

SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

ADUBOS VERDES E SEUS EFEITOS NO RENDIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO (1)

JOSÉ BARBOSA DUARTE JÚNIOR (2*); FÁBIO CUNHA COELHO (2)

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto (SPD). O trabalho foi realizado em Campos dos Goytacazes (RJ), no período de dezembro de 2003 a julho de 2005. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram: feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), mucuna-preta (*Mucuna aterrimum*), crotalária (*Crotalaria juncea*) em plantio direto e vegetação espontânea em preparo convencional (testemunha). Com crotalária aos 35 dias após emergência (DAE) houve maior taxa de cobertura do solo - 87% - e, aos 92 DAE produziu 17.852 kg ha⁻¹ de matéria seca, respectivamente, 41%, 78% e 407% superior ao feijão-de-porco, mucuna e vegetação espontânea, além de superá-las em acúmulos de K, Mg, S, Zn e Fe. O feijão-de-porco e a mucuna proporcionaram o maior teor de N na parte aérea. Com feijão-de-porco, os teores de P e Ca foram maiores que a crotalária e a mucuna. Com vegetação espontânea, o maior teor de K foi na parte aérea. As leguminosas acumularam maiores quantidades de N e Cu do que a vegetação espontânea. A crotalária e o feijão-de-porco acumularam 66% a mais de P na parte área que a mucuna. O SPD utilizando a adubação verde contribuiu significativamente para a maior produtividade de cana-de-açúcar, 135.863 kg ha⁻¹, sendo 37% superior ao PC com a vegetação espontânea.

Palavras-chave: *Crotalaria juncea*, *Saccharum officinalis*, agricultura sustentável.

ABSTRACT

COVER CROPS IN THE YIELD OF SUGARCANE UNDER NO-TILLAGE

The objective of this experiment was to evaluate green manures and their effects in the sugarcane yield using no-tillage system (SPD). The experiment was carried out at Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro State, from december/2003 to july/2005. The experimental design was a randomized complete block with four replications. The treatments were jack bean (*Canavalia ensiformis*), velvet bean (*Mucuna aterrimum*) and sun hemp (*Crotalaria juncea*) under no-tillage and spontaneous vegetation in conventional tillage (PC) (control). The sunhemp 35 days after emergency (DAE) showed higher rate of soil cover 87% and 92 DAE produced 17.852 kg ha⁻¹ of dry matter, 41%, 78% and 407% superior to jack bean, velvet bean and spontaneous vegetation, respectively, besides overcoming them in accumulation of K, Mg, S, Zn and Fe. Jack bean and velvet bean showed the highest content of N in the aerial part than other covering plants. Jack bean showed higher contents of P and Ca than sun hemp and velvet bean. The spontaneous vegetation showed the highest content of K in aerial part in relation to the cover plants. The legumes accumulated higher amounts of N and Cu than the spontaneous vegetation. Sun hemp and the jack bean accumulated 66% more of P in the aerial part than velvet bean. The SPD using green manures contributed significantly to sugarcane, yield that was 135.863 kg ha⁻¹, being 37% superior to PC with the spontaneous vegetation.

Key words: *Crotalaria juncea*, *Saccharum officinalis*, sustainable agriculture.

(1) Parte do trabalho da Tese de Doutorado do primeiro autor. Recebido para publicação em 17 de abril de 2006 e aceito em 28 de fevereiro de 2008.

(2) Setor de Grandes Culturas, Laboratório de Fitotecnia - LFIT, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias - CCTA, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Avenida Alberto Lamego, 2000, Bairro Horto, 28013-620 Campos dos Goytacazes (RJ). E-mail: bduarte7@yahoo.com.br (*) Autor correspondente. Bolsista da UENF/FAPERJ; fcoelho@uenf.br

1. INTRODUÇÃO

A adubação verde é conhecida desde a antiguidade, podendo ser definida como a utilização de espécies vegetais com a finalidade de reciclar nutrientes do solo e fixar nitrogênio atmosférico quando do emprego de leguminosas (SALTON e MIELNICZUK, 1995; AMADO et al., 2001; PERIN et al., 2004).

O emprego de leguminosas para cobertura do solo em sistema de plantio direto é uma alternativa para o suprimento parcial ou total de N (GONÇALVES et al., 2000; PERIN et al., 2004). Além do suprimento de N, a cobertura do solo por essas espécies pode determinar aumento no rendimento das culturas comerciais, considerando a manutenção da umidade do solo, a diminuição das temperaturas máximas, da amplitude térmica (SALTON e MIELNICZUK, 1995), a reciclagem de nutrientes como P, K, Ca, Mg e S (CACERES e ALCARDE, 1995; PERIN et al., 2004). A associação do sistema de plantio direto ao uso de plantas de cobertura demonstrou potencial para recuperar o teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, seqüestrar carbono no solo e contribuir para mitigar o efeito estufa (AMADO et al., 2001).

A cultura da cana-de-açúcar permite a utilização de plantas de cobertura para reciclagem de nutrientes e proteção do solo, uma vez que o canavial é reformado, normalmente após o quarto ou quinto corte. Nessa reforma, o solo permanece desprovido de vegetação por vários meses, sendo freqüente a ocorrência de elevadas precipitações pluviânicas neste período, tornando bastante severos os problemas decorrentes de erosão hídrica do solo, agravado pelo manejo inadequado do solo com o tradicional preparo convencional. A rotação de culturas anuais como a soja e cana também proporcionam benefícios, entre os quais melhor aproveitamento do solo e dos insumos agrícolas, *input* de nitrogênio pela leguminosa e obtenção de renda, durante todo o ano (MESSIAS, 1999; DIRNARDO-MIRANDA, 2001).

Diversas leguminosas prestam-se ao uso como plantas de cobertura em solos cultivados com cana, sendo a mais utilizada a *Crotalaria juncea* (CACERES e ALCARDE, 1995). Observa-se que ainda há insuficientes informações científicas a embasar recomendações de utilização de outras espécies de leguminosas como adubos verdes, aliados a poucos dados que atestem os benefícios econômicos dessas espécies e justifiquem a adoção da adubação verde nos solos cultivados, em especial os com cana-de-açúcar.

O objetivo deste trabalho foi avaliar plantas de cobertura de verão crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e mucuna-preta (*Mucuna aterrimum*) na taxa de cobertura do solo, produção de matéria seca e nos teores e acúmulos de

nutrientes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar implantada sobre a palhada destes materiais em sistema de plantio direto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Abadia pertencente ao Grupo Queiroz Galvão, em Campos dos Goytacazes (RJ), localizada a 21°44'47" latitude Sul e 41°18'24" longitude Oeste, altitude de 12 metros. Os dados climáticos referentes ao período do experimento estão relacionados na figura 1.

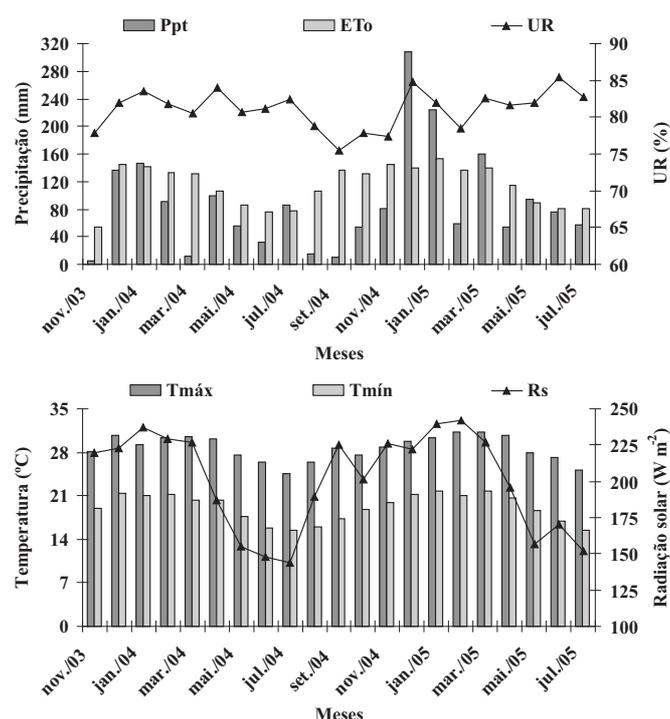


Figura 1. Dados climáticos durante o período de novembro de 2003 a julho de 2005. A) Precipitação pluvial total (Ppt); evapotranspiração de referência (ETo) e médias de umidade relativa (UR). B) médias de temperatura máxima (Tmáx); temperatura mínima (Tmín) e radiação solar (Rs). Fonte: Estação climatológica da UENF/PESAGRO (RJ).

O experimento foi desenvolvido em Cambissolo Ta eutrófico argiloso, textura argila-siltosa, com 38%, 52% e 10% de argila, silte e areia respectivamente. Anterior à instalação do experimento a área era cultivada com a cultura da cana-de-açúcar em sistema de preparo convencional, com aração e gradagem nos períodos de renovação do canavial e a colheita manual após a cana ser queimada, durante, aproximadamente, 30 anos. O histórico de adubação da cultura nessa área indica que nos últimos 10 anos a cana foi cultivada totalmente sem aplicação de adubo no plantio e em cobertura. A análise química do solo, anterior à

instalação do experimento, revelou valores de pH (H_2O) = 5,5; $S-SO_4$ = 17,8 ($mg\ dm^{-3}$); P = 3,5 ($mg\ dm^{-3}$); K^+ = 3,4 ($mmol_c\ dm^{-3}$); Ca^{++} = 50,3 ($mmol_c\ dm^{-3}$); Mg^{++} = 24,7 ($mmol_c\ dm^{-3}$); Al^{+++} = 2,2 ($mmol_c\ dm^{-3}$); $H^+ + Al$ = 43,1 ($mmol_c\ dm^{-3}$); Na^+ = 2,2 ($mmol_c\ dm^{-3}$); C = 19,4 ($g\ dm^{-3}$); M.O. = 33,4 ($g\ dm^{-3}$); Fe = 69,0 ($mg\ dm^{-3}$); Cu = 2,0 ($mg\ dm^{-3}$); Zn = 2,3 ($mg\ dm^{-3}$) e B = 0,4 ($mg\ dm^{-3}$).

O solo foi preparado convencionalmente, realizando-se duas arações para a completa destruição da soqueira da cana (uma pesada e a outra média), uma subsolagem em torno de 50 cm de profundidade para rompimento de possível camada compactada, seguida de duas gradagens (uma para desfazer os torrões e a outra para nivelamento do terreno). Para a calagem, utilizou-se calcário calcítico com PRNT de 80%, aplicado na dose de 0,75 toneladas por hectare. Foi aplicado como melhorador da fertilidade do solo o gesso agrícola, tomando-se de base 30% da recomendação de calagem, o que resultou na dose de 0,23 toneladas por hectare.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos avaliados foram quatro tipos de plantas de cobertura: feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), mucuna-preta (*Mucuna aterrimum*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e vegetação espontânea. As plantas de cobertura foram cultivadas no período de renovação do canavial de 1.º de dezembro de 2003 a 30 de março de 2004. A implantação da cana de ano e meio variedade SP 80-1842 em sistema plantio direto em seqüência aos adubos verdes e em preparo convencional do solo, realizando-se uma aração e duas gradagens, após vegetação espontânea, foi realizada em 30 de março de 2004. A parcela ou unidade experimental de 11 m de largura e 11 m de comprimento tinha 121 m².

Foram demarcados três quadros de 45,4 x 45,4 cm, no sentido diagonal de cada unidade experimental para tomada de fotografias aos 9, 35, 51 e 80 dias após emergência (DAE) das espécies de cobertura para determinação da taxa de cobertura do solo. O local de tomada das fotografias foi demarcado para que todas as avaliações fossem realizadas sempre na mesma área. A área demarcada abrangeu uma linha nas unidades com espaçamento de 0,5 m, tendo a linha ficado no centro da área fotografada. As fotografias foram tomadas a uma altura de 1 m da superfície do solo, com três repetições por unidade experimental. As imagens fotográficas foram feitas com máquina fotográfica digital, armazenando-se os arquivos em disquete para processamento posterior (LIMA, 2002).

A avaliação da taxa de cobertura foi realizada pelo método de Tennant modificado (Lima, 2002). Cada fotografia foi recortada, para ficar quadrada, com 3,69 x 3,69 cm, que corresponde à área da superfície do solo fotografada de 0,454 x 0,454 m

(0,206 m²). Na seqüência, as fotografias foram coladas em documento de um programa processador de texto e sobrepostas por 10 linhas horizontais e 10 verticais eqüidistantes, obtendo-se assim, 100 pontos de interseção sobre a fotografia. Dessa maneira, foram contadas diretamente no monitor do computador as porcentagens de cobertura dos adubos verdes e das plantas daninhas (LIMA, 2002).

Aos 92 dias após emergência (DAE) das plantas de cobertura, foram realizadas amostragens para determinar a produção de biomassa das plantas de cobertura e de plantas daninhas, e os teores e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Zn, Fe e Cu na parte aérea das plantas de cobertura.

A amostragem foi realizada lançando-se de forma aleatória sobre cada unidade experimental, um quadro de 50 x 50 cm coletando-se as plantas de cobertura e vegetação espontânea presentes. As plantas presentes dentro do quadro foram cortadas rente ao solo e separadas em duas classes: plantas de cobertura e vegetação espontânea. As espécies de vegetação espontânea foram identificadas quantificando-se a espécie predominante. As amostras foram embaladas em sacos de papel devidamente identificados, e levadas ao laboratório para secagem em estufa com ventilação forçada a 65 °C por 72 horas (BOARETTO et al., 1999). Após este período, as amostras foram pesadas para determinação da massa da matéria seca.

As amostras secas das plantas de cobertura foram trituradas em moinho do tipo Willey, com peneira de 20 malhas por polegada. Para determinação de P, K, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Fe e Zn das plantas de cobertura, foram utilizadas amostras de 0,50 g do material vegetal moído e submetidas à digestão nítrico-perclórica (JONES et al., 1991; MALAVOLTA, 1997). Para a avaliação do N orgânico, usaram-se amostras de 0,10 g de material vegetal moído, que foram submetidas à digestão sulfúrica (LINDER, 1944; JONES et al., 1991; MALAVOLTA, 1997). No extrato, dosou-se o N orgânico, utilizando-se o reagente de Nessler (JACKSON, 1965).

Para quantificar a produtividade e os açúcares teoricamente recuperáveis da cana (ATR), colheu-se manualmente a cana-crua (sem queimada) da área útil de 18,2 m². Pesaram-se os colmos da cana colhida com auxílio de uma balança da marca Caudura, modelo F3. Posteriormente, foram coletados aleatoriamente dez colmos dos pesados e formando-se um feixe, foi devidamente identificado e encaminhou-se ao laboratório de usina de açúcar com destilaria anexa para determinar brix, leitura sacarimétrica (L) e massa do bagaço úmido (PBU). Para calcular a ATR, utilizaram-se as equações propostas pela organização de plantadores de cana da Região Centro-Sul do Brasil (ORPLANA, 2005).

Os resultados das variáveis estudadas foram analisados estatisticamente utilizando a análise de variância Teste F. Para avaliação da taxa de cobertura do solo, utilizou-se o esquema da análise da variância conjunta e para analisar o comportamento das plantas de cobertura em função da época de amostragem, fez-se regressão polinomial. Foi utilizado o software SAEG (FERREIRA, 2000; RIBEIRO JÚNIOR, 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A crotalária júncea se destacou quanto à taxa de cobertura do solo. Aos 51 dias após a emergência (DAE) estimou-se que a crotalária proporcionou 100% de cobertura (Figura 2). Essa característica de alta velocidade de cobertura no período inicial confere à crotalária bom potencial no controle da erosão e proteção do solo em curto espaço de tempo. Segundo BERTOL et al. (2002), a cobertura de 20% do solo com resíduos vegetais contribui para reduzir as perdas de solo em aproximadamente 50% em relação ao solo descoberto. A alta taxa de cobertura inicial da crotalária superou significativamente a vegetação espontânea ou plantas daninhas (Figura 2). Resultado semelhante foi observado por LIMA (2002), no período de inverno com o nabo forrageiro aos 44 DAE já havia proporcionado 100% de cobertura do solo. Possivelmente, uma espécie de planta de cobertura com rápida taxa de cobertura do solo, além do benefício já citado, exerce efeito supressivo sobre as plantas daninhas auxiliando no seu manejo.

O feijão-de-porco e a mucuna preta também merecem destaque, pois proporcionaram elevada taxa de cobertura inicial, porém, menor que a crotalária. Utilizando-se a equação $FP\ y = -3,4 + 2,89589^{**}X - 0,0202767^{**}X^2$ (Figura 2), vemos que o feijão-de-porco proporcionou 100% de taxa de cobertura aos 70 DAE, mas apresentou queda nas datas seguintes. Possivelmente, a queda na proporção de cobertura de solo pelo feijão-de-porco se deve à sobreposição pelas folhas das plantas daninhas de maior porte, como exemplo o *Sorghum halepense*, sendo contabilizado como cobertura por planta daninha. Outro fenômeno, possivelmente relacionado e observado, foi a senescência de folhas, que ocorreu neste período em diante do ciclo do feijão-de-porco. Dados semelhantes foram relatados por LIMA (2002) com a mucuna anã, que aos 46 DAE, apresentou 46% de cobertura e nas datas seguintes apresentou queda na proporção de cobertura de solo.

Vale lembrar que as plantas de cobertura cresceram em competição com as plantas daninhas, não sendo efetuado nenhum tipo de manejo de plantas daninhas durante o cultivo dos adubos verdes.

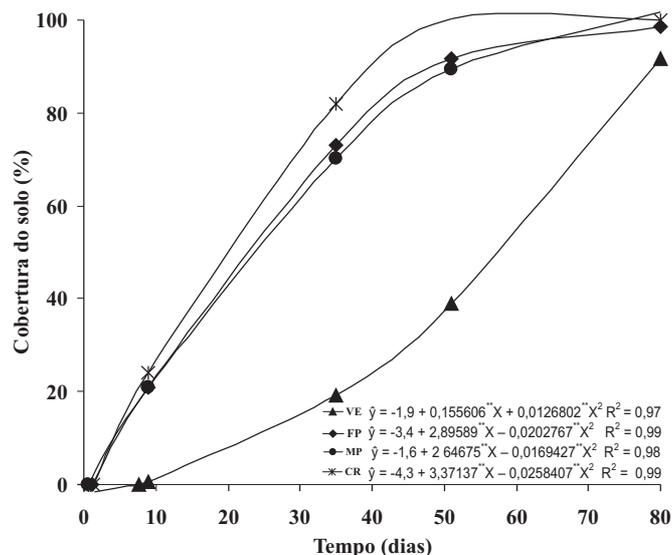


Figura 2. Taxa de cobertura do solo pelas espécies de plantas de cobertura. VE = vegetação espontânea; FP = feijão-de-porco; MP = mucuna-preta; CR = crotalária júncea.

Utilizando-se a equação $MP\ y = -1,6 + 2,64675^{**}X - 0,0169427^{**}X^2$, foi possível verificar que a mucuna-preta propiciou taxa de cobertura similar à do feijão-de-porco até 68 DAE com 100% de proporção de cobertura de solo. Entretanto, aos 85 DAE estimou-se que a mucuna continuava cobrindo 100% do solo, enquanto, na mesma data, o feijão-de-porco proporcionava apenas 96% de cobertura (Figura 2).

A vegetação espontânea resultou em baixa taxa de cobertura inicial com curva distinta às plantas de cobertura e atingindo o máximo de cobertura aos 80 DAE, com aproximadamente 92% do solo coberto. A cobertura inicial do solo pelas plantas daninhas aos 35 DAE das leguminosas propiciou a menor taxa, quando comparada à crotalária juncea, ao feijão-de-porco e à mucuna-preta (Figura 3). Com a crotalária, a maior proporção de cobertura de solo foi obtida aos 35 DAE, aproximadamente 87%, seguida em ordem decrescente do feijão-de-porco, da mucuna e da vegetação espontânea com taxas de 75%, 62% e 10% respectivamente. Por outro lado, em trabalho desenvolvido no período de inverno por LIMA (2002), constatou-se justamente o contrário do observado neste trabalho de verão, tendo a vegetação espontânea naquele caso obtido a maior cobertura do solo aos 55 DAE, em relação às espécies utilizadas para adubação verde.

Com crotalária obteve-se maior produtividade de matéria seca (MS), ou seja, valor de 1,6 vezes maior à média do feijão-de-porco com a mucuna-preta (Tabela 1). Semelhantemente, em Cambissolo, PERIN et al. (2004) verificaram que, com a crotalária aos 68 dias após o plantio (DAP), também houve a maior

produção de fitomassa (9.340 kg ha^{-1}), inclusive em relação à vegetação espontânea. Esses resultados corroboram com o constatado por CACERES e ALCARDE (1995).

A maior produção de fitomassa obtida pela crotalária, comparativamente ao observado por PERIN et al. (2004), deve-se, em parte, ao seu maior período de crescimento (92 DAE), ao passo que esta espécie foi amostrada aos 68 DAP (PERIN et al., 2004). Além disso, a condição edafoclimática predominante em cada local possivelmente influenciou na capacidade de produção de fitomassa pelas plantas de cobertura.

O feijão-de-porco e a mucuna-preta não obtiveram massa de matéria seca diferentes significativamente entre si. Porém, a massa de matéria seca do feijão-de-porco e da mucuna, respectivamente, foram em torno de 359% e 286% superiores à da vegetação espontânea, corroborando com FAVERO et al. (2000), que também não constataram diferenças entre feijão-de-porco e mucuna. Já, a crotalária obteve 507% a mais de produtividade de matéria seca em relação à vegetação espontânea (Tabela 1). Semelhantemente, PERIN et al. (2004) constataram que a crotalária produziu 108% a mais de fitomassa que a vegetação espontânea.

As produtividades de matéria seca da crotalária, do feijão-de-porco e da mucuna, respectivamente, foram 91%, 95% e 48% superiores ao observado por outros autores (PERIN et al., 2004; FAVERO et al., 2000). Esse fato pode ser justificado, devido à avaliação das plantas de cobertura ter ocorrido aos 92 DAE, enquanto, os autores FAVERO et al. (2000) e PERIN et al. (2004) coletaram as plantas de cobertura no período do florescimento.

As leguminosas geralmente possuem baixa relação C/N (ex. feijão-de-porco em torno de 15) quando comparadas a plantas de outras famílias (ex. aveia preta em torno de 36). A crotalária, porém, que possui a maior proporção de sua fitomassa no caule, altamente lignificado e fibroso, a relação C/N poderá ser acima de 25, valor considerado próximo ao equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização (MONEGAT, 1991). Portanto, a crotalária além de contribuir significativamente para a fixação biológica do nitrogênio, destaca-se na produção de fitomassa podendo proporcionar prolongada cobertura do solo.

As elevadas produções de fitomassa pelas leguminosas, em curto período de tempo, revelam que estas espécies estão adaptadas às condições ambientais do experimento, podendo ser consideradas como espécies potenciais para o cultivo na Região Norte Fluminense.

Quanto à vegetação espontânea, o guizo-de-cascavel (*Crotalaria incana* L.), a quebra-pedra (*Phyllanthus tenellus* Roxb.), a erva-andorinha (*Chamaesyce hyssopifolia* L.), a tiririca (*Cyperus rotundus* L.) e o capim-massambará (*Sorghum halepense* L.) foram as espécies predominantes. Além de proporcionar menor acúmulo de matéria seca, quando utilizada para fins de cobertura do solo, algumas espécies de vegetação espontânea poderão produzir grandes quantidades de sementes (ex. capim-massambará), aumentando a probabilidade de maior incidência dessas espécies, na cultura de interesse comercial sucessora, elevando conseqüentemente os custos de produção. A menor produção de fitomassa proporcionada por essas espécies, quando comparada à adubação verde com leguminosas, corrobora dados de FAVERO et al. (2000) e de PERIN et al. (2004).

Tabela 1. Produtividade de matéria seca e teores de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea das plantas de cobertura, aos 92 dias após emergência, em Campos dos Goytacazes (RJ)

Espécie	Matéria seca kg ha ⁻¹	Parte aérea das plantas de cobertura					
		Teor de macronutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg ⁻¹					
Crotalária júncea	17.852a	17,9b	4,8b	11,1b	6,9b	3,2a	3,9a
Feijão-de-porco	12.623b	23,3a	6,2a	9,6b	15,4a	2,8a	4,2a
Mucuna-preta	10.051b	22,4ab	4,8b	10,2b	9,5b	2,9a	4,1a
Vegetação espontânea	3.519c	12,4c	2,3c	20,7a	3,4c	2,1b	1,7b
Média	11.011	19,0	4,5	12,9	8,8	2,8	3,5
CV (%)	18	18	12	15	24	13	11
DMS	2.684	4,7	0,7	2,6	2,9	0,5	0,6

Médias na coluna, seguidas por letras diferentes, são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As leguminosas crotalária, feijão-de-porco e mucuna-preta se destacaram com relação aos teores de N, observando-se em feijão-de-porco e mucuna os teores mais elevados (Tabela 1). Este alto teor de N na fitomassa aérea das leguminosas provavelmente se deve ao processo de fixação biológica de nitrogênio nestas leguminosas. A mucuna e o feijão-de-porco proporcionaram teor de N semelhantes, o que corrobora com o FAVERO et al. (2000).

O feijão-de-porco obteve teor de N na parte aérea 88% superior à vegetação espontânea, que proporcionou o menor teor de N. Provavelmente, o menor teor de N da vegetação espontânea se deve à predominância de gramíneas e cyperáceas. Em outro trabalho, o teor de N na vegetação espontânea foi semelhante ao da crotalária (PERIN et al., 2004). As diferenças entre o observado neste trabalho e no de PERIN et al. (2004) podem ser justificadas pelas diferentes condições edafoclimáticas e a composição fitossociológica da vegetação espontânea. A crotalária proporcionou teor de N semelhante ao da mucuna, no entanto, 23% menor que o feijão-de-porco.

Os teores de P na parte aérea da crotalária e mucuna foram iguais entre si ($P < 0,05$), porém, em média, 23% menor aos do feijão-de-porco, com maior teor de P (Tabela 1). A vegetação espontânea propiciou o menor teor de fósforo quando comparada com as leguminosas. PERIN et al. (2004) verificaram que os teores de P da vegetação espontânea e das leguminosas não foram diferentes.

A crotalária, feijão-de-porco e mucuna proporcionaram teores de K na parte aérea que não diferiram entre si significativamente, e em média 50% menor ao teor de K obtido pela vegetação espontânea

(Tabela 1). Semelhantemente, com a vegetação espontânea, o teor de K foi mais elevado do que nas demais plantas de cobertura avaliadas (LIMA, 2002; PERIN et al., 2004), e de acordo com os resultados de FAVERO et al. (2000), sugerindo que as espécies espontâneas foram mais eficientes na absorção deste nutriente.

Os teores de Ca na parte aérea da crotalária e da mucuna foram semelhantes ($P < 0,05$). Já, com feijão-de-porco o maior teor foi de Ca, sendo 353%, 123% e 62% superior, respectivamente, à vegetação espontânea, crotalária e mucuna (Tabela 1). Com vegetação espontânea, o menor teor foi de Ca, mas em outro trabalho PERIN et al. (2004) não constataram diferença significativa com relação à crotalária.

Quanto aos teores de Mg e S na parte aérea das leguminosas não houve diferenças significativas entre si, mas em média os teores de S e Mg foram, respectivamente, de 139% e 41% superiores aos obtidos na vegetação espontânea (Tabela 1). A crotalária proporcionou semelhantes teores de Mg quando comparada à vegetação espontânea (PERIN et al., 2004).

Com a crotalária e o feijão-de-porco, os teores de Mn, Zn, Fe e Cu na parte aérea não diferiram entre si significativamente (Tabela 2). De maneira semelhante, a mucuna-preta e a vegetação espontânea se igualaram com relação aos teores de Mn, Zn e Fe. Já os teores de Mn e Zn foram, em média, 95% e 29% superiores, respectivamente, ao feijão-de-porco e à crotalária. Entretanto, com mucuna, o teor de cobre foi, aproximadamente, 80% superior à vegetação espontânea.

Tabela 2. Teor de Mn, Zn, Fe e Cu na parte aérea das plantas de cobertura, aos 92 dias após emergência, em Campos dos Goytacazes (RJ)

Espécie	Parte aérea das plantas de cobertura			
	Teor de micronutrientes			
	Mn	Zn	Fe	Cu
	mg kg ⁻¹			
Crotalária júncea	49,0b	21,3b	170,7a	7,4b
Feijão-de-porco	41,9b	20,6b	159,3a	8,2b
Mucuna-preta	92,3a	28,4a	187,0a	15,1a
Vegetação espontânea	85,3a	25,7a	131,9a	8,4b
Média	67,1	24,0	162,2	9,8
C.V. (%)	22	13	27	16
DMS	20,2	4,2	59,0	2,2

Médias na coluna, seguidas por letras diferentes, são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As plantas de cobertura quanto aos teores de Fe na parte aérea foram semelhantes estatisticamente ($P < 0,05$). A mucuna merece destaque quanto aos teores de Mn, Cu e Zn, pois foram, em média, 103%, 94% e 36% superior ao feijão-de-porco e à crotalária (Tabela 2).

Como esperado, as leguminosas acumularam a maior quantidade de N na matéria seca, em média 282 kg ha⁻¹ de nitrogênio, não diferindo significativamente entre si (Tabela 3). Entretanto, as plantas de cobertura crotalária, feijão-de-porco e mucuna acumularam juntas em média 557% a mais N que a vegetação espontânea. Dessa maneira, se justifica também a maior produtividade de matéria seca das leguminosas em relação à vegetação espontânea (Tabela 1). Com relação à crotalária e à mucuna-preta foram obtidos acúmulos de N semelhantes, respectivamente, por PERIN et al. (2004) – 305 kg ha⁻¹ e FAVERO et al. (2000) – 205 kg ha⁻¹. Já, o acúmulo de N pelo feijão-de-porco foi 56%, 80% e 133% superior ao constatado na literatura, respectivamente, por CACERES e ALCARDE (1995); FAVERO et al. (2000); OLIVEIRA et al., (2002).

Quanto ao acúmulo de P, a crotalária e o feijão-de-porco não diferiram entre si ($P < 0,05$), mas foram superiores em 919% e 66% em comparação com a mucuna-preta e vegetação espontânea respectivamente (Tabela 3). Em outros trabalhos realizados, constataram-se variados resultados, maiores teores de P na parte aérea da mucuna em relação ao feijão-de-porco (FAVERO et al., 2000), mucuna e feijão-de-porco não diferiram entre si significativamente (OLIVEIRA et al., 2002), crotalária acumulou teor de P superior à vegetação espontânea (PERIN et al., 2004) e mucuna acumulou teor de P inferior à vegetação espontânea (LIMA, 2002).

A crotalária se destacou com o acúmulo de K da parte aérea, sendo superior em média 101% ao feijão-de-porco, à mucuna e à vegetação espontânea (Tabela 3). A maior massa de MS da crotalária (Tabela 1), possivelmente foi o fator que contribuiu para o resultado de maior acúmulo de K na parte aérea (Tabela 3), tendo em vista que a vegetação espontânea obteve o maior teor de K (Tabela 1). Igualmente, foi constatado que o acúmulo de K no feijão-de-porco não diferiu da mucuna (FAVERO et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2002). Já, PERIN et al. (2004) observaram que a vegetação espontânea e crotalária não diferiram significativamente e LIMA (2002) constatou que a vegetação espontânea obteve acúmulo de K superior às plantas de cobertura estudadas.

O feijão-de-porco obteve o maior acúmulo de Ca, o equivalente a 81% a mais de teor de Ca na parte aérea do que a crotalária e mucuna, que não diferiram entre si significativamente. Porém, essas duas últimas citadas acumularam em média 808% de Ca a mais que a vegetação espontânea na biomassa seca (Tabela 3). Esses resultados são semelhantes ao de FAVERO et al. (2000), que constataram teor de cálcio no feijão-de-porco 83% superior à mucuna-preta. Por outro lado, a crotalária acumulou 127% a mais de Ca que a vegetação espontânea (PERIN et al., 2004).

A crotalária acumulou na biomassa aérea quantidade de Mg e de S superiores as demais coberturas estudadas (Tabela 3). Em termos acumulativos de Mg e S a crotalária, respectivamente, foi à ordem crescente 63%, 97% e 714% e 30%, 68% e 1.050% maior do que o feijão-de-porco, mucuna e vegetação espontânea respectivamente. Semelhantemente, PERIN et al. (2004) observou que a crotalária obteve maior acúmulo de Mg que a vegetação espontânea.

Tabela 3. Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Zn, Fe e Cu na parte aérea das plantas de cobertura, aos 92 dias após a emergência, em Campos dos Goytacazes (RJ)

Espécie	Acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas de cobertura									
	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Fe	Cu
	— kg ha ⁻¹ —									
Crotalária júncea	320a ¹	85a	200a	123b	57a	69a	0,88a	0,38a	3,04a	0,13a
Feijão-de-porco	297a	78a	121b	197a	35b	53b	0,53b	0,26b	2,01b	0,10ab
Mucuna-preta	230a	49b	104b	95b	29b	41c	0,94a	0,29b	1,88b	0,15a
Vegetação espontânea	43b	8c	73b	12c	7c	6d	0,30b	0,09c	0,46c	0,03b
Média	223	55	125	107	32	42	0,66	0,26	1,85	0,10
CV (%)	30	22	28	38	28	18	38	25	37	25
DMS	92	17	49	56	12	10	0,4	0,1	0,9	0,04

Médias na coluna, seguidas por letras diferentes, são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Já, o feijão-de-porco e a mucuna não diferiram entre si significativamente, mas foram em média 357% superiores em relação à vegetação espontânea na quantidade de Mg. Corroborando, com FAVERO et al. (2000) o feijão-de-porco também não diferiu da mucuna em termos de acúmulo de Mg na parte aérea. O acúmulo de S pelo feijão-de-porco foi 29% e 783% superior, respectivamente, à mucuna e à vegetação espontânea; a mucuna-preta acumulou 583% a mais de S do que a vegetação espontânea.

Para o acúmulo de Mn na biomassa aérea, a crotalária e a mucuna foram iguais entre si, bem como, o feijão-de-porco e a vegetação espontânea não se diferiram significativamente (Tabela 3). Entretanto, a média acumulada de Mn na parte aérea da crotalária e da mucuna foi 2,2 vezes superior ao feijão-de-porco e à vegetação espontânea. OLIVEIRA et al. (2002) constataram que feijão-de-porco obteve a mesma quantidade de Mn que a mucuna-preta.

O feijão-de-porco e a mucuna-preta foram iguais estatisticamente para acúmulo de Zn e Fe (Tabela 3), corroborando com OLIVEIRA et al. (2002), que observaram o mesmo resultado. Com crotalária ocorreu acúmulo de Zn e Fe na parte aérea, respectivamente, na ordem crescente de 38% e 322% e de 56% e 561% superiores, respectivamente, à média do feijão-de-porco com a mucuna e a média solteira da vegetação espontânea. Porém, a média do acúmulo de Zn e Fe de feijão-de-porco e mucuna, respectivamente, foi 3,1 e 4,2 vezes superior à vegetação espontânea.

Para o Cu, as três leguminosas estudadas acumularam a mesma quantidade, não diferindo entre si significativamente (Tabela 3). Dessa maneira, o

feijão-de-porco também não diferiu para acúmulo de Cu da vegetação espontânea. Porém, a crotalária e a mucuna-preta em média acumularam 367% a mais de Cu do que a vegetação espontânea. Semelhantemente, para os acúmulos de Cu na fitomassa da mucuna e do feijão-de-porco não foi constatada diferença significativa (OLIVEIRA et al., 2002).

As leguminosas proporcionaram os maiores rendimentos à cana-de-açúcar em SPD em relação ao PC com vegetação espontânea incorporada ao solo (Tabela 4). Assim, a cana cultivada em SPD sobre a palhada da crotalária, feijão-de-porco e mucuna obteve produtividade média 37% superior a cana cultivada em PC, ou seja, 36.855 kg ha⁻¹ a mais de cana. No trabalho realizado por CACERES e ALCARDE (1995), a produtividade da cana sobre a crotalária juncea, a mucuna-preta e o feijão-de-porco em sistema convencional, também não diferiram entre si significativamente. Porém, somente a cana sobre a crotalária incorporada obteve produtividade 12% maior do que a cana sobre vegetação espontânea incorporada. Provavelmente, a maior produtividade média de cana obtida sobre a palhada das leguminosas de 135.863 kg ha⁻¹, comparativamente a 126.333 kg ha⁻¹, obtidos por CACERES e ALCARDE (1995), deve-se, em parte, ao SPD que preserva a palhada das plantas de cobertura sobre o solo não revolvido e favorece a decomposição e liberação gradativa da palhada e de nutrientes. Já o preparo convencional com a incorporação dos adubos verdes deixa o solo desnudo e favorece a erosão, decomposição inicial rápida e liberação de nutrientes imediata, refletindo negativamente na produtividade da cultura (CACERES e ALCARDE, 1995).

Tabela 4. Resultado de açúcares teoricamente recuperáveis (ATR) e de produtividade da cana-planta variedade SP80-1842, em função da utilização de adubos verdes nos sistemas de plantio direto e convencional em Campos dos Goytacazes (RJ)

Espécie de Cobertura e Sistema de Manejo	ATR kg ton ⁻¹	Produtividade kg ha ⁻¹
Crotalária juncea - cana SPD	126,8a ¹	131.909a
Feijão-de-porco - cana SPD	130,7a	141.278a
Mucuna-preta - cana SPD	132,8a	134.403a
Vegetação espontânea - cana convencional	130,1a	99.008b
Média	130,1	126.650
CV (%)	6	8
DMS	10,3	15.256

Médias na coluna, seguidas por letras diferentes, são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O efeito positivo das leguminosas sobre a produtividade da cana deve-se, em parte ao fornecimento gradativo de N, P, Ca, Mg, S, Zn e Fe em comparação com a vegetação espontânea, como observado por outros trabalhos com culturas da família das gramíneas (HEINRICHS et al., 2002; SPAGNOLLO et al., 2002). Certamente os efeitos supressivos e alelopáticos proporcionados pela palhada das plantas de cobertura na superfície do solo sobre as plantas daninhas (SEVERINO e CHRISTOFFOLETI, 2001; SOUZA FILHO, 2002), também contribuíram, diminuindo a competição por água e nutrientes com a cana e refletindo positivamente na produtividade da cultura.

Quanto à variável ATR, não foram constatadas diferenças significativas entre a cana cultivada em SPD sobre as leguminosas e a cana em PC com a vegetação espontânea incorporada ao solo (Tabela 4). Mesmo não surtindo efeitos sobre a ATR, de maneira geral, essa variável aponta a excelente qualidade química e tecnológica da cana para a indústria sucroalcooleira, refletindo a adequada condição do campo experimental no qual foi conduzida a cultura da cana-de-açúcar.

4. CONCLUSÕES

1. A crotalária proporciona a maior taxa de cobertura do solo sendo superior ao feijão-de-porco, à mucuna-preta e vegetação espontânea.

2. As leguminosas acumulam maior quantidade de N e Cu na fitomassa que a vegetação espontânea. A crotalária e o feijão-de-porco, em média, acumulam mais P na parte aérea que a mucuna-preta. Com crotalária houve maior acúmulo de K, Mg, S, Zn e Fe que em feijão-de-porco, mucuna e vegetação espontânea.

3. O sistema de plantio direto, com o emprego das leguminosas em cobertura, contribui para a cana-de-açúcar obter produtividade 37% superior ao preparo convencional do solo com a vegetação espontânea incorporada.

AGRADECIMENTOS

À UENF/FAPERJ pelo apoio financeiro e ao grupo Queiroz Galvão proprietários da Fazenda Abadia pelo empréstimo da área para a realização deste trabalho, bem como, por todo o apoio prestado com máquinas, implementos agrícolas e mão-de-obra.

REFERÊNCIAS

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e

nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.189-197, 2001.

BERTOL, I.; SCHICH, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia preta em rotação com outras culturas em três tipos de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.545-552, 2002.

BOARETTO, A.E.; CHITOLINA, J.C.; RAIJ, B.V.; SILVA, F.C.; TEDESCO, M.J.; CARMO, C.A.F.S. Amostragem acondicionamento e preparação das amostras de plantas para análise química. In: SILVA, F.C. (Org.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA – Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p.49-73.

CACERES, N.T.; ALCARDE, J.C. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). **Revista STAB**, Piracicaba, v.13, n.5, p.16-20, 1995.

DINARDO-MIRANDA, L.L. Rotação soja-cana e nematóides. **Revista STAB**, Piracicaba, v.19, n.4, p.17, 2001.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.171-177, 2000.

FERREIRA, P.V. **Estatística Experimental Aplicada à Agronomia**. 3.ed. Maceió: EDUFAL, 2000. 422p.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.153-159, 2000.

HEINRICHS, R.; VITTI, G.C.; MOREIRA, A.; FANCELLI, A.L. Produção e estado nutricional do milho em cultivo intercalar com adubos verdes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.225-230, 2002.

JACKSON, M.L. (1965) Nitrogen determinations for soil and plant tissue. In: JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1965. p.195-196.

JONES, J.B.; Wolf, B.; Mills, H.A. **Plant Analysis Handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide**. Athens, Georgia, USA: Micro-Macro Publishing, 1991. 213p.

LIMA, E.A. **Espécies para cobertura de solo e seus efeitos sobre a vegetação espontânea e rendimento da soja em plantio direto, em Campos dos Goytacazes, RJ**. 2002. 62p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes.

LINDER, R.C. Rapid analytical methods for some of the more common inorganic constituents of plant tissues. **Plant Physiology**, v.19, p.76-89, 1944.

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MESSIAS, L. Plantio direto de soja sob a palha da cana vem sendo testado com sucesso. **JornalCana**, abr., p.38.,1999.

MONEGATI, C. **Plantas de cobertura do solo**: Características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó: Ed. do autor, 1991. 337p.

OLIVEIRA, T.K.DE; CARVALHO, G.J.; MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1079-1087, 2002.

OPLANA, Organização de plantadores de cana da região centro-sul do Brasil. Cálculo simplificado do preço da cana-de-açúcar. **Cadernos Orplana**, n.5, p.1-2, 2005.

PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.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**, Brasília, v.39, n.1, p.35-40, 2004.

RIBEIRO JÚNIOR, J.I. **Análises Estatísticas no SAEG**. Viçosa: UFV, 2001. 301p.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.313-319, 1995.

SEVERINO, F.J.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Efeitos de quantidades de fitomassa de adubos verdes na supressão de plantas daninhas. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, v.19, n.2, p.223-228, 2001.

SOUZA FILHO, A.P.S. Atividade potencialmente alelopática de extratos brutos e hidroalcoólicos de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*). **Revista Planta Daninha**, Viçosa, v.20, n.3, p.357-364, 2002.

SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A.; PROENÇA, M.M. Leguminosas estivais intercalares como fonte de nitrogênio para o milho, no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.417-423, 2002.