



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Marcelo, Adolfo Valente; Corá, José Eduardo; Fernandes, Carolina
Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. I - produção de matéria seca e acúmulo de
nutrientes
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 36, núm. 5, outubro-novembre, 2012, pp. 1553-1567
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180224890020>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Comissão 3.3 - Manejo e conservação do solo e da água

SEQUÊNCIAS DE CULTURAS EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA. I - PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ACÚMULO DE NUTRIENTES⁽¹⁾

Adolfo Valente Marcelo⁽²⁾, José Eduardo Corá⁽³⁾ & Carolina Fernandes⁽⁴⁾

RESUMO

Em sistema de semeadura direta, os resíduos das culturas de entressafra são utilizados com as finalidades de proteger a superfície do solo dos agentes erosivos e de promover a ciclagem de nutrientes. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de matéria seca e o acúmulo de nutrientes nos resíduos vegetais provenientes de diferentes sequências de culturas em semeadura direta. O experimento foi conduzido em Jaboticabal-SP (48° 18' W e 21° 15' S), em um Latossolo Vermelho eutrófico. O delineamento experimental foi em faixas, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três sequências de culturas de verão (rotação soja-milho e monoculturas de milho e de soja) com sete culturas de entressafra (milho, sorgo, girassol, crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto). O experimento iniciou-se em 2002, e o presente estudo refere-se aos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009. Avaliaram-se as quantidades de matéria seca e o acúmulo de nutrientes pelas culturas. As culturas com colheita de grãos na entressafra (milho, sorgo e girassol) produziram resíduos com menor quantidade de nutrientes acumulados e em menor quantidade de matéria seca, quando comparadas às culturas com trituração no florescimento (crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto). Milheto e crotalária apresentaram as maiores produções de matéria seca e os maiores acúmulos de nutrientes. O milheto mostrou os maiores acúmulos de K e Mg, e a crotalária, maiores acúmulos de N e P. As gramíneas cultivadas na entressafra apresentaram maior desenvolvimento quando em sucessão ao cultivo de soja no verão anterior, com maior produção de matéria seca de milheto e, também, maior produtividade de grãos de milho e sorgo.

Termos de indexação: fitomassa, macronutrientes, culturas de inverno.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Projeto financiado pela FAPESP. Recebido para publicação em 28 de fevereiro de 2012 e aprovado em 16 de julho de 2012.

⁽²⁾ Doutor em Agronomia (Produção Vegetal), bolsista da FAPESP. Ciência em Solo - Laboratório de Análises e Consultoria Agrícola e Ambiental, Rua Frei Balthazar XIX, 83, Vila Maria, CEP 15025-390, São José do Rio Preto (SP). E-mail: adolfo@cienciaemsolo.com.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos e Adubos, Universidade Estadual Paulista - UNESP Campus de Jaboticabal. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n, CEP 14884-900, Jaboticabal (SP). E-mail: cora@fcav.unesp.br

⁽⁴⁾ Professora Assistente Doutora do Departamento de Solos e Adubos, UNESP. E-mail: carol@fcav.unesp.br

SUMMARY: CROP SEQUENCES IN NO-TILLAGE SYSTEM: I - DRY MATTER PRODUCTION AND NUTRIENT ACCUMULATION

In no-tillage systems, plant residues are used as soil cover to control soil erosion and promote nutrient cycling. The objective of this study was to evaluate the dry matter production and nutrient accumulation after different crop sequences in no-tillage. A field experiment was carried out on a Rhodic Eutrudox in Jaboticabal, SP, Brazil (48°18'W and 21°15'S). A randomized split-block design with three replications was used. The treatments were combinations of three summer crop sequences (soybean-corn rotation, corn monoculture and soybean monoculture) with seven crops in the second growing season (maize, grain sorghum, sunflower, sunn hemp, pigeon pea, oilseed radish, and pearl millet). The experiment started in 2002 and in this study, the dry matter production and nutrient accumulation by crops were evaluated in the growing seasons 2007/2008 and 2008/2009. The grain crops in the second growing season (maize, sorghum and sunflower) produced residues with lower nutrient amounts and less dry matter than the off-season crops that were cut at full flowering (sunn hemp, pigeon pea, oilseed radish, and pearl millet). Pearl millet and sunn hemp produced most dry matter and highest nutrient accumulation. Pearl millet showed highest K and Mg accumulation and sunn hemp highest N and P accumulation. A better development of the grasses was observed in the second growing season when planted after summer soybean, resulting in higher dry matter production of pearl millet and higher grain yield of maize and grain sorghum.

Index terms: biomass, macronutrients, winter crops.

INTRODUÇÃO

O sistema de semeadura direta (SSD), inicialmente adotado na região Sul do Brasil na década de 1970, tem expandido-se para outras regiões do País a partir da década de 1990, ocupando as principais regiões de produção de grãos. Atualmente, na região do Cerrado, a área cultivada nesse sistema de cultivo é de aproximadamente 10 milhões de hectares e, no território nacional, supera 25 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2011). A expansão do SSD para as regiões centrais do Brasil deve-se aos menores custos de produção e aos benefícios proporcionados pelo sistema, os quais se relacionam à permanência dos resíduos vegetais cobrindo a superfície do solo, o que reduz a erosão e a amplitude térmica nas camadas superficiais do solo. Esses fatores favorecem o desenvolvimento dos microrganismos e das culturas, devido à maior infiltração e retenção de água no solo. Também, os resíduos das culturas constituem uma fonte de nutrientes ao solo e aos microrganismos, por meio de sua decomposição. Essas características têm feito do SSD uma das principais estratégias de sustentabilidade econômica e ambiental dos agroecossistemas (Lopes et al., 2004).

Resultados de pesquisas em diversas condições climáticas demonstraram que o acúmulo de resíduos na superfície do solo em SSD, principalmente naqueles sistemas com maior tempo de adoção, tem influenciado a recomendação do manejo da adubação das culturas (Lara-Cabezas et al., 2004), pois a composição química dos resíduos vegetais, aliada à ausência do revolvimento do solo, promove modificações na

ciclagem dos nutrientes (Silva et al., 2006a). A capacidade de as culturas de cobertura reciclar nutrientes disponíveis no solo, a elevada demanda pelas culturas em sucessão e a possibilidade de redução de gastos com fertilizantes contribuem para a adoção da rotação de culturas em SSD (Aita & Giacomini, 2003; Giacomini et al., 2004).

A persistência, a quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais das culturas na superfície do solo estão relacionadas à eficácia do SSD. Na escolha das espécies para a composição de um adequado sistema de rotação de culturas, a adaptação às condições climáticas é de fundamental importância (Ceretta et al., 2002), além de outras características desejáveis, como rápido estabelecimento e com elevada produção de matéria seca; facilidade de manejo; sistema radicular profundo; eficiência na ciclagem de nutrientes; não promover infestação de doenças e pragas; além do interesse do produtor às perspectivas de comercialização dos produtos (Lopes et al., 2004). Diversas espécies vegetais podem ser utilizadas como culturas de entressafra com o objetivo específico de proporcionar resíduos vegetais em elevada quantidade e promover reciclagem de nutrientes. A escolha depende das condições do clima da região. No Brasil, a diversidade de espécies fica mais restrita na região dos Cerrados, predominante nas regiões Centro-Oeste e parte da região Nordeste do Estado de São Paulo, por apresentarem restrição de chuvas no período da entressafra. No entanto, elevadas produções de matéria seca têm sido observadas nas culturas de milheto e sorgo, pela rusticidade (Oliveira et al., 2002); nabo forrageiro, pelo rápido crescimento (Crusciol et al.,

2005); guandu (Salmi et al., 2006; Carvalho et al., 2009) e crotalária (Cazetta et al., 2005; Collier et al., 2006), pela produção de matéria seca com elevada quantidade de N.

Contudo, o cultivo do solo no período de entressafra pode ter como objetivo a produção de grãos, visando ao aumento da renda do produtor. Nessa situação, os resíduos de culturas com colheita de grãos podem apresentar menor quantidade de nutrientes, devido à exportação destes por meio dos grãos. Milho e sorgo têm sido as culturas de maior utilização: o milho, em decorrência da fácil comercialização; e o sorgo, pela maior tolerância à seca (Heckler, 2002), pelo manejo semelhante ao do milho e por apresentar-se como substituto ao milho na composição de rações, o que facilita sua comercialização. O girassol tem sido outra opção, pelo fato de o interesse mundial pelos grãos com elevada qualidade de óleo (Zobiole et al., 2010), facilitando sua comercialização, e por apresentar relativa adaptação a diversas condições climáticas, o que se faz pela tolerância a baixas temperaturas no início do ciclo de desenvolvimento e pela relativa resistência ao estresse hídrico.

Dependendo da escolha da espécie e, principalmente, da sequência de culturas adotadas, podem-se obter misturas de diferentes resíduos vegetais na superfície do solo, com características distintas entre si, o que pode influenciar a composição química e, consequentemente, o desenvolvimento das culturas em sucessão. Com base na hipótese de que a sequência de culturas em SSD influencia a quantidade de matéria seca produzida e de nutrientes acumulados pelas culturas, este trabalho teve como objetivo avaliar a produção de matéria seca e o acúmulo de nutrientes em diferentes sequências de culturas em SSD, em região de clima com elevadas temperaturas e restrições de chuva no período de entressafra.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental localizou-se em Jaboticabal, SP, cuja altitude local é de 595 m, com latitude de 21° 15' 22" S e longitude de 48° 18' 58" W. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com precipitação pluvial acumulada média anual de 1.425 mm, concentrada no período de outubro a março, e temperatura média anual de 22 °C (Figura 1).

Por 25 anos, a área foi utilizada para a produção de soja e milho em sistema convencional de preparo do solo. Em setembro de 2002, implantou-se um experimento em SSD, visando à avaliação do efeito de sequências de culturas nos atributos do solo, cuja descrição detalhada foi apresentada por Marcelo et al. (2009). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, textura argilosa (Embrapa, 2006). Em março de 2008, os atributos do solo na camada de 0-20 cm de profundidade foram: pH (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) = 5,1;

carbono orgânico = 11,0 g kg⁻¹; P (resina) = 25 mg dm⁻³; K = 3,4; Ca = 27; Mg = 14; acidez potencial = 35; CTC = 78,8, em mmol_c dm⁻³; saturação por bases = 54 %; areia = 370 g kg⁻¹; silte = 65 g kg⁻¹; e argila = 565 g kg⁻¹.

O delineamento estatístico utilizado foi em faixas com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três sequências de culturas de verão com sete culturas de entressafra, totalizando 21 parcelas por bloco experimental. As sequências de culturas de verão foram: monocultura de milho (*Zea mays* L.) (MM); monocultura de soja (*Glycine max* L. Merrill) (SS); e rotação soja-milho (SM), com cultivos intercalados de soja e milho ano a ano. As culturas de entressafra foram: milho, sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), girassol (*Helianthus annuus* L.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke), semeadas em fevereiro-março (entressafra), repetindo-se a cada ano agrícola a mesma cultura de entressafra na mesma parcela. A área útil da parcela experimental correspondeu a 200 m² (20 x 10 m).

Os resultados apresentados no presente trabalho são referentes aos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009, sexto e sétimo anos agrícolas após a instalação

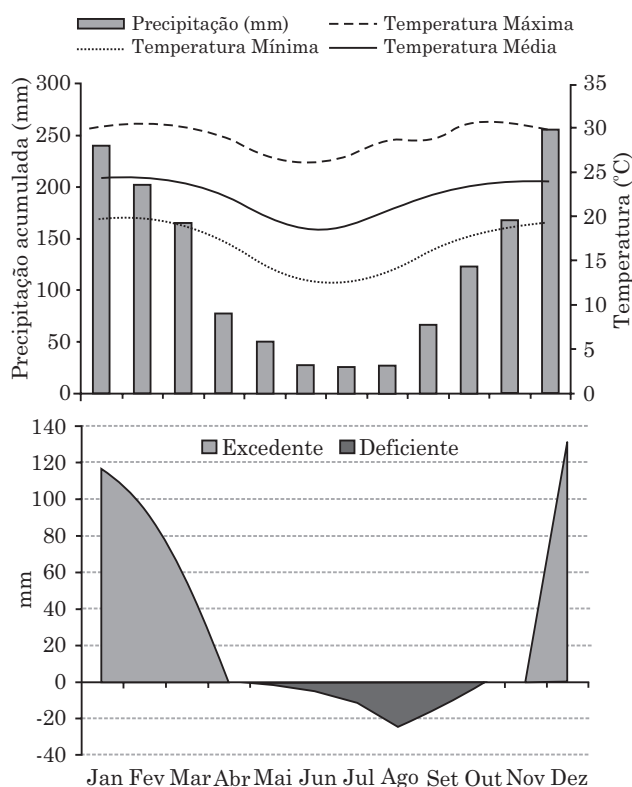


Figura 1. Valores médios mensais de temperatura do ar e de precipitação pluvial acumulada e extrato do balanço hídrico climatológico normal para Jaboticabal, SP, no período 1971-2000.

do experimento, com registros diários de temperatura média do ar e de precipitação pluvial (Figura 2). Na sequência de verão SM, cultivaram-se milho no ano agrícola 2007/2008 e soja, no 2008/2009.

No período de entressafra, os híbridos de milho e girassol foram semeados mecanicamente com 90 cm de espaçamento entre linhas, visando atingir populações finais de 55.000 e 88.000 plantas ha^{-1} , respectivamente. As demais culturas foram semeadas mecanicamente com 45 cm de espaçamento entre linhas, visando atingir populações, em plantas ha^{-1} , de 555.000 para nabo forrageiro (cultivar Siletina) e crotalária (cultivar comum), 665.000 para milheto (cultivar BN-2) e guandu (cultivar anão) e 175.000 para sorgo (cultivar 1G150). Todas as culturas de entressafra não receberam adubações de semeadura ou de cobertura nos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009.

As culturas de entressafra foram trituradas por meio do equipamento triturador de resíduos vegetais tratorizado, no estágio de florescimento para crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto e, após

a colheita de grãos, para milho, sorgo e girassol. A colheita de milho e girassol foi realizada manualmente em quatro linhas de 10 m de comprimento, e a colheita do sorgo, em oito linhas de 10 m, correspondendo a uma área colhida de 36 m^2 por parcela. Para cálculo e expressão das produtividades em kg ha^{-1} , a massa de grãos foi ajustada para 13 % de umidade em base úmida para milho e sorgo e 11 % para girassol. Os momentos de realização das operações de manejo ou de colheita para cada cultura de entressafra nos dois anos agrícolas estão indicados na figura 2.

A avaliação da quantidade e da qualidade dos resíduos vegetais das culturas foi realizada em dois momentos, sendo o primeiro logo após a colheita do milho e da soja cultivados no verão (no mês de março de 2008 e de 2009). Nesse momento, coletou-se todo o material vegetal que se encontrava na superfície do solo e contido no interior de um quadrado metálico de 0,50 m de lado (0,25 m^2) (Stott et al., 1990), o qual foi lançado aleatoriamente em cada parcela. Realizaram-se cinco repetições para essa avaliação, totalizando 1,25 m^2 por parcela. Portanto,

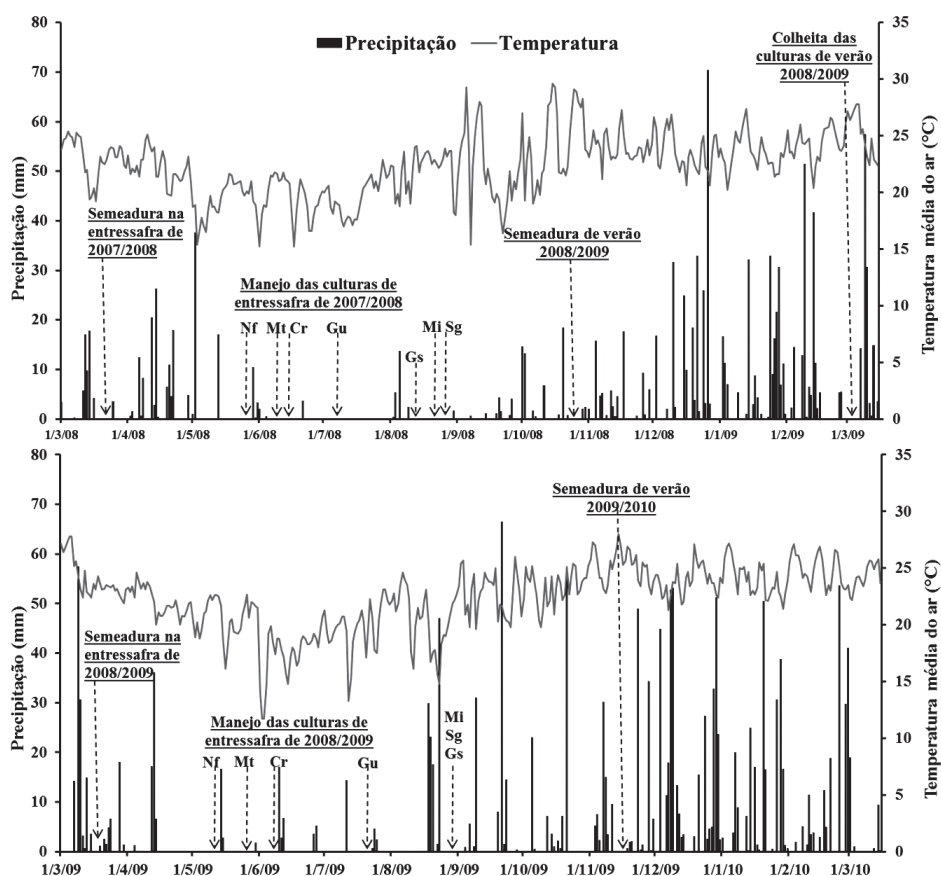


Figura 2. Valores diários de precipitação pluvial e de temperatura média do ar na área experimental no período de março de 2008 a janeiro de 2010, e os momentos de semeadura e trituração das culturas. Nf: nabo forrageiro; Mt: milheto; Cr: crotalária; Gu: guandu; Mi: milho; Sg: sorgo; Gs: girassol.

o material vegetal coletado nesse momento foi constituído não somente de resíduos de soja ou de milho cultivados no verão do respectivo ano agrícola, mas também de resíduos vegetais de anos agrícolas anteriores que, eventualmente, ainda permaneciam na superfície do solo. No segundo momento, a amostragem foi realizada antes da operação de trituração das culturas de entressafra, visando avaliar somente o material vegetal de cada cultura de entressafra isoladamente. Para isso, coletaram-se todas as plantas contidas em 1 m na linha de semeadura, as quais foram cortadas rente ao solo. A coleta foi feita em três locais aleatórios na parcela, constituindo-se três amostras simples para compor uma amostra composta.

As amostras de material vegetal foram lavadas e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar na temperatura de 65 °C até atingir massa constante, para determinação de matéria seca (MS). Em seguida, as amostras foram moídas e preparadas para análise química, determinando-se das concentrações de carbono (C) (Tedesco et al., 1995), lignina (Soest, 1963), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (Bataglia et al., 1983). De posse dos resultados, calcularam-se os valores das relações C:N, C:P e lignina:N dos resíduos e as quantidades acumuladas de N, P, K, Ca, Mg e S na MS produzida pelas diferentes culturas de entressafra. Adicionalmente, foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg e S nos grãos de milho, sorgo e girassol cultivados na entressafra. Com os teores dos elementos nos grãos e com as produtividades obtidas para cada cultura, foram estimadas as quantidades dos nutrientes exportadas pelos grãos, em kg ha⁻¹.

Os dados das concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea, das quantidades de MS produzidas e dos nutrientes acumulados na MS das culturas de entressafra foram submetidos à análise de variância, conforme delineamento em faixas; e as produtividades de grãos e as exportações de nutrientes pelos grãos de milho, sorgo e girassol, conforme delineamento em blocos ao acaso. Os dados foram analisados separadamente para cada ano agrícola, sem considerar o ano de avaliação como um fator de variação nas análises. As médias das sequências de culturas de verão foram comparadas por meio do teste de Tukey a 5 %. Levando-se em consideração as diferenças de qualidade dos resíduos das culturas em função do manejo na entressafra, os graus de liberdade das culturas de entressafra foram desdobrados por meio da composição de um contraste, tendo em vista a comparação entre as culturas que foram trituradas no florescimento (crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto) com aquelas que foram conduzidas até a colheita dos grãos (milho, sorgo e girassol). Em seguida, dentro de cada grupo de culturas de entressafra, as culturas foram comparadas por meio do teste de Tukey a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009, as culturas de entressafra não alteraram as quantidades de matéria seca (MS) dos resíduos encontrados na superfície do solo por ocasião da avaliação realizada no mês de março, logo após a colheita de milho ou soja no verão (Quadro 1). Contudo, observaram-se maiores quantidades de resíduos após a colheita de milho quando comparadas àquelas observadas após a colheita de soja. Os resíduos encontrados sobre o solo após a colheita de milho apresentaram os maiores valores de relação C:N, lignina:N e concentrações de lignina (Quadro 2). A menor relação C:N dos resíduos de soja deve-se às maiores concentrações de N na parte aérea da soja, típico de leguminosas, quando comparada àquela dos resíduos do milho.

Não foram observados efeitos das sequências de verão nas concentrações dos nutrientes na MS das culturas de entressafra por ocasião da trituração nos dois anos agrícolas, bem como da interação entre as sequências de verão e as culturas de entressafra (interação V x E) (Quadro 3). As concentrações dos nutrientes na parte aérea das culturas de entressafra por ocasião da trituração foram diferentes, por se tratar de espécies distintas e, ainda, pelo fato de haver diferenças de manejo. Em geral, as culturas de entressafra com colheita de grãos apresentaram menores concentrações de nutrientes quando comparadas às culturas trituradas no pleno florescimento (Quadro 4) - fato relacionado ao estado de senescência dos tecidos das plantas quando no final do ciclo vegetativo e à exportação dos nutrientes pelos grãos colhidos.

As maiores concentrações de K na MS foram observadas no milheto em 2007/2008 e, além do

Quadro 1. Matéria seca dos resíduos coletados após a colheita das culturas de verão

Tratamento	2007/2008	2008/2009
Sequências de verão ⁽¹⁾ (V)	Mg ha ⁻¹	
SM ⁽²⁾	8,5 a	5,4 b
MM	9,7 a	10,2 a
SS	3,1 b	5,8 b
Teste F	33,33**	163,10**
CV(%)	39,6	13,5
Culturas de entressafra (E)		
Teste F	0,47 ^{ns}	1,02 ^{ns}
CV(%)	26,8	16,0
Teste F da interação (V x E)	1,37 ^{ns}	1,03 ^{ns}

⁽¹⁾SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja. ⁽²⁾Milho, no ano agrícola 2007/2008, e soja, no ano agrícola 2008/2009. ^{ns}: não significativo a 5 %; **: significativo a 1 %. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

milheto, no nabo forrageiro, em 2008/2009 (Quadro 4). As concentrações de K na MS de milheto apresentadas neste estudo foram superiores às

observadas por Cazetta et al. (2005), de 14,2 g kg⁻¹, em milheto semeado em um Latossolo Vermelho distrófico típico na mesma região do presente estudo.

Quadro 2. Teores de carbono, nitrogênio e lignina e valores das relações C:N e lignina:N dos resíduos das culturas, coletados após a colheita das culturas de verão e por ocasião da trituração das culturas de entressafra

Tratamento	2007/2008					2008/2009				
	Teor			Relação		Teor			Relação	
	C	N	Lignina	C:N	Lignina:N	C	N	Lignina	C:N	Lignina:N
	g kg ⁻¹					g kg ⁻¹				
Sequências de verão ⁽¹⁾										
SM ⁽²⁾	377,6	6,3	163	60	25,9	412,5	9,6	118	43	12,3
MM	402,8	6,5	165	62	25,4	415,9	6,7	159	62	23,7
SS	370,9	7,4	135	50	18,2	418,4	8,7	129	48	14,8
Culturas de entressafra										
Crotalária	450,0	19,6	90	23	4,6	462,9	19,3	81	24	4,2
Guandu	473,1	23,7	123	20	5,2	462,0	22,0	121	21	5,5
Nabo forrageiro	413,3	13,3	28	31	2,1	446,5	19,4	33	23	1,7
Milheto	458,3	13,9	50	33	3,6	483,0	11,5	46	42	4
Milho	516,7	4,7	62	110	13,2	462,6	4,4	63	105	14,3
Sorgo	470,8	4,6	66	102	14,3	464,2	7,0	64	66	9,1
Girassol	456,5	5,5	77	83	14	390,0	10,0	73	39	7,3

⁽¹⁾ SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja. ⁽²⁾ Milho, no ano agrícola 2007/2008, e soja, no ano agrícola 2008/2009.

Quadro 3. Análise de variância (Teste F) dos dados das concentrações dos nutrientes nos resíduos das culturas por ocasião da trituração no período de entressafra

Fonte de variação	GL ⁽¹⁾	N	P	K	Ca	Mg	S
2007/2008							
Sequências de verão (V)	2	0,80 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,69 ^{ns}	2,61 ^{ns}	1,49 ^{ns}
Culturas de entressafra (E)	6	90,36**	57,03**	27,70**	53,57**	7,34**	122,38**
Interação V x E	12	1,8 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,97 ^{ns}	1,8 ^{ns}
Erro (V)	4	4,87	0,04	26,08	2,99	0,27	0,01
Erro (E)	12	5,74	0,09	14,63	3,15	0,34	0,05
Erro (V x E)	24	5,26	0,08	14,83	4,74	0,55	0,05
CV _V (%)	-	18,1	17,6	31,7	25,1	21,0	9,7
CV _E (%)	-	19,7	26,8	23,8	25,8	23,5	19,3
2008/2009							
Sequências de verão (V)	2	1,08 ^{ns}	1,62 ^{ns}	6,25 ^{ns}	0,20 ^{ns}	5,96 ^{ns}	0,68 ^{ns}
Culturas de entressafra (E)	6	71,54**	81,74**	81,52**	68,42**	224,05**	323,21**
Interação V x E	12	1,45 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,91 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Erro (V)	4	8,56	0,07	5,30	2,51	0,04	0,04
Erro (E)	12	6,06	0,04	5,69	4,03	0,05	0,06
Erro (V x E)	24	3,98	0,06	8,07	2,12	0,24	0,05
CV _V (%)	-	21,8	23,7	18,1	22,1	9,3	12,5
CV _E (%)	-	18,3	18,2	18,7	27,9	10,3	15,8

⁽¹⁾ Graus de liberdade. ^{ns}: não significativo a 5 %; **: significativo a 1 %.

Entretanto, o teor de K^+ no solo utilizado pelos autores foi de $2,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, inferior aos teores de K^+ superiores a $3,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ observados neste estudo. Além disso, Cazetta et al. (2005) cultivaram o milheto no período de setembro a novembro, cujas condições hídricas são favoráveis ao maior desenvolvimento da cultura e, portanto, podem contribuir para o maior acúmulo de MS e a redução das concentrações de K nos tecidos da cultura, devido ao efeito de diluição. Reforçando essa afirmação, resultado semelhante foi observado por Crusciol & Soratto (2007) em milheto cultivado de novembro a janeiro em um Latossolo Vermelho distrófico, com teor de K^+ de $1,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Esses autores observaram concentração de $13,9 \text{ g kg}^{-1}$ de K na parte aérea no estágio de grãos leitosos e relacionaram as baixas concentrações de K nos resíduos do milheto ao efeito de diluição, devido à grande produção

de MS e ao estágio fenológico da cultura, pois o maior acúmulo de K no limbo foliar do milheto ocorre no florescimento, entre 52 e 55 dias após a emergência das plantas, com posterior queda nos valores (Braz et al., 2004).

O nabo forrageiro apresentou elevadas concentrações de Ca, Mg e S na MS nos dois anos (Quadro 4). Concentrações semelhantes desses nutrientes foram obtidas por Crusciol et al. (2005), ao semear nabo forrageiro no mês de julho em região de clima subtropical e em Latossolo Vermelho eutroférico nitossólico. Esses autores observaram, no nabo forrageiro no estágio de pré-florescimento, concentrações de Ca, Mg e S na MS de 12,6, 4,2 e $4,0 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente.

Os resíduos de girassol apresentaram concentrações de S superiores às dos resíduos de milho

Quadro 4. Concentrações dos nutrientes na parte aérea das culturas de entressafra por ocasião da trituração

Cultura de entressafra	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
2007/2008						
Trituração no florescimento						
Crotalária	19,5 b	1,8	16,5 b	7,0 b	2,4 b	1,2 c
Guandu	23,5 a	1,5	14,2 b	8,4 b	1,9 b	1,0 c
Nabo forrageiro	13,6 c	1,8	12,2 b	14,1 a	3,5 a	2,9 a
Milheto		1,8	21,4 a	2,7 c	2,9 ab	1,6 b
Média (florescimento)		1,7	16,1	8,1	2,7	1,7
Trituração após colheita de grãos						
Milho	4,7	0,2	9,5 b	2,7 b	2,4	0,4 b
Sorgo	4,6	0,3	10,5 b	3,2 b	2,1	0,6 ab
Girassol	5,5	0,5	28,3 a	10,0 a	2,2	0,7 a
Média (colheita)	4,9	0,3	16,1	5,3	2,2	0,6
7F (florescimento <i>vs.</i> colheita)	435,17**	331,75**	0,01 ^{ns}	37,18**	8,28*	339,53**
2008/2009						
Trituração no florescimento						
Crotalária	19,6 a	1,7 a	13,5 b	7,1 b	2,3 a	1,2 c
Guandu	21,9 a	1,6 a	11,9 b	7,7 b	1,9 b	1,5 b
Nabo forrageiro	19,8 a	1,8 a	21,1 a	12,0 a	2,4 a	4,9 a
Milheto	11,4 b	1,0 b	18,6 a	3,8 c	2,4 a	1,3 bc
Média (florescimento)	18,2	1,5	16,3	7,7	2,3	2,2
Trituração após colheita de grãos						
Milho	4,4 b	0,2 b	2,3 b	0,9 b	0,6	0,3 c
Sorgo	7,0 ab	0,7 a	3,9 b	2,4 b	1,4 b	0,8 b
Girassol	10,0 a	0,8 a	14,8 a	16,5 a	4,3 a	1,2 a
Média (colheita)	7,1	0,6	7,0	6,6	2,1	0,8
F (florescimento <i>vs.</i> colheita)	309,45**	345,80**	71,62**	3,84 ^{ns}	6,85*	511,57**

^{ns}: não significativo a 5 %; * e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %. A ausência de letras indica semelhança entre as médias pelo teste F a 5 %.

e as maiores concentrações de K e Ca em 2007/2008 e de K, Ca, Mg e S em 2008/2009 (Quadro 4). Em 2008/2009, as concentrações de Mg e de S foram maiores nos resíduos de sorgo, quando comparadas àquelas dos resíduos de milho. As menores concentrações de Ca e Mg nos resíduos de milho e sorgo podem ser atribuídas à menor demanda desses nutrientes por essas culturas e à exportação pelos grãos. No caso do K, as baixas concentrações nos resíduos são atribuídas à remoção de K^+ das folhas e dos colmos durante o processo natural de senescência da planta (Klepker & Anghinoni, 1995; Rosolem et al., 2003), que, devido às chuvas no final do ciclo da cultura, contribuíram para a redução de suas concentrações nos resíduos. No girassol, mesmo os nutrientes tendo sido exportados pelos grãos e o K parcialmente removido dos resíduos senescentes pelas chuvas no final do ciclo, as maiores quantidades de K, Ca e Mg nos resíduos do girassol evidenciaram a elevada exigência dessa cultura por esses nutrientes. Concordando com os resultados do presente estudo, Zobioli et al. (2010) observaram elevada demanda do girassol por K, Ca e Mg, porém com baixa exportação desses nutrientes pelos grãos, sendo de 5, 1 e 10 % do total absorvido, respectivamente.

As menores concentrações de N, P, Mg e S nos resíduos de milho, sorgo e girassol em relação às demais culturas de entressafra nos dois anos agrícolas (Quadro 4) são decorrentes da translocação dos nutrientes para os grãos, com consequente exportação pela colheita (Quadro 5). Nota-se que o nutriente mais exportado foi o N, proporcionando os maiores valores das relações C:N e lignina:N nos resíduos de milho girassol e sorgo (Quadro 2). No ano agrícola 2007/2008, o milho exportou menores quantidades de P e Mg quando comparado a girassol e sorgo e, no ano agrícola 2008/2009, ao girassol, que exportou as maiores quantidades de K, Ca, Mg e S.

Observaram-se interações significativas entre as culturas de entressafra e sequências de culturas de verão para as quantidades de MS produzida e N, P, Mg e S acumulados pelas culturas de entressafra no

ano agrícola 2007/2008 e para MS e N no ano agrícola 2008/2009 (Quadro 6), indicando que o desenvolvimento de algumas culturas de entressafra foi influenciado por cultivos anteriores de culturas de verão. Milho e sorgo cultivados na entressafra apresentaram maiores produtividades de grãos após cultivo de soja no ano agrícola 2007/2008, quando comparados àqueles cultivados após milho (Quadro 7), indicando efeito benéfico do N fixado pela soja cultivada no verão anterior. Esse efeito não foi observado na produtividade de milho e sorgo no ano agrícola 2008/2009, provavelmente, em decorrência das condições edafoclimáticas. As condições climáticas influenciaram diferentemente o crescimento das culturas no período de entressafra nos dois anos agrícolas. Apesar de as quantidades de MS produzidas e as produtividades de grãos terem sido adequadas para a região e o período em questão, houve maior volume, ocorrência e distribuição de chuvas nos primeiros 60 dias após germinação das culturas na entressafra do ano agrícola 2007/2008, entre abril e maio, em relação ao mesmo período do ano agrícola 2008/2009 (Quadro 8), o que resultou no maior crescimento das culturas de entressafra em 2007/2008, de modo geral (Quadro 9). Contudo, as condições climáticas no período de entressafra de 2007/2008 foram atípicas para a região, cuja precipitação pluvial acumulada foi 45 % superior à média histórica (1971-2000). Assim, as condições climáticas do período de entressafra de 2008/2009 são as mais prováveis de se repetirem e melhor representam a região em que se desenvolveu este estudo.

Na entressafra de 2007/2008, em todas as sequências de verão, em média, as culturas de entressafra trituradas no florescimento produziram as maiores quantidades de MS (Quadro 9). Observou-se resultado semelhante na entressafra de 2008/2009, porém somente na sequência SM. Entre as culturas trituradas no florescimento, o milheto produziu maiores quantidades de MS na sequência SS nos dois anos, bem como na sequência SM em 2008/2009. Na

Quadro 5. Quantidades exportadas de nutrientes pelos grãos de milho, sorgo e girassol na entressafra

Cultura de entressafra	2007/2008						2008/2009					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹											
Milho	38,5	4,7 b	8,1	2,9	2,7 b	2,3	43,2	4,4	6,2 b	2,5 ab	2,3 b	3,1 ab
Sorgo	41,3	6,8 a	10,1	1,9	4,4 a	2,5	33,2	4,7	5,1 b	1,5 b	3,0 ab	2,1 b
Girassol	35,6	6,3 a	9,2	2,9	4,4 a	2,9	54,2	6,7	13,2 a	4,2 a	4,4 a	4,4 a
Teste F	1,18 ^{ns}	12,73*	3,19 ^{ns}	0,60 ^{ns}	9,16*	4,10 ^{ns}	5,16 ^{ns}	2,26 ^{ns}	13,47*	48,71**	7,12*	13,37*
CV (%)	20,1	14,8	18,3	88,0	25,8	16,0	31,9	46,5	43,9	39,9	37,4	29,2
Interação (V x E)	3,65 ^{ns}	2,98 ^{ns}	2,14 ^{ns}	1,31 ^{ns}	2,27 ^{ns}	1,90 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,58 ^{ns}	2,80 ^{ns}	2,21 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,44 ^{ns}

^{ns}: não significativo a 5 %; * e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %. A ausência de letras indica semelhança entre as médias pelo teste F a 5 %

sequência MM, a produção de MS pelo milho foi semelhante à produzida pela crotalaria. As quantidades de MS produzidas pelo milho foram 56 % maiores quando cultivado após soja nos dois anos, quando comparada àquela produzida quando o milho foi cultivado depois do milho, evidenciando efeito da sequência de culturas de verão na produção de MS pelo milho na entressafra. Efeito semelhante foi observado nas quantidades de MS produzida pelo sorgo, 69 % superior quando semeado após cultivo de soja em 2007/2008, quando comparada àquelas após milho. O maior crescimento de milho e sorgo após

cultivo de soja está relacionado à maior disponibilidade de N no solo, proporcionada pela fixação biológica de N pela soja, aliado à maior resposta ao N por essas gramíneas, em relação às demais espécies testadas. Os resultados do presente estudo concordam com os resultados divulgados na literatura, em que milho e crotalaria têm se adaptado às condições climáticas na região do Cerrado, com elevadas produções de MS na entressafra (Silva et al., 2006b). Boer et al. (2007) quantificaram 10,8 Mg ha⁻¹ de MS de milho no período da entressafra. Em pesquisa na mesma região do presente estudo, Cazetta et al. (2005) quantificaram

Quadro 6. Análise de variância (Teste F) dos dados de quantidade de matéria seca e de nutrientes acumulados pelas culturas de entressafra por ocasião da trituração

Fonte de variação	GL ⁽¹⁾	Matéria seca	N	P	K	Ca	Mg	S
2007/2008								
Sequências de verão (V)	2	8,57*	6,81 ^{ns}	2,65 ^{ns}	1,01 ^{ns}	2,65 ^{ns}	6,83 ^{ns}	10,93*
Culturas de entressafra (E)	6	25,77**	57,58**	45,53**	14,94**	20,01**	14,02**	60,15**
Interação V x E	12	2,66*	3,65**	2,63*	1,92 ^{ns}	1,78 ^{ns}	3,09**	6,48**
Erro (V)	4	391.389,01	143,92	1,61	542,8	84,30	7,30	0,99
Erro (E)	12	481.467,96	269,24	4,03	12.622,8	2.554,79	12,13	2,70
Erro (V x E)	24	984.982,30	356,96	3,23	1.049,0	100,82	16,90	2,31
CV _V (%)	-	13,4	19,8	21,9	31,0	30,6	23,1	17,2
CV _E (%)	-	14,9	27,1	34,6	38,7	37,6	29,7	28,4
2008/2009								
Sequências de verão (V)	2	9,24*	4,78 ^{ns}	6,28 ^{ns}	4,96 ^{ns}	3,32 ^{ns}	5,31 ^{ns}	3,78 ^{ns}
Entressafra (E)	6	14,75**	23,70**	22,74**	29,32**	11,64**	18,39**	38,13**
Interação V x E	12	4,13**	2,41*	1,38 ^{ns}	2,08 ^{ns}	1,69 ^{ns}	1,56 ^{ns}	1,43 ^{ns}
Erro (V)	4	366.089,54	309,68	1,72	37,94	41,52	1,98	2,51
Erro (E)	12	952.503,11	242,36	2,00	406,60	160,21	9,61	3,32
Erro (V x E)	24	562.836,53	205,24	1,98	343,11	84,74	10,13	2,91
CV _V (%)	-	16,1	36,1	32,1	12,5	27,2	17,6	29,2
CV _E (%)	-	25,9	32,0	34,6	40,7	53,4	38,8	33,6

⁽¹⁾ Graus de liberdade. ^{ns}: não significativo a 5 %; * e **: significativo a 5 e 1%, respectivamente.

Quadro 7. Produtividade de grãos de milho, sorgo e girassol cultivados na entressafra em cada sequência de culturas de verão

Cultura de entressafra	2007/2008				2008/2009			
	SM ⁽¹⁾	MM	SS	Teste F	SM	MM	SS	Teste F
kg ha ⁻¹								
Milho	3,1 b	3,2 b	5,2 a	15,28**	3,7	3,2	3,2	3,22 ^{ns}
Sorgo	3,1 b	3,2 b	4,6 a	8,13*	2,2	1,7	2,2	6,41 ^{ns}
Girassol	1,9	1,7	1,6	0,22 ^{ns}	2,2 a	2,0 a	1,5 b	7,32*

⁽¹⁾SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja. ^{ns}: não significativo a 5 %; * e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra, na linha e dentro de cada ano agrícola, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %. A ausência de letras indica semelhança entre as médias pelo teste F a 5 %.

Quadro 8. Número de dias do crescimento das culturas de inverno e valores de precipitação pluvial acumulada e temperatura média do ar no período de crescimento das culturas de inverno

Cultura de entressafra	2007/2008			2008/2009		
	Período	Precipitação pluvial acumulada	Temperatura média do ar	Período	Precipitação pluvial acumulada	Temperatura média do ar
	dia	mm	° C	dia	mm	° C
Crotalária	84	194,7	20,7	84	136,5	21,1
Guandu	105	198,5	20,4	126	169,5	20,3
Nabo forrageiro	74	188,6	21,1	69	98,0	22,1
Milheto	66	194,7	20,8	55	117,5	21,7
Milho	156	220,5	20,6	165	296,6	20,3
Sorgo	156	220,5	20,6	165	296,6	20,3
Girassol	147	220,5	20,5	165	296,6	20,3

Quadro 9. Produção de matéria seca e nitrogênio acumulado na parte aérea das culturas de entressafra por ocasião da trituração em cada sequência de culturas de verão

Cultura de entressafra	2007/2008			2008/2009		
	Sequência de verão ⁽¹⁾					
	SM	MM	SS	SM	MM	SS
Matéria seca, Mg ha ⁻¹						
Trituração no florescimento						
Crotalária	6,1	5,5 AB	5,3 B	4,3 BC	3,6 AB	3,5 B
Guandu	4,2	4,0 B	4,3 B	4,6 Ba	3,9 ABa	1,9 Bb
Nabo forrageiro	4,6	3,7 B	4,2 B	2,7 C	2,6 B	2,2 B
Milheto	5,2 b	6,2 Ab	9,0 Aa	7,3 Aa	4,6 Ab	7,2 Aa
Média (florescimento)	5,0	4,8	5,7	4,7	3,7	3,7
Trituração após colheita de grãos						
Milho	4,4	4,5	3,8 B	4,1	3,9	3,8 A
Sorgo	3,6 b	3,5 b	5,9 Aa	3,4	3,0	4,0 A
Girassol	3,2	3,3	3,2 B	3,2 ab	3,6 a	1,8 Bb
Média (colheita)	3,7	3,8	4,3	3,6	3,5	3,2
F (florescimento <i>vs.</i> colheita)	9,66**	6,26*	10,53**	10,30**	0,32 ^{ns}	2,24 ^{ns}
Nitrogênio, kg ha ⁻¹						
Trituração no florescimento						
Crotalária	115,9 A	117,4 A	97,0 B	82,9 A	77,1 AB	64,5 AB
Guandu	106,3 AB	92,5 A	95,4 B	103,8 Aa	86,2 Aa	38,5 Bb
Nabo forrageiro	72,9 B	38,2 B	59,8 B	48,2 B	52,2 B	47,7 AB
Milheto	60,5 Bb	82,4 Ab	153,6 Aa	76,4 AB	60,7 AB	71,4 A
Média (florescimento)	88,9	82,6	101,5	77,8	69,1	55,5
Trituração após colheita de grãos						
Milho	19,8	20,0	21,0	27,3	20,3	19,4
Sorgo	15,1	16,3	30,1	37,4	42,2	28,1
Girassol	15,4	19,3	20,5	35,8	37,3	16,0
Média (colheita)	16,8	18,5	23,9	33,5	33,3	21,2
F (florescimento <i>vs.</i> colheita)	132,22**	106,33**	187,56**	23,87**	15,31**	10,88**

⁽¹⁾SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja. * e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e dentro de cada grupo de médias, e minúscula na linha e dentro de cada ano agrícola, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %. A ausência de letras indica semelhança entre as médias pelo teste F a 5 %.

5,2 Mg ha⁻¹ de MS de crotalária e 10,7 Mg ha⁻¹ de milho, quando semeados em setembro.

Entre as culturas de entressafra com colheita de grãos, na sequência SS, as menores quantidades de MS foram observadas nos resíduos de girassol nos dois anos, e também nos resíduos de milho em 2007/2008 (Quadro 9). Comparando-se as sequências de culturas de verão em cada cultura de entressafra, menores quantidades de MS foram produzidas pelo girassol na sequência SS, nos dois anos, e pelo guandu, também na sequência SS em 2008/2009. Neste estudo, o girassol demonstrou ser uma opção de cultura com baixa capacidade de produção de resíduos, de acordo com resultados obtidos por Sodré Filho et al. (2004) em SSD na região do Cerrado. Esses autores quantificaram 2,9 Mg ha⁻¹ de MS nos resíduos de girassol semeado no início de abril, cuja precipitação acumulada foi de 70 mm em 88 dias de ciclo, quando atingiu 50 % de floração.

A produção de MS pelo nabo forrageiro em 2008/2009 foi 40 % inferior àquela de 2007/2008 (Quadro 9), o que se deve à menor ocorrência de chuvas no estágio vegetativo da cultura em 2008/2009. Nas regiões Sul, Centro-Oeste e no Estado de São Paulo, o nabo forrageiro tem sido frequentemente utilizado na entressafra por apresentar rápido crescimento (Crusciol et al., 2005); mesmo quando não adubado, a cultura pode produzir de 2,0 a 6,0 Mg ha⁻¹ de MS, dependendo, porém, das condições climáticas. Crusciol et al. (2005) quantificaram 2,9 Mg ha⁻¹ de MS em 30 dias de ciclo do nabo forrageiro em clima subtropical, com precipitação acumulada de 251,4 mm. No presente estudo, em 2007/2008, em 66 dias de ciclo e precipitação acumulada de 188,6 mm, o nabo forrageiro produziu em média 4,0 Mg ha⁻¹, e em 2008/2009, em 55 dias de ciclo e precipitação pluvial de 98 mm, 2,5 Mg ha⁻¹ de MS, quando atingiu o florescimento.

O milho semeado em SS em 2007/2008 acumulou a maior quantidade de N na parte aérea entre as culturas de entressafra trituras no florescimento (Quadro 9), em razão das maiores quantidades de MS produzidas pelo milho após cultivo de soja. A crotalária acumulou maiores quantidades de N na parte aérea em relação ao nabo forrageiro nas sequências SM e MM em 2007/2008, e na sequência SM em 2008/2009. Crotalária e guandu foram semelhantes quanto ao acúmulo de N na MS, com exceção da sequência SS na entressafra de 2008/2009, em decorrência da menor produção de MS pelo guandu.

Nos dois anos, os resíduos de milho, sorgo e girassol apresentaram baixas quantidades de N e P, devido à exportação de nutrientes pelos grãos (Quadros 9 e 10). Na entressafra de 2007/2008, o milho acumulou a maior quantidade de P na parte aérea entre as culturas trituras no florescimento na sequência SS; e, na sequência MM, milho e crotalária acumularam as maiores quantidades de P. Considerando o efeito das sequências de verão em cada cultura de

entressafra, a sequência SS resultou no maior acúmulo de P pelo milho, devido à maior produção de MS pelo milho semeado após cultivo de soja no verão anterior. O nabo forrageiro semeado na sequência SM acumulou maior quantidade de P, quando comparado ao nabo forrageiro semeado na sequência MM. No ano agrícola 2008/2009, independentemente das sequências de verão, entre as culturas trituras no florescimento, a crotalária acumulou maior quantidade de P, quando comparada ao nabo forrageiro. Entre as culturas com colheita de grãos, os resíduos de milho apresentaram menor acúmulo de P, quando comparados aos resíduos de sorgo, em razão da menor concentração desse nutriente na MS.

As culturas de entressafra trituras no florescimento apresentaram maior quantidade de Mg (Quadro 10), resultado atribuído às maiores concentrações de Mg na parte aérea dessas culturas, quando comparadas àquelas das culturas com colheita de grãos. Em 2007/2008, a crotalária acumulou maior quantidade de Mg em relação ao guandu na sequência SM; na sequência MM, o milho acumulou maior quantidade de Mg, quando comparado ao guandu; e na sequência SS, o milho acumulou a maior quantidade de Mg. No milho, o acúmulo de Mg foi maior na sequência SS, devido ao maior crescimento e produção de MS pelo milho após cultivo de soja no verão. Efeito semelhante pôde ser observado nos resíduos de sorgo, que acumularam maior quantidade de Mg após cultivo de soja no verão. Já o nabo forrageiro da sequência SM acumulou mais Mg quando comparado ao nabo semeado da sequência MM - resultado relacionado à maior produção de MS pelo nabo forrageiro em SM. Em 2008/2009, independentemente das sequências de culturas de verão, as maiores quantidades acumuladas de Mg foram observadas no milho, entre as culturas manejadas no florescimento, devido à elevada produção de MS, e nos resíduos de girassol, entre as culturas com colheita de grãos, devido à elevada concentração de Mg em seus resíduos.

As culturas manejadas no florescimento acumularam maior quantidade de S na MS (Quadro 10), decorrente da maior concentração de S nos resíduos dessas culturas. Na entressafra de 2007/2008, nas sequências SM e MM, o maior acúmulo de S foi observado no nabo forrageiro, devido às elevadas concentrações desse nutriente em seus resíduos. Na sequência SS, o milho acumulou a maior quantidade de S na MS, seguido pelo nabo forrageiro, o qual acumulou maior quantidade de S que a crotalária e o guandu na entressafra. Considerando o efeito das sequências de culturas de verão, o maior acúmulo de S pelo milho foi observado na sequência SS, resultado que pode ser atribuído à produção de MS pelo milho cultivado após soja. No ano agrícola 2008/2009, independentemente das sequências de culturas de verão, a maior quantidade acumulada de S foi observada no nabo forrageiro, seguida pelo milho -

culturas que apresentaram maior quantidade de S quando comparadas à crotalária.

As culturas de entressafra trituradas no florescimento acumularam maior quantidade de K na

MS nos dois anos (Quadro 11), devido à maior quantidade de MS dessas culturas de modo geral. Entre as culturas trituradas no florescimento, o milho acumulou as maiores quantidades de K nos

Quadro 10. Fósforo, magnésio e enxofre acumulados na parte aérea das culturas de entressafra por ocasião da trituração em cada sequência de culturas de verão na entressafra de 2007/2008 e independentemente da sequência de verão na entressafra de 2008/2009

Cultura de entressafra	2007/2008			2008/2009
	Sequência de verão			
	SM ⁽¹⁾	MM	SS	Média (SM + MM + SS)
Fósforo, kg ha ⁻¹				
Trituração no florescimento				
Crotalária	11,3	10,4 A	8,8 B	6,9 A
Guandu	7,4	5,6 B	7,1 B	5,4 AB
Nabo forrageiro	9,5 a	5,8 Bb	7,9 Bab	4,6 B
Milheto	9,5 b	10,7 Ab	15,8 Aa	6,1 AB
Média (florescimento)	9,4	8,1	9,9	5,7
Trituração após colheita de grãos				
Milho	0,6	1,6	0,9	1,0 B
Sorgo	0,8	1,2	1,9	3,4 A
Girassol	0,9	2,4	1,5	2,5 AB
Média (colheita)	0,8	1,7	1,4	2,3
F (florescimento <i>vs.</i> colheita)	290,81**	177,89**	159,46**	115,30**
Magnésio, kg ha ⁻¹				
Trituração no florescimento				
Crotalária	16,9 A	12,7 AB	10,9 B	9,3 B
Guandu	7,9 B	7,1 B	8,6 B	6,3 B
Nabo forrageiro	14,1 ABa	11,9 ABb	13,7 Bab	5,8 B
Milheto	12,6 ABb	17,8 Ab	27,5 Aa	15,2 A
Média (florescimento)	12,9	12,4	15,2	9,2
Trituração após colheita de grãos				
Milho	10,8	10,7	8,9	3,2 B
Sorgo	7,6 ab	5,9 b	15,5 a	7,1 B
Girassol	6,5	6,9	7,5	12,0 A
Média (colheita)	8,3	7,8	10,6	7,4
F (florescimento <i>vs.</i> colheita)	8,08**	6,87*	5,14*	11,90**
Enxofre, kg ha ⁻¹				
Trituração no florescimento				
Crotalária	7,8 B	6,8 BC	5,6 C	4,6 C
Guandu	4,2 C	4,2 C	3,7 C	5,1 BC
Nabo forrageiro	14,4 A	12,3 A	12,8 B	12,4 A
Milheto	7,2 BCb	8,9 Bb	16,5 Aa	8,4 B
Média (florescimento)	8,4	8,1	9,7	7,6
Trituração após colheita de grãos				
Milho	1,7	2,1	1,8	1,6
Sorgo	1,7	2,1	3,5	4,1
Girassol	2,5	2,7	2,1	3,6
Média (colheita)	2,0	2,3	2,5	3,1
F (florescimento <i>vs.</i> colheita)	76,89**	101,00**	114,73**	118,46**

⁽¹⁾SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja. ** e *: significativo a 5 e 1 % e, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e dentro de cada grupo de médias, e minúscula na linha e dentro de cada ano agrícola, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %. A ausência de letras indica semelhança entre as médias pelo teste F a 5 %.

dois anos agrícolas, em razão das maiores concentrações do nutriente em seus resíduos e das maiores quantidades de MS produzida. Concordando com esses resultados, elevadas quantidades de K acumuladas na MS pelo milho têm sido observadas em diversas pesquisas realizadas em SSD (Braz et al., 2004; Boer et al., 2007). Na região do Cerrado, Boer et al. (2007) observaram acúmulo de 417 kg ha⁻¹ de K em 10,8Mg ha⁻¹ de MS produzida pelo milho por ocasião do florescimento da cultura.

Entre as culturas com colheita de grãos na entressafra, menores acúmulos de K foram observados nos resíduos de milho e sorgo em 2007/2008, bem como nos resíduos de milho, quando comparados aos de girassol em 2008/2009 (Quadro 11), o que se deve às baixas concentrações desse nutriente nos resíduos dessas culturas. Nos resíduos de girassol, as maiores quantidades de K são decorrentes das maiores concentrações do nutriente nos resíduos dessa oleaginosa. Zobioli et al. (2010) observaram elevada extração de K do solo pelo girassol semeado em outubro em um Latossolo Vermelho distroférrico com teor de K⁺ de 4,5 mmol_c dm⁻³ (0-20 cm). Esses autores quantificaram extração de 190 kg ha⁻¹ de K pelo girassol aos 53 dias de ciclo e observaram que o processo de redistribuição do nutriente na planta não foi o mesmo observado para N e P, pois o K foi direcionado ao capítulo, e não aos grãos, o que resultou em baixa exportação do nutriente. No presente estudo, o K exportado pelos grãos de girassol correspondeu a 10 % do K acumulado nos resíduos dessa cultura,

corroborando Zobioli et al. (2010), que afirmaram que 90-95 % do K absorvido pelo girassol pode retornar ao solo pela decomposição de seus resíduos.

No ano agrícola 2007/2008, as culturas trituradas no florescimento acumularam a maior quantidade de Ca (Quadro 11), e o nabo forrageiro foi a cultura que acumulou a maior quantidade desse nutriente na MS em 2007/2008. No entanto, o mesmo não foi observado na entressafra de 2008/2009, devido à menor produção de MS pelo nabo forrageiro nesse período. Entre as culturas com colheita de grãos na entressafra, os resíduos de girassol acumularam a maior quantidade de Ca nos dois anos. Considerando-se as elevadas quantidades de Ca nos resíduos de girassol e as baixas quantidades observadas nos grãos, ficou evidente a baixa capacidade de redistribuição do nutriente na planta - resultados que corroboram os de Zobioli et al. (2010).

As baixas quantidades de Ca acumuladas pelo milho, entre as culturas trituradas no florescimento, bem como nos resíduos de milho e sorgo, entre as culturas com colheita de grãos são decorrentes das menores concentrações desse nutriente na MS dessas culturas e evidenciam a baixa exigência dessas gramíneas por esse nutriente (Quadro 11). Reforçando essa afirmação, no presente estudo, as quantidades de Ca exportadas pelos grãos de milho e sorgo também foram baixas. Resultados semelhantes foram obtidos por Bordin et al. (2003) na mesma região deste estudo, os quais observaram acúmulo de 18,3 kg ha⁻¹ de Ca em 9,6 Mg ha⁻¹ de MS de milho semeado em março, com 70 dias de ciclo.

A hipótese do presente estudo foi confirmada, de que a sequência de culturas em SSD influencia as quantidades de MS produzida e de nutrientes acumulados pelas culturas. As gramíneas cultivadas na entressafra mostraram maior desenvolvimento quando em sucessão ao cultivo de soja no verão anterior, com maior produção de MS de milho e, também, maior produtividade de grãos de milho e sorgo - efeito relacionado ao N proveniente do cultivo anterior de soja. Apesar de não ter influenciado as quantidades de resíduos após a colheita das culturas de verão, considerando o desempenho de cada cultura de entressafra nos dois anos agrícolas, o milho apresentou as maiores produções de MS e os maiores acúmulos de P, K e Mg na parte aérea, principalmente quando em sucessão ao cultivo de soja. A crotalária não foi influenciada pelas sequências de culturas de verão e produziu resíduos vegetais em quantidade superior à da maioria das culturas de entressafra deste estudo e, ainda, com elevada quantidade de nutrientes, sobretudo N e P. O nabo forrageiro demonstrou elevada capacidade de acumular S na parte aérea, porém com baixa produção de MS no ano agrícola 2008/2009, ano em que houve menor ocorrência de chuvas no período da entressafra. O guandu apresentou baixa quantidade de MS produzida e de nutrientes acumulados na parte aérea, principalmente no ano agrícola 2007/2008. Milho e sorgo apresentaram baixa quantidade de

Quadro 11. Potássio e cálcio acumulados na parte aérea das culturas de entressafra por ocasião da trituração

Cultura de entressafra	Potássio		Cálcio	
	2007/2008	2008/2009	2007/2008	2008/2009
	kg ha ⁻¹			
Trituração no florescimento				
Crotalária	93,2 B	63,5 B	39,8 B	27,2
Guandu	58,8 B	41,8 B	34,2 B	26,2
Nabo forrageiro	51,1 B	52,7 B	59,3 A	29,2
Milheto	143,7 A	118,1 A	23,7 B	23,8
Média (florescimento)	86,7	69,0	39,3	26,6
Trituração após colheita de grãos				
Milho	39,1 B	12,0 B	11,5 B	8,0 B
Sorgo	45,5 B	20,2 AB	13,7 B	12,6 B
Girassol	94,3 A	46,2 A	32,8 A	46,9 A
Média (colheita)	59,7	26,1	19,3	22,5
F (florescimento vs. colheita)	38,90**	81,00**	15,55**	4,44 ^{ns}

^{ns}: não significativo a 5 %; **: significativo a 1 %. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %. A ausência de letras indica semelhança entre as médias pelo teste F a 5 %.

nutrientes em seus resíduos, decorrente do estado de senescência dos tecidos e da exportação de nutrientes devido à colheita de grãos. O girassol demonstrou ser uma cultura com baixa produção de resíduos e com baixa quantidade de nutrientes acumulados, com exceção do K, nutriente que é requerido em grande quantidade e pouco exportado pela oleaginosa.

CONCLUSÕES

1. As culturas de entressafra não alteraram a quantidade de resíduos encontrada na superfície do solo após a colheita do milho ou da soja no verão.

2. As culturas com colheita de grãos na entressafra (milho, sorgo e girassol) produziram menor quantidade de matéria seca e com menor quantidade de nutrientes que as culturas com trituração no florescimento (crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto).

3. Milheto e crotalária apresentaram as maiores produções de matéria seca nos dois anos agrícolas e os maiores acúmulos de nutrientes. O milheto apresentou os maiores acúmulos de K e Mg, e a crotalária, os maiores acúmulos de N e P.

4. As gramíneas cultivadas na entressafra mostraram maior desenvolvimento quando em sucessão ao cultivo de soja no verão anterior, com maior produção de matéria seca de milheto e, também, maior produtividade de grãos de milho e sorgo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor (Proc. Nº 2007/59433-2). À AGRISUS (Nº PA-542/2009), pelo apoio financeiro ao projeto. À Estação Agroclimatológica da Unesp - campus de Jaboticabal, pelos dados climatológicos da área experimental.

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.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 48p. (Boletim Técnico)
- BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.C. & PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:1269-1276, 2007.
- BORDIN, L.; FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G. & FORNASIERI FILHO, D. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. *Bragantia*, 62:417-428, 2003.
- BRAZ, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.M.; KLIEMANN, H.J. & ZIMMERMANN, F.J.P. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. *Pesq. Agropec. Trop.*, 34:83-87, 2004.
- LARA-CABEZAS, W.A.R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA CABALLERO, S.S. & SANTANA, D.G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. *Ci. Rural*, 34:1005-1013, 2004.
- CARVALHO, A.M.; BUSTAMANTE, M.M.C.; ALCÂNTARA, F.A.; RESCK, I.S. & LEMOS, S.S. Characterization by solid-state CPMAS ¹³C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. *Soil Tillage Res.*, 102:144-150, 2009.
- CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D. & GIROTTO, F. Composição, produção de matéria seca e cobertura do solo em cultivo exclusivo e consorciado de milheto e crotalária. *Acta Sci. Agron.*, 27:575-580, 2005.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLETTTO, N. & SILVEIRA, M.J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. *Ci. Rural*, 32:49-54, 2002.
- COLLIER, L.S.; CASTRO, D.V.; DIAS NETO, J.J.; BRITO, D.R. & RIBEIRO, P.A.A. Manejo da adubação nitrogenada para o milho sob palhada de leguminosas em plantio direto em Gurupi, TO. *Ci. Rural*, 36:1100-1105, 2006.
- CRUSCIOL, C.A.C. & SORATTO, R.P. Nutrição e produtividade do amendoim em sucessão ao cultivo de plantas de cobertura no sistema plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:1553-1560, 2007.
- 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.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAPDP. Evolução da área de plantio direto no Brasil. Disponível em: <<http://www.febrapdp.com.br>>. Acesso em: 1 de fev. de 2011.
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I.C.; HÜBNER, A.P.; MARQUES, M.G. & CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:751-762, 2004.
- HECKLER, J.C. Sorgo e girassol no outono-inverno, em sistema plantio direto, no Mato Grosso do Sul, Brasil. *Ci. Rural*, 32:517-520, 2002.

- KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. R. Bras. Ci. Solo, 19:395-401, 1995.
- LOPES, A.S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G. & SILVA, C.A. Sistema plantio direto: Bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo, ANDA, 2004. 110p.
- MARCELO, A.V.; CORÁ, J.E.; FERNANDES, C.; MARTINS, M.D.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.
- OLIVEIRA, T.K.; CARVALHO, G.J. & MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 37:1079-1087, 2002.
- ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C. & FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. R. Bras. Ci. Solo, 27:355-362, 2003.
- SALMI, G.P.; SALMI, A.P. & ABOUD, A.C.S. Dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes de genótipos de guandu sob cultivo em aléias. Pesq. Agropec. Bras., 41:673-678, 2006.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S. & TRIVELIN, P.C.O. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. Pesq. Agropec. Bras., 41:477-486, 2006a.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M.E.C. & TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio (^{15}N) da crotalária e do milho pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. Ci. Rural, 36:739-746, 2006b.
- SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A.N.; CARMONA, R. & CARVALHO, A.M. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. Pesq. Agropec. Bras., 39:327-334, 2004.
- SOEST, P.J.V. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. J. Assoc. Off. Anal. Chem., 46:825-835, 1963.
- STOTT, D.E.; STROO, H.F.; ELLIOTT, L.F.; PAPENDICK, R.I. & UNGER, P.W. Wheat residue loss from fields under no-till management. Soil Sci. Soc. Am. J., 54:92-98, 1990.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análise de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- ZOBIOLE, L.H.S.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A. & OLIVEIRA JUNIOR, A. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. R. Bras. Ci. Solo, 34:425-433, 2010.