



Milho cultivado em sucessão a adubos verdes em sistemas sob bases agroecológicas

Maize grown in succession to green manure under agro-ecology based systems

Milton Parron Padovan¹, Leandro Flávio Carneiro², Guilherme Felisberto^{3*}, Jaqueline Silva Nascimento⁴, Daniella Nogueira Moraes Carneiro⁵

Resumo: A adubação é uma prática estratégica face às multifunções que exerce nos ambientes agrícolas. Tratando-se de arranjos de cultivos em bases agroecológicas, a sua importância aumenta, tendo em vista que se busca a máxima autonomia nos agroecossistemas. Arranjos com a cultura do milho são promissores, pois potencializa os resultados da cultura de interesse econômico. Em Mato Grosso do Sul, desenvolveu-se um estudo com o objetivo de avaliar o desempenho do milho cultivado em sucessão a adubos verdes em sistemas de base agroecológica. O estudo foi desenvolvido no ano agrícola 2009/2010, em duas ecorregiões distintas (Dourados e Itaquiraí), e composto por dez tratamentos, sendo o cultivo de: *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna pruriens*, *Stizolobium aterrimum*, *Pennisetum glaucum*, *Sorghum bicolor*; consórcio de *C. juncea* e *P. glaucum*, mistura dos adubos verdes, além da testemunha (plantas espontâneas). Após o manejo, avaliou-se a massa seca e a quantidade de nutrientes acumulados na parte aérea das plantas. Dez dias após o manejo dos adubos verdes, semeou-se o milho. Avaliou-se a altura de plantas e de inserção de espiga, a massa de espigas sem palha (milho verde), a massa seca dos restos culturais e o rendimento de grãos secos. Os resultados evidenciaram que o milho cultivado em sucessão a leguminosas, resulta em maior produção de massa de espigas e rendimento de grãos, destacando-se a *M. pruriens*, *S. aterrimum*, *C. cajan*, *C. ensiformis*, *C. juncea*, mistura desses adubos verdes e o consórcio de *C. juncea* com *P. glaucum*.

Palavras-chave: Adubação verde. Leguminosas. Plantas de cobertura. Suprimento de nitrogênio, *Zea mays*.

Abstract: Fertilisation is a strategic practice in view of the many functions it carries out in agricultural environments. In the case of crop arrangements based on agro-ecology, its importance increases, given that for agricultural ecosystems the maximum of autonomy is sought. Arrangements with maize crops are promising, as they enhance results of economic interest in the crop. In the State of Mato Grosso do Sul, Brazil (MS), a study was developed to evaluate the performance of maize grown in succession to green manure in agro-ecology based systems. The study was carried out in the 2009/2010 crop year, in two distinct ecoregions (Dourados and Itaquiraí), and comprised ten treatments, being the cultivation of: *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna pruriens*, *Stizolobium aterrimum*, *Pennisetum glaucum*, *Sorghum bicolor*, *C. juncea intercropped* and *P. glaucum*, a mixture of the green manure, and a control (spontaneous plants). Following management, the dry matter and amount of accumulated nutrients in the shoots were evaluated. The maize was sown ten days after the management of green manure. Plant height and ear insertion, weight of the ears without straw (green corn), crop-residue dry weight and dry grain yield were evaluated. The results show that growing maize in succession to legumes, results in an increase in ear production and grain yield, especially in *M. pruriens*, *S. aterrimum*, *C. cajan*, *C. ensiformis*, *C. juncea*, a mixture of the green manure, and *C. juncea intercropped* with *P. glaucum*.

Key words: Green manure. Legumes. Cover crops. Nitrogen supply, *Zea mays*.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 20/05/2015 e aprovado em 03/11/2015

¹Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS, milton.padovan@embrapa.br.

²Universidade Federal de Goiás, Jataí, GO, lcarneirosolos@gmail.com.

³Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho, Departamento de Solos e Adubos, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900, Jaboticabal, SP, gfelisbeto@outlook.com.

⁴Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, jaque24nascimento@hotmail.com.

⁵Universidade Federal de Goiás, Jataí, GO, daninog27@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Atualmente o milho está atrelado, predominantemente, a cultivos baseados na utilização de pacotes tecnológicos e ao uso intensivo de insumos no processo produtivo em médias e grandes propriedades e, por isso, aproveitando-se dos ganhos de escala, esse produto conseguiu se destacar em relação às demais culturas.

Segundo Silva *et al.* (2014), nas últimas décadas a produção agrícola foi desenvolvida, predominantemente, com base na elevada utilização de insumos externos, como fertilizantes e agrotóxicos, gerando dois tipos de erosão, uma social e outra ambiental. Ainda segundo esses autores, ao utilizar preceitos da Agroecologia, favorece-se a busca da sustentabilidade, contemplando fatores econômicos, sociais, culturais e ambientais, sendo, portanto, uma alternativa ao sistema convencional que caminha para a insustentabilidade.

Modificar monocultivos para sistemas em bases agroecológicas é um processo dinâmico e peculiar a cada propriedade, requerendo a substituição de insumos sintéticos por insumos naturais, como a substituição de fertilizantes sintéticos pela adubação verde, aliada a um conjunto de práticas para redesenhar a paisagem (PADOVAN, 2006; PADOVAN; CAMPOLIN, 2011).

A adubação verde é caracterizada pelo uso de espécies vegetais capazes de promover a reciclagem e o aporte de nutrientes ao solo, bem como produzir elevadas quantidades de fitomassa em curtos períodos, disponibilizando-os ao solo (HERNANI; PADOVAN, 2014). Essa prática associada à rotação de culturas é positiva ao solo, pois além de favorecer a reciclagem de nutrientes, promove agregação, armazenamento de água e manutenção da matéria orgânica do solo, quando comparada aos monocultivos anuais, sem plantas de cobertura (BOER *et al.*, 2007).

Dentre as características desejáveis para a seleção de adubos verdes, destacam-se a produção de fitomassa e a quantidade de nutrientes acumulados. Tais características, juntamente com a relação C/N, permitem conhecer a capacidade de cada espécie em manter boa cobertura vegetal sobre o solo, acúmulo de nutrientes na palhada e consequente liberação sincronizada dos nutrientes para as culturas subsequentes (PADOVAN *et al.*, 2013a).

Nesse contexto, torna-se fundamental para a inserção de adubos verdes em sistemas de produção envolvendo a cultura do milho, o conhecimento da acumulação de massa e nutrientes por “plantas melhoradoras de solos”, bem como sua dinâmica de decomposição e liberação dos nutrientes, sendo necessário compatibilizar a persistência dos resíduos culturais na superfície do solo com fornecimento adequado de nutrientes à cultura de interesse comercial (milho) (PADOVAN *et al.*, 2013a). Por isso, é importante conhecer o comportamento das espécies de adubos verdes a serem utilizadas em pré-cultivo, para obter boa produção

da espécie cultivada em sucessão, assim como melhorar as condições edáficas da área de cultivo (SANTOS *et al.*, 2007).

Leguminosas formam associações simbióticas com bactérias fixadoras de N₂, realizando fixação biológica de nitrogênio (FBN), e apresentam baixa relação C/N, o que pode favorecer a rápida decomposição e mineralização, com significativo aporte de N ao sistema solo (PARTELLI *et al.*, 2011), o que pode proporcionar reduções nas doses de N em cobertura no milho (KAPPES *et al.*, 2015). Já as gramíneas, podem amenizar as perdas de N, promovendo sua reciclagem e cobertura mais prolongada do solo devido à sua alta relação C/N (PERIN *et al.*, 2004).

Um fator de relevada importância, segundo Padovan *et al.* (2006), é a adequação da espécie utilizada, pois a escolha equivocada poderá frustrar a expectativa do agricultor, que, além de empenhar recursos na implementação da prática, não terá os efeitos potenciais manifestados no sistema de produção.

Partindo do pressuposto que a utilização de adubos verdes antecedendo ao cultivo de milho pode auxiliar na viabilização de arranjos de produção com menor utilização de insumos externos, principalmente os fertilizantes, favorecendo a transição de sistemas convencionais para sistemas sob bases agroecológicas, desenvolveu-se um estudo com o objetivo de avaliar o desempenho de milho cultivado em sucessão a adubos verdes.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no ano agrícola de 2009/2010, em duas ecorregiões no estado de Mato Grosso do Sul, em sistemas manejados sob bases agroecológicas. Em Dourados, MS, a área experimental encontra-se nas seguintes coordenadas geográficas: 22° 16' S e 54° 49' W, com altitude de 408 m. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, textura muito argilosa (152, 104 e 744 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente). Em Itaquiraí, MS, a área experimental localiza-se nas seguintes coordenadas geográficas: 23° 28' S e 54° 011' W, com altitude de 340 m. O solo é classificado por Latossolo Vermelho Amarelo, textura arenosa (852, 37 e 111 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente).

Nas duas ecorregiões onde se desenvolveu a experimentação, o início do período chuvoso normalmente ocorre em outubro, intensificando de dezembro a fevereiro e reduzindo significativamente as precipitações em março e abril. Durante o período de junho a agosto, a precipitação ocorre a níveis baixíssimos, enquanto os meses de abril e setembro podem ser considerados como de transição entre o período chuvoso e seco (FIETZ; FISCH, 2008).

Por ocasião da instalação dos experimentos, análises químicas do solo revelaram os seguintes resultados na

camada de 0-0,2 m em Dourados: pH (H₂O) = 5,3; Al³⁺ = 0,6 cmol_c dm⁻³; P (Mehlich-1) = 22,1 mg dm⁻³; K⁺ = 0,40 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 2,6 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 1,8 cmol_c dm⁻³ e MO = 26,1 g kg⁻¹. Em Itaquiraí, o solo apresentou os seguintes valores: pH (H₂O) = 5,8; Al³⁺ = 0,2 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 1,3 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 1,0 cmol_c dm⁻³; K⁺ = 0,17 cmol_c dm⁻³; P (Mehlich⁻¹) = 8,6 mg dm⁻³ e MO = 10,20 g kg⁻¹.

Os experimentos foram compostos por dez tratamentos, sendo 7 espécies de adubos verdes: crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão-guandu (*Cajanus cajan*), feijão-deporco (*Canavalia ensiformis*), mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*), mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*), milheto (*Pennisetum glaucum*) BRS 1501, sorgo-forrageiro (*Sorghum bicolor*) BRS 506; consórcio de crotalária e milheto, mistura de todos os adubos verdes (MAV), além de uma testemunha, deixando-se desenvolver plantas espontâneas durante o ciclo dos adubos verdes. Em levantamento fitossociológico das espécies presentes na parcela testemunha, em Dourados-MS, constatou-se a predominância de *Amaranthus deflexus* (25%), *Bidens pilosa* (20%), *Commelina benghalensis* (10%), *Digitaria horizontalis* (15%) e outras espécies (30%). Já em Itaquiraí houve predomínio de *Bidens pilosa* (15%), *Brachiaria decumbens* (45%), *Croton glandulosus* (10%), *Cenchruse chinatus* (10%), *Sida cordifolia* (15%), entre outras espécies (5%).

Semeou-se os adubos verdes no período de outubro a novembro, em linhas espaçadas de 0,45 m, com densidade preconizada por Calegari *et al.* (1993) para cada espécie. No tratamento MAV, utilizou-se 20% da semente recomendada para cultivo solteiro de cada espécie.

Em Itaquiraí, realizou-se aplicação a lanço e incorporação através de gradagem de 2 Mg ha⁻¹ de composto orgânico antes do plantio dos adubos verdes. Os ensaios foram conduzidos em delineamento experimental de blocos casualizados, e as unidades experimentais constituídas de 9,0 m de largura x 25,0 m de comprimento, com quatro repetições.

Aos 103 e 106 dias após a emergência (DAE), quando a maioria das espécies se encontrava no estágio de formação de vagens e início da formação de grãos, em Dourados e Itaquiraí, respectivamente, realizou-se o manejo das parcelas com um triturador Triton®.

Antes desse manejo, determinou-se a produção de massa seca da parte aérea (MSPA) dos tratamentos, bem como os teores de nutrientes da massa vegetal, por meio da amostragem com quadros de 1 m lançados aleatoriamente nas parcelas. As plantas foram cortadas rente ao solo, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas em balança de precisão para determinação dos valores de MSPA, moídas e submetidas à análise de tecido vegetal para determinação dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio

e enxofre, conforme Malavolta *et al.* (1997). A fim de se estimar o acúmulo de nutrientes na parte aérea dos adubos verdes, os teores de nutrientes presentes no tecido vegetal foram multiplicados pela respectiva produção de MSPA e, posteriormente, extrapolados para kg ha⁻¹.

Não houve intervenção durante o ciclo das espécies de adubos verdes para controle de plantas espontâneas, bem como de insetos-pragas e doenças.

Após o manejo dos adubos verdes em Dourados, realizou-se aplicação a lanço de 2 Mg ha⁻¹ de composto orgânico, deixando-o na superfície do solo. O milho, da cultivar AL Bandeirante, foi semeado de forma direta sobre os resíduos culturais dos adubos verdes em ambas localidades aos 10 dias após o seu manejo, em linhas espaçadas de 0,9 m, com densidade populacional de 45.000 plantas ha⁻¹.

Quando as plantas se encontravam em estágio R3 (milho verde), mensurou-se altura de plantas (AP), altura de inserção de espiga (AIE) e massa de espigas sem palha (MEMV). Por ocasião da colheita, determinou-se a massa seca dos restos culturais (MSRC) e o rendimento de grãos (RG), com teor de água corrigido a 13%. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias submetidas ao teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de massa seca da parte aérea e acúmulo de nutrientes de adubos verdes

Nas duas localidades onde se desenvolveu o estudo, constatou-se que a acumulação de MSPA pelos adubos verdes, bem como da MAV e do consórcio, foram satisfatórias, representando várias opções de espécies ou arranjos com diferentes características para a escolha dos agricultores. No entanto, a MSPA de crotalária e MAV foram superiores aos demais tratamentos, quando cultivados em Dourados (Tabela 1). No ensaio conduzido em Itaquiraí, observou-se maior produção de MSPA pela crotalária, feijão-guandu, sorgo-forrageiro, consórcio de crotalária com milheto e MAV (Tabela 2).

A MSPA produzida pelas plantas espontâneas foi semelhante às do feijão-de-porco e mucunas em Dourados, corroborando com os resultados de Padovan *et al.* (2013a). Já em Itaquiraí, constatou-se o mesmo comportamento, exceto à mucuna-cinza, que apresentou MSPA 32% superior às plantas espontâneas, igualando-se à produção de MSPA do milheto (Tabela 1 e 2).

Guilherme *et al.* (2007) constataram elevada produção de MSPA do coquetel e incremento de matéria orgânica no solo, ainda enfatizaram que o arranjo de diferentes adubos verdes aumenta a atividade biológica no solo,

Tabela 1 - Massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas utilizadas como adubos verdes e acúmulo de macronutrientes na MSPA em Dourados, MS, no ano agrícola 2009/2010**Table 1** - Shoot dry weight (MSPA) of plants used for green manure, and nutrient accumulation in the MSPA, Dourados, MS, in the 2009/2010 crop year

Adubos Verdes	MSPA	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹					
Crotalária	12,64 A ¹	233,00 C	28,53 B	137,01 D	42,93 B	45,74 A	14,14 B
Feijão-guandu	10,02 B	251,55 B	20,01 C	159,49 C	40,32 B	19,28 B	10,73 C
Feijão-de-porco	7,21 C	193,08 C	18,20 C	131,15 D	42,03 B	17,60 B	8,07 C
Mucuna-cinza	6,94 C	210,43 C	17,15 C	182,61 B	46,82 B	23,74 B	12,29 B
Mucuna-preta	7,08 C	197,86 C	18,28 C	156,52 C	47,57 B	21,70 B	12,05 B
Milheto	9,88 B	100,53 D	11,16 D	129,76 D	29,22 C	40,68 A	9,81 C
Sorgo-forrageiro	10,29 B	87,10 D	18,06 C	116,18 D	21,72 C	24,03 B	9,26 C
Crotalária/Milheto	11,64 B	211,49 C	26,65 B	206,59 A	38,83 B	35,86 A	12,78 B
MAV ²	14,00 A	299,32 A	42,55 A	227,12 A	93,62 A	38,58 A	20,63 A
Plantas espontâneas	6,00 C	58,72 D	9,39 D	106,56 D	20,98 C	15,70 B	9,74 C

¹ Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.² Mistura de todos os adubos verdes.¹ Mean values followed by the same letter in a column do not differ by Scott-Knott test at 5% probability.² Mixture of all green manures.**Tabela 2** - Massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas utilizadas como adubos verdes e acúmulo de macronutrientes na MSPA em Itaquiraí, MS, no ano agrícola 2009/2010**Table 2** - Shoot dry weight (MSPA) of plants used for green manure, and nutrient accumulation in the MSPA in Itaquiraí, MS, in the 2009/2010 crop year

Adubos Verdes	MSPA	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹					
Crotalária	12,57 A ¹	221,20 A	6,93 A	78,54 B	45,71 B	43,13 A	7,86 A
Feijão-guandu	11,29 A	232,48 A	8,26 A	87,90 B	39,77 B	20,45 C	7,10 A
Feijão-de-porco	4,13 C	100,78 C	2,58 B	31,98 C	34,47 C	19,50 C	3,19 D
Mucuna-cinza	5,62 B	157,13 B	3,74 B	64,97 C	48,01 B	17,09 C	4,60 C
Mucuna-preta	4,16 C	103,39 C	3,53 B	51,00 C	21,43 D	12,14 C	2,70 D
Milheto	7,27 B	86,58 C	4,09 B	96,16 B	19,21 D	29,86 B	6,05 B
Sorgo-forrageiro	10,88 A	83,23 C	6,01 A	62,36 C	22,24 D	38,06 A	5,78 B
Crotalária/Milheto	11,01 A	147,44 B	5,91 A	120,50 A	35,13 C	40,93 A	7,10 A
MAV ²	12,10 A	196,06 A	5,77 A	103,39 A	66,49 A	42,26 A	7,86 A
Plantas espontâneas	4,26 C	52,49 C	2,43 B	45,62 C	23,76 D	14,69 C	2,66 D

¹ Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.² Mistura de todos os adubos verdes.¹ Mean values followed by the same letter in a column do not differ by Scott-Knott test at 5% probability.² Mixture of all green manures.

melhorando a sua fertilidade. Segundo Cesar *et al.* (2011), a produção de MSPA é uma das principais características morfoagronômicas utilizadas para avaliar adubos verdes, sendo eficaz para quantificar a capacidade de transformação da energia luminosa em química e ciclagem de nutrientes. Assim, os tratamentos que apresentaram essas características foram a crotalária e a MAV.

Em sistema plantio direto, Nunes *et al.* (2006) relatam que a produção mínima ideal de palhada para manutenção e desenvolvimento do sistema é de 6 Mg ha⁻¹. Assim, pode-se aferir que em Dourados, a adoção de qualquer tratamento estudado proporciona ao produtor os benefícios da permanência de palhada sobre o solo. A expressiva produção de MSPA por parte da MAV em Dourados, de maneira geral, proporcionou maior acúmulo de nutrientes em relação aos outros tratamentos. Em Itaquiraí, pelo desempenho igual da MAV e outros tratamentos, o acúmulo de nutrientes seguiu comportamento similar à MSPA (Tabelas 1 e 2).

No ensaio de Dourados (Tabela 1), a MAV acumulou 299,32 kg ha⁻¹ de N, equivalente à aplicação de aproximadamente 665 kg ha⁻¹ de ureia, sobressaindo-se em relação aos demais tratamentos, o que corrobora com os resultados obtidos por Padovan *et al.* (2013b). Por outro lado, em Itaquiraí (Tabela 2), além da MAV, a crotalária e o feijão-guandu obtiveram o maior acúmulo de N. Na mesma localidade, o feijão-de-porco e mucuna-preta apresentaram menor acúmulo de N, igualando-se ao observado nas gramíneas (sorgo-forrageiro e milho) e plantas espontâneas, provavelmente em função do menor desenvolvimento dessas espécies. Okito *et al.* (2004) observaram uma contribuição de 69% da fixação biológica de nitrogênio (FBN) pela mucuna-preta, valor próximo ao encontrado por Silva *et al.* (2011) de 67%, o que evidencia o potencial da FBN e de acúmulo de N desse gênero. Apesar de menor acúmulo de N na parte aérea das plantas de mucuna, o que também está associado à menor produção de MSPA em relação as outras leguminosas, a maioria do N pode ter sido fixado biologicamente.

Quanto maior o acúmulo de N por parte de leguminosas, maior será o aporte de N atmosférico ao sistema solo-planta. Por outro lado, quanto maior o acúmulo desse nutriente por parte das gramíneas, maior será a sua reciclagem, diminuindo a percolação de íons (NH₄⁺ e NO₃⁻) através do perfil do solo e, conseqüentemente, reduzindo a contaminação de águas subterrâneas, principalmente, por íons nitrato. É importante ressaltar que em Dourados e Itaquiraí as plantas espontâneas proporcionaram ao solo o equivalente à aplicação de 130 e 116 kg ha⁻¹ de ureia, respectivamente.

A MAV também proporcionou maior acúmulo de P em Dourados. Embora o milho tenha se desenvolvido de maneira satisfatória, não foi capaz de acumular P da mesma forma, sendo estatisticamente igual ao das plantas espontâneas (Tabela 1), correspondendo a 46% menor que o encontrado por Padovan *et al.* (2012), que relataram

acúmulo de P por plantas de milho da ordem de 24 kg ha⁻¹, aos 91 dias após a emergência. Em Itaquiraí, local onde o acúmulo de P foi menor, as plantas que apresentaram os maiores acúmulos foram as que produziram maior MSPA, demonstrando que as espécies acumulam P de maneira similar.

Sistemas sob bases agroecológicas têm como um dos maiores desafios o suprimento adequado de K às culturas, uma vez que não há alternativas de elevada eficiência para a adubação potássica. Então, faz-se necessário identificar espécies eficientes na reciclagem e exploração desse nutriente. Em ambas as localidades estudadas, a MAV e o consórcio de crotalária com milho acumularam mais K que os demais tratamentos. Em Dourados e em Itaquiraí, o acúmulo de K, por parte da MAV foi 113% e 126% maior quando comparado às plantas espontâneas, respectivamente (Tabelas 1 e 2). Portanto, o consórcio entre crotalária e milho e o coquetel de adubos verdes se tornam importantes alternativas para os produtores que optam por desenvolver a agricultura sob bases agroecológicas nessas regiões.

Nesse estudo, observou-se que o maior acúmulo de Ca foi obtido pela MAV nas duas localidades. Os menores acúmulos desse nutriente, em Dourados, deram-se nos mesmos tratamentos de menor acúmulo de nitrogênio (plantas espontâneas, milho e sorgo-forrageiro), enquanto em Itaquiraí, os menores acúmulos foram observados na mucuna-preta, plantas espontâneas, milho e sorgo-forrageiro. Essa divergência observada se deve ao menor desenvolvimento da mucuna-preta, bem como à menor produção de MSPA em Itaquiraí.

De maneira geral, o Mg se acumulou mais nos tratamentos que se desenvolveram melhor, ou seja, aqueles que produziram maiores quantidades de MSPA. Em Itaquiraí, conforme apresentado na Tabela 2, o S apresentou acúmulos superiores, até mesmo aos encontrados para o P. Os tratamentos que apresentaram os maiores acúmulos de S foram a crotalária, o feijão-guandu, o consórcio de crotalária e milho e a MAV. Em Dourados, o maior acúmulo de S se deu para a MAV (20,63 kg ha⁻¹), entretanto, a crotalária, as mucunas (preta e cinza) e o consórcio também tiveram desempenhos satisfatórios, acumulando 14,14; 12,29; 12,05 e 12,78 kg ha⁻¹ de S, respectivamente (Tabela 1).

Caracteres morfológicos e rendimento de grãos de plantas de milho

No ensaio instalado em Dourados (Tabela 3), a dinâmica do comportamento dos adubos verdes foi diferente em relação a Itaquiraí (Tabela 4). Contudo, os tratamentos que mais se destacaram em relação à MEMV e RG foram os mesmos.

Em Dourados, o resultado para o milho foi positivo na maioria das variáveis analisadas, quando cultivado após crotalária, feijão-guandu, feijão-de-porco, mucuna-cinza,

Tabela 3 - Altura de plantas (AP), altura de inserção da primeira espiga (AIE), massa seca de restos culturais (MSRC), massa de espigas em ponto de milho verde (MEMV) e rendimento de grãos (RG) de milho cultivado sob massa vegetal de plantas utilizadas como adubos verdes em Dourados, MS, em 2010

Table 3 - Plant height (AP), height of first ear insertion (AIE), crop-residue dry weight (MSRC), ripe ear weight (MEMV) and grain yield (RG) in maize grown under plant matter used for green manure, in Dourados, MS, in 2010

Adubos Verdes	AP	AIE	MSRC	MEMV	RG
	----- m -----			Mg ha ⁻¹	
Crotalária	2,41 A ¹	1,25 A	7,96 A	8,42 A	5,41 A
Feijão-guandu	2,43 A	1,23 A	7,56 A	7,88 A	4,98 A
Feijão-de-porco	2,44 A	1,26 A	7,89 A	8,00 A	5,17 A
Mucuna-cinza	2,45 A	1,23 A	7,94 A	8,25 A	5,30 A
Mucuna-preta	2,48 A	1,25 A	7,84 A	8,12 A	5,14 A
Milheto	2,25 A	1,15 B	6,31 B	5,99 B	3,89 B
Sorgo-forrageiro	1,92 B	1,08 B	4,94 C	4,52 C	3,00 C
Crotalária/Milheto	2,44 A	1,24 A	7,67 A	8,13 A	5,17 A
MAV ²	2,45 A	1,25 A	7,83 A	8,65 A	5,53 A
Plantas espontâneas	2,09 B	1,12 B	5,55 C	5,48 B	3,55 B

¹Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

²Mistura de todos os adubos verdes.

¹Mean values followed by the same letter in a column do not differ by Scott-Knott test at 5% probability.

²Mixture of all green manures.

Tabela 4 - Altura de plantas (AP), altura de inserção da primeira espiga (AIE), massa seca de restos culturais (MSRC), massa de espigas em ponto de milho verde (MEMV) e rendimento de grãos (RG) de plantas de milho cultivado sob massa vegetal de plantas utilizadas como adubos verdes em Itaquiraí, MS, em 2010

Table 4 - Plant height (AP), height of first ear insertion (AIE), crop-residue dry weight (MSRC), ripe ear weight (MEMV) and grain yield (RG) in maize grown under plant matter used for green manure, in Itaquiraí, MS, in 2010

Adubos Verdes	AP	AIE	MSRC	MEMV	RG
	----- m -----			Mg ha ⁻¹	
Crotalária	2,30 B ¹	1,22 A	6,46 B	7,52 A	4,90 A
Feijão-guandu	2,31 B	1,22 A	6,41 B	7,19 A	4,67 A
Feijão-de-porco	2,43 A	1,26 A	7,52 A	7,53 A	4,77 A
Mucuna-cinza	2,42 A	1,27 A	7,52 A	8,02 A	5,09 A
Mucuna-preta	2,45 A	1,27 A	7,95 A	8,67 A	5,61 A
Milheto	2,18 C	1,13 B	4,95 C	6,39 B	3,99 B
Sorgo-forrageiro	2,08 C	1,13 B	4,66 C	5,75 B	3,80 B
Crotalária/Milheto	2,36 B	1,26 A	7,16 A	7,80 A	4,88 A
MAV ²	2,38 A	1,26 A	6,96 B	7,88 A	5,17 A
Plantas espontâneas	2,10 C	1,10 B	3,97 D	5,26 B	3,46 B

¹Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

²Mistura de todos os adubos verdes.

¹Mean values followed by the same letter in a column do not differ by Scott-Knott test at 5% probability.

²Mixture of all green manures.

mucuna-preta, consórcio de crotalária com milheto e a MAV, em relação aos demais tratamentos. O sorgo-forrageiro e as plantas espontâneas proporcionaram menor AP, AIE e MSRC. O milho cultivado sobre os restos vegetais do sorgo obteve os menores valores de MEMV e RG, 4,52 e 3,0 Mg ha⁻¹, respectivamente, quase 50% menos que o proporcionado pela MAV.

No ensaio instalado em Itaquiraí, a dinâmica do comportamento dos adubos verdes foi diferente em relação a Dourados. Contudo, os tratamentos que mais se destacaram em relação à MEMV e RG foram os mesmos. O milheto, sorgo-forrageiro e as plantas espontâneas proporcionaram os menores valores das variáveis analisadas. No entanto, o rendimento de grãos promovido pelas plantas espontâneas foi 37% menor quando comparado à MAV. A cultura do milho se desenvolveu e apresentou melhores rendimentos sobre a palhada de leguminosas, consórcio entre crotalária e milheto e a MAV (70% leguminosas) (Tabela 4).

De acordo com Santos *et al.* (2010), sob condições climáticas favoráveis, é grande a quantidade de N utilizada pela cultura do milho para completar seu ciclo e proporcionar elevada produção. Levando-se em consideração que a maioria dos solos brasileiros apresenta baixos teores desse nutriente, faz-se necessário o seu fornecimento, seja em forma mineral ou orgânica, com o uso de leguminosas como adubos verdes.

Além da fixação biológica de nitrogênio por parte das leguminosas, esse grupo de plantas possui menor relação C/N do que as gramíneas, por exemplo, o que tende a promover rápida decomposição e a consequente liberação de nutrientes, principalmente N. Segundo Aita *et al.* (2001), a contribuição das leguminosas no suprimento de N para o milho, cultivado na sequência, depende da quantidade de N nelas acumulada, da velocidade com que o nutriente é liberado dos resíduos, da disponibilidade de N do solo, do potencial de rendimento do milho e do nível tecnológico empregado na cultura. Por ter sistema radicular pivotante, algumas leguminosas são capazes de romper camadas compactadas e absorver nutrientes das camadas subsuperficiais, favorecendo a reciclagem de nutrientes. Esses benefícios podem ter contribuído para o melhor desempenho do milho, sobretudo, a FBN e a rápida liberação de N.

A cultura do milho apresentou desempenho inferior quando cultivado sobre a palhada das gramíneas e das plantas espontâneas (predominância de gramíneas) nas duas localidades em que se desenvolveram os estudos. Por ter elevada relação C/N, sua decomposição é mais lenta em relação às leguminosas. Outro fator é a demanda de N para a

decomposição da palhada, pois segundo Calvo *et al.* (2010), se a concentração de N dos resíduos vegetais for baixa (relação C/N alta), a quantidade de N mineralizado não é suficiente para atender a demanda dos microrganismos decompositores, os quais passam a imobilizar o N mineral disponível no solo, comprometendo a nutrição nitrogenada da lavoura subsequente.

Esse fato pode explicar a pior performance do milho cultivado após o sorgo-forrageiro (Tabelas 3 e 4), tendo em vista que essa gramínea produziu elevadas quantidades de fitomassa na parte aérea das plantas (Tabelas 1 e 2).

Santos *et al.* (2012) ressaltam, também, que várias espécies de sorgo apresentam interferência alelopática ao desenvolvimento de plantas infestantes ou de outras culturas. Isto ocorre devido à produção de compostos com atividade biológica denominado de sorgoleone. Esse composto é exsudado naturalmente pelas raízes do sorgo e em contato com outras espécies inibe seu crescimento, sendo as dicotiledôneas mais afetadas que as gramíneas. Assim, supõe-se que a performance da cultura do milho também foi prejudicada em função do efeito alelopático, uma vez que a implantação da cultura de interesse econômico ocorreu aos 10 dias após o manejo da gramínea.

Esses resultados evidenciam que somente a análise do acúmulo de fitomassa e de nutrientes pelos adubos verdes são insuficientes para orientar a escolha das espécies mais adequadas para esse fim. A adubação verde proporciona benefícios que vão além da contribuição nutricional ao sistema solo, tais como melhoria das propriedades físicas e biológicas, além de suas inter-relações com patógenos, insetos-pragas e plantas infestantes. Por isso, estudos relacionando o desempenho das culturas sucessoras se fazem necessários, pois, em geral, retratam a somatória dos benefícios proporcionados por cada espécie de adubo verde.

CONCLUSÕES

A mistura de adubos verdes acumula quantidades superiores de nutrientes na parte aérea das plantas em relação a cultivos solteiros de algumas espécies de leguminosas, dependendo da localidade;

O milho cultivado em sucessão a espécies leguminosas apresenta maior produção de massa de espigas e rendimento de grãos em sistemas de bases agroecológicas;

A mucuna-preta, mucuna-cinza, feijão-guandu, feijão-de-porco, misturas desses adubos verdes e consórcio entre *C. juncea* e milheto são alternativas como adubação verde no cultivo de milho.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. N.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.
- BOER, C. A.; ASSIS, R. A.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1269-1276, 2007.
- CALEGARI, A.; MODARDO, A.; BULIZANI, E. A.; COSTA, M. B. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.
- CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010.
- FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. **O clima da região de Dourados, MS**. 2. ed. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 32 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 92).
- GUILHERME, D. O.; COSTA, C. A.; MARTINS, E. R.; SAMPAIO, R. A.; TELES FILHO, S. C.; CAVALCANTI, T. F. M. Utilização de coquetel de plantas usadas na adubação verde na melhoria das condições físicas e químicas do solo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 1445-1449, 2007.
- HERNANI, L. C.; PADOVAN, M. P. Adubação verde na recuperação de solos degradados. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Org.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 371-398.
- KAPPES, C.; GITTI, D. C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C.; TARSITANO, M. A. A. Análise econômica do milho em sucessão a diferentes adubos verdes, manejos do solo e doses de nitrogênio. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 1, p. 55-64, 2015.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.
- NUNES, U. R.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; SILVA, E. B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 943-978, 2006.
- PADOVAN, M. P. Bases para a conversão de sistemas de produção convencionais para agroecológicos. In: PADOVAN, M. P. (Org.). **Conversão de sistemas de produção convencionais para agroecológicos: novos rumos para a agricultura familiar**. Dourados: Edição do autor, 2006. p. 37-50.
- PADOVAN, M. P.; CAMPOLIN, A. I. **Caminhos para mudanças de processos e práticas rumo à agroecologia**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 52 p.
- PADOVAN, M. P.; MOTTA, I. S.; CARNEIRO, L. F.; MOITINHO, M. R.; NASCIMENTO, J. S.; SALOMÃO, G. B. Desempenho de adubos verdes e cultivo mínimo da mandioca submetida a manejo ecológico em um Latossolo Vermelho distroférico em Dourados, Mato Grosso do Sul. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, 2013b. Não paginado.
- PADOVAN, M. P.; MOTTA, I. S.; CARNEIRO, L. F.; MOITINHO, M. R.; SALOMÃO, G. B. Dinâmica de acúmulo de massa e nutrientes pelo milheto para fins de adubação verde em sistemas de produção sob bases ecológicas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 1, p. 95-103, 2012.
- PADOVAN, M. P.; MOTTA, I. S.; CARNEIRO, L. F.; MOITINHO, M. R.; SALOMÃO, G. B.; RECALDE, K. M. G. Pré-cultivo de adubos verdes ao milho em agroecossistema submetido a manejo ecológico no Cone Sul de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 3, p. 3-11, 2013a.
- PADOVAN, M. P.; OLIVEIRA, F. L.; CESAR, M. N. Z. O papel estratégico da adubação verde no manejo agroecológico do solo. In: PADOVAN, M. P. (Ed.). **Conversão de sistemas de produção convencionais para agroecológicos: novos rumos à agricultura familiar**. Dourados: Edição do autor, 2006. p. 69-82.
- PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; FERREIRA, E. P. B.; VIANA, A. P. Biologic dinitrogen fixation and nutrient cycling in cover crops and their effect on organic *Conilon coffee*. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 3, p. 995-1006, 2011.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.

SANTOS, I. C.; MENDES, F. F.; MIRANDA, G. V.; GALVÃO, J. C. C.; OLIVEIRA, L. R.; SOUZA L. V.; GUIMARÃES, L. J. M.; FONTANÉTTI, A.; FALUBA J. S. Avaliação de cultivares para produção orgânica de milho-verde e grãos em consorciação com mucuna-anã. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 1, p. 1141-1144, 2007.

SANTOS, I. L. V. L.; SILVA, C. R. C.; SANTOS, S. L.; MAIA, M. M. D. Sorgoleone: benzoquinona lipídica de sorgo com efeitos alelopáticos na agricultura como herbicida. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, n. 1, p. 135-144, 2012.

SANTOS, P. A. ; SILVA, A. F.; CARVALHO, M. A. C.; CAIONE, G. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 2, p. 123-134, 2010.

SILVA, A. G. B.; GUERRA, J. G. M.; GONÇALVES JUNIOR, M.; COSTA, J. R.; ESPINDOLA, J. A. A.; ARAÚJO, E. S. Desempenho agrônômico de mucuna-verde em diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 6, p. 603-608, 2011.

SILVA, J.; CASALINHO, H.; LIMA, A.; SCHWENGBER, J. Sistemas de manejo em transição agroecológica: coerências e contradições na prática cotidiana de agricultores familiares. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 2, p. 98-113, 2014.