

SEQUÊNCIAS DE CULTURAS EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA. II - DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES NA ENTRESSAFRA⁽¹⁾

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

RESUMO

Os nutrientes acumulados nos resíduos das culturas, ao serem liberados no processo de decomposição, retornam ao solo e podem ficar disponíveis às culturas em sucessão. O objetivo deste trabalho foi avaliar a decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais de espécies utilizadas na entressafra em diferentes sequências de culturas em sistema de 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 constituíram da 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 foi iniciado em 2002, e o presente estudo refere-se aos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009. Avaliaram-se a decomposição e a liberação de nutrientes utilizando sacolas de decomposição, com coletas aos 15, 30, 60, 120 e 180 dias após a trituração das culturas. A cobertura do solo foi avaliada após a trituração das culturas e ao final do ano agrícola. Os resíduos de crotalária, milho, sorgo, girassol apresentaram menores taxas de decomposição. Crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto proporcionaram resíduos que liberaram maior quantidade de nutrientes quando comparados ao milho, sorgo e girassol. Crotalária e milheto destacaram-se como as culturas mais adequadas para cultivo na entressafra, em especial a crotalária, devido à baixa taxa de decomposição e à elevada quantidade de nutrientes liberados na decomposição, e o milheto, em razão da elevada quantidade de nutrientes remanescentes nos resíduos no final do ano agrícola. Sequências de culturas que envolveram cultivo de girassol na entressafra proporcionaram menor cobertura do solo pelos resíduos vegetais.

Termos de indexação: cobertura do solo, 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. II - DRY MATTER DECOMPOSITION AND NUTRIENT RELEASE IN THE SECOND GROWING SEASON

Nutrients accumulated in dry crop residues and released in the decomposition process return to the soil and may become available to subsequent crops. The objective of this study was to evaluate the decomposition and nutrient release of plant residues of different no-tillage crop sequences in the second growing season. A field experiment was carried out on a Rhodic Eutrudox in Jaboticabal, SP, Brazil (48°18'W and 21°15'S), arranged in a randomized split-block design with three replications. The treatments consisted of combinations of three summer crops 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 was initiated in 2002 and this study assessed the 2007/2008 and 2008/2009 growing seasons. The decomposition of plant residues was evaluated 15, 30, 60, 120, and 180 days after management, using litter bags. The soil cover was evaluated immediately after chopping the residues and at the end of the growing season. The release rates from sunn hemp, maize, grain sorghum, and sunflower residues were lowest. Sunn hemp, pigeon pea, oilseed radish, and pearl millet released the highest amounts of nutrients during the decomposition period. Sunn hemp and pearl millet were most suitable as second season crops. The soil cover was poorest in the crop sequences with sunflower in the second growing season.

Index terms: soil cover, macronutrients, winter crops.

INTRODUÇÃO

No sistema de semeadura direta (SSD), os principais objetivos das culturas de entressafra estão relacionados à proteção da superfície do solo contra os agentes erosivos e à ciclagem de nutrientes pelos resíduos. Os nutrientes acumulados na matéria seca das culturas, ao serem liberados no processo de decomposição, retornam ao solo e podem ficar disponíveis às culturas em sucessão. Portanto, o cultivo de diferentes espécies compondo um sistema de produção agrícola proporciona reciclagem de nutrientes mais efetiva, possibilitando redução da quantidade de nutrientes aplicados via fertilizantes ao longo do tempo (Aita & Giacomini, 2003; Giacomini et al., 2004).

Diversas espécies vegetais podem ser utilizadas como culturas de entressafra (cultivadas no outono/inverno) com o objetivo específico de proporcionar cobertura do solo e reciclagem de nutrientes (Boer et al., 2007; Torres et al., 2008; Pacheco et al., 2011). O cultivo de leguminosas tem demonstrado ser uma alternativa promissora na suplementação de N para as culturas em sucessão (Amado et al., 2003; Sisti et al., 2004), devido à capacidade de fixação do N₂ atmosférico e à estreita relação carbono:nitrogênio (C:N) de seus resíduos, o que leva a uma rápida decomposição (Giacomini et al., 2003), disponibilizando ao solo, aos microrganismos e às plantas em sucessão, além do N e do C acumulados (Mulvaney et al., 2010), todos os nutrientes contidos na biomassa. Por outro lado, os resíduos deixados pelas gramíneas, por apresentarem elevados valores de relação C:N, decompõem-se mais lentamente e permanecem mais tempo sobre o solo, reduzindo a erosão, o que é desejável, sobretudo nas regiões de clima tropical, o

qual favorece a rápida decomposição dos resíduos das culturas (Pires et al., 2008; Carvalho et al., 2009; Pacheco et al., 2011). Entretanto, a menor velocidade de decomposição dos resíduos também reduz a taxa de liberação de nutrientes ao solo, podendo ocorrer, inclusive, imobilização microbiana de N (Silva et al., 2006), devido à maior relação C:N dos resíduos.

A suscetibilidade dos resíduos vegetais à decomposição e à liberação de nutrientes depende da sua composição química, principalmente, quanto aos teores de lignina e polifenóis e às relações entre constituintes, como as relações C:N, lignina:N, polifenóis:N e (lignina + polifenóis):N (Carvalho et al., 2009; Matos et al., 2011). Os resíduos vegetais que possuem baixa concentração de N e de P e alto conteúdo de substâncias recalcitrantes, como lignina e polifenóis, apresentam baixa taxa de decomposição e lenta liberação de nutrientes.

Adicionalmente à qualidade do resíduo, as condições climáticas também alteram a taxa de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos. Temperatura e umidade do solo mais elevadas favorecem a atividade microbiana (Skopp et al., 1990; Grant & Rochette, 1994), aumentando a taxa de decomposição dos resíduos. Em condições de clima tropical, em que a taxa de decomposição dos resíduos é elevada, pesquisadores têm somado esforços no sentido de definir sistemas de cultivos que integrem sequências de culturas que produzam resíduos em quantidade e qualidade adequadas para promoverem cobertura e proteção do solo aos processos erosivos por maior período de tempo possível, assim como proporcionem reciclagem de nutrientes, de maneira a disponibilizar nutrientes de acordo com a demanda da cultura em sucessão (Aita et al., 2004; Torres et al., 2008).

Adotando-se determinadas sequências de culturas em SSD, frequentemente poderão ocorrer misturas de diferentes resíduos vegetais na superfície do solo, resultando em relação C:N intermediária, ou seja, com características favoráveis tanto à proteção do solo, proporcionada principalmente por resíduos de gramíneas, quanto pelo aporte de N propiciado pelas leguminosas. Isso pode modificar o processo de decomposição dos resíduos e a dinâmica de liberação dos nutrientes para o solo: por um lado, proporcionando proteção do solo contra a erosão pelos resíduos com maiores valores de relação C:N; por outro lado, pelo potencial de liberação de nutrientes em menor tempo, devido aos resíduos com maior quantidade de nutrientes, principalmente N.

Nesse sentido, o conhecimento sobre a dinâmica de decomposição de resíduos vegetais em determinada condição climática pode fornecer subsídios para o estabelecimento de sistemas de cultivos mais adaptados, assim como para aprimorar estratégias de manejo de culturas de entressafra em SSD, visando melhoria da qualidade do solo para as culturas em sucessão.

Com base na hipótese de que a decomposição e a liberação de nutrientes pelos resíduos vegetais das culturas dependem de suas características químicas, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais de espécies utilizadas na entressafra 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, com 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). Conforme Embrapa (2006), o solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, textura argilosa. 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 neste trabalho são referentes aos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009, sexto e sétimo anos agrícolas após a instalação do experimento, respectivamente, 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

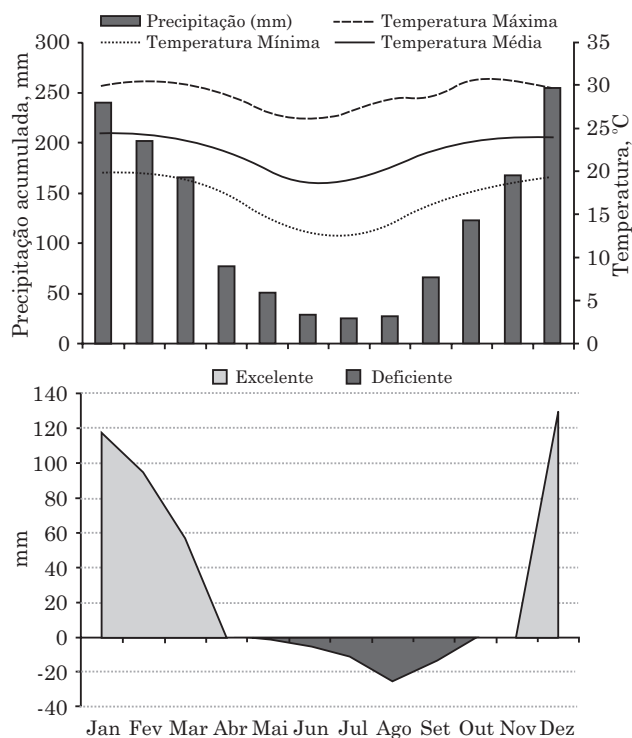


Figura 1. Valores médios mensais de temperatura do ar e de precipitação pluvial acumulada e extrato do balanço hídrico climatológico normal para Jaboticabal (SP), no período 1971-2000.

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. 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.

Avaliaram-se as quantidades e a qualidade dos materiais vegetais das culturas antes da operação de trituração das culturas de entressafra, visando caracterizar somente os resíduos vegetais 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.

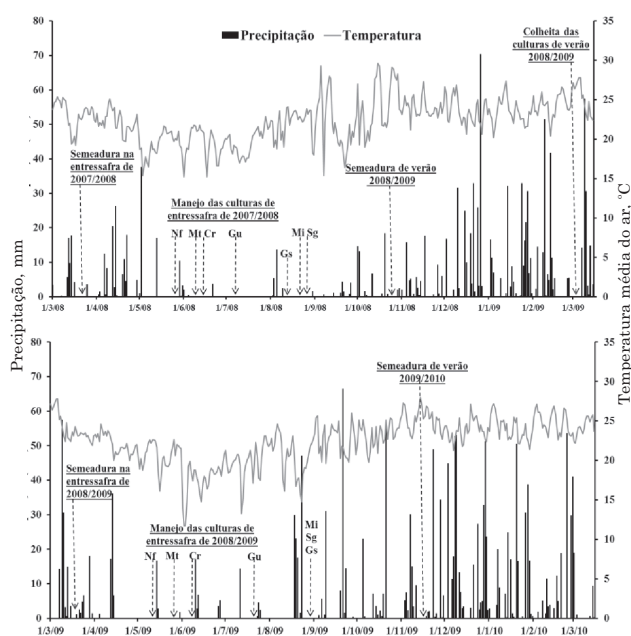


Figura 2. Valores diários de precipitação pluvial e de temperatura média do ar na área experimental no período de março de 2008 a janeiro de 2010 e os momentos de semeadura e trituração das culturas. Nf: nabo forrageiro; Mt: milheto; Cr: crotalária; Gu: guandu; Mi: milho; Sg: sorgo; Gs: girassol.

Os materiais vegetais coletados, depois de secos em estufa, foram acondicionados em sacolas de náilon confeccionadas com tela com malha 2 x 2 mm, denominadas *litter bags*, com dimensões de 20 x 20 cm. A quantidade de material acondicionado em cada sacola foi ajustada de acordo com as quantidades obtidas (kg ha⁻¹) para cada cultura de entressafra, considerando-se as medidas das sacolas. As sacolas foram distribuídas na superfície do solo, na parcela correspondente à cultura. A decomposição dos resíduos vegetais foi avaliada baseando-se na perda de peso entre as avaliações, representada em porcentagem de matéria seca (MS) remanescente em relação à massa inicial. Os períodos de avaliação do material vegetal foram de 15, 30, 60, 120 e 180 dias após a instalação das sacolas. Foram instaladas 15 sacolas por parcela, o que possibilitou, em cada avaliação, a coleta de três sacolas para formar uma amostra composta por parcela.

As amostras de material vegetal foram lavadas e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar na temperatura de 65 °C até atingirem massa constante, visando à determinação de MS. Em seguida, as amostras foram moídas e preparadas para análise química, para determinação 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.

A porcentagem de cobertura do solo proporcionada pelos resíduos vegetais foi avaliada utilizando-se o método da transecção linear (Sloneker & Moldenhauer, 1977) em dois momentos: o primeiro, logo após a trituração das culturas de entressafra; e o segundo, no final de cada ano agrícola, ou seja, um dia antes da semeadura das culturas de verão do ano agrícola seguinte.

Os dados das porcentagens de cobertura do solo proporcionadas pelos resíduos vegetais das culturas foram submetidos à análise de variância, conforme delineamento em faixas; e os dados das porcentagens de MS, N, P, K, Ca, Mg e S remanescentes dos resíduos vegetais das sacolas de decomposição foram analisados conforme delineamento em faixas e com medidas repetidas no tempo, em função dos períodos de amostragem (0, 15, 30, 60, 120 e 180 dias). Os dados foram analisados separadamente para cada ano agrícola, sem considerar o ano de avaliação como um fator de variação nas análises.

Para descrever a decomposição e a liberação de nutrientes dos resíduos vegetais de cultura de entressafra, as médias das porcentagens remanescentes de MS e dos nutrientes nas sacolas de decomposição foram ajustadas ao modelo de regressão não linear descrito por Wieder & Lang (1982): $y = A_0 e^{-k_0 t}$, em que y é a porcentagem remanescente de MS ou de cada

nutriente nos resíduos após um período t , em dias; A_0 é a percentagem inicial de resíduo decomposto ou do nutriente liberado; e k_0 é a constante de decomposição. Os valores de k_0 das equações de decomposição e de liberação dos nutrientes dos resíduos das culturas de entressafra foram comparados com base nos intervalos de confiança, obtidos por meio do teste t a 5 %. Para as estimativas das quantidades de MS decomposta ou de nutrientes liberados dos resíduos das culturas de entressafra até o final de cada ano agrícola, considerou-se o período de decomposição dos resíduos entre o dia em que se realizou a trituração de cada cultura de entressafra e o final do ano agrícola, ou seja, quando ocorreu a semeadura das culturas de verão do ano agrícola seguinte (Figura 2).

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

A análise de variância apresentou interação entre culturas de entressafra e os períodos de amostragem para as percentagens de matéria seca (MS) e dos nutrientes remanescentes nas sacolas de decomposição (Quadro 1). Não houve interação entre as sequências de culturas de entressafra, as sequências de verão e os períodos de amostragem, indicando que as sequências de verão não influenciaram a decomposição e a liberação dos nutrientes dos resíduos das culturas de entressafra.

Na entressafra de 2007/2008, não foram observadas diferenças nos valores das constantes (K_0) das equações que descrevem o processo de decomposição dos resíduos das culturas de entressafra ao longo do tempo. No entanto, no ano agrícola 2008/2009, os resíduos de crotalária, milho, sorgo e girassol apresentaram menores taxas de decomposição, quando comparados aos resíduos de nabo forrageiro (Figura 3).

Os resíduos de nabo forrageiro, guandu e milheto no ano agrícola 2008/2009 apresentaram maiores taxas de decomposição, quando comparadas àquelas do ano agrícola 2007/2008 (Figura 3) - fato atribuído à maior ocorrência de chuvas no período de decomposição dos resíduos das culturas de entressafra do ano agrícola 2008/2009 (Quadro 2). Esse resultado deve-se ao efeito físico do impacto das gotas de chuva sobre os resíduos

vegetais e à combinação da maior umidade do solo com temperatura média do ar superior a 20 °C ocorridas nesse período do ano agrícola 2008/2009, o que favorece a atividade microbiológica do solo (Skopp et al., 1990; Grant & Rochette, 1994), contribuindo para o aumento das taxas de decomposição dos resíduos. No entanto, esse resultado não foi observado nos resíduos de crotalária, milho, sorgo e girassol, os quais demonstraram maior resistência à decomposição em relação às demais culturas de entressafra, pois, mesmo expostos a maiores ocorrências de chuvas e elevadas temperaturas no período de decomposição no ano agrícola 2008/2009, as taxas de decomposição dessas culturas pouco alteraram entre os anos agrícolas avaliados (Figura 3). A maior resistência à decomposição dos resíduos de milho, sorgo e girassol deve-se ao manejo de condução até a colheita dos grãos, que resultou em resíduos com baixas concentrações de N e, portanto, com maiores valores de relação C:N e lignina:N (Quadro 3).

O estágio de desenvolvimento da cultura de entressafra, no momento em que se realizou a trituração, interferiu na qualidade dos resíduos vegetais e, portanto, na taxa de decomposição. Os nutrientes presentes nos resíduos adicionados ao solo, sobretudo o N, favorecem a atividade dos microrganismos, provocando rápido crescimento de sua população e, portanto, contribuindo para maiores taxas de decomposição na fase inicial do processo (Berg, 2000). Entretanto, na região do Cerrado brasileiro, a informação da relação C:N dos resíduos por si só não representa bem o processo de decomposição, por não considerar a qualidade da fonte do C (Carvalho et al., 2009). Para isso, esses autores recomendaram a inclusão de informações relacionadas à composição química dos resíduos vegetais, como a presença e as concentrações de compostos aromáticos. No presente estudo, além da relação C:N, a análise das concentrações de lignina foi importante na caracterização dos materiais vegetais deixados sobre o solo, pois observou-se que os resíduos de crotalária, apesar de possuírem menor relação C:N, apresentaram baixas taxas de decomposição, devido às maiores concentrações de lignina em seus resíduos (Quadro 3). Mansoer et al. (1997), ao particionarem plantas de crotalária após 12 semanas da semeadura, observaram maiores concentrações de lignina (184 g kg⁻¹) e relação C:N (38) nos caules, quando comparadas às concentrações nas folhas da cultura (lignina = 64 g kg⁻¹ e relação C:N = 11). Desse modo, no presente estudo, as maiores concentrações de lignina nos caules da crotalária proporcionaram menores taxas de decomposição. Apesar de os resíduos de guandu terem apresentado valores de relação C:N e lignina:N semelhantes aos de crotalária, as maiores taxas de decomposição dos resíduos de guandu em relação à crotalária podem ser atribuídas à maior ocorrência de chuvas no período em que os resíduos foram expostos à decomposição (Quadro 2), o que proporcionou

Quadro 1. Análise de variância (Teste F) para as avaliações da decomposição e liberação dos nutrientes dos resíduos das culturas de entressafra

| Fonte de variação | GL ⁽¹⁾ | Matéria seca | N | P | K | Ca | Mg | S |
|------------------------|-------------------|------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| 2007/2008 | | | | | | | | |
| Sequência de verão (V) | 2 | 1,16 ^{ns} | 6,36 ^{ns} | 1,45 ^{ns} | 1,35 ^{ns} | 2,89 ^{ns} | 1,63 ^{ns} | 0,14 ^{ns} |
| Entressafra (E) | 6 | 6,33 ^{**} | 8,23 ^{**} | 5,85 ^{**} | 22,03 ^{**} | 1,90 ^{ns} | 2,74 ^{ns} | 28,00 ^{**} |
| Períodos (P) | 5 | 2.224,19 ^{**} | 920,35 ^{**} | 74,51 ^{**} | 2.207,45 ^{**} | 602,81 ^{**} | 925,27 ^{**} | 69,83 ^{**} |
| Interação V x E | 12 | 1,71 ^{ns} | 1,72 ^{ns} | 0,90 ^{ns} | 0,51 ^{ns} | 0,71 ^{ns} | 0,69 ^{ns} | 0,67 ^{ns} |
| Interação P x V | 10 | 1,81 ^{ns} | 1,83 [*] | 1,30 ^{ns} | 0,51 ^{ns} | 0,67 ^{ns} | 0,85 ^{ns} | 1,70 ^{ns} |
| Interação P x E | 30 | 6,20 ^{**} | 10,23 ^{**} | 6,63 ^{**} | 22,34 ^{**} | 6,46 ^{**} | 7,70 ^{**} | 12,60 ^{**} |
| Interação P x V x E | 60 | 1,22 ^{ns} | 0,99 ^{ns} | 1,22 ^{ns} | 0,87 ^{ns} | 1,02 ^{ns} | 0,76 ^{ns} | 0,81 ^{ns} |
| Erro (V) | 4 | 30,44 | 241,91 | 1.855,10 | 93,61 | 70,80 | 137,63 | 1.593,98 |
| Erro (E) | 12 | 41,94 | 235,65 | 6.286,02 | 107,86 | 396,14 | 277,60 | 1.434,65 |
| Erro (V x E) | 24 | 14,96 | 177,98 | 3.504,30 | 130,93 | 428,28 | 370,70 | 1.150,23 |
| Erro (P) | 210 | 13,92 | 47,63 | 417,81 | 38,89 | 71,33 | 65,66 | 316,17 |
| CV _V (%) | - | 8,1 | 28,8 | 61,9 | 27,5 | 14,9 | 24,0 | 60,5 |
| CV _E (%) | - | 9,5 | 28,5 | 82,3 | 29,6 | 35,4 | 34,1 | 57,5 |
| CV _P (%) | - | 5,7 | 24,7 | 98,8 | 32,6 | 36,8 | 39,4 | 51,4 |
| 2008/2009 | | | | | | | | |
| Sequência de verão (V) | 2 | 2,57 ^{ns} | 3,45 ^{ns} | 2,16 ^{ns} | 0,64 ^{ns} | 3,65 ^{ns} | 2,04 ^{ns} | 0,14 ^{ns} |
| Entressafra (E) | 6 | 113,06 ^{**} | 24,10 ^{**} | 9,27 ^{**} | 8,08 ^{**} | 17,83 ^{**} | 50,64 ^{**} | 13,5 ^{**} |
| Períodos (P) | 5 | 3.503,26 ^{**} | 837,88 ^{**} | 856,60 ^{**} | 1.068,36 ^{**} | 336,80 ^{**} | 1.689,25 ^{**} | 924,06 ^{**} |
| Interação V x E | 12 | 2,03 ^{ns} | 1,38 ^{ns} | 0,66 ^{ns} | 1,94 ^{ns} | 1,13 ^{ns} | 1,17 ^{ns} | 0,29 ^{ns} |
| Interação P x V | 10 | 1,31 ^{ns} | 0,81 ^{ns} | 1,47 ^{ns} | 0,93 ^{ns} | 1,06 ^{ns} | 0,61 ^{ns} | 0,44 ^{ns} |
| Interação P x E | 30 | 28,30 ^{**} | 15,33 ^{**} | 11,03 ^{**} | 8,58 ^{**} | 9,78 ^{**} | 21,35 ^{**} | 8,08 ^{**} |
| Interação P x V x E | 60 | 1,27 ^{ns} | 1,13 ^{ns} | 1,17 ^{ns} | 0,68 ^{ns} | 1,50 ^{ns} | 1,01 ^{ns} | 0,62 ^{ns} |
| Erro (V) | 4 | 11,17 | 133,79 | 646,22 | 505,09 | 149,59 | 185,20 | 459,95 |
| Erro (E) | 12 | 25,37 | 267,49 | 355,89 | 410,11 | 380,61 | 76,88 | 318,05 |
| Erro (V x E) | 24 | 13,19 | 338,01 | 589,14 | 227,89 | 182,71 | 178,78 | 608,54 |
| Erro (P) | 210 | 11,12 | 48,60 | 60,96 | 82,73 | 138,35 | 43,39 | 61,71 |
| CV _V (%) | - | 5,0 | 20,2 | 47,4 | 65,4 | 20,9 | 29,4 | 39,9 |
| CV _E (%) | - | 7,5 | 28,5 | 35,2 | 59,0 | 33,3 | 18,9 | 33,1 |
| CV _P (%) | - | 5,4 | 32,0 | 45,3 | 43,9 | 23,1 | 28,9 | 45,9 |

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

maior desfragmentação dos resíduos na superfície do solo pela ação das gotas de chuva e, portanto, taxa de decomposição relativamente maior.

As condições climáticas favoráveis à decomposição dos resíduos em 2008/2009 resultaram, de modo geral, em maiores percentagens de MS decomposta, em relação ao ano agrícola 2007/2008 (Quadro 4). Além disso, entre os anos, as menores quantidades remanescentes de MS na superfície do solo observadas no final do ano agrícola 2008/2009 devem-se às menores quantidades de MS acumuladas pelas culturas de entressafra nesse ano agrícola.

Em média, estimaram-se maiores quantidades de resíduos remanescentes na superfície do solo nos resíduos das culturas de entressafra com colheita de grãos, em relação às culturas triturdadas no

florescimento (Quadro 4). Esse resultado é devido à maior recalcitrância dos resíduos de milho, sorgo e girassol e ao menor tempo de exposição a fatores de decomposição, em relação aos resíduos de nabo forrageiro, milheto, guandu e crotalária, triturados no florescimento, os quais apresentaram as maiores quantidades de MS decomposta no período considerado, nos dois anos agrícolas. Entre as culturas trituradas no florescimento, a maior recalcitrância dos resíduos de crotalária e as elevadas quantidades de MS de milheto contribuíram para as maiores quantidades estimadas de MS remanescente no final dos dois anos agrícolas. Guandu e nabo forrageiro apresentaram baixo acúmulo de MS e com rápida decomposição, que resultou em menores quantidades de MS remanescente no final dos dois anos agrícolas, principalmente nabo forrageiro em 2008/2009. Em

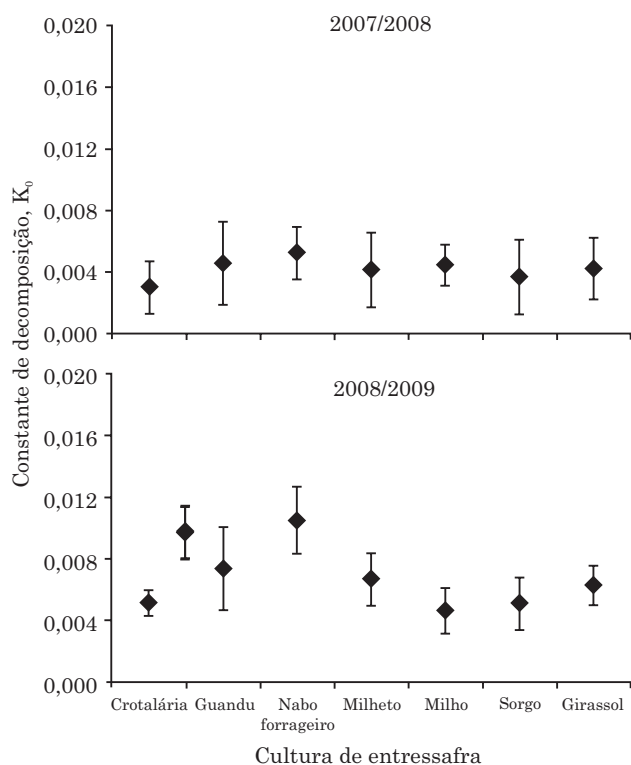


Figura 3. Constantes (K_0) das equações exponenciais simples ($y = A_0 \cdot e^{-K_0 \cdot t}$) ajustadas para a decomposição dos resíduos das culturas de entressafra. As barras verticais representam o intervalo de confiança do parâmetro K_0 a 5%.

2008/2009, entre as culturas com colheita de grãos, o girassol apresentou menor quantidade de resíduos remanescentes em relação ao milho.

Após a trituração das culturas de entressafra, observaram-se elevados valores de percentagem de cobertura do solo proporcionados pelos resíduos nos dois anos agrícolas, próximos a 100 % (Quadro 5). Entretanto, nas parcelas com cultivo de girassol, a cobertura do solo foi menor. A menor cobertura do solo observada após a colheita do girassol deve-se à forma de seus resíduos, constituídos predominantemente por hastes, e às menores quantidades de resíduos produzidas. Ao avaliarem a cobertura do solo após a colheita de girassol em sistema convencional de preparo do solo, Lyon (1998) observou que os resíduos de girassol proporcionaram cobertura do solo de 43 %. Esse autor alertou para o fato de que, além da baixa capacidade de cobertura, os resíduos de girassol apresentam rápida decomposição. É provável que as menores percentagens de cobertura do solo nas parcelas cultivadas com girassol na sequência SS, quando comparada àquelas das sequências SM e MM nos dois anos, devam-se às menores capacidade e quantidade dos resíduos da soja cultivada anteriormente na sequência SS em relação às sequências SM e MM, que envolveram cultivos de milho. Geralmente, resíduos de soja apresentam

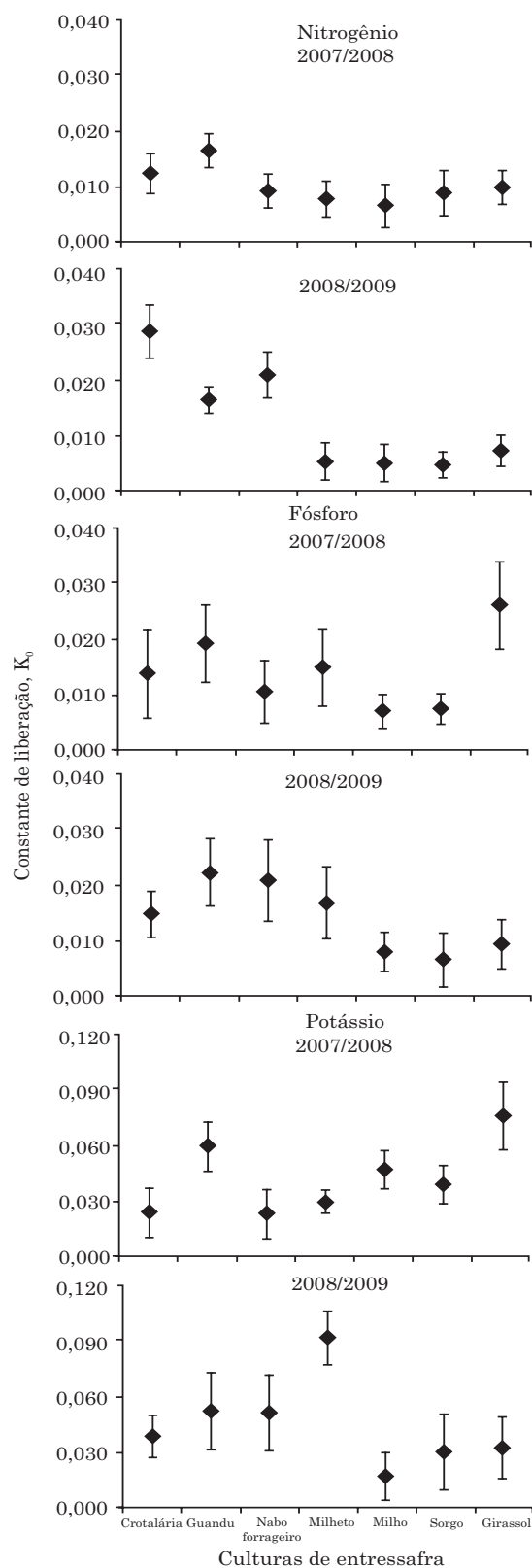


Figura 4. Constantes (K_0) das equações exponenciais simples ajustadas ($y = A_0 \cdot e^{-K_0 \cdot t}$) para a liberação de nitrogênio, fósforo e potássio dos resíduos das culturas de entressafra. As barras verticais representam o intervalo de confiança do parâmetro K_0 a 5%.

Quadro 2. Valores de precipitação pluvial acumulada e temperatura média do ar no período de 180 dias de decomposição das culturas de inverno nos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009

| Cultura de entressafra | 2007/2008 | | 2008/2009 | |
|------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| | Precipitação pluvial acumulada | Temperatura média do ar | Precipitação pluvial acumulada | Temperatura média do ar |
| | mm | ° C | mm | ° C |
| Crotalária | 320,7 | 22,5 | 759,8 | 22,1 |
| Guandu | 464,0 | 22,9 | 1.139,5 | 23,2 |
| Nabo forrageiro | 196,7 | 22,1 | 483,8 | 21,2 |
| Milheto | 198,7 | 22,2 | 578,5 | 21,5 |
| Milho | 918,0 | 24,0 | 1.203,2 | 24,1 |
| Sorgo | 905,0 | 23,9 | 1.203,2 | 24,1 |
| Girassol | 887,2 | 23,7 | 1.203,2 | 24,1 |

Quadro 3. Teores de carbono e lignina e valores das relações C:N, C:P e lignina:N dos resíduos das culturas de entressafra, coletados por ocasião da trituração

| Cultura de entressafra | 2007/2008 | | | | | 2008/2009 | | | | |
|------------------------|--------------------|---------|-----|-------|-----------|--------------------|---------|-----|-------|-----------|
| | C | Lignina | C:N | C:P | Lignina:N | C | Lignina | C:N | C:P | Lignina:N |
| | g kg ⁻¹ | | | | | g kg ⁻¹ | | | | |
| Crotalária | 450,0 | 90 | 23 | 256 | 4,6 | 462,9 | 81 | 24 | 271 | 4,2 |
| Guandu | 473,1 | 123 | 20 | 341 | 5,2 | 462,0 | 121 | 21 | 301 | 5,5 |
| Nabo forrageiro | 413,3 | 28 | 31 | 233 | 2,1 | 446,5 | 33 | 23 | 252 | 1,7 |
| Milheto | 458,3 | 50 | 33 | 243 | 3,6 | 483,0 | 46 | 42 | 489 | 4 |
| Milho | 516,7 | 62 | 110 | 2.814 | 13,2 | 462,6 | 63 | 105 | 2.405 | 14,3 |
| Sorgo | 470,8 | 66 | 102 | 1.410 | 14,3 | 464,2 | 64 | 66 | 634 | 9,1 |
| Girassol | 456,5 | 77 | 83 | 1.606 | 14 | 390,0 | 73 | 39 | 678 | 7,3 |

Quadro 4. Massa seca acumulada pelas culturas de entressafra e massa decomposta e remanescente na superfície do solo ao final de cada ano agrícola

| Cultura de entressafra | 2007/2008 | | | | 2008/2009 | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------|------------|---------------------|-------|---------------------|--------------------|---------------------|------|---------|------|
| | Acumulada | Decomposta | Remanescente | | Acumulada | Decomposta | Remanescente | | | |
| | Mg ha ⁻¹ | % | Mg ha ⁻¹ | % | Mg ha ⁻¹ | % | Mg ha ⁻¹ | % | | |
| Trituração no florescimento | | | | | | | | | | |
| Crotalária | 5,7 b | 2,3 b | (41) | 3,4 a | (59) | 3,8 b | 2,2 b | (62) | 1,6 a | (38) |
| Guandu | 4,1 c | 1,9 c | (47) | 2,2 b | (53) | 3,5 b | 2,2 b | (62) | 1,3 a | (38) |
| Nabo forrageiro | 4,1 c | 2,4 b | (56) | 1,7 b | (44) | 2,5 b | 2,2 b | (77) | 0,3 b | (23) |
| Milheto | 6,8 a | 3,4 a | (49) | 3,4 a | (51) | 6,4 a | 4,6 a | (66) | 1,8 a | (34) |
| Média (florescimento) | 5,2 | 2,5 | | 2,7 | | 4,1 | 2,8 | | 1,3 | |
| Trituração após colheita de grãos | | | | | | | | | | |
| Milho | 4,3 a | 0,9 | (20) | 3,4 | (80) | 3,9 | 1,2 | (31) | 2,7 a | (69) |
| Sorgo | 4,4 a | 1,1 | (25) | 3,3 | (75) | 3,5 | 1,4 | (39) | 2,1 ab | (61) |
| Girassol | 3,2 b | 0,8 | (25) | 2,4 | (75) | 2,8 | 1,2 | (42) | 1,6 b | (58) |
| Média (colheita) | 3,9 | 0,9 | | 3,0 | | 3,4 | 1,3 | | 2,1 | |
| F (floresc. vs. colheita) | 49,56** | 564,74** | | 9,15* | | 1,49 ^{ns} | 154,68** | | 48,92** | |

* e **: significativo a 5 e a 1 %, respectivamente. Os valores entre parênteses referem-se aos percentuais em relação à produção total de matéria seca. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 5. Cobertura do solo proporcionada pelos resíduos das culturas, avaliada após a trituração das culturas de entressafra em cada sequência de verão

| Cultura de entressafra | 2007/2008 | | | 2008/2009 | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|---------|---------|-----------|----------|----------|
| | Sequência de verão ⁽¹⁾ | | | | | |
| | SM | MM | SS | SM | MM | SS |
| | % | | | | | |
| | Trituração no florescimento | | | | | |
| Crotalária | 100 | 100 | 99 | 100 | 100 | 100 |
| Guandu | 100 | 100 | 98 | 100 | 100 | 100 |
| Nabo forrageiro | 100 | 100 | 97 | 99 | 100 | 98 |
| Milheto | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 97 |
| Média (florescimento) | 100 | 100 | 99 | 100 | 100 | 99 |
| | Trituração após colheita de grãos | | | | | |
| Milho | 100 A | 100 A | 99 A | 100 A | 100 A | 100 A |
| Sorgo | 100 A | 100 A | 100 A | 100 A | 100 A | 100 A |
| Girassol | 89 Ba | 88 Ba | 81 Bb | 86 Ba | 84 Ba | 81 Bb |
| Média (colheita) | 96 | 96 | 93 | 95 | 95 | 94 |
| F (florescimento <i>vs.</i> colheita) | 25,49** | 26,83** | 33,89** | 101,33** | 203,76** | 197,22** |

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

menores valores de relações C:N em relação aos de milho, o que contribui para maior taxa de decomposição e, portanto, maior redução da cobertura do solo.

Na avaliação da cobertura do solo realizada no final de cada ano agrícola, não foram observadas interações entre sequências de verão e culturas de entressafra (Quadro 6). Assim, independentemente das culturas de entressafra, menores porcentagens de cobertura do solo foram observadas na sequência SS, em relação às sequências SM e MM - fato relacionado à menor contribuição dos resíduos de soja para a cobertura do solo. Considerando as culturas de entressafra, as culturas trituradas no florescimento proporcionaram maior cobertura do solo nos dois anos. Entre as culturas com colheita de grãos na entressafra, os resíduos de girassol proporcionaram menor cobertura do solo em relação aos resíduos de sorgo em 2007/2008, bem como a menor percentagem de cobertura do solo em 2008/2009. Entre as culturas trituradas no florescimento, os resíduos de nabo forrageiro apresentaram a menor percentagem de cobertura do solo em 2008/2009 - fato relacionado às menor quantidade de MS produzida pelo nabo forrageiro nesse ano agrícola. As menores porcentagens de cobertura do solo observadas no final do ano agrícola 2008/2009, quando comparadas àquelas do ano agrícola anterior, podem ser atribuídas às menores quantidades de MS produzida pelas culturas de entressafra e, ainda, às maiores taxas de decomposição dos resíduos observadas em 2008/2009. Esse fato demonstra a importância da quantidade de MS produzida pelas culturas de

entressafra para a manutenção da cobertura do solo pelos resíduos até a semeadura das culturas de verão do próximo ano agrícola.

Menores taxas de liberação de N foram observadas nos resíduos de milheto, milho, sorgo e girassol, quando comparadas às taxas dos resíduos de guandu em 2007/2008 e às taxas dos resíduos de crotalária, guandu e nabo forrageiro em 2008/2009 (Figura 4). As maiores quantidades de N nos resíduos das culturas manejadas no florescimento resultaram nas maiores quantidades liberadas no período de decomposição nos dois anos, em especial nos resíduos de crotalária e guandu, por serem leguminosas (Quadro 7). Mesmo liberando a maior quantidade de N, os resíduos das culturas trituradas no florescimento apresentaram maior quantidade remanescente do nutriente no final do ano agrícola 2007/2008. Contudo, a maior ocorrência de chuvas no período de decomposição das culturas de entressafra de 2008/2009 favoreceu o aumento das taxas de liberação de N dos resíduos, o que resultou em baixa quantidade remanescente de N nos resíduos de crotalária, guandu e nabo forrageiro no final do ano agrícola 2008/2009. Consequentemente, as culturas de entressafra com colheita de grãos apresentaram, em média, maior quantidade remanescente de N ao final do ano agrícola 2008/2009. Entre as culturas trituradas no florescimento, a maior quantidade remanescente de N foi observada nos resíduos de milheto nos dois anos, relativa a aproximadamente 25 kg ha⁻¹ de N, em média. Os nutrientes remanescentes nos resíduos das culturas no final do ano agrícola são importantes pelo

Quadro 6. Cobertura do solo proporcionada pelos resíduos vegetais das culturas em função das sequências de verão e das culturas de entressafra, avaliada no final dos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009

| Tratamento | 2007/2008 | 2008/2009 |
|--|-----------------------------------|--------------------|
| Sequências de verão ⁽¹⁾ (V) | % | |
| SM ⁽²⁾ | 91 a | 82 a |
| MM | 93 a | 83 a |
| SS | 87 b | 80 b |
| Teste F | 17,16* | 24,10** |
| CV(%) | 4,1 | 2,7 |
| Culturas de entressafra (E) | Trituração no florescimento | |
| Crotalária | 91 b | 81 b |
| Guandu | 89 b | 81 b |
| Nabo forrageiro | 91 b | 73 c |
| Milheto | 94 a | 87 a |
| Média (florescimento) | 91 | 81 |
| | Trituração após colheita de grãos | |
| Milho | 89 ab | 92 a |
| Sorgo | 93 a | 83 b |
| Girassol | 84 b | 74 c |
| Média (colheita) | 89 | 83 |
| Teste F | 3,67* | 26,20** |
| CV(%) | 5,7 | 4,8 |
| F (florescimento vs. colheita) | 4,94* | 7,94* |
| Teste F da interação (V x E) | 1,33 ^{ns} | 1,80 ^{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 e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

fato de a liberação ocorrer gradualmente durante o ciclo de desenvolvimento das culturas de verão (Silva et al., 2006; Pacheco et al., 2011), sobretudo quanto aos resíduos de milho, que, no presente estudo, apresentaram elevada capacidade de acumular N e com menores taxas de decomposição e de liberação do nutriente, constituindo-se em uma importante estratégia de ciclagem de N na entressafra.

Os resíduos de milho, sorgo e girassol, os quais apresentaram menores quantidades acumuladas de P e maiores valores de relação C:P (Quadro 3), foram os que liberaram as menores quantidades de P durante o período de decomposição (Quadro 7). Além disso, apesar das baixas taxas de liberação (Figura 4), no final de cada ano agrícola, as quantidades remanescentes nos resíduos de todas as culturas de entressafra foram pequenas. A maior liberação de P dos resíduos foi observada nos resíduos de milho; em 2007/2008, o P liberado dos resíduos correspondeu a aproximadamente 10 kg ha⁻¹ de P, em média. Esses

resultados evidenciam as baixas quantidades de P absorvidas pelas culturas de entressafra e liberadas na decomposição dos resíduos, mesmo naquelas que foram trituradas no florescimento, as quais não tiveram os nutrientes exportados pela colheita dos grãos. Teixeira et al. (2010) semearam o milho em março e, após 143 dias de ciclo, quantificaram acúmulo de 3,8 kg ha⁻¹ de P na MS e observaram que, após 68 dias da dessecação química, 2,0 kg ha⁻¹ foram liberados dos resíduos, cerca de 50 % do P acumulado. No presente estudo, no geral, as percentagens de P liberadas dos resíduos superaram as observadas por Teixeira et al. (2010), provavelmente, em decorrência do manejo dos resíduos de milho com triturador de resíduos vegetais tratorizado, que resultou em maior desfragmentação dos resíduos e, portanto, contribuiu para uma maior taxa de decomposição da MS e de liberação do nutriente.

Acredita-se que o P liberado pelos resíduos das culturas ao solo pouco influencie as culturas em sucessão em curto prazo, devido às baixas quantidades liberadas e à fixação do elemento às partículas minerais do solo (Novais et al., 2007). Contudo, ao longo do tempo, pode ocorrer efeito cumulativo do P liberado anualmente pelas culturas, contribuindo para compor uma fração orgânica do nutriente no solo, e pela imobilização do P na biomassa microbiana (Takeda et al., 2009). Segundo Andrade & Mendonça (2003), os compostos orgânicos fosfatados liberados pelos resíduos vegetais reduzem a capacidade do solo de adsorver o P e, dessa maneira, aumentam a disponibilidade do nutriente no solo.

Entre os nutrientes avaliados neste estudo, o K foi o que apresentou as maiores taxas de liberação pelos resíduos (Figura 4). Isso pode ser explicado pelo fato de esse nutriente ser facilmente extraído dos tecidos das plantas pela água, por se encontrar na forma iônica, não participando de compostos orgânicos estáveis na planta (Mengel & Kirkby, 2001; Rosolem et al., 2003). Portanto, ao final de cada ano agrícola, praticamente todo o K já havia sido liberado dos resíduos de crotalária, guandu, nabo forrageiro e milho (Quadro 7) - culturas que foram trituradas no florescimento. Nos dois anos, as maiores quantidades liberadas de K foram observadas nos resíduos de milho, cultura que acumulou as maiores quantidades desse nutriente na MS. Entre as culturas com colheita de grãos, os resíduos de girassol liberaram maiores quantidades de K, quando comparados aos resíduos de milho, nos dois anos agrícolas. Nos resíduos de milho, sorgo e girassol, mesmo havendo menor período de exposição a fatores de decomposição em relação às trituradas no florescimento, os percentuais de K liberado dos resíduos foram superiores a 70 % nos dois anos. Portanto, a rápida liberação de K dos resíduos faz com que poucas quantidades de K permaneçam nos resíduos e sejam liberadas após a semeadura das culturas de verão.

Quadro 7. Nitrogênio, fósforo e potássio acumulados pelas culturas de entressafra e as quantidades liberadas e remanescentes na superfície do solo ao final de cada ano agrícola

| Cultura de entressafra | 2007/2008 | | | 2008/2009 | | |
|-----------------------------------|-------------------------|----------|---------------------|-------------------------|----------|---------------------------------|
| | Acumulado | iberado | Remanescente | Acumulado | Liberado | Remanescente |
| | — kg ha ⁻¹ — | % | kg ha ⁻¹ | — kg ha ⁻¹ — | % | kg ha ⁻¹ |
| Nitrogênio | | | | | | |
| Trituração no florescimento | | | | | | |
| Crotalária | 110,1 a | 89,0 a | (76) | 21,1 a | (24) | 74,8 a 74,2 a (82) 0,6 c (18) |
| Guandu | 98,0 a | 85,0 a | (72) | 13,0 b | (28) | 76,2 a 66,4 ab (68) 9,8 b (32) |
| Nabo forrageiro | 57,0 b | 43,6 b | (71) | 13,4 b | (29) | 49,4 b 48,5 bc (98) 0,9 bc (2) |
| Milheto | 98,8 a | 71,3 a | (65) | 27,5 a | (35) | 69,5 a 46,0 c (59) 23,5 a (41) |
| Média (florescimento) | 91,0 | 72,2 | | 18,8 | | 67,5 58,8 8,7 |
| Trituração após colheita de grãos | | | | | | |
| Milho | 20,3 | 8,2 | (40) | 12,1 | (60) | 22,3 9,2 (41) 13,1B (59) |
| Sorgo | 20,5 | 8,5 | (42) | 12,0 | (58) | 35,9 14,6 (41) 21,3A (59) |
| Girassol | 18,4 | 10,0 | (55) | 8,4 | (45) | 29,7 14,3 (48) 15,4B (52) |
| Média (colheita) | 19,7 | 8,9 | | 10,8 | | 29,3 12,7 16,6 |
| F (floresc. vs. colheita) | 290,81** | 397,21** | 45,36** | 290,81** | 425,10** | 10,09** |
| Fósforo | | | | | | |
| Trituração no florescimento | | | | | | |
| Crotalária | 10,2 b | 8,7 ab | (86) | 1,5 | (14) | 6,9 a 6,4 a (74) 0,5 (26) |
| Guandu | 6,7 d | 5,9 b | (83) | 0,8 | (17) | 5,4 ab 5,1 ab (82) 0,3 (18) |
| Nabo forrageiro | 7,5 c | 6,2 b | (75) | 1,5 | (25) | 4,6 b 4,5 b (98) 0,1 (2) |
| Milheto | 12,0 a | 10,7 a | (77) | 1,3 | (23) | 6,1 ab 5,8 ab (80) 0,3 (20) |
| Média (florescimento) | 9,2 | 7,9 | | 1,3 | | 5,8 5,5 0,3 |
| Trituração após colheita de grãos | | | | | | |
| Milho | 1,1 b | 0,4 | (32) | 0,7 | (68) | 1,0 b 0,6 (58) 0,4 c (42) |
| Sorgo | 1,3 ab | 0,5 | (40) | 0,8 | (60) | 3,5 a 1,8 (52) 1,7 a (48) |
| Girassol | 1,6 a | 0,7 | (32) | 0,9 | (68) | 2,6 ab 1,5 (58) 1,1 b (42) |
| Média (colheita) | 1,3 | 0,5 | | 0,8 | | 2,4 1,3 1,1 |
| F (floresc. vs. colheita) | 232,79** | 331,84** | 9,60** | 115,30** | | 253,81** 25,09** |
| Potássio | | | | | | |
| Trituração no florescimento | | | | | | |
| Crotalária | 93,2 b | 89,1 b | (96) | 4,1 a | (4) | 63,5 b 63,4 b (96) 0,1 (4) |
| Guandu | 58,8 b | 58,7 b | (94) | 0,1 c | (6) | 41,9 b 41,8 b (100) 0,1 (0) |
| Nabo forrageiro | 51,1 b | 49,3 b | (96) | 1,8 b | (4) | 52,7 b 52,7 b (100) 0,0 (0) |
| Milheto | 143,7 a | 141,4 a | (95) | 2,3 b | (5) | 118,1 a 118,1 a (100) 0,0 (0) |
| Média (florescimento) | 86,7 | 84,6 | | 2,1 | | 69,1 69,0 0,1 |
| Trituração após colheita de grãos | | | | | | |
| Milho | 39,1 b | 34,5 b | (88) | 4,6 b | (12) | 11,9 b 8,9 b (72) 3,0 ab (28) |
| Sorgo | 45,5 b | 37,7 b | (83) | 7,8 a | (17) | 20,3 ab 18,6 ab (85) 1,7 b (15) |
| Girassol | 94,3 a | 92,0 a | (92) | 2,3 c | (8) | 46,2 b 42,9 a (93) 3,3 a (7) |
| Média (colheita) | 59,6 | 54,7 | | 4,9 | | 26,2 23,5 2,7 |
| F (floresc. vs. colheita) | 38,90** | 16,97** | | 240,31** | | 81,00** 95,30** 63,54** |

* e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente. Os valores entre parênteses referem-se aos percentuais em relação à produção total de matéria seca. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

No ano agrícola 2008/2009, os resíduos de nabo forrageiro apresentaram as maiores taxas de liberação de Ca, quando comparados aos de crotalária e de guandu (Figura 5). No final do ano agrícola, os resíduos das culturas de entressafra trituradas no florescimento liberaram as maiores quantidades de Ca (Quadro 8). As maiores quantidades liberadas de Ca foram observadas nos resíduos de nabo forrageiro, entre as culturas trituradas no florescimento, e no girassol, entre as culturas com colheita de grãos. Contribuindo para as maiores quantidades de Ca liberadas, os resíduos de nabo forrageiro mostraram os maiores acúmulos desse nutriente nos resíduos. Além disso, considera-se o fato de que a trituração do nabo forrageiro ocorreu por volta dos 60 dias após a semeadura, quando atingiu o florescimento nas condições deste experimento, o que aumentou o período de exposição dos resíduos a fatores de decomposição, quando comparado às demais culturas, resultando em menores quantidades remanescentes de Ca ao final do ano agrícola. As maiores quantidades remanescentes de Ca nos resíduos de girassol no final dos dois anos agrícolas devem-se ao menor tempo de exposição dos resíduos a fatores de decomposição, pelo manejo de produção de grãos na entressafra, e às elevadas quantidades acumuladas de Ca nos resíduos.

As taxas de liberação de Mg foram semelhantes entre as culturas de entressafra (Figura 5). Adicionalmente, as taxas de liberação de Mg dos resíduos das culturas de entressafra foram elevadas, em consequência da participação do Mg em compostos iônicos e moléculas solúveis nas plantas (Mengel & Kirkby, 2001). No final dos dois anos agrícolas, as culturas trituradas no florescimento liberaram maior quantidade de Mg, quando comparadas àquelas com colheita de grãos (Quadro 8). Entre as culturas trituradas no florescimento, em 2007/2008, os resíduos de milho e nabo forrageiro liberaram maior quantidade de Mg que os de guandu, e em 2008/2009, os resíduos de milho liberaram as maiores quantidades de Mg. As quantidades de Mg nos resíduos remanescentes foram baixas, inferiores a 6 kg ha^{-1} , o que se deve às elevadas taxas de liberação e, portanto, à rápida saída do Mg dos resíduos das culturas.

Em média, os resíduos das culturas de entressafra com colheita de grãos liberaram menores quantidades de S, quando comparados àqueles das culturas trituradas no florescimento, nos dois anos agrícolas (Quadro 8). Também nos dois anos agrícolas, as maiores quantidades liberadas de S no período de entressafra foram observadas nos resíduos de nabo forrageiro e milho - superiores àquelas dos resíduos de crotalária e guandu. As elevadas taxas de liberação de S dos resíduos das culturas de entressafra (Figura 5) são justificadas pelo fato de grande parte desse nutriente encontrar-se na forma de sulfato nos tecidos das plantas, suscetível à extração pela água, ou, ainda, fazendo parte da constituição de aminoácidos e de proteínas, os quais são rapidamente consumidos pelos microrganismos decompositores no início do processo

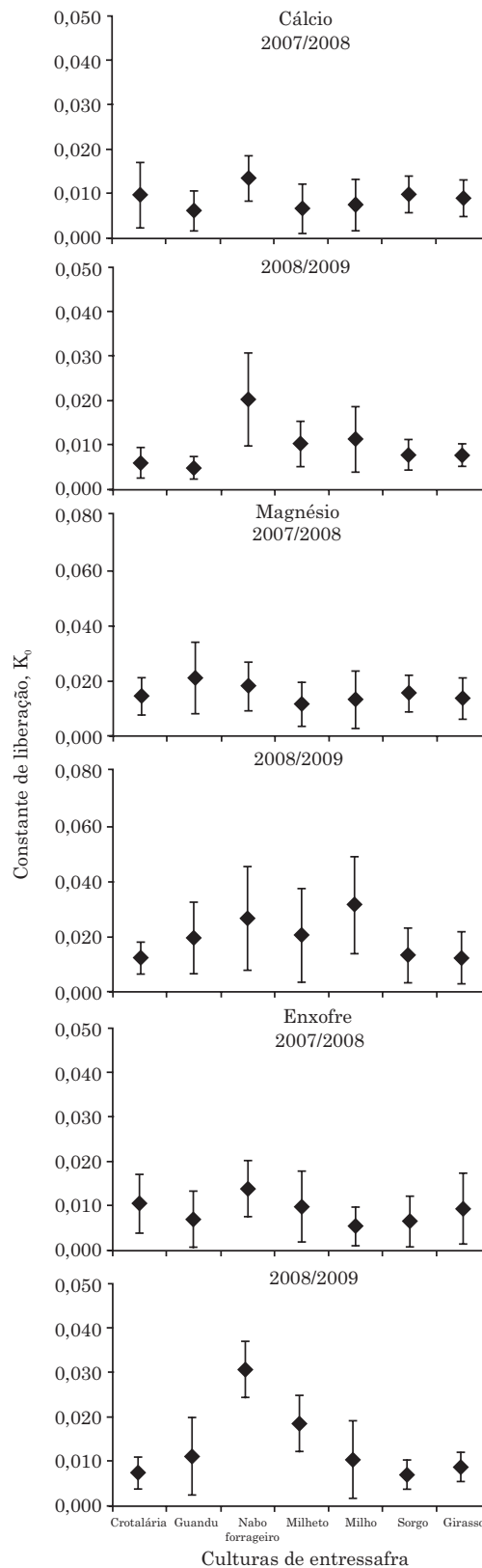


Figura 5. Constantes (K_0) das equações exponenciais simples ajustadas ($y = A_0 \cdot e^{-K_0 \cdot t}$) para a liberação de cálcio, magnésio e enxofre dos resíduos das culturas de entressafra. As barras verticais representam o intervalo de confiança do parâmetro K_0 a 5 %.

Quadro 8. Cálcio, magnésio e enxofre acumulados pelas culturas de entressafra e as quantidades liberadas e remanescentes na superfície do solo ao final de cada ano agrícola

| Cultura de entressafra | 2007/2008 | | | 2008/2009 | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|----------|---------------------|-------------------------|----------|---------------------|----------|-------|---------|------|
| | Acumulado | iberado | Remanescente | Acumulado | Liberado | Remanescente | | | | |
| | — kg ha ⁻¹ — | % | kg ha ⁻¹ | — kg ha ⁻¹ — | % | kg ha ⁻¹ | % | | | |
| Cálcio | | | | | | | | | | |
| Trituração no florescimento | | | | | | | | | | |
| Crotalária | 39,8 b | 30,6 b | (77) | 9,2 ab | (23) | 27,3 | 17,4 ab | (64) | 9,9 ab | (36) |
| Guandu | 34,2 b | 19,8 bc | (58) | 14,4 a | (42) | 26,2 | 13,3 b | (61) | 12,9 a | (39) |
| Nabo forrageiro | 59,2 a | 51,4 a | (79) | 7,8 ab | (21) | 29,3 | 28,7 a | (94) | 0,6 c | (6) |
| Milheto | 19,1 b | 12,6 c | (62) | 6,5 b | (38) | 23,7 | 20,3 ab | (80) | 3,4 bc | (20) |
| Média (florescimento) | 38,1 | 28,6 | | 9,5 | | 26,6 | 19,9 | | 6,7 | |
| Trituração após colheita de grãos | | | | | | | | | | |
| Milho | 11,6 b | 5,2 | (45) | 6,4 b | (55) | 4,7 b | 4,4 b | (55) | 0,3 b | (45) |
| Sorgo | 13,7 b | 5,6 | (41) | 8,1 b | (59) | 12,5 b | 6,4 b | (51) | 6,1 b | (49) |
| Girassol | 32,8 a | 13,8 | (47) | 19,0 a | (53) | 46,9 a | 23,8 a | (51) | 23,1 a | (49) |
| Média (colheita) | 19,4 | 8,2 | | 11,2 | | 21,3 | 11,5 | | 9,8 | |
| F (floresc. vs. colheita) | 290,81** | 397,21** | | 45,36** | | 290,81** | 425,10** | | 10,09** | |
| Magnésio | | | | | | | | | | |
| Trituração no florescimento | | | | | | | | | | |
| Crotalária | 13,5 c | 11,7 ab | (87) | 1,8 b | (13) | 9,2 b | 8,1 b | (85) | 1,1 | (15) |
| Guandu | 7,9 d | 7,2 b | (75) | 0,7 b | (25) | 6,3 b | 5,8 b | (83) | 0,5 | (17) |
| Nabo forrageiro | 14,6 b | 13,6 a | (93) | 1,0 b | (7) | 5,8 b | 5,8 b | (99) | 0,0 | (1) |
| Milheto | 19,3 a | 15,8 a | (74) | 3,5 a | (26) | 15,2 a | 14,9 a | (98) | 0,3 | (2) |
| Média (florescimento) | 13,9 | 12,1 | | 1,8 | | 9,2 | 8,7 | | 0,5 | |
| Trituração após colheita de grãos | | | | | | | | | | |
| Milho | 10,1 a | 5,4 | (53) | 4,7 a | (47) | 3,2 b | 3,2 b | (81) | 0,0 b | (19) |
| Sorgo | 9,7 a | 5,2 | (54) | 4,5 a | (46) | 7,0 b | 4,8 ab | (68) | 2,2 ab | (32) |
| Girassol | 6,9 b | 3,7 | (57) | 3,2 b | (43) | 12,0 a | 7,8 a | (65) | 4,2 a | (35) |
| Média (colheita) | 8,9 | 4,8 | 4,1 | 7,4 | | 5,3 | | | 2,1 | |
| F (floresc. vs. colheita) | 30,58** | 99,55** | | 153,92** | | 11,90** | 46,21** | | 43,96** | |
| Enxofre | | | | | | | | | | |
| Trituração no florescimento | | | | | | | | | | |
| CCrotalária | 6,7 c | 5,3 b | (70) | 1,4 b | (30) | 4,6 c | 3,3 c | (85) | 1,3 a | (15) |
| Guandu | 4,0 d | 2,6 c | (63) | 1,4 b | (37) | 5,0 bc | 3,9 c | (72) | 1,1 ab | (28) |
| Nabo forrageiro | 12,2 a | 10,7 a | (85) | 1,5 b | (15) | 12,3 a | 12,3 a | (100) | 0,0 b | (0) |
| Milheto | 10,9 b | 8,6 a | (70) | 2,3 a | (30) | 8,5 b | 8,2 b | (85) | 0,3 b | (15) |
| Média (florescimento) | 8,5 | 6,8 | | 1,7 | | 7,6 | 6,9 | | 0,7 | |
| Trituração após colheita de grãos | | | | | | | | | | |
| Milho | 1,9 b | 0,5 | (38) | 1,4 | (62) | 1,6 | 1,0 | (62) | 0,6 b | (38) |
| Sorgo | 2,4 a | 0,9 | (38) | 1,5 | (62) | 4,0 | 2,0 | (50) | 2,0 a | (50) |
| Girassol | 2,4 a | 1,1 | (41) | 1,3 | (59) | 3,6 | 2,0 | (55) | 1,6 a | (45) |
| Média (colheita) | 2,2 | 0,8 | | 1,4 | | 3,1 | 1,7 | | 1,4 | |
| F (floresc. vs. colheita) | 220,33** | 312,26** | | 5,25* | | 118,46** | 229,49** | | 9,61** | |

ns: não significativo a 5 %; * e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente. Os valores entre parênteses referem-se aos percentuais em relação à produção total de matéria seca. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

de decomposição (Berg, 2000). Consequentemente, assim como para o K e o Mg, devido ao rápido processo de liberação dos resíduos, as quantidades remanescentes de S foram baixas - inferiores a 3 kg ha⁻¹.

Neste estudo, a hipótese de que a decomposição e a liberação de nutrientes pelos resíduos das culturas dependem de suas características químicas foi confirmada, pois os resíduos de milho, sorgo e girassol apresentaram menores taxas de decomposição, devido às menores quantidades acumuladas de nutrientes. Entre as culturas com trituração no florescimento e, portanto, com maior oferta de nutrientes, a crotalária apresentou-se como uma opção adequada para cultivo na entressafra, por apresentar baixa taxa de decomposição e elevada quantidade de nutrientes liberados no processo de decomposição, o que é desejável em SSD. O milho destacou-se sobretudo pelas elevadas quantidades de nutrientes remanescentes nos resíduos por ocasião da semeadura das culturas de verão do próximo ano agrícola, principalmente N, P e K, constituindo uma importante fonte de nutrientes às culturas em sucessão. O cultivo de girassol na entressafra proporcionou menor cobertura do solo, expondo a superfície do solo a agentes erosivos, principalmente na sequência SS, a qual envolve cultivo anual de soja no verão, cujos resíduos também não favorecem a cobertura do solo em longo prazo.

CONCLUSÕES

1. Os resíduos de crotalária, milho, sorgo, girassol apresentaram menores taxas de decomposição.
2. Crotalária, guandu, nabo forrageiro e milho proporcionaram resíduos que liberaram maiores quantidades de nutrientes quando comparados a milho, sorgo e girassol.
3. Crotalária e milho destacaram-se como as culturas mais adequadas para cultivo na entressafra: a crotalária, pela baixa taxa de decomposição e elevada quantidade de nutrientes liberados na decomposição; e o milho, pela elevada quantidade de nutrientes remanescentes nos resíduos no final do ano agrícola.
4. Sequências de culturas que envolveram cultivo de girassol na entressafra proporcionaram menor cobertura do solo pelos resíduos vegetais.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor (Proc. N° 2007/59433-2). À AGRISUS (N° 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.
- AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; HÜBNER, A.P.; CHIAPINOTTO, I.C. & FRIES, M.R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I - Dinâmica do nitrogênio no solo. R. Bras. Ci. Solo, 28:739-749, 2004.
- AMADO, T.J.C.; SANTI, A. & ACOSTA, J.A.A. Adubação nitrogenada na aveia preta. II - Influência na decomposição de resíduos, liberação de nitrogênio e rendimento de milho sob sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 27:1085-1096, 2003.
- ANDRADE, F.V. & MENDONÇA, E.S. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. R. Bras. Ci. Solo, 27:1003-1011, 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 Agronômico de Campinas, 1983. 48p. (Boletim Técnico)
- BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. For. Ecol. Manag., 133:13-22, 2000.
- 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.
- 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.
- 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.
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S. & FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. R. Bras. Ci. Solo, 27:325-334, 2003.
- 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.
- GRANT, R. F. & ROCHETTE, P. Soil microbial respiration at different water potentials and temperatures: Theory and mathematical modeling. Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1681-1690, 1994.
- LYON, D.J. Sunflower residue weight and ground cover loss during summer fallow. J. Soil Water Conserv., 53:71-73, 1998.

- MANSOER, Z.; REEVES, D.W. & WOOD, C.W. Suitability of sunn hemp as an alternative late-summer legume cover crop. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:246-253, 1997.
- 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.
- MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; CARDOSO, I.M.; LIMA, P.C. & FREESE, D. Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agroforestry systems. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:141-149, 2011.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 5.ed. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.
- MULVANEY, M.J.; WOOD, C.W.; BALKCOM, K.S.; SHANNON, D.A. & KEMBEL, J.M. Carbon and nitrogen mineralization and persistence of organic residues under conservation and conventional tillage. *Agron. J.*, 102:1425-1433, 2010.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.
- PACHECO, L.P.; BARBOSA, J.M.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.A.; ASSIS, R.L.; MADARI, B. & PETTER, F.A. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:1787-1799, 2011.
- PIRES, F.R.; ASSIS, R.L.; PROCÓPIO, S.O.; SILVA, G.P.; MORAES, L.L.; RUDOLVALHO, M.C. & BOER, C.A. Manejo de plantas de cobertura antecessoras à cultura da soja em plantio direto. *R. Ceres*, 55:94-101, 2008.
- 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.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZZETTI, 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, 2006.
- SISTI, C.P.J.; DOS SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil Tillage Res.*, 76:39-58, 2004.
- SKOPP, J.; JAWSON, M.D. & DORAN, J.W. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1619-1625, 1990.
- SLONEKER, L.L. & MOLDENHAUER, W.C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. *J. Soil Water Conserv.*, 32:231-236, 1977.
- SOEST, P.J.V. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 46:825-835, 1963.
- TAKEDA, M.; NAKAMOTO, T.; MIYAZAWA, K.; MURAYAMA, T. & OKADA, H. Phosphorus availability and soil biological activity in an Andosol under compost application and winter cover cropping. *Appl. Soil Ecol.*, 42:86-95, 2009.
- 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.
- TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.J.; SILVA, C.A.; ANDRADE, M.J.B. & PEREIRA, H.S. Liberação de macronutrientes das palhadas de milheto solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:497-505, 2010.
- TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G. & FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 43:421-428, 2008.
- WIEDER, R.K. & LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*, 63:1636-1642, 1982.