

Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hiberna na região Sul do Brasil

Ana Regina Dahlem Ziech⁽¹⁾, Paulo Cesar Conceição⁽²⁾, Augusto Vaghetti Luchese⁽³⁾, Nilson Marcos Balin⁽¹⁾,
Gilvanei Candioto⁽¹⁾ e Taís Gabriele Garmus⁽²⁾

⁽¹⁾Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco, Via do Conhecimento, Km 01, CEP 85503-390 Pato Branco, PR, Brasil. E-mail: reginautfpr@yahoo.com.br, nilson.eng-ab@hotmail.com, gilvaneicandioto@hotmail.com ⁽²⁾UTFPR, Coordenação de Agronomia, Campus Dois Vizinhos, Estrada para Boa Esperança, Km 04, CEP 85660-000 Dois Vizinhos, PR, Brasil. E-mail: paulocesar@utfpr.edu.br, taisggarmus@hotmail.com ⁽³⁾Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Agrônômicas, Campus Palotina, Rua Pioneiro, nº 2.153, Jardim Dallas, CEP 85950-000 Palotina, PR, Brasil. E-mail: aluchese@gmail.com

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de plantas de cobertura de ciclo hiberna na proteção do solo, na região Sudoeste do Paraná, em função da taxa de cobertura, da produção de matéria seca (MS), da relação C/N e da manutenção da MS remanescente dos resíduos vegetais na superfície do solo. Foram utilizados como cobertura do solo: aveia-preta (*Avena strigosa*), azevém (*Lolium multiflorum*), centeio (*Secale cereale*), tremoço-branco (*Lupinus albus*), ervilhaca comum (*Vicia sativa*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e consórcios entre aveia-preta + ervilhaca comum (A+E) e aveia-preta + ervilhaca comum + nabo forrageiro (A+E+N). O experimento foi avaliado durante os anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012. A decomposição das plantas de cobertura foi determinada com uso de bolsas de decomposição (“litter bags”). A aveia-preta e os consórcios proporcionaram maiores taxas de cobertura do solo aos primeiros 50 dias após a semeadura, com aporte de MS superior a 2.600 kg ha⁻¹ na superfície do solo. O consórcio entre A+E+N apresentou relação C/N equilibrada e decomposição intermediária em relação ao cultivo solteiro, tendo promovido 1.045 kg ha⁻¹ de palhada sobre o solo, 120 dias após seu manejo. Gramíneas puras e consórcios com gramíneas apresentam maior potencial de proteção do solo.

Termos para indexação: adubação verde, consórcio, matéria seca remanescente, plantio direto, taxa de cobertura, taxa de decomposição.

Soil protection by winter-cycle cover crops in South Brazil

Abstract – The objective of this work was to evaluate the potential of winter-cycle cover crops on the protection of soil, in the southwest region of the state of Paraná, in Southern Brazil, as affected by coverage rate, dry matter (DM) production, C/N ratio, and maintenance of remaining DM of vegetable residues on soil surface. The following were used as cover crops: black oat (*Avena strigosa*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*), rye (*Secale cereale*), white lupine (*Lupinus albus*), common vetch (*Vicia sativa*), wild radish (*Raphanus sativus*), and consortia between black oat + common vetch (O+V) and black oat + common vetch + wild radish (O+V+R). The experiment was evaluated during the 2010/2011 and 2011/2012 growing seasons. Plant decomposition was determined with the use of litter bags. Black oat and the consortia provided higher rates of soil coverage at the first 50 days after sowing, with DM production higher than 2,600 kg ha⁻¹ on soil surface. The consortia between O+V+R had a balanced C/N ratio and intermediate decomposition in relation to single cropping, promoting 1,045 kg ha⁻¹ residue on soil surface, 120 days after its management. Forage grasses alone and consortia with forage grasses show higher soil protection potential.

Index terms: green manure, consortium, remaining dry matter, no tillage, coverage rate, decomposition rate.

Introdução

O sistema plantio direto (SPD) pode ser considerado um dos grandes avanços no sistema de produção brasileiro. Essa ferramenta conservacionista tem sido cada vez mais utilizada, com benefícios aos atributos de qualidade do solo. No ano agrícola 2013/2014, a área

com plantio direto no Brasil representou 32 milhões de hectares (Evolução..., 2014).

A expansão do SPD é incentivada pelo Governo Federal, também em razão dos ganhos ambientais relacionados à mitigação de gases de efeito estufa. Atualmente, o sistema integra o programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) gerenciado pelo Ministério

da Agricultura Pecuária e Abastecimento, que prevê a ampliação das áreas de plantio direto em 8 milhões de hectares até 2020 (Brasil, 2015). No entanto, o SPD apresenta alguns gargalos tecnológicos, em especial quanto ao uso de plantas de cobertura para formação de palhada.

Em áreas agrícolas da região Sul do Brasil, as plantas de cobertura de ciclo hibernal, ou de outono/inverno, são semeadas no outono e se desenvolvem preferencialmente sob temperaturas amenas, com ciclo que se estende até a primavera. Nessas áreas, a adoção destas para produção de palhada é mais aceita do que às espécies de verão, quando a maior parte das áreas é ocupada para cultivos de culturas de interesse econômico (Souza et al., 2012). Contudo, no ano agrícola 2011/2012, 13% das lavouras de milho no Sul do País foram cultivadas em áreas que permaneciam em pousio hibernal ou em condições de baixa proteção por resíduos (Estado..., 2013). No ano agrícola 2012/2013, somente 31% da área estabelecida com milho apresentava mais de 40% da superfície coberta por resíduos da espécie antecessora, condição abaixo do ideal para a manutenção do plantio direto, o que mostra uma menor preocupação atual dos produtores rurais em produzir matéria seca para o cultivo agrícola. Para as áreas cultivadas com soja, os valores chegaram a 69% da área coberta.

Entre as espécies utilizadas para cobertura do solo em condições subtropicais, a aveia-preta é predominante no Sul do Brasil, tendo representado 43% da cobertura empregada em lavouras de milho nessa região, em 2013 (Estado..., 2013). O uso intenso dessa gramínea se deve principalmente à capacidade de aporte de MS, que pode variar de 1.532 kg ha⁻¹ (Carvalho et al., 2013) a 6.000 kg ha⁻¹ (Wutke et al., 2014), bem como à facilidade de aquisição de sementes e de implantação, à rusticidade da planta, à rapidez na formação de cobertura do solo e ao ciclo adequado às culturas sucessoras (Silva et al., 2006). Entretanto, a alta relação C/N de seus resíduos, entre 32,5 e 42,9, pode fazer com que haja imobilização de N pelos resíduos culturais da gramínea durante a decomposição (Giacomini et al., 2003), o que torna o nutriente indisponível para as culturas em sucessão.

Espécies leguminosas ao mesmo tempo que disponibilizam rapidamente N orgânico, por apresentar baixa relação C/N (<25), apresentam rápida decomposição dos resíduos, o que faz com que o solo

fique desprotegido já na fase inicial do desenvolvimento do milho (Silva et al., 2006).

Outras espécies também podem ser utilizadas para cobertura de solo, como é o caso do nabo forrageiro, pertencente à família das brassicáceas, que apresenta, como vantagens, baixo custo das sementes, rápido desenvolvimento inicial, ciclo curto (Amado et al., 2002), elevado rendimento de MS (Silva et al., 2007) e alta concentração de nutrientes na parte aérea. A consorciação de espécies vegetais, em comparação aos cultivos isolados, propicia a formação de uma cobertura do solo mais próxima do ideal, quanto à quantidade e à qualidade dos resíduos, o que traz benefícios às culturas em sucessão e ao SPD (Silva et al., 2007).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de plantas de cobertura de ciclo hibernal na proteção do solo, na região Sudoeste do Paraná, em função da taxa de cobertura, da produção de MS, da relação C/N e da manutenção da MS remanescente dos resíduos vegetais na superfície do solo.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na área experimental do Campus Dois Vizinhos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (25°41'S, 53°05'W, a 526 m acima do nível do mar), na região Sudoeste do Estado. O solo local foi descrito como Latossolo Vermelho (Santos et al., 2013) com textura argilosa (773 g kg⁻¹ de argila). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido, sem estação seca definida (Alvares et al., 2013).

A instalação do experimento em SPD ocorreu em 2010, em área que vinha sendo utilizada para produção de milho (*Zea mays* L.). A caracterização química do solo, na camada de 0–20 cm, indicou: pH em CaCl₂ de 5,3; índice SMP de 6,4; P (Mehlich-1) de 4,3 mg dm⁻³; 0,2 cmol_c dm⁻³ de K; 6,0 cmol_c dm⁻³ de Ca; 2,8 cmol_c dm⁻³ de Mg; 3,8 cmol_c dm⁻³ de H+Al; soma de bases de 9,0 cmol_c dm⁻³; CTC de 12,8 cmol_c dm⁻³; V% de 70; e MO de 40,8 g kg⁻¹.

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, em parcelas de 25 m² (5,0x5,0 m), com três repetições. As plantas de cobertura do solo de ciclo hibernal estudadas foram: aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.); azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); centeio (*Secale cereale* L.); tremoço-branco (*Lupinus albus* L.); ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.); nabo

ferrugem (*Raphanus sativus* L.); e consórcios entre aveia-preta + ervilhaca comum (A+E) e aveia-preta + ervilhaca comum + nabo forrageiro (A+E+N). Foram avaliados: taxa de cobertura do solo, produção de MS da parte aérea, taxa de decomposição dos resíduos, conteúdo de N total e C orgânico nos tecidos vegetais, bem como relação C/N das plantas de cobertura nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012. No primeiro ano agrícola, utilizou-se o trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench), em razão da semeadura tardia e da indisponibilidade de sementes de azevém, que somente foi introduzido no segundo ano.

Antes da semeadura das plantas de cobertura, foi aplicado herbicida glifosato (2,0 L ha⁻¹ do produto comercial), em área total para dessecção. A semeadura foi mecanizada, com espaçamento de 0,17 m entre linhas, para os sistemas solteiros de aveia-preta, ervilhaca comum, centeio e os consórcios entre A+E e A+E+N. Ao se considerar o tamanho das sementes, o tremoço-branco foi semeado manualmente com espaçamento entre linhas de 0,5 m, enquanto o nabo forrageiro e o azevém foram semeados a lanço. No primeiro ciclo, a semeadura ocorreu em 5/7/2010, em decorrência da má distribuição de chuvas, de maio

a junho (Figura 1). No ciclo seguinte, em condições normais de distribuição da precipitação pluvial, a semeadura ocorreu em 12/5/2011.

A avaliação da evolução da taxa de cobertura do solo pelas plantas de cobertura foi realizado com o método fotográfico, que consistiu na coleta de imagens em área delimitada por um quadro metálico com dimensões de 0,5x0,5 m, colocado sobre a superfície do solo em dois pontos fixos por parcela. A captura das imagens foi efetuada semanalmente: em 2010, dos 15 aos 49 dias após a semeadura (DAS) das culturas; e, em 2011, dos 22 aos 99 DAS, com câmera digital de 7,2 megapixels, posicionada a 1,0 m de altura, aproximadamente, conforme método adaptado de Rizzardi & Fleck (2004). Posteriormente, em meio digital, com auxílio do programa Power Point, sobre cada imagem, foi inserido um quadriculado com 100 pontos de intersecção e realizada a quantificação dos pontos que coincidiam com as plantas de cobertura, para determinar a taxa de cobertura do solo.

Aos 93 DAS (6/10/2010) e aos 112 DAS (1/9/2011), na primeira e na segunda safra, respectivamente, avaliou-se a MS da parte aérea das plantas de cobertura,

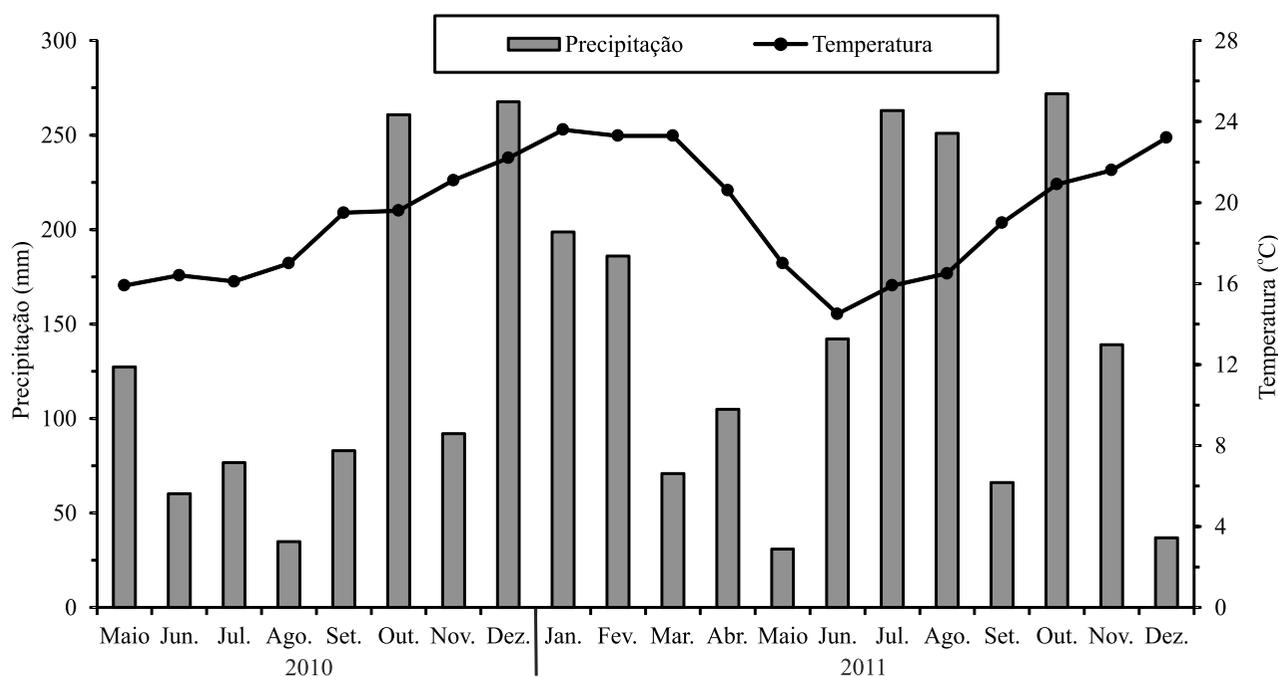


Figura 1. Médias mensais de temperatura do ar e precipitação pluvial durante o período de avaliação, de acordo com dados obtidos na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, instalada no Campus Dois Vizinhos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

em duas subamostras de 0,25 m² em cada parcela, o que formou amostra única. No momento da avaliação, a aveia-preta, o centeio, o azevém, o trigo mourisco e o tremoço-branco encontravam-se no estágio de pleno florescimento; a ervilhaca comum ainda não apresentava flores; e o nabo forrageiro estava no final do florescimento. O material coletado foi seco em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de $\pm 55^{\circ}\text{C}$ por 72 horas, até peso constante, e, em seguida, pesado para a obtenção da MS.

A decomposição das plantas de cobertura foi determinada com uso de bolsas de decomposição (“litter bags”) confeccionadas em tecido voil, de malha inferior a 1 mm, nas dimensões de 0,2x0,2 m, perfazendo área interna de 0,04 m². Às bolsas de decomposição, adicionou-se material vegetal seco em estufa, fracionado a 10 cm, em quantidade proporcional à MS produzida pelas plantas de cobertura nas parcelas. Foram confeccionadas seis bolsas de decomposição de igual massa, das quais cinco delas foram depositadas nas respectivas parcelas de origem, em superfície do solo, após a semeadura do milho, e uma bolsa foi mantida em local seco e protegido até o momento da análise, para representar o tempo zero.

As coletas (uma bolsa por parcela) foram realizadas em intervalos regulares de tempo pré-determinado, que correspondeu aos 23, 45, 66, 94 e 122 dias após a deposição no campo, no ano agrícola 2010/2011; e aos 15, 30, 45, 60 e 90 dias, no ano agrícola 2011/2012. O material vegetal remanescente foi seco em estufa de circulação forçada de ar, a $\pm 65^{\circ}\text{C}$, por 48 horas; pesado em balança semianalítica para quantificação da taxa de decomposição, mediante perda de massa; e triturado em moinho de facas tipo Willey, com peneira de 20 mesh. Foram determinados os teores de N total (Silva, 2009) e de C orgânico presentes nos tecidos vegetais das plantas de cobertura (Yeomans & Bremner, 1988).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, com uso do programa computacional Assistat, versão 7.6 beta (Silva & Azevedo, 2006). À MS remanescente das plantas de cobertura, foi aplicada análise de regressão não linear, com decaimento exponencial, seguindo a equação matemática: $f = a \times \exp(-bx)$, tendo-se levado em consideração, para escolha do modelo, a significância e a magnitude dos coeficientes de determinação, com uso do programa SigmaPlot, versão 11.0 (Chicago, IL, EUA).

Resultados e Discussão

A taxa de cobertura do solo variou em função das espécies utilizadas, em ambos os anos de estudo (Tabela 1). O cultivo solteiro do nabo forrageiro, em 2010, apresentou a maior taxa de cobertura aos 22 DAS, não tendo diferido ($p \leq 0,05$) da do trigo mourisco e do consórcio entre A+E+N. Aos 49 DAS, a aveia-preta, o centeio, o nabo forrageiro e os consórcios apresentavam cobertura do solo superior a 80%, e diferiram significativamente das leguminosas, com cobertura inferior a 50%.

Como em 2010 houve similaridade no desenvolvimento inicial das plantas de cobertura aos 15 DAS, em 2011, a taxa de cobertura foi avaliada a partir dos 22 DAS (Tabela 1). A aveia-preta, em cultivo solteiro e consorciado, promoveu elevada cobertura do solo, tendo diferido significativamente ($p \leq 0,05$) até os 43 DAS. A taxa de cobertura das demais culturas, nesse mesmo período, foi igual ou inferior a 40%, o que indica que a consorciação de gramíneas com outras espécies pode propiciar eficiente cobertura vegetal, além de contribuir para a fixação de N no caso das leguminosas (Silva et al., 2007) e para a ciclagem de nutrientes pelas crucíferas.

Em 2011, a taxa de cobertura total do solo pelas plantas de cobertura de inverno foi atingida aos 85 DAS, exceto para o tremoço-branco, que apresentava somente 61% do solo protegido (Tabela 1). A menor taxa de cobertura oferecida pelo tremoço-branco pode estar relacionada ao hábito de crescimento arbustivo ereto e até mesmo ao espaçamento entre linhas, superior ao das demais culturas, de acordo com o especificado para cada uma delas. Em ambos os anos de estudo, houve déficit hídrico durante o período de inverno (Figura 1), o que afetou as plantas de cobertura. Apesar disso, percebeu-se uma elevada taxa de cobertura do solo aos 49–50 DAS para a cultura de aveia-preta e os consórcios.

Quanto à produção de MS das plantas de cobertura, em 2010, não foram observadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$), com rendimentos médios de 2.200 a 4.067 kg ha⁻¹ para nabo forrageiro e centeio, respectivamente (Tabela 2), provavelmente relacionado às condições adversas durante o desenvolvimento das culturas (época de semeadura e precipitação).

Já em 2011, a aveia-preta apresentou elevado rendimento de MS (4.703 kg ha⁻¹), similar ao verificado por Carvalho et al. (2007) em Castro, PR;

esse rendimento foi 132% superior ao da ervilhaca comum, cuja produção foi a menor entre as culturas (Tabela 2). A superioridade na produção de MS da aveia-preta sobre a ervilhaca comum pode ser atribuída à maior rusticidade e à capacidade de perfilhamento da gramínea em relação à leguminosa (Wutke et al., 2014; Heinrichs et al., 2001).

A produção de MS pelo azevém e pelo nabo forrageiro, em 2011, não diferiu da apresentada pelas leguminosas (Tabela 2), tendo sido similar à obtida por Carvalho et al. (2007) e superior à encontrada por Medrado et al. (2011). Variações no rendimento de fitomassa para as espécies de cobertura são comuns, uma vez que essa característica é dependente das condições climáticas, edáficas e fitossanitárias (Amado et al., 2002).

As menores concentrações de C orgânico e as maiores quantidades de N total, em 2010, foram verificadas na constituição dos tecidos das leguminosas (Tabela 2). Isso justifica a estreita relação C/N, definida, não somente pela maior quantidade de N, mas, também, pela menor quantidade de C, o que resultou na menor relação C/N, significativamente inferior ($p \leq 0,05$) à das gramíneas aveia-preta e centeio (Tabela 2). As demais culturas de cobertura apresentaram valores intermediários. Os fatores climáticos promoveram, nesse mesmo ano, a queda precoce de folhas (constatação visual) do nabo forrageiro, o que possivelmente interferiu na relação C/N dos tecidos. Giacomini et al. (2003) observaram valores médios (23,5) semelhantes para a relação C/N, para a mesma espécie.

Os maiores valores para a relação C/N, em 2011, foram obtidos para o azevém, a aveia-preta e o consórcio entre A+E (Tabela 2), enquanto os menores foram observados para as leguminosas e a brássica, tendo variado entre 9 e 17. Valores semelhantes, de 30,6 e 28,3, foram encontrados por Heinrichs et al. (2001), para ervilhaca comum (13), e por Torres et al., (2008), para aveia-preta, em dois anos distintos. Foi constatada relação C/N intermediária para o cultivo solteiro de cada espécie, com o consórcio entre A+E+N, que apresentou valor de 20, o que corrobora os relatos de Giacomini et al. (2003). De acordo com estes autores, a combinação entre gramínea, leguminosa e brássica, além de promover a produção de MS equivalente à obtida com uso de gramíneas puras, é uma estratégia que, por meio da relação C/N do conjunto de plantas, busca alterar a taxa de decomposição dos resíduos vegetais e, concomitantemente, visa a proteção do solo e a liberação de N em sincronia com a demanda da cultura em sucessão. O mesmo comportamento não foi observado para o consórcio entre A+E, em ambos os anos, o que indica relação C/N similar à da aveia-preta em cultivo solteiro.

Quanto à decomposição das plantas de cobertura de inverno, no ano agrícola 2010/2011, observou-se manutenção de 69% da MS inicial da aveia-preta após 23 dias. Esse resultado é semelhante ao obtido por Doneda et al. (2012), que constataram aproximadamente 59% da MS remanescente de aveia-preta no interior das sacolas de decomposição aos 21 dias. A ervilhaca comum apresentou a maior taxa de decomposição dos

Tabela 1. Taxa de cobertura do solo (%) pelas plantas de cobertura de inverno em diversos dias após a semeadura (DAS), nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012⁽¹⁾.

Plantas de cobertura	Ano agrícola 2010/2011 (dos 15 aos 49 DAS)						Ano agrícola 2011/2012 (dos 22 aos 99 DAS)											
	15	22	28	35	42	49	22	29	36	43	50	57	64	71	78	85	92	99
Aveia-preta	22 ^{ns}	28bcd*	43ab	58ab	62 ^{ns}	90a	31a*	35a	44a	63a	78ab	83ab	86ab	88a	100a	100a	100a	100a
Trigo/avevém ⁽²⁾	26	41ab	42ab	41bc	55	68ab	2b	4c	12b	31bc	53c	60bc	71abc	90a	99a	100a	100a	100a
Centeio	17	27bcd	39b	47abc	60	85a	5b	9c	13b	37bc	57bc	60bc	68bc	84a	89a	96a	96a	100a
Ervilhaca comum	18	19d	14c	18d	40	40c	4b	6c	10b	28bc	45cd	49c	63c	82a	91a	100a	100a	100a
Tremoço-branco	12	17d	23c	26cd	48	49bc	7b	7c	8b	18c	23d	23d	29d	37b	38c	61b	61b	71b
Nabo forrageiro	29	46a	52ab	63ab	62	92a	6b	11bc	17b	40b	41cd	40cd	40d	51b	63b	100a	100a	100a
A+E	19	24cd	40b	53ab	50	81a	22a	26ab	34a	62a	82a	85ab	87ab	92a	99a	100a	100a	100a
A+E+N	24	34abc	55ab	67a	82	94a	26a	35a	39a	69a	85a	85a	90a	90a	100a	100a	100a	100a
CV (%)	35	17,4	13,1	16,7	37,9	12,3	29	35	26	16	14	15	11	11	9,5	2,1	2,1	1,7

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo. ⁽²⁾Trigo mourisco, ano agrícola 2010/2011 e azevém, ano agrícola 2011/2012. A+E, consórcio entre aveia-preta e ervilhaca comum; A+E+N, consórcio entre aveia-preta, ervilhaca comum e nabo forrageiro.

resíduos, tendo mantido apenas 39% do total de MS em superfície do solo, no mesmo período.

Ao final do ciclo do milho, aos 122 dias, no ano agrícola 2011/2012, a ervilhaca comum apresentava somente 20% (472 kg ha⁻¹) dos resíduos em cobertura, diferente da aveia-preta e do centeio, que mantiveram, respectivamente, 41% (1.242 kg ha⁻¹) e 37% (1.504 kg ha⁻¹) de MS remanescente sobre o solo. Isso evidencia o baixo potencial de proteção do solo, ao longo do tempo, pela leguminosa isolada.

A decomposição da palhada dos consórcios ao longo do período avaliado foi similar à da aveia-preta em cultivo solteiro (Figura 2 A), com manutenção de 1.564 e 1.045 kg ha⁻¹ para os consórcios entre A+E e A+E+N, o que representa 39 e 40% da MS inicial, respectivamente. A redução da taxa de decomposição dos resíduos dos consórcios, em comparação à leguminosa isolada, possibilita a permanência de resíduos culturais sobre o solo por maior período de tempo, o que contribui para a manutenção de umidade e a proteção contra o efeito erosivo (Aita & Giacomini, 2003).

O trigo mourisco, o tremoço-branco e o centeio apresentaram taxa de decomposição intermediária à obtida com ervilhaca comum e aveia-preta, tendo mantido, em superfície do solo, quantidades entre 28 e 37% da MS após 122 dias (Figura 2 A).

O nabo forrageiro apresentou uma dinâmica de decomposição diferenciada, com permanência de 90 e 55% de MS remanescente aos 23 e 122 dias, respectivamente (Figura 2 A), possivelmente em decorrência da estiagem que ocorreu na metade final do

seu desenvolvimento (Figura 1). Isso resultou em uma maior proporção de colmos e síliquas na composição da MS e alterou a relação C/N, o que, por sua vez, diminuiu a taxa de decomposição. Mesmo assim, os resultados do presente trabalho corroboram os encontrados por Medrado et al. (2011), que registraram permanência de 84 e 53% da MS inicial dessa cultura ao final dos 30 e 161 dias de avaliação, respectivamente. Assim, percebe-se o potencial de inclusão dessa espécie no sistema produtivo agrícola.

No ano agrícola 2011/2012, após 30 dias da deposição das bolsas de decomposição no campo, verificou-se a manutenção de 84% da MS inicial da aveia-preta em superfície do solo, enquanto, para o mesmo período, o nabo forrageiro e a ervilhaca comum preservaram apenas 68 e 62%, respectivamente. Dessa forma, confirma-se que a decomposição dos resíduos vegetais está associada à relação C/N do material e que espécies não gramíneas permanecem menos tempo protegendo o solo, por apresentarem maior taxa de decomposição do que as gramíneas (Ceretta et al., 2002). Taxas de decomposição do nabo forrageiro inferiores às do presente trabalho foram relatadas por Medrado et al. (2011) e Aita & Giacomini (2003), com respectiva manutenção de 84 e 75% dos resíduos iniciais na superfície. Quanto à decomposição da ervilhaca, Aita & Giacomini (2003) constataram manutenção de 57% de MS remanescente ao final do primeiro mês de avaliação.

A participação da aveia-preta nos consórcios reduziu a taxa de decomposição em relação à leguminosa e às crucíferas puras (Figura 2 B). Isso

Tabela 2. Matéria seca (MS) da parte aérea, nitrogênio total (N), carbono orgânico (C) e relação C/N das plantas de cobertura de inverno, para 2010 e 2011⁽¹⁾.

Plantas de cobertura	2010				2011			
	MS (kg ha ⁻¹)	C (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	Relação C/N	MS (kg ha ⁻¹)	C (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	Relação C/N
Aveia-preta	3.000 ^{ns}	420a*	14c	32a	4.703a	400a	16cd	26ab
Trigo mourisco ⁽²⁾ /Azevém	2.800	356bc	19bc	19ab	3.757abc	392ab	13d	32a
Centeio	4.067	415a	14c	32a	4.563ab	393a	19bcd	21bc
Ervilhaca comum	2.400	347c	36a	10b	2.023c	367cd	42a	9d
Tremoço-branco	3.000	348c	31ab	12b	2.663bc	374bc	27b	15cd
Nabo forrageiro	2.200	389ab	18bc	25ab	2.665bc	353d	21bc	17c
A+E	4.000	405a	14c	29ab	4.453ab	392ab	15cd	26ab
A+E+N	2.600	399a	20bc	22ab	4.507ab	394a	20bcd	20bc
CV (%)	39,2	3,5	25,1	31,0	26,1	2,4	18,7	19,5

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ⁽²⁾O trigo mourisco foi utilizado em 2010, substituído pelo azevém em 2011. A+E, consórcio entre aveia-preta e ervilhaca comum; A+E+N, consórcio entre aveia-preta, ervilhaca comum e nabo forrageiro.

possibilitou a permanência de 81 e 79% da MS inicial dos consórcios entre A+E e A+E+N, em superfície, aos 30 dias, o que representa 3.619 e 3.582 kg ha⁻¹ de resíduos em cobertura, respectivamente. Esse fato provavelmente está associado ao equilíbrio da relação C/N, principalmente no consórcio triplo.

Ao longo do período avaliado no ano agrícola 2011/2012 (90 dias), a aveia-preta apresentou a menor taxa de decomposição, com manutenção de 63% (2.952 kg ha⁻¹) de MS remanescente em cobertura do solo (Figura 2 B), seguida dos consórcios entre A+E e A+E+N, com 59% (2.641 kg ha⁻¹) e 55% (2.495 kg ha⁻¹), respectivamente. Os consórcios, além de proteger o solo ao proporcionar a manutenção de resíduos em sua superfície, apresentam potencial de adição de N ao sistema e de fornecimento do nutriente às culturas subsequentes, por meio da participação da leguminosa.

A utilização de centeio, azevém e nabo forrageiro como alternativas à obtenção e à manutenção de palhada em SPD proporciona a permanência da metade dos resíduos vegetais produzidos na superfície do solo, ao longo do tempo (Figura 2 B). O tremoço-branco apresentou redução na taxa de decomposição dos resíduos a partir dos 45 dias, tendo permanecido com

61% (1.618 kg ha⁻¹) da MS produzida sobre o solo. Isso pode ser explicado pelo predomínio de colmos e vagens, que apresentam decomposição mais lenta.

Entre os sistemas utilizados, a ervilhaca comum apresentou o menor potencial para proteção do solo, em função da baixa persistência de seus resíduos ao longo dos 90 dias de avaliação, tendo mantido apenas 46% (933 kg ha⁻¹) de MS remanescente. Entre os inúmeros fatores que regulam a decomposição dos tecidos vegetais, estão o estágio de desenvolvimento da espécie no momento do manejo (Crusciol et al., 2005), a composição química do material vegetal e as condições climáticas durante o período avaliado (Espindola et al., 2006).

Portanto, as diferenças verificadas em relação à MS remanescente, para um mesmo material em estudo, em diferentes anos agrícolas, podem ser atribuídas às características intrínsecas dos próprios resíduos culturais, bem como às condições edafoclimáticas, o que evidencia a importância e a necessidade de estudos específicos em diferentes regiões. Além disso, percebe-se que o uso de consórcios permite incorporar, ao sistema, os benefícios isolados das culturas que o compõem e que deve ser estimulado em SPD.

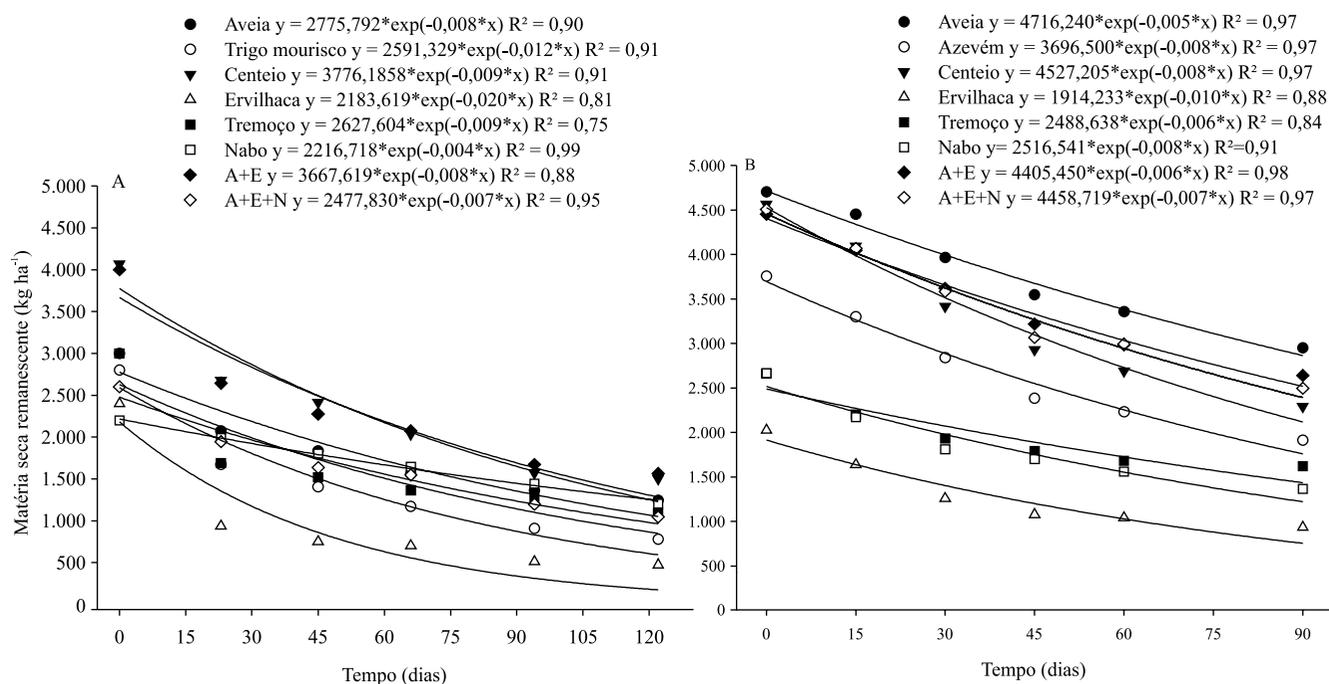


Figura 2. Matéria seca remanescente das plantas de cobertura de inverno, após a deposição de bolsas de decomposição em superfície do solo, nos anos agrícolas 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B). A+E, consórcio entre aveia-preta e ervilhaca comum; A+E+N, consórcio entre aveia-preta, ervilhaca comum e nabo forrageiro.

Conclusões

1. A aveia-preta (*Avena strigosa*), em cultivo solteiro e consorciado, apresenta elevado potencial para cobertura do solo aos 49–50 dias após a semeadura, com aporte de matéria seca (MS) superior a 2.600 kg ha⁻¹ na superfície do solo.

2. O consórcio entre aveia-preta, ervilhaca comum (*Vicia sativa*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) (A+E+N) proporciona resíduos vegetais na superfície do solo com relação C/N equilibrada em comparação aos cultivos solteiros.

3. Gramíneas puras e consórcios com gramíneas apresentam maior potencial de proteção do solo, pela permanência de resíduos na superfície.

4. O consórcio entre A+E+N apresenta decomposição intermediária aos cultivos solteiros e promove a manutenção de, no mínimo, 1.045 kg ha⁻¹ de palhada sobre o solo 120 dias após seu manejo.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsas e apoio financeiro (processo Capes 2729/2011 e processo CNPq 486149/2013-7).

Referências

- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.601-612, 2003. DOI: 10.1590/S0100-06832003000400004.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de coberturas do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002. DOI: 10.1590/S0100-06832002000100025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Plano ABC**: metas. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc/metas>>. Acesso em: 27 mar. 2015.
- CARVALHO, I.Q. de; SILVA, M.J.S. da; PISSAIA, A.; PAULETTI, V.; POSSAMAI, J.C. Espécies de cobertura de inverno e nitrogênio na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Scientia Agraria**, v.8, p.179-184, 2007. DOI: 10.5380/rsa.v8i2.8367.
- CARVALHO, W.P. de; CARVALHO, G.J. de; ABBADE NETO, D. de O.; TEIXEIRA, L.G.V. Desempenho agrônomo de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.157-166, 2013. DOI: 10.1590/S0100-204X2013000200005.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLETTI, N.; SILVEIRA, M.J. da. Produção e decomposição de fitomassa de plantas inverniais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v.32, p.49-54, 2002. DOI: 10.1590/S0103-84782002000100009.
- CRUSCIOL, C.A.C.; COTTICA, R.L.; LIMA, E. do V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.161-168, 2005. DOI: 10.1590/S0100-204X2005000200009.
- DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; MIOLA, E.C.C.; GIACOMINI, D.A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1714-1723, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000600005.
- ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. de; TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.321-328, 2006. DOI: 10.1590/S0100-06832006000200012.
- ESTADO da arte do plantio direto em 2013. Florianópolis: [s.n.], 2013. 43p. Disponível em: <http://www.agrisus.org.br/arquivos/relatorio_final_PA1080.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2015.
- EVOLUÇÃO do sistema de plantio direto no Paraná. Curitiba: EMATER-PR; Foz do Iguaçu: Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação, 2014. Disponível em: <http://febrapdp.org.br/download/EVOLUCAO_DO_SPD_NO_PARANA_2014.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2015.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.325-334, 2003. DOI: 10.1590/S0100-06832003000200012.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.331-340, 2001. DOI: 10.1590/S0100-06832001000200010.
- MEDRADO, R.D.; CARVALHO, P.C. de F.; MORAES, A. de; RIOS, E. de M.; LANG, C.R.; LOPES, E.C.P. Decomposição de resíduos culturais e liberação de nitrogênio para a cultura do milho. **Scientia Agraria**, v.12, p.97-107, 2011. DOI: 10.5380/rsa.v12i2.33761.
- RIZZARDI, M.A.; FLECK, N.G. Métodos de determinação da cobertura foliar da infestação de plantas daninhas e da cultura da soja. **Ciência Rural**, v.34, p.13-18, 2004. DOI: 10.1590/S0103-84782004000100003.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.;

- ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- SILVA, A.A. da; SILVA, P.R.F. da; 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. **Ciência Rural**, v.37, p.928-935, 2007. DOI: 10.1590/S0103-84782007000400002.
- SILVA, F. de A.S.; AZEVEDO, C.A.V. de. A new version of the Assistat-Statistical Assistance software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4., 2006, Orlando. **Proceedings**. Orlando: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p.393-396.
- SILVA, F.C. da (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627p.
- SILVA, P.R.F. da; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; STRIEDER, M.L.; SILVA, A.A. da. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, v.36, p.1011-1020, 2006. DOI: 10.1590/S0103-84782006000300049.
- SOUZA, C.M. de; PIRES, F.R.; PARTELLI, F.L.; ASSIS, R.L. de. **Adubação verde e rotação de culturas**. Viçosa: Ed. UFV, 2012. 108p.
- 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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.421-428, 2008. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000300018.
- WUTKE, E.B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. do P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O.F. de; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2014. v.1, p.59-168.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988. DOI: 10.1080/00103628809368027.

Recebido em 19 de dezembro de 2014 e aprovado em 6 de abril de 2015