

# Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho + crotalária no plantio direto do feijoeiro

Cícero Monti Teixeira<sup>1\*</sup>, Gabriel José de Carvalho<sup>2</sup>, Messias José Bastos de Andrade<sup>2</sup>, Carlos Alberto Silva<sup>2</sup> e Janser Moura Pereira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Rua Afonso Rato, 1301, 38060-040, Uberaba, Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. <sup>3</sup>Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: cicero@epamig.br

**RESUMO.** O objetivo foi avaliar a produção de fitomassa, o acúmulo e liberação de macronutrientes, e a decomposição das palhadas de milho (*Pennisetum typhoides* (Burm.) Stapf) solteiro e consorciado com crotalária (*Crotalaria juncea*), sob a cultura do feijoeiro. O delineamento foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas pelas duas palhadas; as subparcelas, pelas épocas de avaliação, ao longo do cultivo do feijoeiro (0, 8, 16, 24, 40, 56 e 72 dias após a semeadura). Os resíduos coletados foram secos em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, até atingirem massa constante, para a determinação da matéria seca remanescente. Posteriormente, foram moídos e encaminhados para laboratório, para a determinação dos teores de macronutrientes. Com base nos teores e na matéria seca remanescente, foram calculadas as quantidades remanescentes dos macronutrientes, expressas em porcentagem do valor inicial. Os valores foram ajustados a modelos não-lineares, escolhendo-se os modelos com melhor ajuste em cada situação. O consórcio entre milho e crotalária produziu maior quantidade de fitomassa seca, acumulando e liberando maior quantidade de todos os macronutrientes, à exceção do enxofre. A palhada de milho apresentou maior velocidade de liberação de nitrogênio.

**Palavras-chave:** ciclagem de nutrientes, *litter-bags*, decomposição, modelos não-lineares, consórcio gramínea x leguminosa.

**ABSTRACT. Decomposition and nutrient release of pearl millet and pearl millet plus *Crotalaria juncea* straws on bean no-till.** The objective was to evaluate biomass production, accumulation and release of macronutrients, and the decomposition of straws of pearl millet (*Pennisetum typhoides* (Burm.) Stapf) and pearl millet plus *Crotalaria juncea* intercropping, in field condition, under dry bean, sowed in February (summer/autumn). The experimental design was randomized blocks, with four replications, in a split-plot arrangement, with the straws in the plots and evaluation periods in sub-plots (0, 8, 16, 24, 40, 56 e 72 days after seeding). The collected residues were dried to determine the remaining dry matter, then ground and sent to laboratory in order to determinate macronutrient contents. By the contents and remaining dry matter amounts, the remaining nutrient amounts were determined, expressed as percentages of the initial amounts. Non-linear models were fit to the values, choosing the best adjustment. The pearl millet plus *Crotalaria juncea* intercropping provided the largest biomass production. The straw from intercropping accumulated and released the largest macronutrients quantities, except for sulfur. The single millet presented the fastest nitrogen release speed.

**Key words:** nutrient cycling, litter bags, decomposition, non-linear models, grass x leguminous intercropping.

## Introdução

A produção e a manutenção de palhada sobre a superfície do solo são as principais premissas para o sucesso do sistema plantio direto (SPD), principalmente em regiões mais quentes, em que as altas temperaturas, aliadas à umidade proporcionada pelas grandes precipitações no verão, aceleram a decomposição. Além das condições ambientais, entre os fatores intrínsecos do material depositado

na superfície do solo, destaca-se a relação carbono nitrogênio (C/N). Contudo, os teores de lignina e celulose, a presença de fenóis e a carga de nutrientes dos resíduos também influenciam a taxa de decomposição (KOGEL-KNABNER, 2002) e a relação imobilização/mineralização. 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 outro lado, a utilização de leguminosas para a produção de palha constitui um manejo favorável ao aumento do teor e disponibilidade de N nos solos, com o inconveniente da sua rápida decomposição, o que propicia pouca cobertura ao solo. Além do aspecto quantidade, alguns esforços de pesquisa têm sido direcionados à avaliação da qualidade da fitomassa proveniente das mais diversas espécies. A capacidade de ciclagem de nutrientes, principalmente de camadas mais profundas, a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes para a cultura comercial, bem como a capacidade de fixação biológica de nitrogênio, especificamente das leguminosas, têm sido exploradas. Ressalta-se a limitação da utilização de leguminosas em regiões mais quentes, pois a baixa relação C/N favorece a decomposição e reduz a durabilidade da palhada.

Como alternativa, com bons avanços na Região Sul do Brasil, destaca-se a utilização de consórcios entre gramíneas e leguminosas. Tal consórcio 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 adaptação da tecnologia, por meio da 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, com destaque para o acúmulo de nutrientes, além da produção de fitomassa em curto período de tempo, conforme concluíram Braz et al. (2004), quando, em comparação com *Brachiaria brizantha*, cv. Marandú, e *Panicum maximum*, cv. Mombaça, puderam concluir que o milheto apresentou, em menor período de tempo (em torno de 55 dias após a emergência), maior acúmulo de macro (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Zn, Cu, Mn e Fe). Além das características intrínsecas da espécie, o ambiente é importante fator na decomposição dos resíduos. De acordo com Kliemann et al. (2006), apesar

de o milheto possuir relação C/N próxima a 30, se manejado no florescimento e emborrachamento, as palhadas de milheto têm apresentado altas taxas de decomposição nos cerrados, dado o clima quente e chuvoso, dificultando o acúmulo de palha.

Com relação à *Crotalaria juncea*, dentre as principais características de interesse, citam-se a alta produção de fitomassa e a fixação de nitrogênio, além do potencial de controle de nematoides (CALEGARI et al., 1993). De acordo com Wutke (1993), a *Crotalaria juncea* pode fixar de 150 a 165 kg ha<sup>-1</sup> de N, podendo chegar a 450 kg ha<sup>-1</sup> em certas situações, produzindo de 10 a 15 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca e ciclando 41 e 217 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Aos 130 dias, pode apresentar raízes até 4,5 m de profundidade.

Diante do exposto, o objetivo foi avaliar a produção de fitomassa seca, o acúmulo de macronutrientes e a decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto (M) solteiro e consorciado com crotalária (C), durante o ciclo da cultura do feijoeiro de verão/outono, em SPD.

## Material e métodos

O trabalho foi conduzido em área manejada com milho no SPD há oito anos, ocupada anteriormente por pastagem de *Brachiaria decumbens*, localizada no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no período de outubro de 2005 a maio de 2006. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico típico (EMBRAPA, 2000) e seus atributos químicos, durante o período experimental, são apresentados na Tabela 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).

**Tabela 1.** Características químicas da camada de 0-20 cm antes e após o cultivo de milheto solteiro e consorciado com crotalária. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2006.

	Inicial*	Após plantas de cobertura	
		M	M+C
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	6,2	5,6	5,5
P (mg dm <sup>-3</sup> )	5,7	8,5	8,2
K (mg dm <sup>-3</sup> )	111	106	72
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,2	3,4	2,5
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,1	1,5	0,8
S (mg dm <sup>-3</sup> )	10,9	16,0	34,4
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,0	0,2
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,5	5,2	3,5
t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,7	5,2	3,7
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,2	7,8	7,1
V (%)	66,8	66,5	49,2
MO (dag kg <sup>-1</sup> )	3,3	2,7	3,1
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	-	1,3	7,1
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	-	28,3	21,5
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	-	14,1	32,7
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	-	1,8	2,1
B (mg dm <sup>-3</sup> )	-	0,3	0,3

\*A amostragem inicial foi feita no ano anterior ao cultivo de milho. Atributos analisados de acordo com Alvarez V. et al. (1999).

Na área com resteva de milho, foi aplicado herbicida glifosato, na dose de 2 L ha<sup>-1</sup> (960 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo), com pulverizador tratorizado com 250 L ha<sup>-1</sup> de calda, visando dessecar as plantas daninhas existentes. Posteriormente, procedeu-se ao sulcamento com semeadora adubadora de plantio direto de três linhas, com tração mecanizada, e a semeadura manual das plantas de cobertura, sem adubação, no dia 3 de outubro de 2005. As palhadas foram formadas pelo milho (M) solteiro e consorciado com crotalária (C). Para semeadura do M (cultivar ADR-300), foi utilizada densidade de 15 kg ha<sup>-1</sup>. Para a C, foram distribuídas 50 sementes por metro linear (CALEGARI et al., 1993). O espaçamento utilizado foi de 0,5 m. No caso do consórcio, a semeadura foi simultânea, em linhas alternadas da gramínea com a leguminosa, reduzindo, conseqüentemente, a densidade do M pela metade.

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas pelas duas palhadas; as subparcelas, pelas épocas de avaliação, ao longo do cultivo do feijoeiro (0, 8, 16, 24, 40, 56 e 72 dias após a semeadura do feijoeiro). O trabalho foi conduzido em experimento com feijoeiro, cultivar BRS-MG Talismã, sendo utilizadas as parcelas dele que não receberam adubação nitrogenada em cobertura.

Para a caracterização inicial da produção de fitomassa e acúmulo de macronutrientes, as amostragens foram feitas em quatro faixas transversais às parcelas, distribuídas de forma homogênea ao longo das mesmas. Portanto, os valores de cada parcela foram provenientes de quatro subamostras. Para tanto, foram cortadas, rente ao solo, quatro linhas de 2 m (duas de cada espécie no caso dos consórcios) e pesadas para a determinação da fitomassa verde. Para a determinação do teor de matéria seca, foram utilizados, aproximadamente, 500 g e secos até a estabilização da massa, permitindo o cálculo da produção de fitomassa seca. As mesmas amostras foram moídas para a determinação dos teores de macronutrientes. No consórcio, os teores foram determinados separadamente no M e na C, calculando-se o teor inicial da palhada por meio da proporção entre as duas espécies.

O manejo das plantas de cobertura foi realizado 128 dias após a semeadura (DAS). Como o crescimento alcançado pelas plantas de cobertura impossibilitou a aplicação do herbicida, procedeu-se, anteriormente, ao manejo mecânico, utilizando-se uma grade leve suspensa, apenas para tombar as plantas, não havendo nenhum contato do

implemento com o solo, de forma que não houve nenhuma incorporação. Após esta operação, foi aplicada uma dose de 5 L ha<sup>-1</sup> de glifosato (2400 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo) para a dessecação das plantas. O M já apresentava sementes viáveis e a C se encontrava no início da frutificação, com sementes ainda verdes.

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. As dimensões das bolsas foram de 0,2 x 0,2 m, perfazendo 0,04 m<sup>2</sup>, e foram preenchidas quantidades das palhadas de acordo com a proporção entre a quantidade de massa por hectare das mesmas e 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 DAS do feijoeiro.

A cada período de amostragem, os resíduos contidos nas bolsas foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até atingirem massa constante, para a 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 macronutrientes. 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 e Lang (1982), citados por Aita e Giacomini (2003):

$$MSR \text{ e } MR = A e^{-K_{at}} + (100-A) \quad (1)$$

$$MSR \text{ e } MR = A e^{-K_{at}} + (100-A) e^{-K_{bt}} \quad (2)$$

em que:

MSR: porcentagem de matéria seca remanescente;

MR: porcentagem de macronutrientes remanescentes;

Ka: constante de decomposição do compartimento mais facilmente decomponível (A);

Kb: constante de decomposição do compartimento mais recalcitrante (100-A);

t: tempo, em dias.

Ambos os modelos consideram que a matéria seca e os nutrientes contidos nas palhadas podem ser

divididos em dois compartimentos, o primeiro mais facilmente decomponível (A) e o segundo mais recalcitrante (100-A). 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 ( $K_a$ ). 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 ( $K_a$ ) que a segunda ( $K_b$ ), que é de mais difícil decomposição (recalcitrante).

A escolha do tipo de modelo que melhor se ajustou a cada conjunto de dados foi realizada com base na significância dos parâmetros da equação e no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), 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 as variâncias foram homogêneas, procedeu-se às análises de variância, 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 à liberação de nutrientes. Uma segunda análise de variância (GOMES, 2000) comparou os acúmulos iniciais de matéria seca e de nutrientes das duas palhadas.

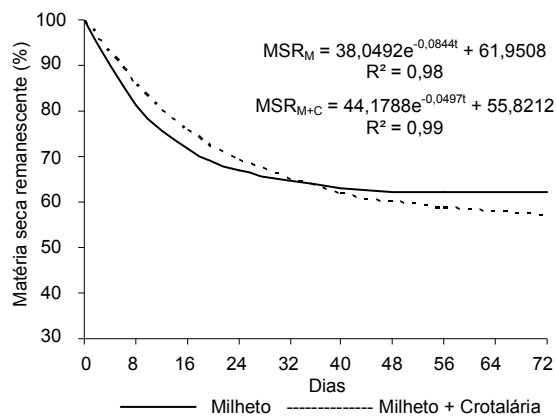
## Resultados e discussão

A análise de variância revelou interação significativa entre palhadas e tempo somente para o N remanescente, ou seja, as palhadas se comportaram de forma diferenciada somente para liberação de N. Em todas as variáveis, houve significância para o fator tempo, podendo-se afirmar que, para todas, houve alteração dos valores durante o período de avaliação, ou seja, liberação dos nutrientes com a decomposição dos resíduos vegetais. Tanto para a MSR quanto para MR, os valores se ajustaram ao modelo assintótico, com uma fase inicial rápida (compartimento mais decomponível), seguida de outra mais lenta (recalcitrante).

A velocidade de decomposição das duas palhadas não foi estatisticamente diferente, podendo-se observar, na Figura 1, que as curvas ajustadas pelo modelo são bem próximas. À época do manejo,

observou-se que os caules da C se apresentavam bastante fibrosos e pode-se inferir que, pelo ciclo adiantado (130 dias), as plantas acumularam quantidades relativamente grandes de celulose. Tal acúmulo de celulose pode ter reduzido a velocidade de decomposição da C, já que, além da relação C/N e do teor de lignina, o teor de celulose também é determinante nos processos de decomposição (KOGEL-KNABNER, 2002).

O diferencial entre as palhadas foi determinado pela matéria seca inicial, podendo-se afirmar que o consórcio proporcionou melhor cobertura de solo, visto que sua produção de fitomassa seca foi de 12,450 Mg ha<sup>-1</sup>, contra 6,900 Mg ha<sup>-1</sup> do M solteiro. Dessa forma, ao final do estudo, 72 dias após o manejo (DAM), ainda havia 7,103 Mg ha<sup>-1</sup> da palhada de M+C contra 4,281 Mg ha<sup>-1</sup> do M.



**Figura 1.** Matéria seca remanescente das palhadas de milho e milho+crotalária, em avaliações realizadas a campo, sob a cultura do feijoeiro, até 72 dias após o manejo. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2006.

Com relação à liberação de N, houve interação significativa entre palhadas e tempo, ou seja, o comportamento das duas palhadas foi diferenciado. Assim, a palhada de M apresentou maior velocidade de liberação, em relação ao seu consórcio com C (Figura 2), o que está relacionado com seu menor acúmulo do nutriente, praticamente a metade (Tabela 2), aumentando a liberação em porcentagem do acúmulo inicial, pois as velocidades de decomposição da matéria seca foram semelhantes e a liberação dos nutrientes, à exceção do K, tende a acompanhar a decomposição do material.

O acúmulo inicial de N da palhada de M+C foi de 252,11 kg ha<sup>-1</sup>, acumulando o M solteiro – 131,10 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 2). Apesar da maior velocidade de decomposição da palhada de M, em termos absolutos, o M+C liberou maior quantidade

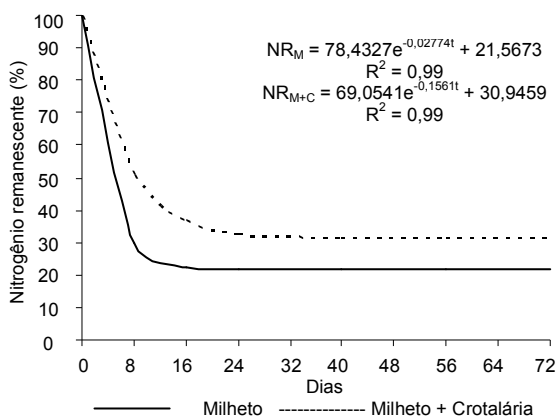
de N para o solo. De acordo com a recomendação oficial do Estado de Minas Gerais, a adubação nitrogenada em cobertura, para o nível tecnológico mais alto, deve ser dividida em duas aplicações, aos 20 e 30 dias após a emergência (DAE), totalizando 60 kg ha<sup>-1</sup> (CHAGAS et al., 1999).

**Tabela 2.** Acúmulos iniciais (kg ha<sup>-1</sup>) e teores de macronutrientes (dag kg<sup>-1</sup>) das palhadas de milho e milho+crotalária. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2006<sup>1</sup>.

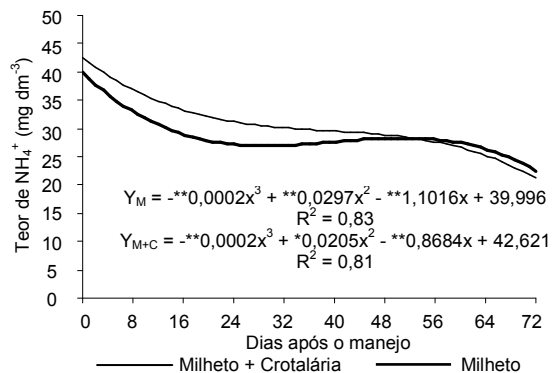
	Acúmulos		
	N	P	K
M	131,10 b	18,23 b	161,25 b
M+C	252,11 a	30,67 a	210,45 a
C.V.(%)	20,37	11,13	5,21
	Acúmulos		
	Ca	Mg	S
M	36,19 b	10,27 b	18,63 a
M+C	127,60 a	30,72 a	22,18 a
C.V.(%)	21,11	18,78	9,41
	Teores		
	N	P	K
M	1,90 a	0,26 a	2,34 a
M+C	2,03 a	0,25 a	1,69 b
C.V.(%)	22,65	9,49	6,50
	Teores		
	Ca	Mg	S
M	0,49 b	0,15 b	0,27 a
M+C	1,03 a	0,25 a	0,18 b
C.V.(%)	21,84	17,45	13,24

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, para cada palhada, não diferem significativamente, pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Aos 20 DAE, as palhadas de M e M+C já haviam liberado 102,7 e 170,6 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo a liberação das duas palhadas, teoricamente, suficientes para suprir a demanda de N da cultura. A maior liberação de N da palhada de M+C proporcionou maiores teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo (Figura 3), cabendo ressaltar que as avaliações de N no solo foram feitas em parcelas do experimento de feijão com menor dose de N na semeadura, e sem cobertura nitrogenada.

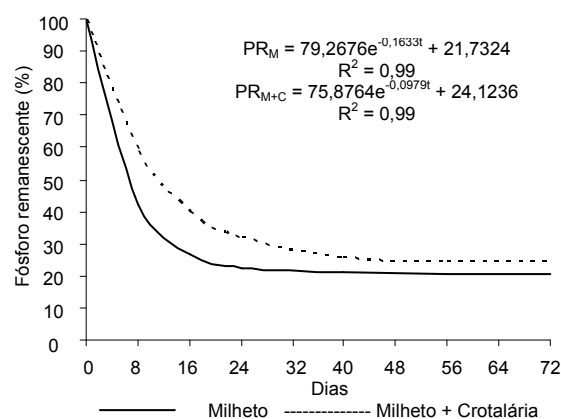


**Figura 2.** Nitrogênio remanescente das palhadas de milho e milho+crotalária, em avaliações realizadas a campo, sob a cultura do feijoeiro, até 72 dias após o manejo. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2006.



**Figura 3.** Nitrogênio-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo, sob as palhadas de M e M+C, sob a cultura do feijoeiro em SPD, até 72 dias após o manejo das palhadas. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2006.

Para os demais nutrientes, não houve interação entre palhadas e tempos, ou seja, o comportamento das duas palhadas foi muito semelhante. Para o P, observa-se, na Figura 4, que as curvas são bastante próximas. Por outro lado, na Tabela 2, verifica-se que o acúmulo de P pela palhada de M+C foi superior, com 30,67 contra 18,23 kg ha<sup>-1</sup> do M, o que permitiu que a palhada formada pelo consórcio liberasse maior quantidade de P ao longo do estudo. Vieira et al. (2009) verificou que a maior taxa de absorção de P da cultivar BRS-MG Talismã ocorre aos 53 DAE, o que corresponde, no presente estudo, aos 58 DAM, quando a palhada de M+C havia liberado 23,2 kg ha<sup>-1</sup> de P, contra 8,1 kg ha<sup>-1</sup> do M.

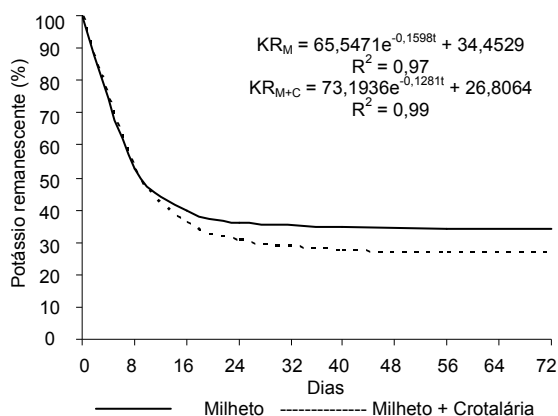


**Figura 4.** Fósforo remanescente das palhadas de milho e milho+crotalária, em avaliações realizadas a campo, sob a cultura do feijoeiro, até 72 dias após o manejo. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2006.

Também não houve interação significativa entre palhadas e tempo para o K. Na Figura 5, pode-se observar que as curvas de liberação descritas pelo modelo são muito próximas. Dessa forma, o diferencial, em termos de ciclagem de K pelas palhadas, está no maior acúmulo inicial da palhada

de M+C, o que conferiu a ela maior liberação do elemento para o solo.

Vieira et al. (2009) verificou que a maior taxa de absorção de K da cultivar BRS-MG Talismã ocorreu aos 43 DAE, correspondente a 48 DAM no presente estudo, quando as palhadas de M+C e M haviam liberado 153,7 e 105,6 kg ha<sup>-1</sup> de K, respectivamente. Essas liberações de K são superiores à recomendação de adubação para solo com teor médio do elemento, de 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, que correspondem a 33 kg ha<sup>-1</sup> de K. Cabe ressaltar que o K reciclado pelas plantas de cobertura já estava presente no solo, não havendo adição do elemento. Por outro lado, as plantas de cobertura utilizadas possuem sistemas radiculares agressivos e profundos, se comparados aos do feijoeiro (WUTKE, 1993), extraindo os nutrientes de camadas mais profundas do solo, as quais não seriam exploradas pela cultura. Ressalta-se que a liberação gradual do elemento, ao longo do ciclo cultural do feijoeiro, pode aumentar a eficiência de utilização, dado o menor risco de perdas por lixiviação, se comparada à aplicação de 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na sementeira.

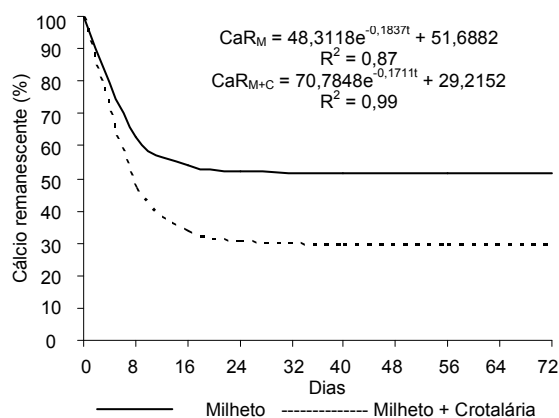


**Figura 5.** Potássio remanescente das palhadas de milho e milho+crotalária, em avaliações realizadas a campo, sob a cultura do feijoeiro, até 72 dias após o manejo. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2006.

Apesar de não ter ocorrido interação significativa entre palhadas e tempo para o Ca, observa-se, na Figura 6, que as curvas de liberação do elemento pelas palhadas são um pouco distintas. De acordo com o modelo, 70,8% do Ca da palhada de M+C é liberado de forma mais rápida, contra 48,3% do M. Além da liberação mais rápida, a palhada de M+C acumulou quantidade de Ca 3,5 vezes maior que a de M, sendo os valores encontrados de 127,6 e 36,19 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 2).

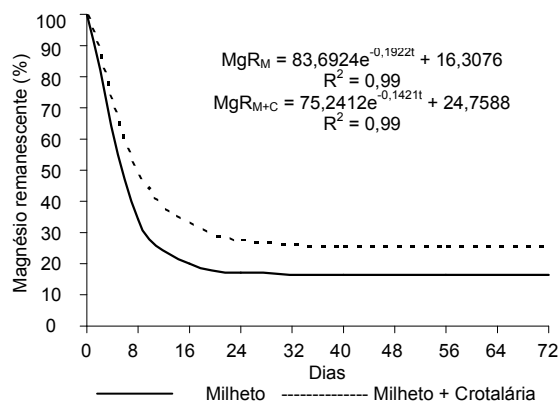
Vieira et al. (2009) verificou acúmulo máximo de Ca pelo feijoeiro (mesma cultivar) de 45 kg ha<sup>-1</sup>

aos 65 DAE, o que, no presente estudo, corresponde a 70 DAM das palhadas. Nesse momento, as palhadas de M e M+C já haviam liberado 90,3 e 17,5 kg ha<sup>-1</sup>, porém esta diferença não foi suficiente para influenciar os teores de Ca do feijoeiro cultivado sob as palhadas, o que pode ser explicado pelos teores de Ca do solo (Tabela 1), os quais são considerados bons (RIBEIRO et al., 1999).



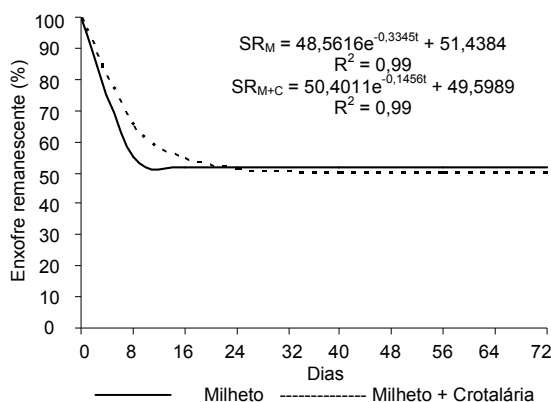
**Figura 6.** Cálcio remanescente das palhadas de milho e milho+crotalária, em avaliações realizadas a campo, sob a cultura do feijoeiro, até 72 dias após o manejo. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2006.

Apesar das curvas de liberação de Mg não serem tão próximas (Figura 7), não houve interação significativa entre palhadas e tempos para a liberação do nutriente. No entanto, pelo maior acúmulo inicial de Mg da palhada formada pelo consórcio, que foi de 30,72, contra 10,27 kg ha<sup>-1</sup> do M solteiro (Tabela 2), esta foi mais eficiente na ciclagem do elemento, tendo, ao final do estudo, liberado 23,1 kg ha<sup>-1</sup> de Mg, contra 8,6 kg ha<sup>-1</sup> do M.



**Figura 7.** Magnésio remanescente das palhadas de milho e milho+crotalária, em avaliações realizadas a campo, sob a cultura do feijoeiro, até 72 dias após o manejo. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2006.

Para a liberação de S, o comportamento das duas palhadas foi muito parecido (Figura 8), não havendo interação entre palhadas e tempo. Ao contrário dos demais nutrientes, os acúmulos de S das duas palhadas não foram significativamente diferentes (Tabela 2). Ao final do estudo, as palhadas haviam ciclado, em média, 10,1 kg ha<sup>-1</sup> de S.



**Figura 8.** Enxofre remanescente das palhadas de milho e milho+crotalária, em avaliações realizadas a campo, sob a cultura do feijoeiro, até 72 dias após o manejo. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2006.

## Conclusão

O consórcio milho e crotalária produziu maior quantidade de fitomassa seca. Os maiores acúmulos de macronutrientes, com exceção do S, foram verificados na palhada de milho+crotalária. A palhada de milho+crotalária liberou maior quantidade de todos os macronutrientes, à exceção do S. A palhada de milho apresentou maior velocidade de liberação de N.

## Referências

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio (N) de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados de análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª aproximação)**. Viçosa: UFV, 1999. p. 25-36.

BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M.; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. Acumulação de nutrientes em folhas de milho e dos capins braquiária e mombaça. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 34, n. 2, p. 83-87, 2004.

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**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 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. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª aproximação)**. Viçosa: UFV, 1999. p. 306-307.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2000.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Esalq, 2000.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVEIRA, P. M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em latossolo vermelho distroférrico. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.

KOGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 34, n. 2, p. 139-162, 2002.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª aproximação)**. Viçosa: UFV, 1999.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 1991.

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. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, v. 52, p. 132-133, 2009.

WUTKE, E. B. Adubação verde, manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: WUTKE, E. B.; BULISANE, E. A.; MASCARENHAS, H. A. A. (Coord.). **Curso sobre adubação verde no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p. 17-29.

Received on June 25, 2007.

Accepted on March 24, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.