

# SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

## LIBERAÇÃO DE MACRONUTRIENTES DAS PALHADAS DE MILHETO SOLTEIRO E CONSORCIADO COM FEIJÃO-DE-PORCO SOB CULTIVO DE FEIJÃO<sup>(1)</sup>

Cícero Monti Teixeira<sup>(2)</sup>, Gabriel José de Carvalho<sup>(3)</sup>, Carlos Alberto Silva<sup>(4)</sup>,  
Messias José Bastos de Andrade<sup>(3)</sup> & Janser Moura Pereira<sup>(5)</sup>

### RESUMO

A ciclagem de nutrientes está relacionada com a capacidade de absorção das diferentes espécies de plantas de cobertura. Já as velocidades de decomposição e liberação de nutrientes, das palhadas produzidas pelas mesmas, têm com fator principal a relação C/N, com diferença marcante entre gramíneas e leguminosas. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de matéria seca, teor, acúmulo, decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milheto (*Pennisetum typhoides* (Burm.) Stapf) solteiro e consorciado com feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes* (L.) DC.), em ambiente de campo, sob a cultura do feijoeiro, semeada em agosto de 2005 (inverno/primavera), em um Latossolo Vermelho distroférico típico. A liberação de nutrientes foi determinada por meio da distribuição de bolsas confeccionadas com telas de náilon, com malha de 1 mm, de dimensões de 0,2 x 0,2 m, preenchidas com quantidades de palha proporcionais à área da bolsa. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas pelos dois tipos de palhadas (milheto e milheto + feijão-de-porco), e as subparcelas, pelas épocas de avaliação ao longo do cultivo do feijoeiro (0, 8, 16, 24, 40, 56 e 72 dias após o manejo das plantas de cobertura). Os resíduos coletados foram secos em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C, até atingirem peso constante, para determinação da matéria seca remanescente, sendo posteriormente moídos e encaminhados para a determinação dos teores de macronutrientes. Com base nos teores e na matéria seca remanescente, foram calculadas as quantidades remanescentes dos macronutrientes, sendo elas expressas em porcentagem do valor inicial. Os valores foram ajustados a modelos não lineares, escolhendo-se

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Recebido para publicação em fevereiro de 2008 e aprovado em novembro de 2009.

<sup>(2)</sup> Engenheiro-Agrônomo DSc., Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – Epamig. Unidade Regional Epamig Triângulo e Alto Paranaíba, Caixa Postal 311, CEP 38001-970 Uberaba (MG). E-mail: cicero@epamig.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mails: gab@ufla.br; mandrade@ufla.br

<sup>(4)</sup> Professor do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. E-mail: csilva@ufla.br

<sup>(5)</sup> Professor da Faculdade de Ciências Integradas do Pontal. Av. José João Dib 2545, Bairro Progresso, CEP 38302-000 Ituiutaba (MG). E-mail: janser@pontal.ufu.br

**aqueles com melhor ajuste em cada situação. A palhada de milho + feijão-de-porco apresentou maior quantidade de matéria seca e maiores teores de N e Ca, ciclando maior quantidade de todos os macronutrientes. A palhada de milho + feijão-de-porco apresentou maiores velocidades de decomposição e liberação de N, Ca e Mg.**

**Termos de indexação: ciclagem de nutrientes, litter-bags, modelos não lineares, consórcio gramínea-leguminosa.**

**SUMMARY: MACRONUTRIENT RELEASE FROM STRAW OF MILLET AND MILLET – JACK – BEAN INTERCROPPING UNDER COMMON BEAN**

*Nutrients recycle is related to the absorption capacity by different cover crop species. Already speeds of decomposition and of nutrient release of straws produced is mostly related with C/N ratio, with a marked difference between grasses and leguminous. In this sense, the objective of this study was to evaluate the biomass production and macronutrient contents and accumulation, decomposition, and nutrient release from straw of millet (*Pennisetum typhoides* (Burm.) Stapf) and millet - jack - bean (*Canavalia ensiformes* (L.) DC.) intercropping, under field conditions, under common bean, sown in August (winter /spring). Decomposition and nutrient release was determined in nylon bags (0.2 x 0.2 m, 1 mm mesh) filled with straw quantities according to the area of the bag. The experimental design was randomized blocks with four replications in split plot arrangement. The straws represented the plots and the sub-plots evaluation periods (0, 8, 16, 24, 40, 56, and 72 days). The residues were dried to constant weight in a forced-air oven at 65 °C to determine the remaining dry matter, then ground and sent to a laboratory to analyze macronutrient contents. Based on the contents and remaining dry matter amounts, the remaining nutrient amounts were determined, expressed in relation to the initial amount. Non-linear models were fit to the values, choosing the best adjustment in each case. Biomass quantity, N and Ca contents and cycling of nutrient quantities was greatest in the intercropping straw. The decomposition and nutrient release speeds were also highest in millet - jack - bean intercropping straw.*

*Index terms: nutrient recycling, litter bags, non-linear models, grass-legume intercropping.*

## INTRODUÇÃO

A produção e a manutenção de palhada sobre a superfície do solo constituem o principal gargalo para o sucesso do sistema plantio direto (SPD), principalmente em regiões mais quentes, onde as altas temperaturas, aliadas à umidade proporcionada pelo grande volume de chuvas no verão, aceleram a decomposição dos resíduos. Além das condições ambientais, entre os fatores intrínsecos do material depositado na superfície do solo, destaca-se a relação C/N (Alvarenga, 2001). Contudo, os teores de lignina e celulose, a presença de fenóis e o acúmulo de nutrientes nos resíduos influenciam, do mesmo modo, a taxa de decomposição do material incorporado ao solo (Kogel-Knabner, 2002). Materiais com maior relação C/N, como as gramíneas, permanecem por mais tempo no solo, porém, no início da decomposição, há tendência de maior imobilização de nutrientes, já que a quantidade destes, principalmente de N, disponíveis na palha não é adequada para a microbiota decompositora, o que implica imobilização e diminuição da disponibilidade de alguns nutrientes para as culturas. Por sua vez, a utilização de leguminosas

para a produção de palha constitui um manejo favorável ao aumento do teor e à disponibilidade de N nos solos, com o inconveniente de sua rápida decomposição, o que propicia ao solo pouca cobertura (Lopes et al., 2004).

Além do aspecto quantidade, alguns esforços da pesquisa têm sido direcionados à avaliação da qualidade do resíduo vegetal proveniente das mais diversas espécies. A capacidade de ciclagem de nutrientes, sobretudo de camadas mais profundas, a dinâmica de decomposição e de liberação de nutrientes para a cultura, bem como a capacidade de fixação biológica de N<sub>2</sub>, no caso específico das leguminosas, têm sido exploradas (Favero et al., 2000; Aita et al., 2001; Oliveira et al., 2002; Giacomini et al., 2003; Aita & Giacomini, 2003). Ressalta-se a possível aceleração da decomposição das leguminosas em regiões com temperaturas mais elevadas, associadas à baixa relação C/N delas.

Como alternativa, destaca-se a utilização de consórcios entre gramíneas e leguminosas, com resultados que culminaram com a recomendação de adubação nitrogenada para a cultura do milho nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com

base, além da expectativa de produtividade, no teor de matéria orgânica do solo, na produção de matéria seca e no teor de N da cultura de cobertura antecedente (leguminosa; consórcio com predomínio de gramínea, de leguminosa ou com participação equilibrada) ou pousio de inverno (Amado et al., 2002). O cultivo das espécies consorciadas resulta em material com relação C/N intermediária àquela das espécies isoladas, com menor taxa de decomposição se comparada à das leguminosas isoladas, proporcionando cobertura de solo por mais tempo e sincronia entre fornecimento e demanda de N pelas culturas. Cita-se, ainda, a liberação mais rápida dos nutrientes dos resíduos da leguminosa, disponibilizando-os mais rapidamente para a cultura principal (Giacomini et al., 2003). Entretanto, para a utilização dos consórcios em regiões com temperaturas mais elevadas, é necessária a identificação de combinações entre espécies mais adaptadas, além do entendimento da dinâmica de decomposição do material e da imobilização/mineralização de nutrientes no solo.

Dentre as gramíneas utilizadas como cobertura destaca-se o milheto, que, de acordo com Bernardi et al. (2004), levou a um incremento significativo da expansão do SPD na região dos Cerrados. Atualmente, é a espécie mais utilizada para a formação de palha nessas regiões, devido à sua adaptação a áreas de maior déficit hídrico e à possibilidade de uso tanto para cobertura do solo como para pastejo. Como principais características da espécie, os autores citados destacam a alta capacidade de reciclagem de nutrientes (especialmente N e K); a supressão de plantas daninhas por meio dos efeitos físicos e, ou, alelopáticos; a possibilidade de diminuir a incidência de nematoides; e a formação de palhada mais duradoura em relação às leguminosas. Entretanto, além das características intrínsecas da espécie, o ambiente constitui importante fator na decomposição dos resíduos.

O feijão-de-porco é uma leguminosa muito rústica, tolerante a altas temperaturas, à seca e ao sombreamento parcial. Adapta-se a praticamente todos os tipos de solo, inclusive aqueles pobres em P. Pode ser semeado até março, em regiões isentas de geadas (Calegari et al., 1992).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a produção de resíduo vegetal seco, o teor e o acúmulo de macronutrientes e a decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto solteiro e consorciado com feijão-de-porco, durante o ciclo da cultura do feijoeiro de inverno/primavera em SPD.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em área experimental localizada no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no período

de março a novembro de 2005. A área vinha sendo conduzida sob SPD há quatro anos, alternando períodos de pousio com o cultivo de feijão. O solo, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), é um Latossolo Vermelho distroférrico típico (Quadro 1). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, temperado úmido, com verão quente e inverno seco (Vianello & Alves, 1991).

Na área sob pousio, foram aplicados 2 L ha<sup>-1</sup> do herbicida glifosato, com pulverizador tratorizado com 250 L ha<sup>-1</sup> de calda, visando dessecar a vegetação existente. Posteriormente, procedeu-se ao sulcamento com semeadora adubadora de plantio direto de três linhas, com tração mecanizada, e à semeadura manual das plantas de cobertura, sem adubação, no dia 11 de março de 2005 (milheto solteiro e consorciado com feijão-de-porco). Na semeadura do milheto (cultivar ADR-300) foi utilizada uma densidade de 15 kg ha<sup>-1</sup> (Pereira Filho et al., 2003). No feijão-de-porco, foram distribuídas oito sementes por metro linear (Calegari et al., 1992). No caso do consórcio, a semeadura foi simultânea, em linhas alternadas da gramínea com a leguminosa, reduzindo, conseqüentemente, a quantidade de sementes do milheto por hectare pela metade. Em ambas as situações o espaçamento entre linhas foi de 0,5 m.

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas pelas duas palhadas, e as subparcelas, pelas épocas de avaliação ao longo do cultivo do feijoeiro (0, 8, 16,

**Quadro 1. Atributos químicos do solo, na camada de 0-20 cm, antes da semeadura das plantas de cobertura (inicial) e no momento da semeadura do feijoeiro, relativos às parcelas com milheto solteiro (M) e milheto consorciado com feijão-de-porco (M + FP)**

	Inicial	Semeadura do feijoeiro	
		M	M + FP
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	5,6	5,4	5,4
P (mg dm <sup>-3</sup> )	8,1	8,5	8,2
K (mg dm <sup>-3</sup> )	79	75	70
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,1	2,7	2,8
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,5	1,0	0,7
SB (mg dm <sup>-3</sup> )	6,5	37,2	35,3
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,2	0,2	0,2
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,9	3,9	3,7
t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,1	4,1	3,9
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,2	7,5	7,3
V (%)	54,9	51,9	50,5
MO (g kg <sup>-1</sup> )	27	26	29

24, 40, 56 e 72 dias após o manejo). A avaliação da decomposição e liberação de nutrientes foi conduzida em parcelas com dimensões de 2,5 x 5 m, em que haviam sido cultivados milho solteiro e consorciado com feijão-de-porco, com cultivo de feijoeiro sobre as palhadas, com aplicação de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura e sem adubação nitrogenada em cobertura.

Para determinar a quantidade de matéria seca produzida e a quantidade de macronutrientes nesse material, foram feitas amostragens em quatro pontos ao longo das parcelas. Foram cortadas, rente ao solo, quatro linhas de 2 m (duas de cada espécie, no caso do consórcio) e pesadas para determinação da matéria verde. Para determinação do teor de umidade, foram separados aproximadamente 500 g desse material, que foram secos a 60 °C até a estabilização da massa, permitindo o cálculo da produção de matéria seca. As mesmas amostras foram moídas, para a determinação dos teores de macronutrientes. No consórcio, os teores foram determinados separadamente no milho e no feijão-de-porco, calculando-se o teor inicial da palhada produzida pelo consórcio por meio da contribuição de cada espécie na matéria seca total.

O manejo químico das plantas de cobertura foi realizado no dia 1º de agosto de 2005, quando o milho se encontrava com grãos farináceos e o feijão-de-porco, no final da floração/início da frutificação. A dessecação foi realizada com glifosato, aplicando-se 5 L ha<sup>-1</sup> com pulverizador costal, com 300 L ha<sup>-1</sup> de calda. Esse manejo dessecou o milho totalmente, porém algumas plantas de feijão-de-porco permaneceram vivas e foram cortadas com roçadora costal motorizada, às vésperas da semeadura do feijão. A adubação do feijoeiro no momento da semeadura foi de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

A decomposição e a liberação de nutrientes foram determinadas utilizando-se o método das *litter bags*, o qual consiste na utilização de bolsas confeccionadas com telas de náilon, com malha de 1 mm, sendo colocadas na superfície, em contato direto com o solo. As dimensões das bolsas foram de 0,2 x 0,2 m, perfazendo 0,04 m<sup>2</sup>. A quantidade de palhada utilizada para preenchimento da bolsa foi baseada nas quantidades de material por hectare de cada palhada, calculando-se a proporção para a área da bolsa. Para o preenchimento das bolsas, as plantas passaram por pré-secagem ao ar, sendo completada em estufa de circulação forçada. Foram realizadas seis coletas (uma bolsa por coleta), aos 8, 16, 24, 40, 56 e 72 dias após o manejo (DAM). A cada período de coleta das bolsas foram coletadas cinco amostras de solo por parcela, de 0 a 10 cm de profundidade, para acompanhamento dos teores de N nítrico e amoniacal, sob as palhadas de milho e milho + feijão-de-porco, por meio do método de destilação, de acordo com Tedesco et al. (1995).

A cada período de amostragem, os resíduos contidos nas bolsas foram secos em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C, até atingirem peso constante, para

determinação da matéria seca remanescente (MSR). Posteriormente, os resíduos foram moídos em moinho tipo Wiley e encaminhados para o Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, para a determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S com o método de digestão ácida, citado por Tedesco et al. (1995). Com base nos teores e na MSR, foram calculadas as quantidades remanescentes dos macronutrientes (MR), expressas em porcentagem do valor inicial.

As taxas (constantes) de decomposição e de liberação de macronutrientes das palhadas foram estimadas ajustando-se modelos de regressão não lineares aos valores observados, conforme proposto por Wieder & Lang (1982), citados por Aita & Giacomini (2003):

$$\text{MSR ou MR} = A e^{-K_a t} + (100-A) \quad (1)$$

$$\text{MSR ou MR} = A e^{-K_a t} + (100-A) e^{-K_b t} \quad (2)$$

em que MSR é porcentagem de matéria seca remanescente; MR, porcentagem de macronutrientes remanescentes (NR, PR, KR, CaR, MgR e SR); K<sub>a</sub>, constante de decomposição do compartimento mais facilmente decomponível (A); K<sub>b</sub>, constante de decomposição do compartimento mais recalcitrante (100-A); e t, tempo em dias.

No modelo assintótico (1), são transformados apenas a matéria seca e os nutrientes do compartimento mais facilmente decomponível, diminuindo exponencialmente com o tempo, a uma taxa constante (K<sub>a</sub>). O compartimento mais recalcitrante não sofre transformação no período considerado. No modelo exponencial duplo (2), a matéria seca e os nutrientes dos dois compartimentos diminuem exponencialmente a taxas constantes, com a primeira fração transformada a taxas mais elevadas (K<sub>a</sub>) que a segunda (K<sub>b</sub>), que é de mais difícil decomposição (recalcitrante).

A escolha do tipo de modelo que melhor se ajustou a cada conjunto de dados foi feita com base na significância dos parâmetros da equação ("A" e "K<sub>a</sub>", no caso do assintótico; "A", "K<sub>a</sub>" e "K<sub>b</sub>", no caso do exponencial duplo) e no coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), o qual indica o grau de associação entre os valores observados e o modelo ajustado.

Os dados experimentais foram submetidos a testes de homogeneidade de variância. Como os dados apresentaram variâncias homogêneas, procedeu-se a duas análises de variância distintas, sem necessidade de transformação. Uma análise de variância (Gomes, 2000) foi realizada visando verificar se houve interação entre palhadas e tempos de amostragem, ou seja, se as palhadas apresentaram comportamentos diferentes durante o período de amostragem com relação à decomposição e liberação de nutrientes. Uma segunda análise de variância (Gomes, 2000) comparou os acúmulos iniciais de matéria seca e nutrientes das duas palhadas.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou interação significativa entre palhadas e tempo para a MSR e N, Ca e Mg remanescentes (Quadro 2), indicando que, para essas variáveis, o comportamento das duas palhadas foi diferenciado. Em todas as variáveis houve significância para o fator tempo, ou seja, mesmo onde o comportamento das palhadas foi o mesmo, houve liberação dos nutrientes com a decomposição dos resíduos vegetais. Como houve diferença significativa entre os acúmulos de todos os macronutrientes (Quadro 3), para interpretar a liberação absoluta dos nutrientes, mesmo onde não houve interação significativa entre palhadas e tempo, as curvas e equações de nutrientes remanescentes das palhadas foram apresentadas separadamente. Tanto para a MSR quanto para a MR, os valores observados ajustaram-se ao modelo assintótico, com uma fase inicial rápida, correspondente ao compartimento mais decomponível, seguida de outra mais lenta (recalcitrante).

As palhadas de milho e milho+feijão-de-porco comportaram-se de forma diferente em relação à decomposição dos resíduos vegetais (Figura 1), com a

do consórcio se decompondo de forma mais acelerada. Isso provavelmente deve-se à menor relação C/N da leguminosa presente no consórcio, a qual contribuiu com quase 73 % da matéria seca do resíduo. Com relação aos parâmetros de decomposição, estimou-se por meio do modelo utilizado que, na palhada de milho + feijão-de-porco, aproximadamente 53 % dos resíduos pertencem ao compartimento mais decomponível (Figura 1), contra pouco mais de 28 % no milho solteiro. A maior velocidade de decomposição da palhada formada pelo consórcio foi compensada pela maior quantidade inicial de matéria seca, com 4,182 Mg ha<sup>-1</sup> contra 2,364 Mg ha<sup>-1</sup> do milho solteiro (Quadro 3), o que fez com que, ao final do período de avaliação, a MSR do consórcio ainda fosse superior à do milho solteiro. O modelo estimou que aos 72 DAM a MSR da palhada de M era de 72 %, contra apenas 48 % do milho+feijão-de-porco (Figura 1), correspondendo, em termos absolutos, a 1,702 e 2,007 Mg ha<sup>-1</sup>, para milho e milho+feijão-de-porco, respectivamente. Portanto, pode-se afirmar que, dentro do período de avaliação, o qual compreendeu todo o ciclo do feijoeiro, a palhada proveniente do consórcio proporcionou melhor cobertura de solo.

A palhada de milho+feijão-de-porco apresentou maiores acúmulos iniciais de todos os macronutrientes

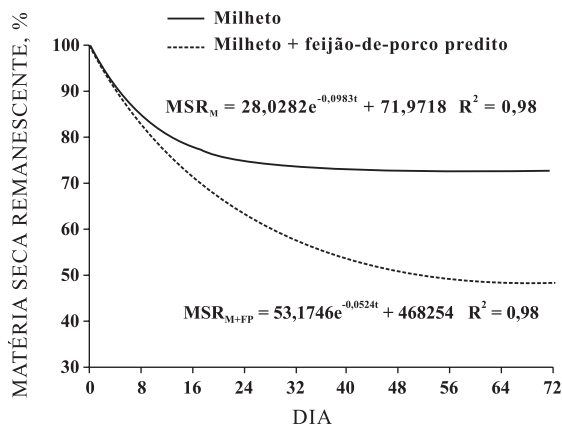
**Quadro 2. Probabilidades de F calculado (Fc) ser maior que F tabelado (Ft) nas análises de variância, referentes às quantidades de matéria seca do resíduo e de macronutrientes das palhadas de milho e milho+feijão-de-porco, nos tempos de coleta das bolsas**

FV	GL	Probabilidade de Fc > Ft						
		MS	N	P	K	Ca	Mg	S
Palhada (P)	1	0,0048	0,0815	0,3234	0,1977	0,1317	0,0183	0,7525
Blocos	3	0,2369	0,3390	0,6179	0,4164	0,7456	0,3991	0,3780
Erro A	3							
Tempos (T)	6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
P x T	6	0,0000	0,0026	0,1240	0,1774	0,0008	0,0024	0,2951
Erro B	36							
CV 1 (%)		8,85	40,16	41,13	16,27	63,9	29,65	44,25
CV 2 (%)		6,27	16,12	17,50	20,07	16,22	13,12	23,05

**Quadro 3. Quantidades iniciais de matéria seca (MS) do resíduo e de macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) e teores de macronutrientes das palhadas de milho (M) e milho+feijão-de-porco (M+FP)<sup>(1)</sup>**

Palhada	MS	Quantidade inicial						Teor					
		N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>						dag kg <sup>-1</sup>					
M	2,364 b	25,41 b	3,81 b	47,27 b	15,22 b	5,16 b	3,57 b	1,07 b	0,16 a	2,00 a	0,64 b	0,22 a	0,15 a
M + FP	4,182 a	100,89 a	7,47 a	72,18 a	63,29 a	10,18 a	6,91 a	2,41 a	0,18 a	1,73 a	1,51 a	0,24 a	0,17 a
CV (%)	5,88	15,79	16,76	7,43	9,05	13,65	19,22	12,55	19,08	9,80	10,34	12,53	23,30

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente pelo teste F a 5 %.



**Figura 1. Matéria seca remanescente das palhadas de milho e milho + feijão-de-porco, em avaliações realizadas em campo, sob a cultura do feijoeiro, até 72 dias após o manejo.**

(Quadro 3). Isso deve-se, em grande parte, à maior produção de matéria seca, cabendo ressaltar que, nos casos do N e do Ca, a participação do feijão-de-porco no consórcio contribuiu para elevação dos acúmulos, devido aos maiores teores de tais nutrientes no consórcio (Quadro 3), contribuindo para a sua maior ciclagem.

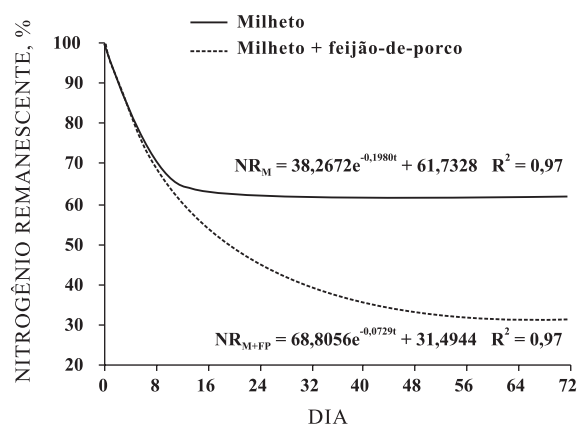
Aos oito DAM, a liberação de N estimada pelos modelos foi praticamente a mesma nas duas palhadas, em torno de 70 % de NR (Figura 2). Após esse ponto, as palhadas assumiram comportamento diferenciado em relação à liberação de N. Entre as coletas aos 16 e 24 DAM, o NR da palhada de milho se estabilizou, ou seja, não houve mais liberação de N para o solo. Já a palhada do consórcio continuou liberando N, ocorrendo estabilização do NR somente depois dos 56 DAM (Figura 2).

A taxa de absorção de N pelo feijoeiro varia durante o ciclo cultural, com a época de maior exigência ocorrendo nos primeiros 50 dias após a emergência (DAE), entre o início do florescimento e a formação das vagens (Ferreira et al., 2004). De acordo com a recomendação oficial do Estado de Minas Gerais, a adubação nitrogenada em cobertura, para o nível tecnológico mais alto, deve ser dividida em duas aplicações, aos 20 e 30 DAE, totalizando 60 kg ha<sup>-1</sup> (Chagas et al., 1999). Neste estudo, a primeira adubação nitrogenada seria feita aos 35 dias após a distribuição das bolsas, período no qual, de acordo com o modelo, a palhada de milho havia liberado menos de 10 kg ha<sup>-1</sup> de N, contra 64 kg ha<sup>-1</sup> do milho + feijão-de-porco. Teoricamente, a liberação de N da palhada do consórcio aos 35 DAM (20 DAE) seria suficiente para atender a toda a adubação de cobertura recomendada. Ressalta-se que o N foi liberado pela palhada desde o manejo, estando sujeito a perdas durante esse período, além do fato de as raízes do feijoeiro, na fase inicial, não apresentarem tamanho

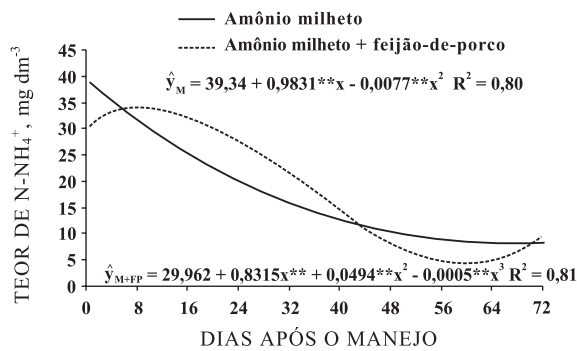
suficiente para exploração do solo na entrelinha. No final do período de avaliação (72 dias), o milho + feijão-de-porco havia liberado 69 kg ha<sup>-1</sup>, contra menos de 10 kg ha<sup>-1</sup> do milho (Figura 2).

Houve interação entre palhadas e tempo para os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Inicialmente, o teor de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sob palhada de milho + feijão-de-porco foi inferior ao verificado sob milho (Figura 3), o que pode estar associado à maior extração do elemento, dada a maior produção de resíduo do consórcio. Com a maior liberação de N pela palhada de milho + feijão-de-porco, houve aumento dos teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, ao passo que sob milho o teor decresceu desde o início. Após o quadragésimo dia, os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sob milho voltaram a ser superiores, o que pode estar relacionado à maior absorção de N no feijoeiro sob palhada de milho+feijão-de-porco, visto que Teixeira (2007), no mesmo ensaio, verificou maior teor foliar do nutriente no feijoeiro sob essa palhada. Vieira (2009), em estudo visando descrever a marcha de absorção de nutrientes da cultivar BRS-MG Talismã, sob SPD, no Sul de Minas, verificou que a taxa de absorção de N aumenta até próximo aos 49 DAE, o que, no presente estudo, corresponderia a 64 DAM, justificando a redução dos teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> até essa época.

No caso do P, não houve interação entre palhadas e tempo (Quadro 2), ou seja, o comportamento das duas palhadas foi muito semelhante no tocante à liberação do nutriente, conforme se pode observar na figura 4. No entanto, o acúmulo de P pela palhada de milho + feijão-de-porco foi superior, com 7,47 contra 3,81 kg ha<sup>-1</sup> do M (Quadro 3), o que conferiu à palhada do consórcio maior capacidade de liberação de P ao longo do estudo. Dados de Vieira (2009) demonstram que a maior taxa de absorção de P da cultivar BRS-MG Talismã ocorre aos 53 DAE, o que corresponde, neste estudo, aos 68 DAM, bem próximo do final do período de avaliação. Nesse momento, a palhada de



**Figura 2. Nitrogênio remanescente das palhadas de milho (M) e milho+feijão-de-porco (M+FP), em avaliações realizadas em campo, sob a cultura do feijoeiro, até 72 dias após o manejo.**

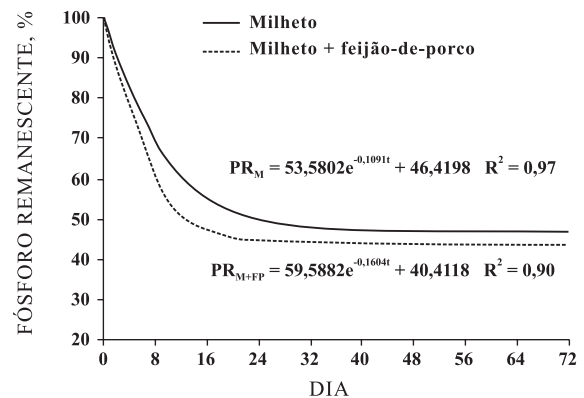


**Figura 3. Nitrogênio ( $N-NH_4^+$ ) no solo, sob as palhadas de milheto e milheto+feijão-de-porco, na cultura do feijoeiro em SPD, até 72 dias após o manejo das palhadas.**

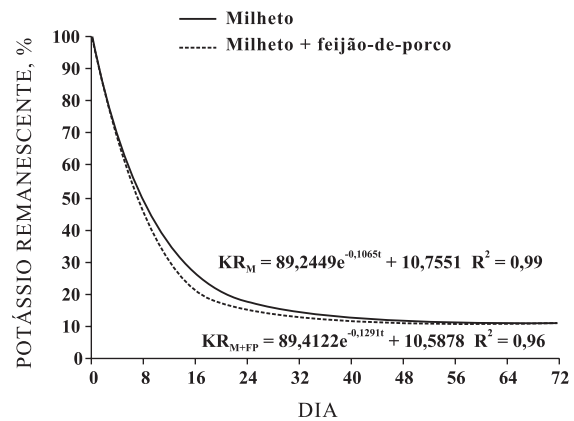
milheto + feijão-de-porco havia liberado  $4,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de P contra  $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$  do milheto. Essa diferença na liberação de P pelas palhadas não foi suficiente para influenciar a nutrição fosfatada do feijoeiro (Teixeira, 2007), o que se explica pela pequena quantidade ciclada, se comparada à recomendação de adubação para a cultura, que no caso de média disponibilidade de P no solo é de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  (Chagas et al., 1999), correspondendo a  $39 \text{ kg ha}^{-1}$  de P. Citam-se ainda dados de Vieira (2009), segundo os quais o feijoeiro acumulou, no final do ciclo,  $14,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de P, quantidade bem superior à ciclada pelas palhadas. Considerando ainda que o P após mineralizado é altamente suscetível à fixação no solo, tornando-se indisponível (Raij, 1991), é provável que a quantidade de P ciclada pelas plantas foi de pequena influência na nutrição da cultura.

Para o K também não houve interação significativa entre palhadas e tempo (Quadro 2), podendo-se observar (Figura 5) que as curvas de liberação descritas pelo modelo são muito próximas. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de o K ser facilmente extraído dos restos culturais, pois encontra-se na forma iônica e não participa de nenhum composto estável na planta (Pöttker, 1998). Dessa forma, a velocidade de liberação de K das duas palhadas foi praticamente a mesma, independentemente da decomposição diferenciada das palhadas.

A diferença em termos de ciclagem de K pelas palhadas está no maior acúmulo inicial da palhada de milheto+feijão-de-porco, o que conferiu a ela maior liberação do elemento para o solo. Vieira (2009) verificou que a maior taxa de absorção de K da cultivar BRS-MG Talismã ocorreu aos 43 DAE, correspondente a 58 DAM no presente estudo, momento em que as palhadas de milheto + feijão-de-porco e milheto haviam liberado  $64,5$  e  $42,1 \text{ kg ha}^{-1}$  de K, respectivamente. Ressalta-se que essas liberações de K são superiores à recomendação de adubação para um solo com teor médio do elemento, a qual é de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , ou  $33 \text{ kg ha}^{-1}$  de K, o que se explica pelo fato de as plantas



**Figura 4. Fósforo remanescente das palhadas de milheto (M) e milheto+feijão-de-porco (M+FP), em avaliações realizadas em campo, sob a cultura do feijoeiro, até 72 dias após o manejo.**



**Figura 5. Potássio remanescente das palhadas de milheto (M) e milheto+feijão-de-porco (M+FP), em avaliações realizadas em campo, sob a cultura do feijoeiro, até 72 dias após o manejo.**

de cobertura utilizadas possuem sistemas radiculares agressivos e profundos, se comparados aos do feijoeiro, extraíndo o nutriente de camadas mais profundas do solo, as quais não seriam exploradas pela cultura. Isso se confirma pelo fato de os teores de K do solo na camada de 0-20 cm não terem sido bruscamente alterados após o cultivo das plantas de cobertura (Quadro 1).

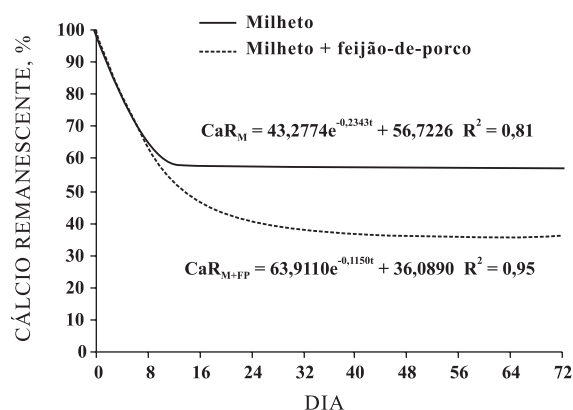
As palhadas comportaram-se de forma diferente em relação à liberação do Ca, havendo interação entre palhadas e tempo (Quadro 2). Em termos percentuais, a liberação do elemento pelas duas palhadas foi semelhante até o oitavo dia, quando as palhadas de milheto e milheto + feijão-de-porco ainda apresentavam aproximadamente 63 e 61 % de CaR, respectivamente (Figura 6). Logo após esse período, a liberação de Ca do milheto começou a se estabilizar, ao contrário da palhada de milheto+feijão-de-porco, a qual continuou liberando o nutriente para o solo até pouco depois dos

40 DAM. Observa-se que, de acordo com o modelo, 63,9 % do Ca da palhada formada pelo consórcio pertence ao compartimento mais decomponível, contra apenas 43,3 % na palhada de milho (Figura 6). Além da liberação mais acelerada de Ca, a palhada de milho+feijão-de-porco apresentou maior acúmulo inicial do elemento, com 63,29 contra 15,22 kg ha<sup>-1</sup> do milho (Quadro 3). Ao final do estudo, as palhadas de milho+feijão-de-porco e milho haviam liberado 40,4 e 6,6 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, respectivamente. Vieira (2009) constatou acúmulo máximo de Ca pelo feijoeiro, mesma cultivar, de 45 kg ha<sup>-1</sup> aos 65 DAE, o que, no presente estudo, corresponde a 80 DAM das palhadas, sendo a liberação da palhada de milho+feijão-de-porco suficiente para o fornecimento do nutriente ao feijoeiro.

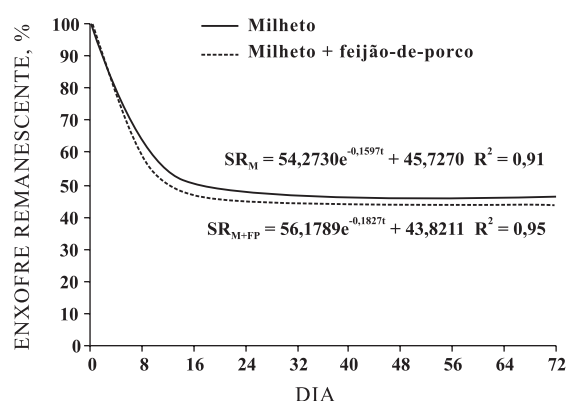
Em relação à liberação de Mg, também houve interação entre palhadas e tempo (Quadro 2), podendo-se verificar (Figura 7) que a liberação acompanhou a tendência apresentada pela decomposição das palhadas, ou seja, a palhada de milho+feijão-de-porco

disponibilizou o Mg de forma mais rápida para o solo. De acordo com o modelo, 71,9 % do Mg contido na palhada de milho + feijão-de-porco pertence ao compartimento mais decomponível (Figura 7), contra apenas 45,6 % na palhada de milho. Ao final do estudo (72 DAM), as palhadas de milho e milho+feijão-de-porco haviam liberado 2,3 e 7,3 kg ha<sup>-1</sup> de Mg, respectivamente. Vieira (2009) verificou absorção máxima de pouco mais de 16 kg ha<sup>-1</sup> de Mg pelo feijoeiro – quantidade bem superior às recicladas pelas palhadas.

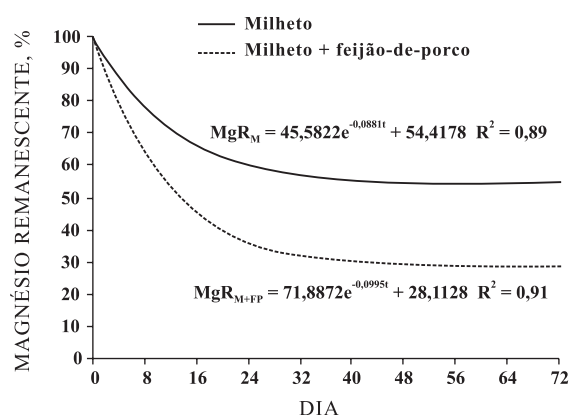
No caso da liberação de S, o comportamento das duas palhadas foi muito parecido (Figura 8), não havendo interação entre palhadas e tempo (Quadro 2). A diferença com relação à ciclagem do elemento ficou por conta do maior acúmulo inicial do nutriente na palhada de milho + feijão-de-porco, com 6,91 kg ha<sup>-1</sup> contra 3,57 kg ha<sup>-1</sup> do milho (Quadro 3), tendo retornado ao solo, ao final do estudo, 3,9 e 1,9 kg ha<sup>-1</sup> de S, respectivamente.



**Figura 6.** Cálculo remanescente das palhadas de milho (M) e milho+feijão-de-porco (M+FP), em avaliações realizadas em campo, sob a cultura do feijoeiro, até 72 dias após o manejo.



**Figura 8.** Enxofre remanescente das palhadas de milho (M) e milho+feijão-de-porco (M+FP), em avaliações realizadas em campo, sob a cultura do feijoeiro, até 72 dias após o manejo.



**Figura 7.** Magnésio remanescente das palhadas de milho (M) e milho+feijão-de-porco (M+FP), em avaliações realizadas em campo, sob a cultura do feijoeiro, até 72 dias após o manejo.

## CONCLUSÕES

1. A palhada produzida pelo milho + feijão-de-porco apresentou maior velocidade de decomposição.
2. O milho + feijão-de-porco produziu maior quantidade de matéria seca, contrapondo-se à maior velocidade de decomposição e chegando ao final do estudo com maior quantidade de palha na superfície do solo.
3. A palhada de milho + feijão-de-porco apresentou maior velocidade de liberação de N, Ca e Mg, tendo ciclado, em razão dos maiores acúmulos, maior quantidade total de todos os macronutrientes.



## LITERATURA CITADA

- AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N. & DA ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. R. Bras. Ci. Solo, 25:157-165, 2001.
- AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio (N) de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. R. Bras. Ci. Solo, 27:601-612, 2003.
- ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C. & SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. Inf. Agropec., 208:25-36, 2001.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 26:241-248, 2002.
- BERNARDI, A.C.C.; CARVALHO, M.C.S.; FREITAS, P.L.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.P.; LEANDRO, W.M. & SILVA, T.M. No sistema plantio direto é possível antecipar a adubação do algodoeiro. Rio de Janeiro, Embrapa, 2004. 8p. (Comunicado Técnico, 24)
- CALEGARI, A.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S. & AMADO, T.J.C. Caracterização das principais espécies de adubo verde. In: COSTA, M.B.B., coord. Adubação verde no Sul do Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro, AS-PTA, 1992. p.207-327.
- CHAGAS, J.M.; BRAGA, J.M.; VIEIRA, C.; SALGADO, L.T.; JUNQUEIRA NETO, A.; ARAÚJO, G.A.A.; ANDRADE, M.J.B.; LANA, R.M.Q. & RIBEIRO, A.C. Feijão. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação). Viçosa, MG, CFSEMG/UFV, 1999. p.306-307.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L.M.; ALVARENGA, R.C. & NEVES, J.C.L. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. R. Bras. Ci. Solo, 24:171-177, 2000.
- FERREIRA, A.C.B.; ANDRADE, M.J.B. & ARAÚJO, G.A.A. Nutrição e adubação do feijoeiro. Inf. Agropec., 223:61-72, 2004.
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VEDRUSCOLO, 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.
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 14.ed. Piracicaba, ESALQ/USP, 2000. 477p.
- KOGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. Soil Biol. Biochem., 34:139-162, 2002.
- 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.
- OLIVEIRA, T.K.; CARVALHO, G.J. & MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre feijoeiro em plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 37:1079-1087, 2002.
- PEREIRA FILHO, I.A.; FERREIRA, A.S.; COELHO, A.M.; CASELA, C.R.; KARAM, D.; RODRIGUES, J.A.S.; CRUZ, J.C. & WAQUIL, J.M. Manejo da cultura do milho. Sete Lagoas, Embrapa, 2003. 17p. (Circular Técnica, 29)
- PÖTTKER, D. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, Dourados, 1997. Anais. Dourados, Embrapa, 1998. p.37-42.
- RAIJ, B.van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo, Ceres/POTAFOS, 1991. 343p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TEIXEIRA, C.M. Consórcio gramínea x leguminosa e adubação nitrogenada no plantio direto do feijoeiro. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007. 152p. (Tese de Doutorado)
- VIANELLO, R.L. & ALVES, A.R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 449p.
- VIEIRA, N.M.B.; ANDRADE, M.J.B.; CARVALHO, L.P. & REZENDE, P.M. Accumulation of macronutrients by different common bean cultivars grown in different plant densities in no-tillage crop system. Ann. Report Bean Improv. Cooperative, 52:132-133, 2009.

