

FITOMASSA E DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE PLANTAS DE COBERTURA PURAS E CONSORCIADAS⁽¹⁾

Alexandre Doneda⁽²⁾, Celso Aita⁽³⁾, Sandro José Giacomini⁽⁴⁾, Ezequiel Cesar Carvalho Miola⁽²⁾, Diego Antonio Giacomini⁽⁵⁾, Janquieli Schirmann⁽⁵⁾ & Rogério Gonzatto⁽⁶⁾

RESUMO

O cultivo de plantas de cobertura, no outono/inverno, na região do Planalto do Rio Grande Sul contribui para o sucesso do sistema plantio direto. No entanto, informações relativas à produção de fitomassa e decomposição de resíduos dessas espécies ainda são escassas para a região, sobretudo para espécies consorciadas. O experimento foi conduzido em Não-Me-Toque, RS, em um Latossolo Vermelho distrófico típico, avaliando-se nove tratamentos, sendo quatro constituídos por plantas de cobertura em culturas puras [centeio (*Secale cereale* L.), aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb), ervilha forrageira (*Pisum sativum* subesp. *arvense*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg)] e cinco por consórcios [(centeio + ervilha forrageira, centeio + nabo forrageiro, aveia + nabo forrageiro, centeio + ervilhaca (*Vicia sativa* L.) e aveia + ervilhaca)]. A dinâmica de decomposição dos resíduos culturais das plantas de cobertura foi avaliada em bolsas de decomposição, as quais foram distribuídas na superfície do solo e coletadas aos sete, 14, 21, 28, 57, 117 e 164 dias. O consórcio entre leguminosas e crucífera com gramíneas resultou em maior produção de fitomassa em relação ao cultivo destas em culturas puras. O nitrogênio (N) acumulado na parte aérea dos consórcios formados por ervilha forrageira e nabo com centeio e aveia foi semelhante ao da leguminosa e da crucífera em culturas puras e superou em 220,4 % os valores de N observados para as gramíneas em culturas puras. Por meio do consórcio entre as espécies de cobertura foi possível reduzir a taxa de decomposição dos resíduos culturais, em comparação com as culturas puras da leguminosa e da crucífera.

Termos de indexação: mineralização, plantio direto, adubação verde, consorciação.

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Recebido para publicação em 17 de agosto de 2011 e aprovado em 02 de outubro de 2012.

⁽²⁾ Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFSM, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Solos. Caixa Postal 221. Avenida Roraima, 1000, Camobi. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). Bolsista do CNPq. E-mail: alexandredoneda@gmail.com; ezequielmiola@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor Associado, Departamento de Solos, UFSM. Bolsista do CNPq. E-mail: celsoaita@gmail.com

⁽⁴⁾ Professor Adjunto, Departamento de Solos, UFSM. E-mail: sjgiacomini@smail.ufsm.br

⁽⁵⁾ Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFSM. E-mail: diegogiacomini14@hotmail.com; janquieli@hotmail.com

⁽⁶⁾ Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFSM. Bolsista CAPES. E-mail: rogonzatto@yahoo.com.br

**SUMMARY: BIOMASS AND DECOMPOSITION OF COVER CROP RESIDUES
IN MONOCULTURE AND INTERCROPPING**

*The use of cover crops in autumn/winter, in the Planalto region of Rio Grande do Sul, contributes to the success of the no-tillage system. However, information about the biomass production and decomposition of such species in the region is still scarce, especially for cover crop species in consortium. The experiment was conducted in Não-Me-Toque, RS, on an Oxisol, evaluating nine treatments of four cover crops in monoculture [rye (*Secale cereale* L.), oat (*Avena strigosa* Schreb), pea (*Pisum sativum* subsp. *arvense*), and wild radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzger)] and five in intercropping [(rye + pea, radish + rye, oat + radish, rye + vetch (*Vicia sativa* L.) and oat + vetch)]. The decomposition dynamics of cover crop residues was evaluated in litter bags which were distributed on the soil surface and collected after seven, 14, 21, 28, 57, 117, and 164 days. Leguminous and cruciferous intercropped with Gramineae species resulted in greater biomass production compared to cultivation in monoculture. The nitrogen (N) accumulated in the pea and wild radish plants intercropped with rye and oat was similar to the N in the leguminous and cruciferous monocultures and exceeded the N values observed for the Gramineae species in monoculture by 220.4 %. By intercropping cover crops it was possible to reduce the decomposition rate of crop residues compared to the monoculture of leguminous and cruciferous species.*

Index terms: mineralization, no-tillage, green manure, cover crops in intercropping.

INTRODUÇÃO

A utilização de plantas de cobertura de solo vem ganhando cada vez mais espaço em sistema plantio direto (SPD) nas áreas agrícolas do Sul do Brasil. Por meio dessa prática, busca-se atender a uma das premissas básicas do SPD, que é a adequação de sistemas de rotação e sucessão de culturas de modo a otimizar o aporte de material orgânico e nutrientes, bem como proteger o solo dos processos erosivos (Silva et al., 2007; Marcelo et al., 2009). Para isso, é fundamental selecionar plantas de cobertura com maior potencial em produzir fitomassa e acumular, principalmente, carbono (C) e nitrogênio (N), além de conhecer a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais.

O uso de leguminosas como plantas de cobertura constitui uma importante fonte de N ao solo, pelo fato de se associarem simbioticamente com bactérias capazes de transformar o N₂ atmosférico em NH₃ no processo de fixação biológica de N (FBN) (Silva et al., 2006; Aita & Giacomini, 2006). Apesar dessa característica das leguminosas, o que representa uma vantagem, o seu uso no Sul do Brasil ainda é restrito, relativamente às gramíneas, com destaque para a aveia. Isso ocorre pelo seu maior custo de implantação, menor rendimento de matéria seca, desenvolvimento inicial mais lento e rápida decomposição dos resíduos culturais, além da possibilidade de serem hospedeiras de pragas (Silva et al., 2006).

Contudo, para a região Sul do Brasil, a utilização de leguminosas em culturas puras como plantas de cobertura de solo antecedendo o milho tem demonstrado que a decomposição dos resíduos culturais ocorre rapidamente, com o solo ficando desprotegido logo no início do cultivo, além de não

haver boa sincronia entre a liberação e a demanda de N pelo milho (Aita & Giacomini, 2003; Silva et al., 2006). Por outro lado, quando são utilizadas gramíneas em culturas puras como plantas de cobertura no outono/inverno, elas podem causar prejuízos às culturas em sucessão, em razão da provável imobilização microbiana de N do solo durante a sua decomposição, embora elas possuam alta capacidade de extração de N do solo (Silva et al., 2006; Kramberger et al., 2009). Apesar disso, a aveia é a principal planta de cobertura de inverno utilizada no Sul do Brasil, em virtude do elevado rendimento de matéria seca, da facilidade na produção, da aquisição de sementes e implantação, além da rapidez na formação de cobertura (Silva et al., 2006). A busca de alternativas à aveia, com vistas a produzir uma cobertura morta eficiente na proteção do solo e, ao mesmo tempo, no fornecimento de N à cultura em sucessão, constitui um desafio à pesquisa local.

Assim, o consórcio entre espécies de plantas de cobertura de solo - principalmente entre gramíneas e leguminosas ou crucíferas - pode ser uma estratégia eficiente para minimizar esses problemas observados com as culturas puras. Isso porque a relação C/N dos resíduos culturais dos consórcios entre espécies é intermediária àquela encontrada no tecido vegetal das espécies cultivadas isoladamente e a relação C/N é considerada uma das principais características controladoras da velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos culturais (Giacomini, 2001).

Estudos relativos ao consórcio de plantas de cobertura ainda são escassos no Brasil, sendo restritos quase que exclusivamente ao consórcio entre aveia-preta e ervilhaca comum (Basso, 1999; Heinrichs et al., 2001). É necessário, portanto, buscar novas espécies para o cultivo consorciado, procurando

estabelecer a proporção adequada de cada espécie no consórcio, de modo a maximizar a produção de fitomassa e adição de C e nutrientes ao solo (Giacomini et al., 2003).

Não obstante, a decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de plantas de cobertura do solo é, também, um aspecto ainda relativamente pouco estudado (Kliemann et al., 2006; Torres et al., 2008), o que evidencia a necessidade de intensificar os trabalhos nessa área, sobretudo sob condições de plantio direto.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de fitomassa e a decomposição de resíduos culturais de plantas de cobertura no outono/inverno, em culturas puras e consorciadas, antecedendo a cultura do milho, em sistema plantio direto na região do Planalto do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em campo no ano agrícola de 2008/2009, na localidade de Mantiqueira, no município de Não-Me-Toque, RS, localizada a 28° 29' de latitude sul, longitude de 52° 51' W GrW e altitude de 493 m. O clima da região é subtropical úmido, tipo Cfa, conforme classificação de Köppen. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2006), pertencente à Unidade de Mapeamento Passo Fundo (Brasil, 1973). As características do solo são mostradas no quadro 1. Anteriormente à implantação do experimento, a área foi cultivada, durante dois anos, com a sucessão trigo/soja em SPD.

As plantas de cobertura foram semeadas em 17/05/2008, em SPD, sobre resíduos culturais de soja. O

Quadro 1. Características física e químicas do solo do experimento nas camadas amostradas

Característica	Camada	
	0 - 5	5 - 15
	cm	
Argila (g kg ⁻¹)	460,0	560,0
pH (H ₂ O)	5,6	5,3
Índice SMP	6,4	6,2
P (mg L ⁻¹)	22,8	20,8
K (mg L ⁻¹)	424,0	260,0
Al ³⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,0	0,5
Ca ²⁺ (cmol _c L ⁻¹)	5,9	4,2
Mg ²⁺ (cmol _c L ⁻¹)	2,5	1,8
H + Al (cmol _c L ⁻¹)	2,8	3,5
CTC efetiva (cmol _c L ⁻¹)	9,5	7,2
Saturação por bases (T, %)	77,0	65,0
Matéria orgânica (%)	3,5	2,2

delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições, em parcelas de 200 m² (20 x 10 m). Os tratamentos consistiram do cultivo de plantas de cobertura de inverno, em cultura pura ou em consórcio: centeio (*Secale cereale* L.) (C); aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) (A); ervilha forrageira (*Pisum sativum* subesp. *arvense*) (EF); nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg) (NF); centeio + ervilha forrageira (C + EF); centeio + nabo forrageiro (C + NF); centeio + ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) (C + EC); aveia + nabo forrageiro (A + NF); aveia + ervilhaca comum (A + EC); e pousio (vegetação espontânea).

A quantidade de sementes utilizada nas espécies em cultura pura, em kg ha⁻¹, foi de 70 no centeio, 80 na aveia, 70 na ervilha e 20 no nabo. Para os tratamentos com consórcio, utilizou-se metade da quantidade de sementes empregada em cada espécie em cultura pura. Nos consórcios contendo ervilhaca, a quantidade de sementes dessa espécie foi de 40 kg ha⁻¹. A semeadura de todas as espécies foi mecanizada, com semeadora para plantio direto (PD) e sem adição de fertilizantes, utilizando-se o espaçamento de 17 cm entre linhas. Em sucessão às plantas de cobertura foi semeado milho, em PD, no dia seguinte ao manejo das espécies.

Aos 120 dias da semeadura foi feita a coleta das plantas, quando o nabo e a ervilha estavam no estágio de florescimento pleno; o centeio, no início do florescimento; a aveia, no emborrachamento; e a ervilhaca, ainda sem a presença de flores. Foram coletadas duas subamostras de 0,49 m² por parcela, sendo uma para a determinação da produção de matéria seca (MS), concentração de C orgânico e de N total e outra para determinação da matéria seca ao ar (MSA), visando avaliar a decomposição dos resíduos culturais. Nos consórcios, procedeu-se à separação das espécies, a fim de determinar a contribuição individual de cada uma delas. Na subamostra para determinação da MS e acúmulo de C e N, o material coletado foi seco em estufa a 65 °C até peso constante, pesado, moído em triturador de forragens, subamostrado e moído novamente em moinho Willey. Os teores de N total e C orgânico foram determinados por combustão seca em um Autoanalisador Elementar modelo Flash EA 1112.

Na subamostra coletada para avaliar a decomposição, o material coletado foi submetido à secagem ao ar, até massa constante, para determinação da MSA e, a partir dela, estabelecer a quantidade de resíduo a ser adicionada nas bolsas utilizadas para avaliar a decomposição. As plantas de nabo foram separadas em talo, folha e inflorescência. Quanto às demais espécies avaliadas, não foi efetuada a separação dos diferentes constituintes das plantas.

A decomposição foi avaliada em bolsas de poliéster com dimensões de 0,20 x 0,20 m e malha de 0,5 mm. Cada bolsa, contendo os resíduos culturais, foi considerada como a unidade experimental. As bolsas

foram distribuídas na superfície do solo das parcelas onde foram coletados os resíduos culturais, em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os constituintes das plantas foram cortados manualmente em pedaços de aproximadamente 0,19 m antes de serem acondicionados nas bolsas.

A quantidade de MS de cada espécie, a ser colocada no interior das bolsas de decomposição, foi estimada a partir da MSA de cada tratamento. Uma amostra de cada tratamento, preparada da mesma maneira que aquelas colocadas nas bolsas que foram distribuídas no campo, foi submetida à secagem em estufa a 65 °C e posterior moagem em moinho Willey, para determinação das quantidades de MS, N e C adicionadas inicialmente nas bolsas (Quadro 2). Foram utilizadas 28 bolsas para cada tratamento, e em cada data de avaliação eram coletadas quatro bolsas (uma por tratamento por bloco). As coletas foram realizadas aos sete, 14, 21, 28, 57, 117 e 164 dias após a colocação das bolsas no campo. Após cada coleta, os resíduos culturais eram retirados do interior das bolsas e submetidos à secagem em estufa a 65 °C até massa constante, para posterior pesagem e determinação da MS remanescente.

A taxa de decomposição dos resíduos culturais das plantas de cobertura foi estimada ajustando-se um modelo de regressão não linear aos valores observados, conforme proposto por Wieder & Lang (1982). O modelo ajustado tem a seguinte equação:

$$MSR = A e^{-kat} + (100-A) e^{-kbt}$$

em que, MSR=percentagem de matéria seca remanescente no tempo t (dias); e ka , kb =taxas constantes de decomposição da matéria seca do compartimento mais facilmente decomponível (A) e

do compartimento mais recalcitrante (100-A), respectivamente. Esse modelo considera que a MS dos resíduos culturais pode ser dividida em dois compartimentos e diminui exponencialmente a taxas constantes; a primeira fração é transformada a taxas mais elevadas do que a segunda, que é de mais difícil decomposição (recalcitrante).

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

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

A análise estatística, dos dados obtidos para a produção de MS, acúmulo de N e relação C/N, foi feita por meio da análise da variância, e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de matéria seca

O nabo forrageiro foi a espécie que, em cultura pura, produziu a maior quantidade de MS (8,3 Mg ha⁻¹), seguido da ervilha forrageira (5,5 Mg ha⁻¹), do centeio (4,1 Mg ha⁻¹) e da aveia-preta (3,3 Mg ha⁻¹) (Quadro 3). Esse resultado difere do encontrado em outros trabalhos, como o de Giacomini et al. (2003), em que o nabo superou a produção de MS da aveia em apenas 20 %. No presente trabalho, a produção de MS do nabo foi superior à da aveia em 150 %. O elevado teor de MOS do local do experimento (Quadro 1), o N mineralizado dos resíduos culturais da cultura anterior (soja), que segundo Wiethölter (1996) pode aumentar a disponibilidade de N em 17 a 59 kg ha⁻¹, e a provável maior eficiência do nabo em assimilar o N disponível do solo são fatores que podem explicar esse resultado.

Comparando a produção de MS entre as espécies, ainda em cultura pura, observa-se no quadro 3 que a produção de MS da ervilha forrageira foi superior à da aveia e do centeio em 67 e 34 %, respectivamente. As baixas temperaturas e a estiagem que ocorreram no início do desenvolvimento vegetativo das espécies provocaram atraso no desenvolvimento da aveia e do centeio, o que não foi observado na ervilha forrageira e no nabo. Além disso, quando a aveia foi coletada para avaliação de matéria seca, a espécie encontrava-se no estágio de emborrachamento, não tendo atingido ainda o potencial de produção de MS para as condições em que o experimento foi conduzido. Esse resultado corrobora aqueles obtidos por Crusciol et al. (2008), em que a coleta relativamente precoce da aveia, no final do perfilhamento, resultou na baixa produção de

Quadro 2. Composição química e quantidades de matéria seca, carbono (C) e nitrogênio (N) adicionadas nas bolsas de decomposição em cada tratamento

Tratamento ⁽¹⁾	Composição			Quantidade adicionada		
	C	N	C/N	MS	C	N
	— g kg ⁻¹ —			— Mg ha ⁻¹ —		
						kg ha ⁻¹
C	420,0	13,6	30,9	3,56	1,5	46,3
A	422,5	18,5	22,8	2,42	1,0	44,8
EF	420,0	29,0	14,5	5,54	2,3	160,7
N	395,0	23,9	16,5	8,71	3,4	208,2
C + EF	420,0	29,1	15,5	6,27	2,6	182,5
C + N	397,5	21,0	18,9	7,74	3,1	162,5
C + E	422,5	24,5	17,2	4,61	1,9	112,9
A + N	400,0	25,4	15,7	8,12	3,2	206,2
A + E	412,5	28,6	14,4	3,75	1,5	107,3

⁽¹⁾ C=centeio; A=aveia-preta; EF=ervilha forrageira; NF=nabo forrageiro; E=ervilhaca comum.

MS da cultura (2.953 kg ha^{-1}). A coleta da aveia foi realizada antes do florescimento pleno, a fim de evitar a semeadura do milho fora da época recomendada aos produtores da região.

Quanto ao cultivo consorciado das espécies, as maiores produções de MS foram encontradas nos tratamentos com nabo (Quadro 3). A aveia e o centeio consorciados com nabo produziram apenas $27,3 (0,9 \text{ Mg ha}^{-1})$ e $22,0 \%$ ($0,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) da matéria seca produzida por essas duas espécies em cultura pura, respectivamente. Já o nabo, quando consorciado com as duas poáceas, produziu em média $6,55 \text{ Mg ha}^{-1}$, não diferindo significativamente da sua produção em cultura pura. A supremacia do nabo nos consórcios com aveia e centeio pode ser atribuída ao rápido crescimento inicial dessa espécie, em relação às poáceas. Avaliando o consórcio entre aveia e nabo, Giacomini et al. (2003) concluíram que em solos com maior disponibilidade de N o nabo apresenta maior taxa de crescimento que a aveia, competindo mais eficientemente por nutrientes, água e radiação solar. Isso justifica os resultados obtidos com o nabo no presente trabalho, embora a densidade de semeadura utilizada com as espécies consorciadas tenha sido aquela recomendada. Uma alternativa para esse problema de predominância do nabo sobre as poáceas em solos com elevados teores de matéria orgânica e, portanto, com maior potencial de fornecimento de N consiste na redução da proporção da crucífera nos consórcios. Trabalhos futuros são necessários para estabelecer a melhor proporção de nabo em solos com essas características.

Quando o centeio foi consorciado com ervilhaca, a produção total de MS do consórcio foi 17% superior à do centeio em cultura pura ($4,1 \text{ Mg ha}^{-1}$), embora essa diferença não tenha sido significativa. Comportamento semelhante foi observado para o consórcio entre aveia-preta e ervilhaca e entre centeio e ervilha forrageira. Esse resultado em que os consórcios apresentaram maior produção de MS do que as gramíneas em culturas puras ocorreu possivelmente devido à baixa produção de MS obtida com as gramíneas. Em estudo realizado por Giacomini et al. (2003) durante três anos, a produção de MS pela aveia superou a da ervilhaca; a inclusão da aveia no consórcio com a leguminosa resultou em aumento na MS produzida em relação à leguminosa em cultura pura. Dois aspectos interessantes podem ser destacados no consórcio entre centeio e ervilha forrageira. O primeiro é que a produção de matéria seca do consórcio aumentou 46% em relação ao centeio em cultura pura. O segundo refere-se ao fato de a produção da ervilha forrageira ter diminuído em apenas $21,8 \%$ em relação ao seu cultivo em cultura pura, enquanto a produção do centeio consorciado diminuiu de $4,1$ para $1,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ (59%). Esse resultado, que deverá ser confirmado em estudos futuros, indica que a ervilha forrageira apresenta elevada capacidade de competição com as poáceas pelos recursos ambientais disponíveis.

A produção média de MS das plantas de cobertura

foi de $5,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, sendo de $5,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ nas espécies em cultura pura e de $5,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ nas espécies consorciadas (Quadro 3). Esse resultado indica que o consórcio entre as plantas de cobertura é uma alternativa favorável em relação ao seu cultivo em cultura pura, já que foi possível aumentar a produção de MS em 11% .

Outro aspecto a ser destacado refere-se à maior produção de MS das espécies de cobertura em relação à vegetação espontânea do tratamento em pousio. A MS desse tratamento alcançou apenas 13% daquela produzida pela média dos tratamentos com plantas de cobertura. Esse resultado demonstra a importância da inclusão de plantas de cobertura no outono/inverno em sistemas de culturas, não somente no que concerne à adição de C e N ao solo e ciclagem de nutrientes, mas também na proteção do solo contra os processos erosivos.

Acúmulo de nitrogênio na fitomassa

Entre as espécies em cultura pura, o nabo e a ervilha forrageira acumularam as maiores quantidades de N na parte aérea, sem diferirem significativamente entre si (Figura 1). A quantidade média de N acumulada por essas duas espécies foi de $190,3 \text{ kg ha}^{-1}$, superando a média das duas poáceas (aveia e centeio) em $136,9 \text{ kg ha}^{-1}$ (256%). A elevada quantidade de N acumulada pela ervilha forrageira, em relação às poáceas, deve-se ao fato de a leguminosa fixar N_2 atmosférico em simbiose com rizóbio. Já o elevado acúmulo de N pelo nabo, superando até mesmo a leguminosa em $29,1 \text{ kg ha}^{-1}$ ($16,6 \%$), não é verificado em todos os trabalhos, como, por exemplo, naquele realizado por Möller & Reents (2009), em que a ervilha e a ervilhaca acumularam quantidades de N muito maiores do que as do nabo. O resultado obtido neste trabalho com o nabo deve estar relacionado aos teores relativamente elevados de MOS do experimento, o que deve ter disponibilizado N à cultura. A elevada capacidade de extração de N mineral do solo, por essa crucífera, inclusive de camadas mais profundas, foi relatada por Silva et al. (2006).

A quantidade de N acumulada nos tratamentos com consórcio de espécies variou de 118 kg ha^{-1} no consórcio entre aveia e ervilhaca a $184,6 \text{ kg ha}^{-1}$ no consórcio entre centeio e nabo, com valor médio de $153,3 \text{ kg ha}^{-1}$, considerando os cinco consórcios avaliados. Essa quantidade média de N acumulada pela fitomassa dos consórcios é 187% maior do que a quantidade média de N acumulada pelas poáceas. Apenas os consórcios entre centeio e ervilhaca e entre aveia e ervilhaca acumularam quantidades de N significativamente menores do que a ervilha forrageira e o nabo em culturas puras (Figura 1).

Analisando o consórcio entre ervilha forrageira e centeio, observa-se que o acúmulo de N não diferiu significativamente daquele da ervilha forrageira em cultura pura. Além disso, a quantidade de N acumulada por esse consórcio foi próxima àquela

acumulada nos tratamentos com o nabo consorciado à aveia e ao centeio e superior em 40,3 % ao consórcio entre aveia-preta e ervilhaca, que é o mais utilizado pelos agricultores no Rio Grande do Sul. Esses resultados evidenciam que o consórcio entre centeio e ervilha forrageira – culturas ainda pouco utilizadas, principalmente nos Latossolos do Planalto do Rio Grande do Sul – constitui uma alternativa promissora com vistas à combinação entre proteção ao solo no período invernal (pela fitomassa) e na primavera verão (através dos resíduos culturais) e fornecimento de N à cultura em sucessão em plantio direto.

Os consórcios entre centeio e nabo e entre aveia e nabo acumularam quantidades de N que não diferiram do nabo em cultura pura e foram, em média, 3,3 vezes superiores às do centeio e aveia em cultura pura, confirmando a contribuição do nabo na ciclagem de N no solo, mesmo não sendo uma leguminosa. A vantagem do cultivo consorciado entre nabo e poáceas é que os resíduos culturais do consórcio são mais lentamente decompostos no solo do que aqueles do nabo em cultura pura, conforme será demonstrado na sequência deste trabalho.

No presente trabalho, a ervilhaca não foi avaliada em cultura pura pelo fato de essa modalidade de cultivo da espécie ser muito pouco utilizada pelos produtores, já que os resíduos culturais são rapidamente decompostos após o manejo da espécie. Por isso, a leguminosa foi consorciada com o centeio e com a aveia. Observa-se que a quantidade acumulada de N nesses dois consórcios foi superior no centeio com ervilhaca em 16 kg ha⁻¹, embora sem diferenças significativas entre ambos (Figura 1). Comparativamente às quantidades de N acumuladas pelo centeio e pela aveia em cultura pura, o aumento no acúmulo de N proporcionado pela inclusão da ervilhaca nos consórcios

com essas duas poáceas foi de 80,8 (151,8 %) e 64,3 (119,7 %) kg ha⁻¹, respectivamente.

Analisando conjuntamente os resultados relativos à produção de matéria seca (Quadro 3) e o acúmulo de N nos diferentes tratamentos (Figura 1), percebe-se que a inclusão de leguminosas em consórcio com poáceas possibilita a obtenção de produção de fitomassa equivalente ou até mesmo superior à das poáceas em cultura pura, com a vantagem de aumentar significativamente o aporte de N ao solo, via fixação biológica de N (FBN). O nabo, por sua vez, embora não apresente FBN, mostrou-se muito mais eficiente no aproveitamento do N do solo do que as duas poáceas avaliadas (centeio e aveia), acumulando tanto ou mais N do que as próprias leguminosas (ervilha forrageira e ervilhaca). Todavia, é preciso avaliar em estudos futuros, em Latossolos do Planalto do Rio Grande do Sul, a relação da produção de fitomassa e acúmulo de N do nabo com os teores de MOS e com a cultura antecessora. Caso sejam confirmados os resultados obtidos neste trabalho, o nabo passa a constituir uma importante alternativa de cultivo no outono/inverno visando à ciclagem de N no sistema e à proteção do solo contra a erosão, principalmente quando essa crucífera for consorciada com poáceas. Além disso, a maior facilidade na produção e o menor custo na aquisição de sementes poderão favorecer a escolha do nabo como planta de cobertura de solo no outono/inverno.

Apesar dessas características importantes apresentados pelo nabo neste e em outros trabalhos (Giacomini et al., 2001; Crusciol et al., 2005; Strieder et al., 2006; Silva et al., 2007), é relevante destacar que ele não apresenta capacidade de associação simbiótica com bactérias fixadoras de N e, por isso,

Quadro 3. Produção de matéria da parte aérea seca das espécies de plantas de cobertura de solo no outono/inverno em cultura pura e em consórcio.

Tratamento ⁽¹⁾	Matéria seca						Total
	Centeio	Aveia	Ervilha	Nabo	Ervilhaca	Pousio	
	Mg ha ⁻¹						
C	4,1 a ⁽²⁾	-	-	-	-	-	4,1 de
A	-	3,3 a	-	-	-	-	3,3 e
EF	-	-	5,5 a	-	-	-	5,5 cde
N	-	-	-	8,3 a	-	-	8,3 a
C + EF	1,7 bc	-	4,3 a	-	-	-	6,0 bcd
C + N	0,9 c	-	-	6,9 a	-	-	7,8 ab
C + E	2,3 b	-	-	-	2,5 a	-	4,8 de
A + N	-	0,9 b	-	6,2 a	-	-	7,1 abc
A + E	-	1,6 b	-	-	2,2 a	-	3,8 de
Pousio ⁽³⁾	-	-	-	-	-	0,7	0,7 f

⁽¹⁾C=centeio; A=aveia-preta; EF=ervilha forrageira; NF=nabo forrageiro; E=ervilhaca comum. ⁽²⁾Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ⁽³⁾A MS do tratamento em pousio refere-se à vegetação espontânea da área. Média de quatro repetições.

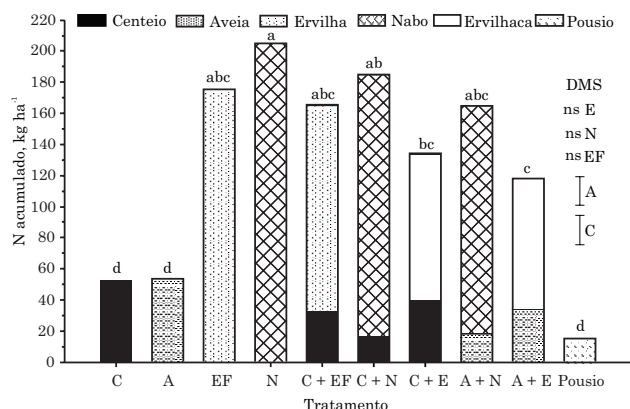


Figura 1. Acúmulo de nitrogênio (N) na parte aérea das plantas de cobertura, em cultura pura e em consórcio. Médias das quantidades totais de N seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. As barras verticais correspondem à diferença mínima significativa (Tukey 5 %) para a quantidade de N acumulada por cada espécie. ns=não significativo. C=centeio; A=aveia-preta; EF=ervilha forrageira; NF=nabo forrageiro; E=ervilhaca comum.

não promove o aporte externo de N ao sistema, como o fazem as leguminosas por meio da FBN. Daí a importância de avaliar o impacto do cultivo continuado do nabo no inverno sobre o potencial de fornecimento de N pelo solo, já que ele depende do N disponibilizado por meio da mineralização da MOS. De qualquer modo, a produção elevada de nabo alcançada no presente estudo o coloca como uma alternativa para uso nos Latossolos do Planalto do Rio Grande do Sul, visando à rotação no outono/inverno com outras plantas de cobertura, como a ervilhaca e a ervilha forrageira.

Comparando o acúmulo de N entre as poáceas em cultura pura e a vegetação espontânea do pousio, verifica-se que a vegetação espontânea da área acumulou apenas 28 % da quantidade média de N acumulada pelo centeio e pela aveia. Esse resultado confirma os encontrados por Heinrichs et al. (2001) e Giacomini et al. (2003), demonstrando que, além de adicionarem fitomassa e C ao solo, as poáceas podem contribuir para a diminuição das perdas de N por lixiviação de nitrato no perfil do solo, no período invernal, imobilizando-o no tecido vegetal.

Relação C/N

Os maiores valores para a relação C/N das espécies em cultura pura foram encontrados no centeio (34/1) e na aveia (27/1), e os menores, na ervilha forrageira (14/1) e no nabo forrageiro (17/1) (Quadro 4). Nos tratamentos em que o centeio foi consorciado com ervilha forrageira e com nabo, a relação C/N do tecido vegetal desses consórcios foi mais próxima à encontrada com o nabo e a ervilha forrageira em

cultura pura do que daquela do centeio em cultura pura (Quadro 4). O mesmo foi verificado para o consórcio entre aveia-preta e ervilhaca comum, confirmando resultados encontrados por Heinrichs et al. (2001) e Giacomini (2001), em que as relações C/N da aveia em cultura pura foram de 33,9 e 36,5, respectivamente, enquanto a C/N dos resíduos culturais do consórcio aveia + ervilhaca foi de 24 e 18,6, respectivamente.

De acordo com Giacomini et al. (2003), o consórcio entre diferentes espécies proporciona a produção de uma fitomassa cuja relação C/N é intermediária àquela das espécies em cultura pura. Por meio dessa estratégia de cultivo das plantas de cobertura - ilustrada no presente trabalho pelos consórcios do centeio com ervilha forrageira e nabo - busca-se alterar a taxa de decomposição de resíduos culturais de modo a proporcionar, simultaneamente, cobertura mais eficiente e duradoura do solo e melhor sincronia entre o fornecimento e a demanda de N pelas culturas em sucessão.

Os processos microbianos de imobilização e mineralização de N dependem, em grande parte, da relação C/N dos resíduos culturais. Partindo desse pressuposto, Allison (1966) afirmou que materiais com valores de C/N entre 25 e 30 apresentam equilíbrio entre mineralização e imobilização. Assim, pode-se inferir que nos tratamentos com nabo e ervilha forrageira em cultura pura e naqueles com consórcios entre espécies haja predominância da mineralização, resultando em aumento na quantidade de N mineral do solo durante a decomposição dos resíduos culturais. Por outro lado, a relação C/N do centeio e da aveia sugere ocorrência de imobilização líquida de N durante a sua decomposição no solo.

Um resultado a destacar no presente trabalho refere-se à alteração da relação C/N do centeio, quando consorciado ao nabo, à ervilha forrageira e à ervilhaca, e da aveia, quando consorciada ao nabo e à ervilhaca. Os resultados do quadro 4 mostram que a relação C/N do centeio em cultura pura foi reduzida em 35,3 %, quando comparada com a C/N da espécie consorciada à ervilha forrageira. A redução média da C/N do centeio, quando consorciado ao nabo e à ervilhaca, foi de 27,9 %. Comportamento semelhante foi observado na aveia, em que a sua relação C/N diminuiu de 27/1 para 20/1 (26 %), na média dos consórcios da espécie com o nabo e a ervilhaca. Resultados semelhantes foram relatados por Giacomini et al. (2003) e podem ser atribuídos a diversos fatores. A redução na população de plantas das poáceas, quando consorciadas, diminui a competição entre plantas pelo N disponível do solo, aumentando a concentração de N no tecido vegetal. Além disso, no caso das leguminosas, a senescência precoce de nódulos, a queda e decomposição das folhas mais velhas e a excreção de exsudatos radiculares ricos em N podem contribuir para o fornecimento de N às poáceas nos consórcios, como destacado por Ta & Faris (1987).

Quadro 4. Relação carbono/nitrogênio da parte aérea das espécies de plantas de cobertura de solo no outono/inverno em cultura pura e em consórcio

Tratamento ⁽¹⁾	Relação carbono/nitrogênio						Total
	Centeio	Aveia	Ervilha	Nabo	Ervilhaca	Pousio	
	Mg ha ⁻¹						
C	34 a ⁽²⁾	-	-	-	-	-	34 a
A	-	27 a	-	-	-	-	27 b
EF	-	-	14 a	-	-	-	14 e
N	-	-	-	17 a	-	-	17 de
C + EF ⁽⁴⁾	22 b	-	15 a	-	-	-	17 de
C + N	24 b	-	-	17 a	-	-	18 cd
C + E	25 b	-	-	-	12 a	-	18 cde
A + N	-	20 b	-	18 a	-	-	18 cd
A + E	-	20 b	-	-	12 a	-	15 de
Pousio ⁽³⁾	-	-	-	-	-	-	22 c

⁽¹⁾C=centeio; A=aveia-preta; EF=ervilha forrageira; NF=nabo forrageiro; E=ervilhaca comum. ⁽²⁾Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 5 %. ⁽³⁾A relação C/N do tratamento em pousio refere-se à vegetação espontânea da área. ⁽⁴⁾A relação C/N dos consórcios foi determinada por meio de média ponderada entre os valores de matéria seca obtidos para cada espécie do consórcio e os respectivos valores de C/N. Média de quatro repetições.

Decomposição dos resíduos culturais

De maneira geral, a cinética de decomposição dos resíduos culturais das plantas de cobertura, avaliada por meio das quantidades remanescentes de matéria seca ao longo do tempo, foi similar tanto nas espécies em cultura pura (Figura 2a) quanto em consórcio (Figura 2b). Nos dois casos, observa-se uma fase inicial, com rápida redução nas quantidades remanescentes de matéria seca, seguida de outra mais lenta, o que coincide com resultados obtidos em outros trabalhos (Giacomini et al., 2003; Crusciol et al., 2005; Marcolini, 2009).

Considerando os primeiros 21 dias, que foi o período de maior decomposição, observa-se que a quantidade remanescente de matéria seca no interior das sacolas de decomposição era de aproximadamente 57 % na ervilha forrageira, 58 % no nabo forrageiro, 59 % na aveia-preta e 72 % no centeio (Figura 2a). Contrariamente ao observado em outros trabalhos, como o realizado por Aita & Giacomini (2003), a aveia-preta apresentou quantidade de matéria seca do compartimento lábil relativamente próxima à da ervilha forrageira e do nabo, bem como um tempo de meia-vida desse compartimento próximo ao verificado no nabo (Quadro 5). Era de se esperar menor proporção da matéria seca lábil e menor taxa constante de decomposição nos resíduos culturais da aveia. É provável que esses resultados devam-se ao fato de a aveia ter apresentado relação C/N relativamente baixa (22,8/1) dos resíduos culturais (Quadro 2). Essa baixa relação C/N da aveia pode ser atribuída ao fato de a cultura estar em estágio final de perfilhamento e início de emborrachamento quando coletada para a confecção das sacolas de decomposição, além do provável elevado

potencial de fornecimento de N pelo solo da área experimental. Convém destacar que, na maioria dos trabalhos, a coleta da aveia para avaliar sua decomposição ocorre quando a planta encontra-se no estágio de florescimento pleno. Neste trabalho, as espécies foram coletadas e manejadas no mesmo dia, e o estágio de desenvolvimento das espécies em que isso ocorreu foi estabelecido em função do desenvolvimento das espécies mais precoces (nabo e ervilha).

Entre as espécies em cultura pura (Quadro 5), o centeio foi a que apresentou a menor proporção de matéria seca no compartimento lábil (39,4 %). Pelo fato de também ser uma poácea, esperava-se que a aveia apresentasse comportamento similar ao observado pelo centeio. Todavia, observa-se na figura 2a e no quadro 5 que a decomposição das duas culturas ocorreu de forma distinta: na aveia, a proporção da matéria seca mais recalcitrante (100-A) foi de aproximadamente 45 % com tempo de meia-vida de 433 dias, enquanto no centeio a matéria seca de mais difícil decomposição representou cerca de 60 %, com tempo de meia-vida de 277 dias. É provável que esse comportamento distinto entre as duas poáceas esteja ligado às diferenças na sua relação C/N (Quadro 2), como também a diferenças na sua constituição física (proporção entre talos e folhas) e, principalmente, na composição bioquímica do tecido vegetal.

A ervilha forrageira foi a espécie em cultura pura que apresentou a maior taxa constante de decomposição (0,0752 dia⁻¹) do compartimento mais facilmente decomponível (A), o qual representou 46,9 % da matéria seca adicionada ao solo pela leguminosa (Quadro 5). É provável que esse compartimento seja

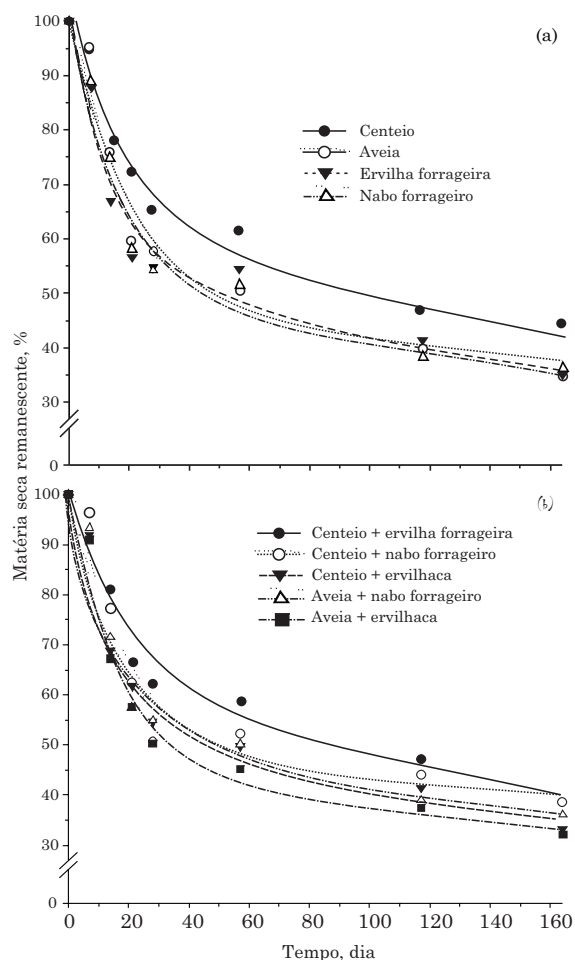


Figura 2. Matéria seca remanescente dos resíduos culturais de plantas de cobertura em cultura pura (a) e em consórcio (b), em avaliações realizadas em campo até 164 dias após a distribuição das sacolas de decomposição na superfície do solo.

constituído sobretudo pelas folhas da ervilha, as quais representam uma fonte de C e de energia utilizada inicialmente pela população microbiana do solo.

Comparando os parâmetros do modelo encontrados para tratamentos com centeio e nabo em cultura pura ao tratamento em que o centeio foi consorciado ao nabo, observa-se que a inclusão do nabo aumentou a proporção de matéria seca lábil, em relação ao centeio puro. O mesmo não ocorreu para o consórcio entre aveia e nabo, uma vez que os parâmetros encontrados para as duas culturas solteiras foram relativamente próximos entre si (Quadro 5). Fazendo essa mesma comparação entre os tratamentos com centeio e ervilha forrageira em cultura pura e em consórcio, percebe-se que com a inclusão da ervilha não houve mudanças nos parâmetros do modelo, em relação ao centeio puro. Esperava-se que no tratamento em consórcio os valores dos parâmetros fossem intermediários aos observados nas culturas solteiras. Com base nas determinações realizadas, não é possível apontar as causas determinantes desse resultado.

CONCLUSÕES

1. O consórcio entre leguminosas e crucífera com gramíneas resultou em maior produção de fitomassa e menor velocidade de decomposição dos resíduos culturais em relação ao cultivo destas em culturas puras.
2. O acúmulo de N pelos consórcios foi similar ao da ervilha forrageira e nabo em cultura pura e superior ao da aveia e centeio.
3. Quando consorciadas, a relação C/N da fitomassa das plantas de cobertura foi intermediária àquela observada em cultura pura.

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

Tratamento ⁽¹⁾	A	k_a	k_b	$t_{1/2}$		R^2
				A	(100-A)	
	%	dia ⁻¹		dia		
Matéria seca remanescente (MSR) ⁽²⁾						
C	39,4	0,0567	0,0025	12,2	277	0,95
A	55,3	0,0527	0,0016	13,1	433	0,95
EF	46,9	0,0752	0,0028	9,2	247	0,97
N	52,9	0,0598	0,0021	11,6	330	0,97
C + EF	40,6	0,0575	0,0029	12,1	239	0,94
C + N	57,2	0,0525	0,0011	13,2	630	0,94
C + E	50,0	0,0649	0,0025	10,7	277	0,97
A + N	54,8	0,0586	0,0018	11,8	385	0,96
A + E	58,5	0,0595	0,0018	11,6	385	0,97

⁽¹⁾C=centeio; A=aveia-preta; EF=ervilha forrageira; NF=nabo forrageiro; E=ervilhaca comum.

⁽²⁾MSR = A e^{-kat} + (100-A) e^{-kbt}.

LITERATURA CITADA

- AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:601-612, 2003.
- AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Porto Alegre, Genesis, 2006. p.59-79.
- ALLISON, F.E. The fate of nitrogen applied to soils. *Adv. Agron.*, 18:219-258, 1966.
- 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)
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisas Pedológicas. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30)
- CRUSCIOL, C.A.C.; COTTICA, R.L.; LIMA, E.V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E. & MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 40:161-168, 2005.
- CRUSCIOL, C.A.C.; MORO, E.; LIMA, E.V. & ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia-preta em plantio direto. *Bragantia*, 67:481-489, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Brasília, Embrapa Produção de Informação, 2006. 306p.
- 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)
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S. & FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:325-334, 2003.
- HEINRICH, 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.
- KLIEMANN, H.J.; BRAZ, A.J.P.B. & SILVEIRA, P.M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférico. *Pesq. Agropec. Trop.*, 36:21-28, 2006.
- KRAMBERGER, B.; GSELMAN, A.; JANZEKOVIC, M.; KALIGARIC, M. & BRACKO, B. Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. *Eur. J. Agron.*, 31:103-109, 2009.
- MARCELO, A.V.; CORÁ, J.E.; FERNANDES, C.; MARTINS, M.R. & JORGE, R.F. Crop sequences in no-tillage system: Effects on soil fertility and soybean, maize and rice yield. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:417-428, 2009.
- MARCOLINI, L.W. Produção e decomposição de coberturas vegetais de inverno e sua influência na infestação e fitossociologia de plantas daninhas. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2009. 77p. (Tese de Mestrado)
- MÖLLER, K. & REENTS, H. Effects of various cover crops after peas on nitrate leaching and nitrogen supply to succeeding winter wheat or potato crops. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 172:277-287, 2009.
- PAUL, E.A. & CLARK, F.E. Soil microbiology and biochemistry. 2.ed. New York, Academic Press, 1996. 340p.
- SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; STRIEDER, M.L. & SILVA, A.A. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. *Ci. Rural*, 36:1011-1020, 2006.
- SILVA, A.A.; SILVA, P.R.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L. & RAMBO, L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. *Ci. Rural*, 37:928-935, 2007.
- STRIEDER, M.L.; SILVA, P.R.F.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J.; RAMBO, L. & ENDRIGO, P.C. Época de aplicação da primeira dose de nitrogênio em cobertura em milho e espécies antecessoras de cobertura de inverno. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:879-890, 2006.
- TA, T.C. & FARIS, M.A. Species variation in the fixation and transfer of N from legumes to associated grasses. *Plant Soil*, 98:265-274, 1987.
- TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G. & FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 43:421-428, 2008.
- 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.
- WIETHÖLTER, S. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. Passo Fundo, Embrapa/CNPT, 1996. 44p.