados aos valores medidos de matéria seca e nitrogênio remanescente, tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ) de cada compartimento e valores de  $R^2$  em cada tratamento**

Tratamento <sup>(1)</sup>	A	$k_a$	$k_b$	$t_{1/2}$		$R^2$
				A	(100-A)	
	%	dia <sup>-1</sup>		dias		
Matéria seca remanescente (MSR) <sup>(2)</sup>						
100 % AP	66,4 a <sup>(4)</sup>	0,01359 c	-	51 a	-	0,98
100 % EC	52,3 b	0,06119 a	0,00209	11 b	331	0,98
100 % NF	66,3 a	0,01507 c	-	46 a	-	0,99
32 % AP + 68 % EC	51,1 b	0,04264 ab	0,00207	16 b	334	0,99
51 % AP + 49 % EC	48,0 b	0,03113 bc	0,00203	22 c	341	0,99
Nitrogênio remanescente (NR) <sup>(3)</sup>						
100 % AP	31,4 c	0,04196 b	-	16,5 a	-	0,97
100 % EC	51,9 a	0,13313 a	0,00326 a	5,2 b	213 a	0,99
100 % NF	15,3 d	0,18843 a	0,00286 ab	3,7 b	242 b	0,97
32 % AP + 68 % EC	46,3 ab	0,15457 a	0,00182 bc	4,5 b	354 b	0,98
51 % AP + 49 % EC	39,6 b	0,14420 a	0,00211 bc	4,8 b	328 b	0,99

<sup>(1)</sup> AP = aveia preta; EC = ervilhaca comum; NF = Nabo forrageiro. <sup>(2)</sup> MSR =  $A e^{(-k_a t)} + (100-A)$  nos tratamentos 100 % AP e 100 % NF; MSR =  $A e^{(-k_a t)} + (100-A) e^{(-k_b t)}$  nos tratamentos contendo EC. <sup>(3)</sup> NR =  $A e^{(-k_a t)} + (100-A)$  no tratamento 100 % AP; NR =  $A e^{(-k_a t)} + (100-A)$  nos tratamentos com EC e 100 % NF. <sup>(4)</sup> Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si (Tukey 5 %).

sobram compostos mais recalcitrantes ao ataque microbiano, como, por exemplo, lignina e polifenóis (Paul & Clark, 1996). Em um estudo realizado em laboratório, Christensen (1985) verificou que, com a remoção da fração solúvel em água dos resíduos da cevada, houve uma redução de 50 % na evolução de CO<sub>2</sub>, após 203 dias de incubação a 15 °C.

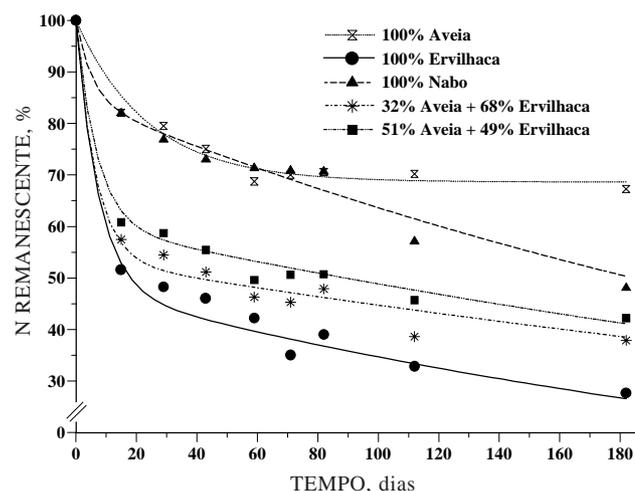
Analisando a figura 2, observa-se que, seis meses após o manejo das espécies, a percentagem média de MSR dos consórcios entre aveia e ervilhaca foi de 34 %, valor próximo ao obtido com a ervilhaca solteira (31 %). Todavia, deve-se ressaltar que estes percentuais representam apenas 820 kg ha<sup>-1</sup> de MSR na ervilhaca contra 1.320 kg ha<sup>-1</sup> nos consórcios. Essa diferença nas quantidades de MSR, apesar de o percentual de diminuição ser próximo, é atribuída à quantidade média de fitomassa adicionada nos consórcios, que foi 46 % superior à da ervilhaca (Quadro 2).

### Dinâmica de liberação de N dos resíduos culturais

O N remanescente (NR), expresso como percentagem do N inicial, seguiu o mesmo comportamento observado para a matéria seca remanescente (MSR), apresentando duas fases distintas: uma, nas primeiras duas semanas após o manejo, onde o N foi rapidamente liberado, e a outra, após este período, em que o N foi liberado mais lentamente (Figura 3).

A quantidade de N remanescente (NR) foi diretamente proporcional à concentração de celulose (CEL) e às relações C/N e LIG/N e inversamente

proporcional às concentrações de N total (N) e N solúvel em água (Nsa) do tecido vegetal das plantas de cobertura (Quadro 3). No tratamento com ervilhaca solteira, que apresentou a menor relação C/N e LIG/N e as maiores concentrações de N total e Nsa (Quadro 1), foram encontradas as menores quantidades de N remanescente em toda a fase experimental. Já na primeira amostragem, realizada 15 dias após a distribuição dos sacos de decomposição no campo, apenas a metade do N



**Figura 3. Nitrogênio remanescente dos resíduos culturais de plantas de cobertura solteiras e consorciadas, em avaliações realizadas até 182 dias após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo.**

adicionado ainda permanecia nos resíduos culturais (Figura 3). Na aveia, com relação C/N mais elevada (40,3) e menor concentração de N<sub>sa</sub> (Quadro 1), cerca de 80 % do N adicionado pela gramínea foi encontrado nos resíduos culturais neste mesmo período. Tais resultados confirmam aqueles obtidos em condições de campo por Wagger (1989b), Amado et al. (2000) e Aita et al. (2001). Em condições controladas, Trinsoutrot et al. (2000) também verificaram que a concentração de N e a relação C/N de 47 tipos de resíduos culturais foram os melhores indicadores da dinâmica do N no solo.

No nabo, as quantidades de N remanescentes encontradas nos primeiros 60 dias apresentaram um comportamento semelhante ao observado na aveia solteira (Figura 3). Somente a partir desse período, percebeu-se um comportamento diferenciado entre as duas culturas: o N remanescente no nabo continuou a diminuir e na aveia permaneceu constante (Figura 3). A quantidade de N remanescente nos resíduos culturais do nabo nos primeiros 30 dias (77 % do N adicionado) foi elevada, quando comparada àquela encontrada por Basso (1999) de 50 % no mesmo período. A maior quantidade de N remanescente no nabo, no presente estudo, foi atribuída ao fato de ter sido a cultura coletada após o estágio de florescimento pleno, quando já se observava queda significativa de folhas no campo. Com isso, é provável que tenham aumentado a relação C/N, a proporção hastes/folhas e a concentração de componentes nitrogenados mais recalcitrantes à decomposição microbiana.

Analisando os dois consórcios entre aveia e ervilhaca, observa-se que, com a inclusão da aveia, foi pequena a redução na velocidade de liberação de N, em relação à ervilhaca solteira, sobretudo na fase inicial de decomposição dos resíduos culturais (Figura 3). Esse comportamento pode ser atribuído à composição da fitomassa dos consórcios. Observa-se, no quadro 2, que, mesmo consorciando aveia e ervilhaca, a quantidade de N acumulada pela leguminosa foi elevada, atingindo, em média, 82 % da quantidade de N encontrada no tratamento com ervilhaca solteira. Além disso, a relação C/N média da matéria seca dos consórcios de 19,4 é mais próxima da ervilhaca (C/N = 14,8) do que da aveia (C/N = 40,3).

Considerando as características da aveia, esperava-se que a sua inclusão nos consórcios com a ervilhaca proporcionasse uma redução maior na percentagem de liberação de N em relação à leguminosa solteira, principalmente na fase inicial da decomposição dos resíduos culturais. Todavia, resultados semelhantes a esses também foram encontrados por Ranells & Wagger (1996), ao avaliarem a liberação de N dos resíduos culturais de centeio e ervilhaca peluda. Esses autores concluíram que, quando a matéria seca produzida pelas duas espécies consorciadas foi equivalente, não

houve redução significativa na liberação de N, em relação ao monocultivo da leguminosa.

Em conformidade ao observado anteriormente para a evolução das quantidades de MS, o modelo assintótico se ajustou melhor aos valores observados para a evolução das quantidades de N na aveia, enquanto, nos tratamentos com ervilhaca, o modelo exponencial duplo foi o mais adequado. O fato de o modelo exponencial duplo ter-se ajustado melhor aos valores de NR do nabo do que aos valores de MSR (Quadro 5) indica que a diminuição das quantidades de N nos resíduos culturais da crucífera foi proporcionalmente maior do que aquela ocorrida na MS.

Comparando as culturas solteiras, observa-se que a taxa constante de liberação do N do compartimento mais facilmente mineralizável não variou significativamente entre o nabo e a ervilhaca solteira, apresentando um tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ) de 3,7 e 5,2 dias, respectivamente (Quadro 5). Todavia, a proporção do N presente nesse compartimento foi cerca de 3,4 vezes maior na ervilhaca em relação ao nabo (51,9 vs. 15,3 %). Quanto à aveia solteira, o N contido no compartimento mais facilmente mineralizável situou-se num nível intermediário ao observado na ervilhaca e no nabo, embora a taxa constante de liberação de N tenha sido significativamente inferior ao dessas duas culturas. Na aveia, o modelo ajustado considerou que 68,6 % do N dos resíduos culturais foram recalcitrantes, não sendo liberados durante os 182 dias do experimento.

Os valores de  $k_a$  não diferiram entre os tratamentos com ervilhaca solteira (EC) e aqueles com os consórcios entre aveia e ervilhaca (Quadro 5). Porém, na ervilhaca, o modelo ajustado estimou que 51,9 % do N dos resíduos culturais da leguminosa fazem parte do compartimento mais facilmente mineralizável contra apenas 39,6 % no consórcio com 51 % de MS de aveia. Tais resultados indicam que, para quantidades equivalentes de N adicionadas com esses dois tratamentos, haverá maior quantidade de N liberada dos resíduos culturais da ervilhaca solteira em relação ao consórcio com 51 % de MS de aveia, apesar de as taxas constantes de decomposição serem próximas.

Comparando a ervilhaca solteira ao consórcio com 32 % AP + 68 % EC, observa-se que todos os parâmetros do modelo para o N mais facilmente mineralizável desses dois tratamentos não diferiram entre si. Apenas o valor da taxa constante de liberação do N mais recalcitrante ( $k_b$ ) diferiu entre esses tratamentos, resultando num tempo de meia vida de 213 dias na ervilhaca solteira e de 354 dias no consórcio 32 % AP + 68 % EC.

Uma das vantagens almejadas com o consórcio entre leguminosas e não-leguminosas consiste em diminuir a velocidade de liberação de N logo após o manejo das plantas de cobertura, em relação às

leguminosas solteiras, visando otimizar a sincronia entre a liberação de N dos seus resíduos culturais e a demanda em N pelas culturas que se deseja instalar em sucessão. Todavia, os resultados deste estudo evidenciam que é pequena a redução na velocidade de liberação do N dos resíduos culturais, quando a ervilhaca é consorciada com aveia.

### Estimativa das quantidades de N liberado dos resíduos culturais

A maior quantidade de N liberado ocorreu nos primeiros 15 dias após o manejo (Figura 4), atingindo  $36,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na ervilhaca solteira, que equivale a 46 % do N adicionado (Quadro 2) e  $33,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N no tratamento 51 % AP + 49 % EC (38 % do N adicionado). Comportamento semelhante foi observado por Amado et al. (2000): a quantidade de N liberado na ervilhaca solteira nos primeiros 15 dias foi semelhante à do consórcio entre aveia + ervilhaca. Valores relativamente mais distantes entre as quantidades liberadas durante o primeiro mês de decomposição da ervilhaca peluda quando em cultura solteira ( $92 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) e quando consorciada ao centeio ( $62 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) foram encontrados por Ranells & Wagger (1996).

A rápida liberação do N dos resíduos culturais dos tratamentos, incluindo a ervilhaca, poderá contribuir para aumentar as perdas de N, diminuindo o potencial da leguminosa como fonte de N às culturas comerciais. A elevada taxa de amonificação, especialmente do N solúvel, poderá resultar em perdas de N por volatilização de amônia, como constataram Jansen & McGinn (1991) durante a decomposição dos resíduos culturais de lentilha (*Lens culinaris* Medic.). Considerando que o N amonificado é rapidamente nitrificado, poderão

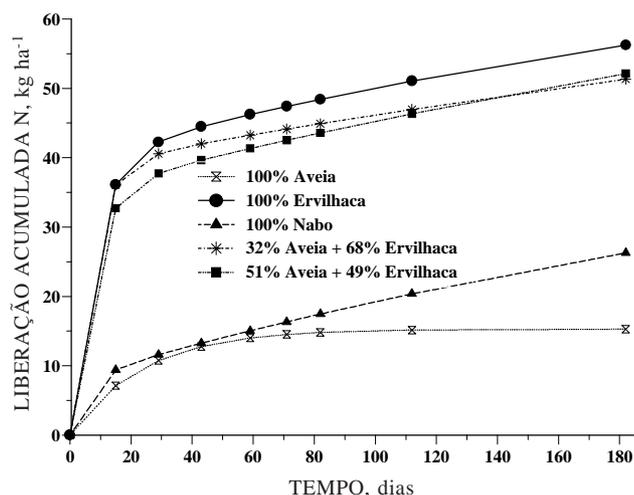
ocorrer perdas de N também por lixiviação de  $\text{N-NO}_3^-$ , caso o volume de água das chuvas seja suficiente para ocasionar percolação de água no perfil do solo (McCracken et al., 1994; Giacomini, 2001), e por desnitrificação em locais de anaerobiose no solo (Aulakh et al., 1991).

Acredita-se que a magnitude das perdas de N por esses três processos seja maior na fase inicial de decomposição dos resíduos culturais da ervilhaca, já que, em sistemas de culturas, as espécies comerciais foram recém-implantadas e a sua demanda em N é praticamente nula. Trabalhando em sistema plantio direto, Giacomini (2001) constatou que o milho após a ervilhaca acumulou apenas  $12 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na parte aérea no primeiro mês após a sua semeadura e que a quantidade de  $\text{N-NO}_3^-$ , na camada de 30-60 cm do solo do tratamento com ervilhaca, superou aquela do tratamento em pousio invernal em  $5,3 \text{ kg ha}^{-1}$ , evidenciando o maior potencial de perdas de N por lixiviação de  $\text{N-NO}_3^-$  após a leguminosa.

No intervalo entre 29 e 82 dias, quando a demanda em N pelas culturas comerciais é elevada, as quantidades de N liberado dos resíduos culturais das plantas de cobertura foram muito pequenas (Figura 4). O valor médio de aproximadamente  $7,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N dos três tratamentos que continham ervilhaca estão muito aquém das necessidades das culturas para o alcance de tetos elevados de produtividade, especialmente de cereais como o milho.

O N liberado pela ervilhaca solteira 182 dias após o manejo da leguminosa foi de  $56 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (73 % do N adicionado) contra apenas  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na aveia (Figura 4). Os dois tratamentos com aveia e ervilhaca consorciadas liberaram, em média,  $52 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (61 % do N adicionado). Embora a quantidade de N liberado do tecido vegetal do nabo ( $27,1 \text{ kg ha}^{-1}$  de N; 51 % do N adicionado) tenha superado a da aveia, ela foi metade daquela observada na ervilhaca solteira. Estes resultados evidenciam a importância das leguminosas de outono/inverno na melhoria do balanço de N no solo. Todavia, considerando a elevada taxa de liberação do N das leguminosas logo após o seu manejo, é fundamental que a pesquisa busque estratégias para maximizar o aproveitamento desse N pelas culturas comerciais.

A maior, ou menor, proximidade entre as quantidades de N liberadas pelas leguminosas solteiras e quando consorciadas com gramíneas dependerá não apenas da taxa com que o N é liberado dos resíduos culturais, mas também da quantidade total de N presente na fitomassa das espécies. No presente estudo, as quantidades de N liberadas pela ervilhaca e pelos consórcios foram próximas (Figura 4), porque os consórcios adicionaram, em média, 11 % mais N pela fitomassa do que a ervilhaca (Quadro 2).



**Figura 4. Liberação acumulada de nitrogênio dos resíduos culturais de plantas de cobertura solteiras e consorciadas, em avaliações realizadas até 182 dias após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo.**

Os resultados relativos à liberação de N indicam que, provavelmente, nas condições do Sul do Brasil, onde, na primavera, as condições climáticas são favoráveis à decomposição dos resíduos culturais das plantas de cobertura, dificilmente será possível otimizar a sincronia entre a liberação de N com a demanda de N pelas culturas comerciais. Mesmo consorciando leguminosas e não-leguminosas e em sistema plantio direto, onde os resíduos culturais permanecem na superfície do solo, a liberação de N na fase inicial de decomposição supera a quantidade de N acumulado pelas culturas comerciais.

### CONCLUSÕES

1. Com a consorciação de aveia e ervilhaca, houve uma redução na decomposição dos resíduos culturais, em relação à ervilhaca solteira, porém o efeito dessa prática sobre a velocidade de liberação de N na fase inicial de decomposição foi pequena.

2. A velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos culturais das plantas de cobertura foi inversamente proporcional às relações C/N e LIG/N e diretamente proporcional às concentrações de N total na fitomassa e de N e C da fração solúvel em água.

3. Na ervilhaca solteira e nos consórcios de aveia + ervilhaca, a maior parte do N foi liberada durante os primeiros quinze dias de decomposição dos resíduos culturais.

### LITERATURA CITADA

- AITA, C. Couplage des cycles du carbone et de l'azote dans les sols cultivés: étude, au champ, des processus de décomposition après apport de matière organique fraîche. Paris, Université Paris VI, 1996. 196p. (Tese de Doutorado)
- 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, 25:157-165, 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.
- AULAKH, M.S.; DORAN, J.W.; WALTERS, D.T.; MOSIER, A.R. & FRANCIS, D.D. Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:1020-1025, 1991.
- 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)
- CHRISTENSEN, B.T. Wheat and barley straw decomposition under field conditions: effect of soil type and plant cover on weight loss, nitrogen and potassium content. Soil Biol. Biochem., 17:691-697, 1985.
- 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. 85p. (Tese de Mestrado)
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N. & HEINZMANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. Pesq. Agropec. Bras., 20:761-773, 1985.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. 412p.
- 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)
- HEINRICHS, R.; AITA, C.; AMADO, T.J.C. & FANCELLI, A.L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. R. Bras. Ci. Solo, 25:331-340, 2001.
- JANSEN, H.H. & MCGINN, S.M. Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure. Soil Biol. Biochem., 23:291-297, 1991.
- MCCRACKEN, D.V.; SMITH, M.S.; GROVE, J.H.; MACKOWN, C.T. & BLEVINS, R.L. Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source. Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1476-1483, 1994.
- PAUL, E.A. & CLARK, F.E. Soil microbiology and biochemistry. 2.ed. Califórnia, Academic Press, 1996. 340p.
- RANELLS, N.N. & WAGGER, M.G. Nitrogen release from crimson clover in relation to plant growth stage and composition. Agron. J., 84:424-430, 1992.
- RANELLS, N.N. & WAGGER, M.G. Nitrogen release grass and legume cover crop monocultures and bicultures. Agron. J., 88:777-782, 1996.
- REINERTSEN, S.A.; ELLIOTT, 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.
- SWIFT, M.J.; HEAL, O.W. & ANDERSON, J.M. Decomposition in terrestrial ecosystem. Oxford, Blackwell, 1979. 372p.
- 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)
- TRINSOUTROT, I.; RECOUS, S.; BENTZ, B.; LINÈRES, D.; CHÈNEBY, D. & NICOLARDOT, B. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. Soil Sci. Soc. Am. J., 64:918-926, 2000.

- VAN SOEST, P.J. Use of detergent in the analysis of fibrous feeds I. Preparation of fiber residues of low nitrogen content. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 46:825-835, 1963.
- WAGGER, M.G. Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yield of no-till corn. *Agron. J.*, 81:533-538, 1989a.
- WAGGER, M.G. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. *Agron. J.*, 81:236-241, 1989b.
- 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.