

Agroecología 7:63-71, 2012

AUMENTO DO RENDIMENTO DOS CULTIVOS ATRAVÉS DA SUPRESSÃO DE PLANTAS ESPONTÂNEAS EM SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO ORGÂNICO EM SANTA CATARINA, BRASIL

Miguel Altieri¹, Marcos Alberto Lana², Henrique von Hertwig Bittencourt³, Marcelo Venturi⁴, André dos Santos Kieling⁵, Jucinei José Comin⁴, Paulo Emílio Lovato⁴

¹College of Natural Resources, University of California, Berkeley, California, USA, CA 94720; ²Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research, CLARIS-LPB, Müncheberg, Germany; ³Curso de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, PR, Brazil; ⁴Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil; ⁵Profissional Autônomo, São Gabriel, RS, Brazil. E-mail: agroeco3@berkeley.edu.

Resumo

Agricultores familiares de Santa Catarina, região Sul do Brasil, têm modificado o sistema de plantio direto convencional ao cobrir o solo utilizando diferentes misturas de culturas de cobertura sem uso de herbicidas como estratégia para reduzir a erosão e as flutuações na umidade e temperatura do solo, melhorando assim a qualidade do solo, o controle de plantas espontâneas e o desempenho das culturas. Entre os anos de 2005 e 2008 realizaram-se três experimentos que visaram a compreensão dos processos e dos mecanismos envolvidos no êxito de sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS), com foco nos fundamentos envolvidos na supressão de plantas espontâneas, uma das principais vantagens dos sistemas agroecológicos de manejo do solo em comparação aos sistemas de plantio direto convencionais. Tanto os resultados obtidos através dos experimentos como das observações dos agricultores sugerem que plantas de cobertura podem melhorar a supressão de plantas espontâneas e conseqüentemente o rendimento das culturas agrícolas por meio de interferência física, alelopatia e também pelo melhoramento da qualidade dos solos. Os resultados dos experimentos indicam que a melhor mistura de culturas de cobertura deve incluir uma proporção significativa de ervilhaca, centeio e nabo-forrageiro; que estas misturas devem produzir grandes quantidades de biomassa; que sejam facilmente controladas por esmagamento com rolo-faca para formação de espessa cobertura sobre o solo.

Palavras-chave: Agroecologia, plantas de cobertura, cobertura morta, alelopatia, supressão de plantas daninhas, plantio direto.

Summary

Enhancing crop productivity via weed suppression in organic no-till cropping systems in Santa Catarina, Brazil

Family farmers in Southern Brazil modified the conventional no-till system by flattening cover crop mixtures on the soil surface as strategy to reduce soil erosion and lower fluctuations in soil moisture and temperature, improve soil quality, and enhance weed suppression and crop performance. From 2005 to 2008 three field experiments were done to understand the processes and mechanisms associated in successful organic conservation tillage systems (OCT), especially the underpinnings of ecological weed suppression, a key advantage of OCT systems over conventional no-till systems. The field experiments results as well as farmers observations suggest that cover crops can enhance weed suppression and hence crop yield productivity through physical interference, allelopathy and also a host of effects on soil quality. Results from the trials indicate that: the best cover crops mixture should include a significant proportion of rye, vetch and fodder radish; the mixtures should produce large quantities of biomass; the cover crops and mixtures should be easily suppressed by rolling in order to cover the soil with a thick mulch layer.

Keywords: Agroecology, cover crops, mulch, allelopathy, weed suppression, no-tillage.

Introdução

Em Santa Catarina, Sul do Brasil, agricultores familiares vivem em regiões com relevo e clima que provocam intensos processos erosivos do solo, especialmente se a cobertura vegetal não for manejada de forma adequada. Os programas governamentais de promoção da conservação dos solos não têm sido bem sucedidos em alcançar estes pequenos agricultores, principalmente devido aos altos custos de maquinário e insumos como fertilizantes e herbicidas, podendo estes últimos ser responsáveis por 25% dos custos de produção (do Prado *et al.* 2004). Como uma forma de resistência e manutenção de sua atividade, muitos agricultores familiares ainda cultivam lavouras anuais utilizando uma auto-suficiência criativa, com base em um sistema de plantio direto sem herbicidas. A redução da perda de solo por erosão e as menores flutuações na umidade e temperatura do solo levaram os agricultores a manejar a biomassa fresca sobre o solo, melhorando a qualidade deste e o desempenho das culturas. Por mais de duas décadas, diversos pesquisadores e agentes de assistência técnica e extensão rural se uniram aos agricultores desenvolvendo sistemas de conservação do solo com o uso de adubos verdes e plantas de cobertura. O uso de plantas de cobertura minimizou a perda de solo por erosão, auxiliou no manejo de plantas espontâneas e apresentou efeitos positivos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Petersen *et al.* 1999). Assim, surgiu um inovador sistema agroecológico de manejo do solo.

Ao contrário dos sistemas convencionais de plantio direto, estes sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS) não dependem de herbicidas nem para o manejo das culturas de cobertura nem para controle de plantas espontâneas. Para tanto, empregam culturas de cobertura de verão ou de inverno que deixam uma camada espessa de resíduos de biomassa, onde, após esmagamento pelo rolo-faca, são plantadas ou semeadas diretamente culturas agrícolas tradicionais (milho, feijão, trigo, cebola, tomate, etc). Desta forma, as culturas agrícolas sofrem menos pela competição com plantas espontâneas durante a fase de estabelecimento do cultivo, atingindo assim níveis de rendimento agronomicamente aceitáveis. Dependendo da espécie utilizada como cultura de cobertura ou da combinação de espécies de culturas de cobertura, os resíduos vegetais podem diminuir o impacto causado pela presença de plantas espontâneas. Além das espécies utilizadas para a cobertura do solo, as respostas deste manejo dependem da quantidade e espessura dos resíduos vegetais; da taxa de degradação do resíduo; e da biologia de determinadas espécies de plantas espontâneas que constituem as populações (Fayad 2004). Com base em observações, agricultores relataram que o surgimento de certas espécies de plantas espontâneas diminuiu proporcionalmente em relação ao aumento da quantidade

e espessura de cobertura morta produzida. A adoção de sistemas de conservação é desigual e fragmentada em diferentes regiões do Estado de Santa Catarina, apesar da realização de pesquisa e experimentação em propriedades e campos experimentais de instituições de pesquisa agropecuária, da disponibilidade de germoplasma de cobertura vegetal para os ciclos de verão e inverno e para diferentes sistemas de rotações e cultivo, bem como para diferentes tipos de solos. Uma das possíveis razões é a escassez de pesquisas que esclareçam os fundamentos ecológicos destes sistemas, em especial, os processos envolvidos na supressão de plantas espontâneas e como estas influenciam a fertilidade do solo e o rendimento das culturas (Lana 2007). A experiência com outros sistemas agroecológicos (Altieri 2002) mostra que simplesmente copiar as misturas de cobertura vegetal utilizadas por outros agricultores não garante o êxito, pois o desempenho está ligado a processos que ocorrem em sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS), e não restrito a espécies ou técnicas específicas. Neste contexto, como propriedades emergentes de um determinado sistema agrícola, surgem as plantas espontâneas e condições de fertilidade do solo adequadas para os cultivos. A sinergia associada à conservação dos solos neste caso torna difícil avaliar práticas individuais (cobertura versus sem cobertura) de forma eficaz, porque os testes experimentais de fatores únicos são ineficazes para revelar o verdadeiro potencial de um SAMS (Altieri 1995). O objetivo deste trabalho é analisar e entender os processos e mecanismos em jogo em SAMS bem sucedidos, incluindo os fundamentos ecológicos de supressão de plantas espontâneas, uma das principais vantagens deste sistema sobre os convencionais. A presente discussão baseia-se em três experimentos no Estado de Santa Catarina, cujos resultados contribuem para a elucidação dos mecanismos que fornecerão princípios e diretrizes para agricultores interessados em fazer a transição para sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS).

O que se sabe sobre sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS)?

Aspectos agronômicos

A erosão do solo resultante de atividades de manejo levou pesquisadores e agricultores a buscarem alternativas para reverter o processo de degradação do solo, concentrando-se na redução da movimentação do solo. Isso levou a movimentos de promoção da conservação do solo, ou mesmo plantio direto. A despeito de ser uma tecnologia importada, no Brasil, durante as quatro últimas décadas, o plantio direto convencional foi aperfeiçoado e adaptado para quase todos os tamanhos de propriedades agrícolas, tipos de solo, de culturas e zonas climáticas, sendo utilizado em mais de 17 milhões de hectares (IBGE 2011). Promotores de métodos de

conservação do solo (CS) afirmam que a tecnologia é sustentável porque além de conservar os solos, melhora sua qualidade, estrutura, aumenta a infiltração de água e atividade biológica, economiza energia e trabalho, captura CO₂, entre outros. Apesar dos benefícios promovidos pela conservação dos solos, os sistemas são baseados principalmente em monoculturas como as que sustentam cultivos de milho e soja geneticamente modificados e apresentam forte dependência de herbicidas, sendo estes últimos responsáveis por 48% dos mais de 1 milhão de toneladas de agrotóxicos utilizados no Brasil em 2010 (ANVISA 2011). Além disso, no Brasil, a conservação dos solos é uma tecnologia adotada principalmente por grandes produtores, em razão dos custos reduzidos associados à mecanização necessária e os herbicidas, que supostamente criam economias de escala excluindo a maioria dos agricultores com pequenas áreas (Petersen *et al.* 1999).

Em Santa Catarina, a Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural (Epagri) está há anos envolvida em esforços destinados a realização e divulgação de sistemas de plantio direto apropriados para agricultores familiares. Neste tempo foram identificadas e selecionadas espécies de plantas de cobertura adequadas ao sistema de plantio direto (Monegat 1991), e para o Sul do Brasil, mais de 100 espécies ou variedades de plantas de cobertura de inverno e de verão estão disponíveis para uso pelos agricultores (Derpsch e Callegari 1992). Em função do relevo, tamanho e recursos disponíveis, a maioria dos pequenos agricultores usa animais ou mini-tratores para tração. Fabricantes locais produzem uma variedade de máquinas de plantio direto para este mercado, e sua disponibilidade permitiu a propagação do plantio direto na região. Em algumas partes do Estado, como o Alto Vale do Itajaí, complexos sistemas multi-anuais com rotações de culturas de cobertura tornaram-se bem estabelecidos para determinadas culturas-chave, tais como o milho (*Zea mays* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), fumo (*Nicotiana tabacum* Berchtold & Opiz.) e cebola (*Allium cepa* L.). Geralmente há variações locais de um determinado sistema de cultivo que incluem elementos diferentes, tais como cultivo mínimo ou plantio direto, tração animal ou mecânica, ou variações na composição de espécies de culturas de cobertura e sequenciamento da rotação (Monegat 1991). Aparentemente a adoção desta tecnologia por parte dos agricultores é reforçada devido ao fato de que ela reduz as exigências de trabalho na cultura e o número de operações no solo, além de minimizar a erosão e o crescimento de plantas espontâneas e, finalmente, melhora a qualidade do solo, o desempenho da cultura e o retorno financeiro (Kieling 2007).

Do Prado *et al.* (2004) descrevem várias estratégias sobre como utilizar adubos verdes em sistemas convencionais de produção, a gestão da biomassa, as operações culturais, a época de semeadura, a variedade

de equipamentos utilizados pelos agricultores e a produção de sementes das várias espécies. O manejo das plantas de cobertura, em geral, exige o esmagamento da biomassa com um rolo-faca, que no caso das leguminosas é feito após a floração plena, quando fornecem maior quantidade de biomassa e nutrientes para o solo. A maioria dos agricultores observa um período de espera após o esmagamento das culturas de coberturas e antes do plantio da cultura subsequente, que varia de uma espécie para outra e pode depender da relação C/N da cobertura morta. Para as leguminosas (ervilhaca) e brassicáceas (nabo-forageiro) o período de espera é de 1-2 semanas, enquanto para gramíneas (aveia, centeio, azevém) pode representar 3-4 semanas (do Prado *et al.* 2004). A maioria das pesquisas tem mostrado que quando as culturas de cobertura são esmagadas, ao invés de cortadas, o tempo de decomposição é mais longo, formando assim uma camada supressora de plantas espontâneas, em muitos casos, permitindo a redução ou até mesmo eliminação do uso de herbicidas. Kliewer *et al.* (1998) relataram um rendimento de soja semeada após o cultivo de aveia-preta de 2.600 kg/ha sem uso de herbicidas. Em medições de biomassa de plantas espontâneas 96 dias após a semeadura da soja foi observado 93 kg/ha de matéria seca de espontâneas em um sistema de plantio direto com palhada de aveia preta, e 7.390 kg/ha quando o plantio ocorreu em uma área sob pousio, onde atingiu rendimentos de soja de apenas 780 kg/ha.

Em um sistema de rotação de cultivos no qual culturas de cobertura de inverno de ciclos longos e curtos são semeadas imediatamente após a colheita da safra anterior, e o cultivo da próxima cultura de verão ocorre após o esmagamento das culturas de coberturas, e possível dispensar o uso de herbicidas. Entretanto, dependendo das espécies empregadas como cultura de cobertura, pode ocorrer rebrote da mesma, gerando uma competição ente a cultura principal e a de cobertura. Em outras situações, os efeitos da cobertura morta podem não durar o suficiente para suprimir plantas espontâneas antes do dossel da cultura principal se desenvolver para exercer os efeitos supressivos de competição e sombreamento.

Os efeitos da cobertura verde na dinâmica de comunidades de plantas espontâneas

O esmagamento das culturas de cobertura e a permanência dos resíduos vegetais na superfície do solo podem promover vários efeitos sobre a germinação e crescimento de plantas espontâneas: a barreira física exercida pelos resíduos de culturas de cobertura pode exercer um efeito de supressão de plantas espontâneas simplesmente por servir como uma barreira mecânica para o crescimento e desenvolvimento normal das plantas, ou interceptando a radiação solar e diminuindo o fluxo térmico e hídrico no solo. Esses efeitos podem

afetar diretamente as espécies de plantas espontâneas que têm algum mecanismo de controle de dormência, ou que na germinação sejam dependentes de temperatura, luz ou água no solo (Christofolletti *et al.* 2007).

Um dos requisitos básicos para a germinação da maioria das sementes de plantas espontâneas é a exposição à luz solar (fotoblastia positiva). Em sistemas de cultivo com adequada cobertura do solo a quantidade de luz necessária para induzir a germinação de sementes de plantas espontâneas pode ser insuficiente (Teasdale e Mohler 1993).

A presença de resíduos de plantas que cobrem a superfície também pode afetar a temperatura do solo, geralmente reduzindo a amplitude térmica das camadas superficiais do solo e afetando as sementes de plantas espontâneas que para germinar necessitam de estímulo térmico. Embora haja pouca informação sobre o comportamento de germinação de várias espécies de plantas espontâneas, é conhecido que o efeito da cobertura vegetal do solo sobre a temperatura pode reduzir a germinação destas sementes (Liebman *et al.* 2001).

Pesquisas também sugerem que os resíduos de culturas de cobertura devem estar presentes em quantidades muito elevadas para fornecer um alto nível de supressão física das plantas espontâneas anuais. Quando cultivadas como culturas de cobertura, a combinação de gramíneas e leguminosas incrementa a produção de biomassa e, portanto, a espessura da cobertura morta, que na maioria dos casos leva a uma maior supressão de plantas espontâneas. Teasdale e Mohler (2000) mostraram que a inibição superior a 75% da emergência das plantas espontâneas é somente consistentemente alcançada quando a biomassa e a espessura da cobertura excedem 8.000 kg/ha^{-1} e 10 cm, respectivamente. Muitas misturas de culturas de cobertura, incluindo leguminosas e gramíneas (por exemplo, centeio e ervilhaca-peluda), atingem produções mais elevadas de biomassa se cultivados até a maturidade (Derpsch e Calegari 1992). Os resíduos podem ainda agir sobre as plantas espontâneas, em razão de suas características químicas, em um tipo de interação ecológica conhecido por alelopatia, que é promovido por várias espécies vegetais. Dependendo da espécie, certos resíduos vegetais liberam compostos alelopáticos que podem suprimir a germinação e o crescimento de plantas espontâneas (Wu *et al.* 1999). Esta inibição é causada por substâncias fitotóxicas que são liberadas pela decomposição dos resíduos vegetais. Fitotoxinas lixiviam da superfície do solo até 2 ou 3 cm, onde se localiza pelo menos 90% do banco de sementes de plantas espontâneas, formando uma zona alelopática. Plântulas cujas sementes germinam nesta zona frequentemente sofrem pela ação destes compostos (Liebman *et al.* 2001). Em Santa Catarina, muitos agricultores têm observado que quando espécies da família das brássicas (nabo-forrageiro, por exemplo) são incluídas na mistura de culturas de cobertura

a emergência de plantas espontâneas é menor. A razão para isto pode ser a presença, nestas plantas, de compostos glucosinolatos que hidrolisam em isotiocianatos, apresentando efeitos inibitórios no crescimento e germinação de outras plantas (Boydston e Hang 1995).

A dinâmica da comunidade de plantas espontâneas na conservação convencional dos solos e nos sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS) também pode ser fortemente influenciada pela estratégia de fertilização das culturas. Os adubos orgânicos apresentam liberação mais lenta de nutrientes (especialmente N) em comparação com fertilizantes minerais (Magdoff e van Es 2000). A taxa de liberação de nutrientes neste caso dependerá da relação C:N do adubo utilizado, das propriedades do solo, das condições climáticas e do método de incorporação, que, juntos, determinam a taxa de mineralização da matéria orgânica incorporada no solo (Liebman *et al.* 2001). A liberação mais rápida dos nutrientes, típica de fertilizantes sintéticos, muitas vezes é vantajosa para as plantas espontâneas, que geralmente são capazes de absorver os nutrientes nos estágios iniciais de crescimento mais rapidamente e mais eficientemente do que as culturas cultivadas. Plantas espontâneas geralmente exibem maior crescimento e resposta da área foliar aos fertilizantes químicos do que as cultivadas, aumentando a sua capacidade competitiva e sombreando as culturas (Liebman *et al.* 2001). A liberação mais lenta de nutrientes das fontes orgânicas não costuma resultar em aumento da capacidade competitiva de plantas espontâneas, mas pode favorecer a ocorrência destas plantas de final de ciclo, contribuindo para a reposição do banco de sementes no solo.

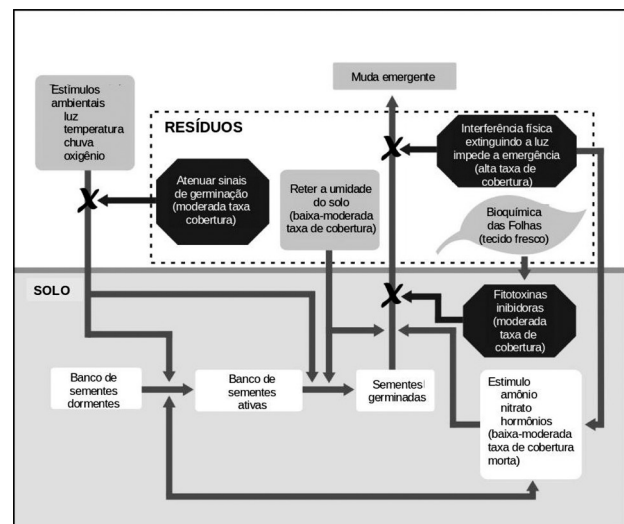


Figura 1: Efeitos da cobertura vegetal sobre a supressão de plantas espontâneas (baseado em Monegat 1991).

A espessura da cobertura, sua interferência física, os níveis de nutrientes e umidade, a presença de fitotoxinas, entre outros fatores e processos, estão intimamente conectados a sistemas agroecológicos de manejo do

solo (SAMS) e por conseqüência afetam a dinâmica das populações de plantas espontâneas (Fig. 1). Entretanto, muitas questões acerca da ecologia das plantas espontâneas e dos mecanismos que sustentam a supressão das mesmas em sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS) ainda necessitam de mais aprofundamento.

Experimentos agroecológicos em Santa Catarina

Para melhorar a compreensão dos efeitos supressivos das culturas de cobertura e dos mecanismos envolvidos nestes sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS), o grupo de pesquisa e extensão em agroecologia da Universidade Federal de Santa Catarina conduziu três experimentos entre 2005 e 2008 envolvendo combinações de várias culturas de cobertura de inverno em rotação com feijão (região de Campos Novos) e tomate (região de Ituporanga) em parcelas organizadas em blocos casualizados com três a oito repetições. Detalhes específicos sobre os projetos experimentais, tratamentos, métodos utilizados nesses estudos podem ser encontrados em Lana (2007), Kieling (2007) e Bittencourt (2008). Em todos os casos os dados foram submetidos à análise estatística de variância, bem como a testes de separação de médias.

Resultados

Ensaio com feijão

Experimento 1: O objetivo desta pesquisa foi avaliar o potencial das misturas de culturas de cobertura usadas por agricultores na região de Campos Novos na cultura do feijão. Devido a uma seca prolongada ocorrida na época preferencial de cultivo, o plantio foi atrasado em relação à época ideal, transformando assim este experimento em cultivo de safrinha. Ervilhaca (*Vicia villosa*), nabo-forageiro (*Raphanus sativus*) e centeio (*Secale cereale*) foram cultivados em pares, em um tratamento incluindo as três espécies, além do cultivo solteiro de centeio e como testemunha um tratamento simulando pousio. O objetivo foi observar a cobertura do solo e produção de biomassa das culturas de cobertura, o comportamento de populações de plantas espontâneas de inverno e verão, a taxa de degradação da biomassa das culturas de cobertura de inverno e o rendimento de feijão. Usando métodos descritos por Lana (2007), a cobertura do solo pelas culturas de cobertura e plantas espontâneas, a biomassa das plantas espontâneas e da cobertura verde, a diversidade de espécies de plantas espontâneas, bem como o crescimento do feijão após o esmagamento das culturas de cobertura foram medidos. A degradação da palhada também foi monitorada usando *litterbags* de 25 centímetros x 25 centímetros com dois milímetros de malha em cada parcela e que foram colocados entre a palhada e a superfície do solo para determinar a taxa de degradação das diversas coberturas (Lana 2007). Excluin-

do-se o uso de culturas de cobertura, não houve uso de qualquer outro método de controle de plantas espontâneas para permitir que somente o efeito das culturas de cobertura fosse observado.

Aos 112 dias após a semeadura das culturas de cobertura, as combinações de ervilhaca + nabo-forageiro + centeio, ervilhaca + nabo-forageiro e ervilhaca + centeio atingiram a maior produção de biomassa (5,39, 5,35 e 5,03 Mg ha⁻¹ de matéria seca por hectare, respectivamente) em comparação aos demais tratamentos (Tabela 1). A porcentagem de cobertura do solo pelas misturas atingiu 95%. A menor biomassa de plantas espontâneas de inverno foi observada no tratamento com ervilhaca + nabo-forageiro + centeio (0,26 Mg ha⁻¹), embora o tratamento centeio + ervilhaca também tenha exibido alto potencial supressivo de plantas espontâneas (0,46 Mg ha⁻¹ de biomassa de plantas espontâneas), seguido da mistura nabo-forageiro + ervilhaca (1,1 Mg ha⁻¹). Os maiores valores de biomassa de plantas espontâneas foram exibidos pelo tratamento centeio em monocultura (2,01 Mg ha⁻¹), pela mistura de centeio + nabo-forageiro (2,52 Mg ha⁻¹), e pelo tratamento pousio, que atingiu o valor de 5,41 Mg ha⁻¹. A taxa de decomposição destes resíduos também foi afetada pela combinação de culturas de cobertura, sendo esta aumentada com a presença de ervilhaca. Esta espécie tem uma relação C:N 14,8, com resíduos que decompõem mais rapidamente do que o centeio, o qual produz mais biomassa e leva mais tempo para se degradar, pois tem uma relação C:N 34,4. Quando em uma mistura de culturas de cobertura envolvendo leguminosas e gramíneas com maior proporção do primeiro grupo, há tendência de que a relação C:N da biomassa seja mais baixa, favorecendo uma decomposição mais rápida destes resíduos (Fig. 2). Os rendimentos de feijão nas parcelas em pousio foram baixos (0,3 Mg ha⁻¹): como essas parcelas tiveram o maior valor de biomassa de plantas espontâneas de verão (3,8 Mg ha⁻¹ aos 100 dias após plantio do feijão), pode-se afirmar que houve intensa competição entre cultivo e plantas espontâneas. As parcelas sob o tratamento ervilhaca + nabo-forageiro e centeio + nabo-forageiro também exibiram rendimentos baixos de feijão (0,35 Mg ha⁻¹ e 0,31 Mg ha⁻¹, respectivamente, sem diferenças significativas das parcelas com pousio), atingindo maiores valores de biomassa de plantas espontâneas de verão (em média 3,0 Mg ha⁻¹) quando em comparação com os demais tratamentos. Pela análise de variância (ANOVA) os rendimentos de feijão foram significativamente maiores nos tratamentos onde o feijão foi cultivado sobre resíduos de misturas de centeio + ervilhaca + nabo-forageiro (0,82 Mg ha⁻¹) e o centeio + ervilhaca (0,63 Mg ha⁻¹) e na monocultura do centeio (0,76 Mg ha⁻¹). Estas parcelas exibiram menores valores de biomassa de plantas espontâneas de verão do que as parcelas sob pousio (menos de 2,0 Mg ha⁻¹) aos 100 dias após a semeadura do feijão.

Tabela 1. Biomassa seca de culturas de cobertura (Mg ha^{-1}) em três períodos após a semeadura (Lana 2007).

Tratamento	Dias após a semeadura		
	40 dias	87 dias	112 dias
Centeio + ervilhaca	0.417 a	2.00 b	5.03 ab
Nabo-forrageiro + ervilhaca	0.359 ab	1.44 bc	5.35 a
Centeio + Nabo-forrageiro	0.242 b	1.10 c	3.89 c
Centeio + Nabo-forrageiro + ervilhaca	0.389 a	2.15 a	5.39 a
Centeio	0.292 ab	1.42 bc	4.71 b

Médias dos tratamentos seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente (teste Fisher LSD, $p \leq 0.05$).

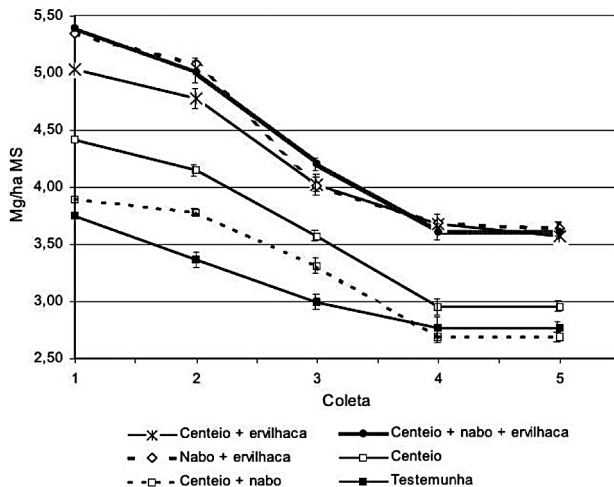


Figura 2: Massa de resíduos das culturas de cobertura e do tratamento pousio (testemunha), coletada no momento da rolagem culturas de cobertura (coleta 1) e a cada 30 dias (coleta 2 a 5) medida pelo método de bolsas de decomposição (litterbags). As barras indicam o erro padrão de cada média por tratamento (Teste DMS-Fisher $p \leq 0,05$) (Lana 2007).

Experimento 2: O experimento foi realizado na mesma área do experimento 1, e o objetivo foi determinar o efeito de supressão de plantas espontâneas pela palhada de culturas de cobertura de inverno. As espécies utilizadas foram escolhidas por serem comumente utilizadas e recomendadas por agentes de assistência técnica e extensão rural e pesquisadores da região Centro-Oeste de Santa Catarina. Foram avaliados os efeitos de centeio, aveia-preta (*Avena strigosa*), aveia-preta + ervilhaca + nabo-forrageiro sobre a porcentagem de cobertura do solo, produção de biomassa das culturas de cobertura de inverno e plantas espontâneas de verão e os rendimentos de feijão (Bittencourt *et al.* 2009).

Os consórcios de centeio + ervilhaca, centeio + ervilhaca + nabo-forrageiro e aveia-preta + ervilhaca apresentaram os maiores percentuais de cobertura do solo, com valores próximos a 90%. Na produção de biomassa das culturas de cobertura de inverno, a mistura de aveia-preta + ervilhaca + nabo-forrageiro produziu $5,64 \text{ Mg ha}^{-1}$, não diferindo dos valores produzidos por centeio + ervilhaca + nabo, centeio + aveia-preta, centeio + ervilhaca e centeio (Tabela 2). Centeio + ervilhaca + nabo e aveia-preta + ervilhaca + nabo-forrageiro não diferiram do pousio

na produção de biomassa de plantas espontâneas, que atingiu $2,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ aos 28 dias após a semeadura do feijão. O maior efeito de supressão de plantas espontâneas aos 28 dias após a emergência do feijão foi observado nas parcelas com os tratamentos aveia-preta, centeio, centeio+ervilhaca, aveia-preta+ervilhaca, centeio+aveia-preta e aveia-preta+ervilhaca+nabo-forrageiro (Tabela 3). As espécies de plantas espontâneas que se destacaram na produção de biomassa foram *Brachiaria plantaginea*, *Ipomoea grandifolia*, *Bidens pilosa* e *Euphorbia heterophylla*.

Os rendimentos de feijão em todos os tratamentos com plantas de cobertura foram superiores aos das parcelas de pousio de inverno. O maior rendimento de feijão foi obtido com aveia-preta ($1,95 \text{ Mg ha}^{-1}$), não diferindo significativamente dos rendimentos com centeio + ervilhaca, aveia-preta, aveia-preta + ervilhaca + nabo-forrageiro, centeio, centeio + aveia-preta e centeio + ervilhaca + nabo. Apenas o tratamento aveia-preta + ervilhaca diferiu dos demais tratamentos com culturas de cobertura, mas ainda assim apresentando rendimento de feijão maior que o observado no tratamento pousio. Devido ao menor custo da semente ($\text{US\$ } 25 \text{ ha}^{-1}$ e $\text{US\$ } 27 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente) e elevados rendimentos de feijão, os tratamentos aveia-preta e a aveia-preta mostraram maiores retornos por unidade monetária investida. Resultados similares também foram observados por Kliewer *et al.* (1998).

Experimento 3: O principal objetivo desta pesquisa realizada em Ituporanga foi avaliar os efeitos de diferentes culturas de cobertura de inverno em uma produção de tomate em plantio direto passando por um processo de transição agroecológica. Os tratamentos consistiram em combinações de culturas de cobertura de inverno: aveia-preta, ervilhaca e nabo-forrageiro em comparação com um tratamento pousio (testemunha). A biomassa de plantas espontâneas e de cobertura, as características físicas e químicas do solo e a produtividade de tomate foram avaliados (Kieling, 2007). A produção de biomassa foi decrescente de acordo com a seguinte ordem de tratamentos: aveia-preta + ervilhaca, aveia-preta, nabo-forrageiro + ervilhaca e nabo-forrageiro + aveia-preta. Em comparação com a testemunha, a biomassa de plantas espontâneas (biomassa média total coletada em três datas) atingiu valores mais baixos nas parcelas aveia-preta + ervilhaca e aveia-preta

Tabela 2. Médias e erros-padrão dos valores de biomassa seca de várias plantas de cobertura de inverno (Mg ha^{-1}) antes da rolagem (Bittencourt 2008).

Centeio	5.08	± 0.61 ab
Azevém	3.13	± 0.56 d
Aveia-preta	4.11	± 0.15 bcd
Centeio + azevém	5.01	± 0.58 ab
Centeio + ervilhaca	4.66	± 0.16 abc
Aveia-preta + ervilhaca	3.66	± 0.42 cd
Aveia-preta + ervilhaca + nabo-forrageiro	5.64	± 0.54 a
Centeio + ervilhaca + nabo-forrageiro	4.43	± 0.51 abc
Pousio	2.91	± 0.46 d

Médias dos tratamentos seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente (teste Fisher LSD, $p \leq 0.05$).

Tabela 3. Biomassa seca total de plantas espontâneas (Mg ha^{-1}) aos 14, 21 e 28 dias após a emergência de feijão com diferentes culturas de cobertura de inverno (Bittencourt 2008).

Culturas de cobertura de inverno	Dias após emergência		
	14	21	28
Centeio	0.63 ab	1.35 ab	1.47 a
Azevém	0.97 bc	1.34 ab	1.43 a
Aveia-preta	0.51 ab	1.10 ab	1.46 a
Centeio + Azevém	0.63 ab	1.12 ab	1.67 ab
Centeio + ervilhaca	0.44 a	0.96 a	1.47 a
Aveia-preta + ervilhaca	0.56 ab	1.29 ab	1.64 ab
Aveia-preta + ervilhaca + Nabo-forrageiro	0.66 abc	1.50 abc	1.92 abc
Centeio + ervilhaca + Nabo-forrageiro	0.78 ab	1.75 bc	2.36 bc
Pousio	1.12 c	2.09 c	2.62 c

Médias seguidos pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente (Fisher LSD, $p \leq 0.05$).

Tabela 4: Dados de culturas de cobertura e biomassa de plantas espontâneas (Mg ha^{-1} de biomassa seca) para cada tratamento em três diferentes datas de amostragem (média \pm erro padrão) (Kieling 2007).

Biomassa de culturas de cobertura*	Biomassa de plantas espontâneas		
Data		15/5/2005	16/11/2005
Tratamento	Pousio (controle)	0,0 \pm 0,0 d	5057
	Aveia-preta	6850 \pm 250 a	1316
	Ervilhaca	3306 \pm 418 c	3267
	Nabo-forrageiro	5101 \pm 203 b	1579
	Aveia + ervilhaca	7256 \pm 365 a	838
	Aveia + nabo	6082 \pm 424 ab	1205
	Ervilhaca + nabo	6598 \pm 488 ab	1183
	Aveia + ervilhaca + nabo	5911 \pm 1095 ab	896

Médias (na horizontal) não seguidas de letras não diferem estatisticamente (Teste-T Student, $p \leq 0.05$).

+ ervilhaca + nabo-forrageiro, seguidos das misturas ervilhaca + nabo-forrageiro, aveia-preta + nabo-forrageiro e aveia-preta (Tabela 4). Os rendimentos acumulados de tomate foram estimados pelo total de peso de frutos comerciais obtidos em oito colheitas consecutivas em cada parcela. As parcelas ervilhaca + nabo-forrageiro e aveia-preta exibiram os maiores rendimentos cumulativos, com valores de $82,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, $78,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $76,1 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. A parcela testemunha apresentou maior rendimento ($74,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) que as parcelas de nabo-forrageiro, aveia-preta + nabo-forrageiro e er-

vilhaca. Surpreendentemente, a combinação ervilhaca + nabo-forrageiro + aveia-preta apresentou os menores rendimentos de biomassa ($0,69 \text{ Mg ha}^{-1}$), embora a biomassa de plantas espontâneas observada neste tratamento fosse muito baixa ($0,79 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Discussão e conclusões

Nos três experimentos, o efeito de culturas de cobertura, solteiras ou em misturas, apresentou uma tendência de aumento nos rendimentos quando em comparação

com os tratamentos pousio. As culturas de cobertura também reduziram significativamente a pressão das plantas espontâneas sobre os cultivos, mas estes efeitos também foram dependentes da espécie ou mistura. No sistema de cultivo de feijão de Campos Novos a mistura centeio + ervilhaca + nabo-forrageiro consistentemente produziu a maior biomassa, suprimindo de forma significativa as plantas espontâneas. Provavelmente, a biomassa agiu como uma barreira para a luz a cobertura inibiu a germinação de muitas espécies de plantas espontâneas. Entretanto, a presença de aveia-preta, centeio ou azevém pode ter contribuído nestes processos supressivos através de efeitos alelopáticos. Por exemplo, o centeio pode suprimir significativamente plantas espontâneas em condições de campo, sendo este efeito atribuído a compostos como ácido B-fenilático e ácido B-hidroxiburítico e benzoxazinonas (Barnes e Putnam 1987). Outras espécies de aveia (*Avena spp*) têm a capacidade de exsudar escopoletina (6-metoxi-7-hidroxi cumarina), um produto químico identificado como fitotóxico para várias espécies de plantas (Putnam e Tang 1996). Compostos glucosinolatos contidos em brássicas, como nabo-forrageiro, também podem contribuir para manejo de plantas espontâneas, reduzindo a densidade e biomassa de plantas espontâneas, ainda que o efeito seja mais intenso quando a cultura de cobertura é incorporada ao solo (Wu *et al.* 1999). Dependendo da relação C:N das culturas de cobertura, e da consequente taxa de decomposição, a toxicidade de resíduos vegetais pode diminuir substancialmente após várias semanas de decomposição. Neste contexto muitos agricultores, para aumentar a chance de sucesso de estabelecimento de seus cultivos, esperam várias semanas entre a incorporação dos resíduos e a semeadura, com o intuito de que o efeito das culturas de cobertura suprima a germinação de plantas espontâneas antes do plantio. Agricultores semeiam cultivos como feijão, milho ou soja a uma profundidade maior do que três centímetros, pois observam que há uma alta taxa de falha na germinação quando a semeadura é feita superficialmente. Isto pode ser atribuído à concentração de substâncias alelopáticas na camada de dois centímetros superficiais do solo, como sugerido por Liebman *et al.* (2001). Alguns agricultores também observam que espécies de sementes pequenas parecem ser especialmente suscetíveis a compostos alelopáticos, ao passo que espécies de sementes maiores parecem ser relativamente insensíveis, reforçando assim a prática de transplante de mudas de culturas como cebola, tomate, hortaliças, etc. Embora os resíduos de culturas de cobertura e suas fitotoxinas são associados com a supressão de outras plantas – incluindo-se também os cultivos – os resíduos, quando apropriadamente manejados, também podem ter efeitos positivos sobre os agroecossistemas: melhoramento de parâmetros de qualidade do solo, nutrição de culturas e em alguns casos, supressão de patógenos do solo. Estes fatores desempenham um papel-chave na determinação do rendimento dos culti-

vos. Os resultados obtidos, bem como observações dos agricultores, corroboram com a hipótese de que plantas de cobertura podem aumentar a supressão de plantas espontâneas e, conseqüentemente, a produtividade das culturas (Fig. 1). Os resultados dos três estudos indicam que as melhores misturas de culturas de cobertura de inverno devem incluir uma proporção significativa de ervilhaca ou aveia-preta ou azevém, centeio e nabo-forrageiro, pois:

- Produzem boas quantidades de biomassa, pelo menos 4 Mg ha⁻¹ de matéria seca.
- São facilmente manejadas com um rolo-faca, formando uma cobertura suficiente para proporcionar controle de plantas espontâneas no cultivo subsequente.
- Quando em sistemas corretamente manejados, não suprimem a cultura principal através de efeitos alelopáticos ou microbianos (imobilização de N).
- Uma maior proporção de ervilhaca nas misturas diminui a relação C:N da cobertura, liberando N de forma mais gradual para o agroecossistema.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CS FUND, a Organic Farming Research Foundation (OFRF), a Epagri e a UFSC pelo apoio.

Referências

- Altieri MA. 1995. Agroecology: the science of sustainable agriculture. Boulder: Westview Press.
- Altieri MA. 2002. Agroecology: The Science of Natural Resource Management for Poor Farmers in Marginal Environments. Agriculture, Ecosystems and Environment 93.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. <http://portal.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/anvisa/home>. Acessado em 10/2011.
- Barnes JP, Putnam AR. 1987. Role of benzoxazinones in allelopathy of rye. Journal of Chemical Ecology 13: 889-906.
- Bittencourt HH, Lovato PE, Comin JJ, Lana MA, Altieri MA. 2009. Produtividade de feijão-guará e efeito supressivo de culturas de cobertura de inverno em espontâneas de verão. Acta scientiarum. Agronomy 31(4): 689-694.
- Bittencourt HH. 2008. Culturas de cobertura de inverno na implantação de sistema de plantio direto sem uso de herbicidas. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em agroecossistemas. Florianópolis, Brasil. <http://www.tede.ufsc.br/teses/PAGR0198-D.pdf>

- Boydston R, Hang A. 1995. Rapeseed (*Brassica napus*) green manure crop suppresses weeds in potato. *Weed technology* 9: 669-675.
- Christoffoleti PJ, Pinto de Carvalho SJ, Lopez-Ovejero RF, Nicoli M, Hidalgo E, da Silva JE. 2007. Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implications on weed biology and management. *Crop Protection* 26: 383-389.
- Derpsch R, Calegari A. 1992. Plantas para adubação verde de inverno. IAPAR, Londrina. Circular 73.
- do Prado WL, Heraclio de Freitas V, McGuire MM. 2004. Use of green manure/cover crops and conservation tillage in Santa Catarina, Brazil. En Green manure/cover crop systems of small holders: experiences from tropical and subtropical regions (Elilitta M, Mureithi J, Derpsch R, eds). Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Fayad JA. 2004. Sistema de plantio direto de hortaliças. Boletim Didático N 57. EPAGRI, Florianópolis, SC, Brasil.
- IBGE - Banco de dados agregados - SIDRA, Tabela 849. Disponível em <www.ibge.gov.br>. Acessado em 10/2011.
- Kieling AS. 2007. Plantas de cobertura em sistema de plantio direto de tomate: efeitos sobre plantas espontâneas, atributos do solo e a produtividade de frutos em um processo de transição agroecológica. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. Florianópolis, Brasil. <http://www.tede.ufsc.br/teses/PAGR0202-D.pdf>
- Kliewer L, Casaccia J, Vallejos F. 1998. Viabilidade da redução do uso de herbicidas e custos no controle de plantas daninhas nas culturas de trigo e soja no sistema de plantio direto através do emprego de adubos verdes de curto período. Resumo de Palestras: I Seminário Nacional Sobre Manejo e Controle de Plantas Daninhas em Plantio Direto. Passo Fundo, RS, Brasil: Editora Aldeia Norte, 120-123 pp.
- Lana MA. 2007. Uso de culturas de cobertura no manejo de comunidades de plantas espontâneas como estratégia agroecológica para o redesenho de agroecossistemas. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. Florianópolis, Brasil. <http://www.tede.ufsc.br/teses/PAGR0187-D.pdf>
- Liebman M, Mohler CL, Staver CP. 2001. Ecological management of agricultural weeds. Cambridge: Cambridge University Press.
- Magdoff F, van Es H. 2000. Building soils for better crops. SARE, Washington, D.C.
- Monegat C. 1991. Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó: [Edição do autor].
- Petersen P, Tardin JM, Marochi F. 1999. Participatory development of no-tillage systems without herbicides for family farming. *Environment, Development and Sustainability* 1: 235-252
- Putnam AR, Tang CS. (eds). 1996. The Science of Allelopathy. New York: John Wiley and Sons.
- Teasdale JR, Mohler CL. 1993. Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agron. J.* 85: 673-680.
- Teasdale JR, Mohler CL. 2000. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Sci.* 48: 385-392.
- Wu H, Pratley J, Lemerle D, Haig T. 1999. Crop cultivars with allelopathic capability. *Weed Research* 39 (3): 171-180.