

CRESCIMENTO DE LEGUMINOSAS SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO COM FOSFATO DE ROCHA¹

Cleo Marcelo de Araújo SOUZA²
Cláudio José Reis de CARVALHO³
Steel Silva VASCONCELOS³
Bruno de Oliveira SERRÃO⁴

RESUMO: Com o objetivo de avaliar o efeito de doses crescentes de fosfato de rocha sobre o crescimento e acúmulo de nutrientes de espécies de leguminosas (Fabaceae), instalou-se, em casa de vegetação, um experimento usando fosfato natural do Marrocos. Foi utilizado um substrato composto de uma mistura de latossolo amarelo distrófico concrecionário (0 – 20 cm), areia lavada e argila (horizonte B) na proporção de 2:1:1 (v:v:v) e peneirado em malha de 2 mm, para o crescimento das plantas e aplicação dos tratamentos. Foi adotado o delineamento fatorial 4 X 5, inteiramente casualizado, com quatro espécies, cinco níveis de fosfato e quatro repetições, totalizando 80 unidades experimentais. As espécies estudadas foram *Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland, *Cajanus cajan* (L.) Millsp., *Crotalaria juncea* L. e *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth. Os níveis de fosfatos utilizados foram 0 kg ha⁻¹; 46 kg ha⁻¹; 92 kg ha⁻¹; 183 kg ha⁻¹ e 366 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Os resultados apresentados mostraram que a espécie *Mucuna aterrima* produziu mais biomassa em relação às demais espécies. Entretanto, as espécies *Pueraria phaseoloides*, *Crotalaria juncea* e *Cajanus cajan* apresentaram maiores teores de nutrientes na biomassa aérea e foram mais sensíveis à deficiência de fósforo. Elas também obtiveram melhores respostas a adubação fosfatada, acumulando mais biomassa total em relação à *Mucuna aterrima*. As espécies *Cajanus cajan* e *Pueraria phaseoloides* obtiveram as melhores taxas assimilatórias, seguidas da *Crotalaria juncea* em resposta à adubação com fosfato natural.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Fabaceae, Adubos Verdes, Adubação Fosfatada, Acúmulo de Biomassa, Teor de Nutrientes.

1 Aprovado para publicação em 13/11/08

Parte da dissertação do primeiro autor apresentada a Universidade Federal Rural da Amazônia, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração em Biologia Vegetal Tropical.

2 Biólogo, M. Sc., Lab. Ecofisiologia Vegetal. Embrapa Amazônia Oriental. E-mail: cleo@cpatu.embrapa.br.

3 Engenheiro Agrônomo, PhD., Lab. Ecofisiologia Vegetal. Embrapa Amazônia Oriental. E-mail: carvalho@cpatu.embrapa.br, steel@cpatu.embrapa.br.

4 Acadêmico de Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia. E-mail: brnserrao@gmail.com.

GROWTH OF LEGUMES SUBMITTED AT DIFFERENT LEVELS OF FERTILIZATION WITH ROCK PHOSPHATE

ABSTRACT: The research aimed to evaluate the effect of increasing doses of rock phosphate on the growth and nutrient accumulation of leguminous species (Fabaceae), in greenhouse conditions, using natural phosphate from Morocco. For the growth of plants and application of treatments, a substrate composed of a mixture of yellow latosol dystrophic (0 – 20 cm), sand washed and clay (B horizon) in the proportion of 2:1:1 (v: v: v) and sieved at 2 mm mesh were utilized. The experimental design was entirely randomized with four (species) x five (fertilization levels), and four replications (total of 80 experimental units). The studied species were *Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland, *Cajanus cajan* (L.) Millsp., *Crotalaria juncea* L. and *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth. The levels of phosphate were 0 kg ha⁻¹; 46 kg ha⁻¹; 92 kg ha⁻¹; 183 kg ha⁻¹ and 366 kg ha⁻¹ of P₂O₅. *Mucuna aterrima* produced more biomass in relation to the other species. However, *Pueraria phaseoloides*, *Crotalaria juncea* and *Cajanus cajan* showed higher nutrient content in the aerial biomass and were more sensitive to P deficiency. They also responded better to phosphate fertilization, accumulating more total biomass in relation to *Mucuna aterrima*. *Cajanus cajan* and *Pueraria phaseoloides* obtained the best net assimilation rates, followed by *Crotalaria juncea* in response to natural phosphate fertilization.

INDEX TERMS: Fabaceae, Green Manure, Phosphate Fertilization, Biomass Accumulation, Nutrient Content.

1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P), depois do nitrogênio (N), é o elemento mais limitante para a produtividade da biomassa em solos tropicais e subtropicais. Os solos brasileiros são, na sua maioria, deficientes de fósforo, em consequência da alta fixação desse elemento, ocasionando baixo conteúdo de P disponível, principalmente, em solos onde há predomínio de minerais sesquióxidos (NOVAIS; SMYTH, 1999).

No processo tradicional de formação

e utilização de áreas cultivadas na Região Amazônica, após a queima da floresta, grande quantidade de nutrientes é adicionada ao solo através das cinzas, aumentando consideravelmente sua fertilidade e, conseqüentemente, a produtividade dessas áreas. Contudo, com o decorrer do tempo, observa-se uma gradual redução dos nutrientes do solo, principalmente do fósforo disponível, com reflexos negativos nos índices de produção agrícola (BALIGAR; FAGERIA, 2001). Em dado momento, os teores de nutrientes podem se tornar tão baixos que inviabilizam a produção

agrícola, caracterizando um estágio avançado de degradação. A baixa disponibilidade deste nutriente tem sido identificada como a principal causa para a instabilidade das áreas cultivadas na Amazônia (BALIGAR; FAGERIA, 2001).

Com a adoção de práticas de manejo ecológico do solo que visem a restabelecer as condições originais de equilíbrio desses ambientes degradados, esses impactos serão minimizados. Dentre as diversas práticas, merece destaque a adubação verde, que consiste na utilização de plantas em rotação ou consórcio com culturas de interesse econômico. Tais plantas podem ser incorporadas ao solo ou roçadas e mantidas na superfície, proporcionando melhoria das características químicas, físicas e biológicas dos solos (ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 1997). Uma alternativa viável seria a associação de espécies de leguminosas com adubação fosfatada com fosfato natural, que além da capacidade já conhecida dessas plantas em fixar nitrogênio, também são capazes de solubilizar e absorver o P de fonte pouco solúvel, resultando tanto em economia para agricultores com baixo capital de investimento como também possibilitando melhoria na fertilidade do solo (ESPÍNDOLA et al., 2005a). O processo de fixação biológica de nitrogênio requer altas quantidades de fósforo. Conseqüentemente, a adubação fosfatada representa uma estratégia para favorecer o acúmulo de nitrogênio e o crescimento de leguminosas nos solos onde o fósforo disponível é escasso (ESPÍNDOLA et al., 2005a).

Entre os benefícios do uso de leguminosas destacam-se: a proteção contra a lixiviação e erosão pela diminuição do impacto das gotas da chuva (ESPÍNDOLA et al., 2005b); o favorecimento do processo de ciclagem de nutrientes, principalmente nos solos onde ocorrem imobilização de cálcio, magnésio e o potássio (FAVERO; JUCKSCH, 2000); o aumento do aproveitamento de nutrientes fornecidos por fosfatos de rocha através de mecanismos como a acidificação do solo promovida por suas raízes (ABBOUD, 1986); a promoção de alterações quantitativas e qualitativas na população de fungos solubilizadores de fosfato e micorrízicos vesicular arbusculares nativos do solo, permitindo um melhor aproveitamento dos fertilizantes aplicados ao solo, principalmente os fosfatados (CLARKSON, 1985; SIEVERDING, 1991; BARROTI; NAHAS, 2000; CARNEIRO et al., 2004; BENEDETTI et al., 2005).

Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de doses crescentes de fosfato sobre o crescimento e acúmulo de nutrientes de quatro espécies de leguminosas submetidas à adubação com fosfato de reduzida solubilidade (Fosfato Natural do Marrocos).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação num período de 30 dias, sem controle de ambiente. A fonte de fósforo utilizada foi o fosfato natural reativo do Marrocos (32% P_2O_5 ,

solúvel em ácido cítrico), e foram testados cinco níveis de adubação fosfatada e quatro espécies de leguminosas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado e os resultados analisados segundo esquema fatorial quatro (espécies) x cinco (níveis de fósforo), com quatro repetições, totalizando 80 unidades experimentais.

O substrato utilizado foi uma mistura de um latossolo amarelo distrófico concrecionário (0 – 20 cm), areia lavada e argila (horizonte B) na proporção de 2:1:1 (v:v:v) e peneirado em malha de 2 mm. Para o cálculo das dosagens de fosfato de cada tratamento, foi utilizada a densidade média dos substratos (1,20 g cm⁻³). Cada tratamento foi composto de substrato mais a dosagem de fosfato de rocha correspondente (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 46 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 92 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 183 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 366 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Cada dosagem de fosfato de rocha foi misturada com o substrato seco ao ar e peneirada a 2 mm (não houve adubação nitrogenada). Cada unidade experimental foi constituída de uma planta cultivada em aproximadamente 3 kg de substrato, acondicionada em vasos plásticos pretos e submetida ao tratamento correspondente.

As leguminosas testadas foram a *Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland,

Cajanus cajan (L.) Millsp., *Crotalaria juncea* L. e *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth. Antes da semeadura, as sementes das leguminosas foram submetidas a um tratamento de quebra de dormência (banho-maria a 80° C durante 3 minutos). As sementes foram postas a germinar em substrato de areia lavada e autoclavada sem inoculação de bactérias fixadoras de N₂, e mantidas somente com água destilada até a queda dos cotilédones, quando foram repicadas para os vasos com os respectivos tratamentos, onde permaneceram por um período de sete dias para aclimação. Após o período de aclimação, o experimento foi iniciado (tempo zero). Foram realizadas análises químicas e físicas do substrato (pH em água, matéria orgânica, fósforo total, fósforo orgânico, fósforo disponível, nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e granulometria) antes do início do experimento e estão apresentadas na Tabela 1.

O experimento foi encerrado aos trinta dias após a aplicação dos tratamentos; durante esse período, os vasos foram irrigados diariamente com 150 mL de água e receberam três pulverizações de DECIS 25 CE na dose de 0,1 mL L⁻¹. Após o término do experimento, as plantas foram colhidas e o material vegetal foi separado em parte aérea (folha + caule) e raízes.

Tabela 1 - Análise físico-química do substrato utilizado no experimento.

Variáveis	Unidade	Valor
pH em H ₂ O	-----	5,00 (± 0,10)
Mat. Orgânica	g kg ⁻¹	24,20 (± 1,40)
P _{total}	mg kg ⁻¹	154,80 (± 8,50)
P _{org}	mg kg ⁻¹	69,30 (± 3,80)
P _{disp}	mg kg ⁻¹	2,90 (± 0,30)
N	mg kg ⁻¹	668,90 (± 88,30)
K	mg kg ⁻¹	63,11 (± 3,63)
Ca	mg kg ⁻¹	119,32 (± 5,33)
Mg	mg kg ⁻¹	93,78 (± 7,69)
Areia grossa	g kg ⁻¹	515,50 (± 60,10)
Areia fina	g kg ⁻¹	286,00 (± 52,90)
Silte	g kg ⁻¹	114,50 (± 6,20)
Argila total	g kg ⁻¹	85,00 (± 10,00)

Posteriormente, todo material vegetal foi lavado em água destilada e seco em estufa de circulação forçada de ar a 65-70 °C, até alcançar peso constante. As amostras secas correspondentes de cada uma das partes da planta foram pesadas, moídas e armazenadas em frascos de vidro para determinações químicas. Antes que as raízes fossem secas, foram lavadas com água corrente e secas superficialmente em papel toalha e tiveram medidos os seus volumes em proveta com água destilada pelo processo de deslocamento da coluna de líquidos, usando-se uma proveta graduada. O material vegetal coletado da parte aérea e raiz foi utilizado para as análises de crescimento e teores foliares de N, P, K, Ca e Mg.

Para a análise de crescimento, foram determinadas a biomassa total e a área foliar de cada espécie no início da aplicação dos

tratamentos (tempo zero) e no final do experimento (30 dias). A biomassa total foi determinada pela obtenção do peso da matéria seca em balança analítica e pela área foliar, que foi obtida pelo método do uso de áreas conhecidas de lâminas foliares, retirando-se 10 discos foliares de cada planta com diâmetro conhecido (1 cm) e posteriormente postos para secar em estufa a 65-70°C até o peso constante (BENINCASA, 2003). Com o auxílio da equação proposta por esse autor, determinou-se a área foliar total (A) a partir da área dos discos (Ad), do peso de massa seca das folhas (Pf) e do peso de massa seca dos discos (Pd). Tal equação está descrita abaixo:

$$A = \frac{Ad(Pd + Pf)}{Pd}$$

Através das determinações da massa

seca total e da área foliar total, foram obtidas as Taxas de Crescimento Relativo (TCR) e Assimilatória Líquida (TAL), segundo Hunt (1978).

$$TCR_{(g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1})} = \frac{(\ln W_1 - \ln W_0)}{(t_1 - t_0)}$$

$$TAL_{(g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1})} = \frac{(W_1 - W_0)}{(t_1 - t_0)} \cdot \frac{(\ln S_1 - \ln S_0)}{(S_1 - S_0)}$$

onde:

W_0 = biomassa total no tempo zero (t_0)

W_1 = biomassa total após 30 dias (t_1)

S_0 = área foliar total no tempo zero (t_0)

S_1 = área foliar total após 30 dias (t_1)

ln = logaritmo Neperiano

Para a determinação da eficiência de absorção de fósforo pelas leguminosas estudadas, foram utilizados os dados de biomassa das raízes, biomassa da parte aérea e os teores de fósforo na parte aérea, segundo a metodologia proposta por Siddiqi e Glass (1981).

No extrato da parte aérea, oriundo por digestão sulfúrica (H_2SO_4/H_2O_2) (EMBRAPA, 1999), foram obtidos, por colorimetria, os teores de nitrogênio (MULVANEY, 1996) e fósforo (MURPHY; RILEY, 1962); por fotometria de chama, os teores de potássio (SALINAS; GARCIA, 1985), e por espectrometria de absorção atômica, os teores de cálcio e magnésio (EMBRAPA, 1999). A

eficiência de absorção de fósforo (EAF) foi determinada pela razão entre a quantidade de fósforo na parte aérea (mg de P) e o peso de matéria seca de raiz (SIDDIQI; GLASS, 1981).

Após o término do experimento, os substratos dos vasos foram peneirados em malha de 2 mm, secos ao ar e moídos a 60 mesh e utilizados para as determinações dos teores de fósforo disponível (P_{disp}). Para a determinação de P_{disp} , utilizaram-se duas membranas aniônicas (BDH, anion exchange membrane, 1,5 x 3,0 cm) e água destilada nos tubos, e em seguida foram submetidas à agitação lenta por 16 horas. Após agitação, as membranas foram retiradas e colocadas em frascos plásticos com 30 mL de HCl 0,5 M e foram agitadas por 2 horas. Nos extratos obtidos, o P_{disp} foi determinado colorimetricamente pelo método de Murphy e Riley (1962).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, seguido de teste de comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% e análise de regressão quadrática, com auxílio do programa Sigma Stat for Windows Versão 3.5 (SYSTAT Software, 2006).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de biomassa é uma característica determinante do desempenho das leguminosas utilizadas como adubo verde. Entretanto, existe uma grande variação nessa produção, conforme as condições nas quais essas leguminosas crescem (ALVARENGA

et al. 1995). De acordo com as condições em que este experimento foi conduzido e com os dados obtidos de massa seca de raiz e parte aérea (Tabela 2), também se observou variações nos acúmulos de biomassa (Figura 1) e no crescimento das leguminosas estudadas (Figuras 2 e 3), e dessas espécies se ajustaram a uma equação quadrática. Foi observado que a *Mucuna aterrima* acumulou maior quantidade de biomassa que as demais espécies ($P < 0,05$). Segundo Alvarenga et al. (1995), essa maior produção de biomassa da *Mucuna aterrima* se deve ao fato de essa planta ter um crescimento inicial bastante rápido e apresentar um ciclo vegetativo relativamente curto em relação a algumas espécies que possuem um crescimento mais lento na fase inicial e apresentam um ciclo vegetativo mais longo.

A taxa de crescimento relativo (TCR) expressa o incremento na massa de matéria seca por unidade de massa inicial, num determinado intervalo de tempo (BENINCASA, 2003). Essa taxa melhor se ajustou a uma equação quadrática. Foram observados incrementos ($P < 0,05$) de matéria seca nas espécies *Pueraria*

phaseoloides, *Crotalaria juncea* e *Cajanus cajan* em relação à *Mucuna aterrima*, que não apresentou um incremento significativo (Figura 2).

Esses resultados mostram que as três primeiras espécies são altamente susceptíveis à escassez de fósforo e que respondem com crescimento quando há uma boa disponibilidade de P. Já a *Mucuna aterrima* não apresentou incremento de matéria seca com o aumento da disponibilidade de P, apesar de possuir maior produção de biomassa (Figura 1). Essa característica da mucuna pode ser bem aproveitada como planta de cobertura para controle de espécies espontâneas em solos com deficiência em P, pois apresenta um rápido crescimento e alta percentagem de cobertura (ALVARENGA et al., 1995; FAVERO et al., 2001).

A taxa assimilatória líquida expressa a taxa de incremento da massa de matéria seca por unidade de área foliar existente na planta, e esta varia durante o desenvolvimento individual em relação aos fatores ambientais (LARCHER, 2000; BENINCASA, 2003).

Tabela 2 - Peso de biomassa seca da raiz, parte aérea e relação raiz:parte aérea (R:PA) das leguminosas cultivadas com vários níveis de adubação fosfatada.

	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	<i>Mucuna aterrima</i>	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Crotalaria juncea</i>	<i>Pueraria phaseoloides</i>
Parte Aérea (g planta⁻¹)	0	2,91 (± 0,39) A a	0,32 (± 0,08) B c	0,13 (± 0,01) B c	0,06 (± 0,03) B c
	46	2,71 (± 0,37) A ab	0,61 (± 0,15) B bc	0,83 (± 0,19) B b	0,68 (± 0,21) B bc
	92	2,30 (± 0,42) A b	0,72 (± 0,11) B ab	1,06 (± 0,16) B ab	0,44 (± 0,22) C b
	183	2,64 (± 0,28) A ab	1,03 (± 0,13) B ab	1,29 (± 0,08) B a	0,92 (± 0,13) B a
	366	2,75 (± 0,42) A ab	1,07 (± 0,13) C a	1,50 (± 0,08) B a	1,06 (± 0,21) C a
Raiz (g planta⁻¹)	0	1,01 (± 0,21) A a	0,25 (± 0,04) B b	0,09 (± 0,03) B b	0,04 (± 0,01) B b
	46	1,00 (± 0,32) A a	0,38 (± 0,13) B ab	0,43 (± 0,15) B a	0,29 (± 0,08) B ab
	92	0,84 (± 0,15) A a	0,52 (± 0,06) B ab	0,37 (± 0,13) B a	0,33 (± 0,07) B ab
	183	0,97 (± 0,12) A a	0,61 (± 0,16) B a	0,66 (± 0,07) B a	0,44 (± 0,06) B a
	366	1,08 (± 0,12) A a	0,50 (± 0,07) B ab	0,60 (± 0,17) B a	0,44 (± 0,16) B a
R:PA	0	0,32 (± 0,07) C a	0,78 (± 0,12) A a	0,52 (± 0,12) B a	0,66 (± 0,02) AB a
	46	0,37 (± 0,09) B a	0,71 (± 0,16) A a	0,52 (± 0,11) B a	0,45 (± 0,15) B b
	92	0,37 (± 0,05) B a	0,73 (± 0,12) A a	0,37 (± 0,05) B a	0,46 (± 0,05) B b
	183	0,37 (± 0,01) B a	0,58 (± 0,09) A ab	0,51 (± 0,03) AB a	0,48 (± 0,11) AB ab
	366	0,40 (± 0,09) A a	0,46 (± 0,05) A b	0,40 (± 0,13) A a	0,41 (± 0,11) A b

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na horizontal (entre as espécies) e minúscula na vertical (dentro da espécie) não diferem entre si ao nível de 5% (Tukey).

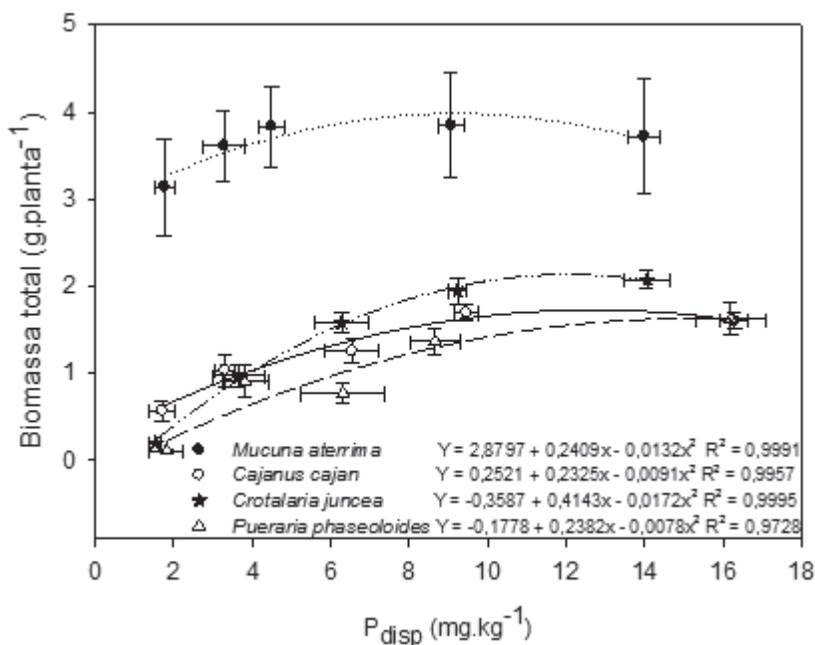


Figura 1 – Quantidade de biomassa total das leguminosas estudadas em relação à disponibilidade de fósforo no substrato.

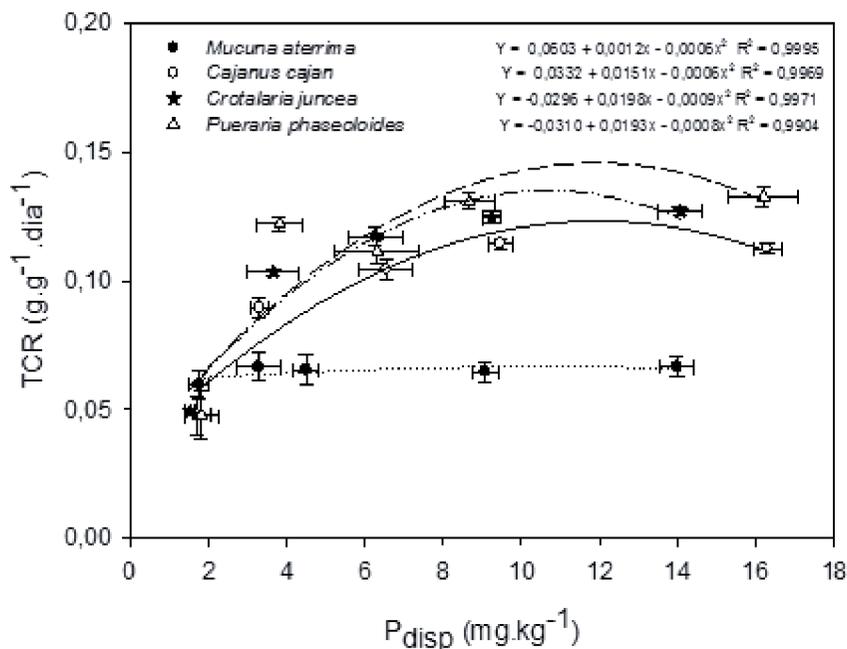


Figura 2 - Taxa de Crescimento Relativo (TCR) das leguminosas estudadas em relação à disponibilidade de fósforo no substrato.

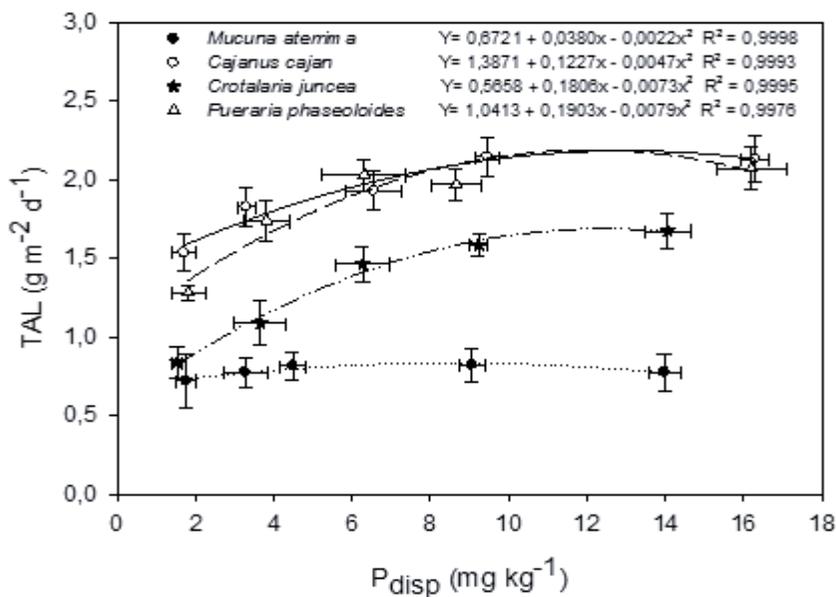


Figura 3 - Taxa assimilatória líquida (TAL) das leguminosas estudadas em relação à disponibilidade de fósforo no substrato.

Esta taxa está relacionada com a assimilação de CO_2 e, conseqüentemente, com a produção de carboidratos, os quais são responsáveis pelo crescimento e produção de matéria seca da planta. Foram observadas grandes variações nas TALs das leguminosas estudadas (Figura 3), e essas taxas se ajustaram a uma equação quadrática. As espécies *Cajanus cajan* e *Puerária phaseoloides* apresentaram as maiores taxas em todos os tratamentos, seguidas da *Crotalaria juncea*. A *Mucuna aterrima* apresentou a taxa mais baixa. Entretanto, à medida que se aumentou a disponibilidade de P, observou-se um aumento na taxa assimilatória líquida da *Crotalaria juncea*, diferenciando-se ($P < 0,05$) da *Mucuna aterrima*, que não apresentou uma variação significativa entre os tratamentos. No entanto, entre 9 e 10 mg kg^{-1} de P disponível, essas taxas começaram a estabilizar chegando a 2,14 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ para o *Cajanus cajan*, 1,96 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ para a *Pueraria phaseoloides*, 1,58 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ para *Crotalaria juncea* e 0,82 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ para a *Mucuna aterrima*. Utilizando os dados de biomassa das raízes e biomassa da parte aérea (Tabela 2) e os teores de fósforo na parte aérea (Tabela 3), foi possível também estimar a eficiência de absorção de fósforo das espécies estudadas. Este índice avalia a eficiência da planta em absorver o fósforo disponível no solo em benefício do seu crescimento, ou seja, uma planta eficiente é capaz de produzir maior quantidade de matéria seca por unidade de fósforo absorvido, ou capaz de acumular mais fósforo quando cultivadas em baixas doses deste elemento, que

depende de dois fatores principais: a eficiência de aquisição e a eficiência de utilização do nutriente (SIDDIQI; GLASS, 1981).

Com base nesses conceitos e nos dados apresentados na Figura 4, podemos observar que houve grande variação na eficiência de utilização do P pelas leguminosas estudadas e todas se ajustaram melhor a uma equação quadrática. As espécies *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* e *Pueraria phaseoloides* foram as leguminosas mais eficientes na absorção do P disponível no substrato adubado com fosfato de rocha. A *Mucuna aterrima* não apresentou resposta à adubação fosfatada, apresentando um crescimento praticamente uniforme.

Analisando o volume total do sistema radicular por elas produzido (Figura 5), observou-se uma grande variação no crescimento de raízes das leguminosas estudadas, apresentando um ajuste quadrático. As espécies *Cajanus cajan* e *Pueraria phaseoloides*, mais eficientes na absorção de P, apresentaram um dos menores volumes do sistema radicular. Tal fato indica que, apesar da menor produção de raiz por unidade de P absorvido, elas possuem um sistema radicular bastante eficiente na aquisição de P de fontes pouco disponíveis. Por outro lado, a *Mucuna aterrima*, que apresentou uma menor eficiência na absorção de P, exibiu maior produção de raiz por unidade de P absorvido, sugerindo que ela precisa de um sistema radicular mais volumoso para uma melhor aquisição de P através de fontes pouco solúveis. Esses resultados se devem às características inerentes

a cada espécie. A absorção de P não depende apenas do volume de raízes, mas também dos diferentes mecanismos utilizados por elas para melhor aproveitamento na absorção de P, como por exemplo, a capacidade de associação dessas raízes com organismos como fungos micorrízicos e a liberação de ácidos orgânicos (BENEDETTI et al., 2005).

Tal associação aumenta a capacidade de absorção de nutrientes pelas leguminosas por

meio de alterações quantitativas e qualitativas na população de fungos micorrízicos vesicular-arbusculares nativos do solo, pela liberação de exudatos radiculares que estimulam a germinação de esporos e o crescimento dos fungos, permitindo um melhor aproveitamento dos fertilizantes aplicados ao solo, principalmente os fosfatados (CLARKSON, 1985; SIEVERDING, 1991; BENEDETTI et al., 2005).

Tabela 3 - Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) dos tecidos foliares das leguminosas cultivadas com vários níveis de adubação fosfatada.

	P_2O_5 kg ha ⁻¹	<i>Mucuna</i> <i>aterrima</i>	<i>Cajanus</i> <i>cajan</i>	<i>Crotalaria</i> <i>juncea</i>	<i>Pueraria</i> <i>phaseoloides</i>
		----- g Kg ⁻¹ -----			
N	0	7,6 (± 0,6) B a	18,4 (± 1,4) A a	19,9 (± 1,1) A a	17,5 (± 3,4) A a
	46	7,3 (± 1,4) C a	18,2 (± 1,9) A a	13,5 (± 1,8) B b	13,2 (± 0,8) B bd
	92	7,3 (± 1,7) C a	15,5 (± 1,4) A ab	12,3 (± 2,1) B b	14,2 (± 1,0) BA ab
	183	6,2 (± 0,7) C a	14,1 (± 2,6) A bc	10,6 (± 0,7) B b	9,7 (± 0,9) B c
	366	7,2 (± 1,1) B a	12,0 (± 2,7) A c	10,3 (± 1,3) AB b	10,0 (± 2,0) AB cd
P	0	1,1 (± 0,1) A b	1,3 (± 0,1) A d	1,4 (± 0,2) A c	1,6 (± 0,1) A c
	46	1,3 (± 0,1) B ab	2,6 (± 0,6) A c	2,6 (± 0,4) A b	2,4 (± 0,3) A b
	92	1,3 (± 0,3) B b	3,0 (± 0,6) A bc	3,4 (± 0,4) A ab	2,8 (± 0,5) A b
	183	1,8 (± 0,2) B ab	4,2 (± 0,3) A a	3,5 (± 0,2) A a	4,2 (± 0,6) A a
	366	2,0 (± 0,3) C a	3,6 (± 0,3) B b	3,9 (± 0,4) A a	2,6 (± 0,3) C b
K	0	5,2 (± 0,6) C a	8,2 (± 1,2) B b	15,5 (± 1,3) A a	14,9 (± 1,5) A a
	46	5,0 (± 1,3) B a	11,3 (± 1,2) A a	10,0 (± 0,8) A b	12,1 (± 1,4) A ab
	92	4,8 (± 0,6) C a	11,1 (± 1,0) B a	9,4 (± 1,5) B b	14,8 (± 0,7) A a
	183	4,5 (± 0,6) C a	11,1 (± 1,6) AB a	10,0 (± 0,5) B b	13,2 (± 1,6) A ab
	366	4,8 (± 0,2) B a	9,7 (± 0,8) A ab	9,7 (± 0,8) A b	11,4 (± 1,8) A b
Ca	0	4,7 (± 0,7) C c	7,3 (± 0,9) B a	10,3 (± 0,4) A c	4,9 (± 0,9) C b
	46	5,9 (± 1,2) B bc	7,1 (± 1,2) B a	10,8 (± 0,8) A c	5,9 (± 0,6) B ab
	92	6,7 (± 1,1) B ab	7,7 (± 0,2) B a	11,5 (± 1,3) A bc	6,0 (± 0,7) B ab
	183	8,1 (± 0,8) B a	7,8 (± 0,2) B a	12,8 (± 1,2) A ab	6,9 (± 1,3) B a
	366	8,4 (± 0,7) B a	8,5 (± 1,5) B a	14,0 (± 1,3) A a	5,5 (± 1,4) C ab
Mg	0	2,2 (± 0,4) C a	3,7 (± 0,3) AB a	2,9 (± 0,2) BC a	4,3 (± 0,8) A a
	46	2,2 (± 0,2) C a	2,7 (± 0,2) BC b	3,1 (± 0,2) AB a	3,8 (± 0,8) A ab
	92	2,4 (± 0,3) C a	2,7 (± 0,1) BC b	3,2 (± 0,4) AB a	3,6 (± 0,4) A ab
	183	2,3 (± 0,1) B a	2,2 (± 0,1) B b	3,6 (± 0,4) A a	3,6 (± 0,5) A ab
	366	2,1 (± 0,3) A a	2,1 (± 0,1) B b	2,9 (± 0,9) A a	2,9 (± 0,9) A b

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na horizontal (entre as espécies) e minúscula na vertical (dentro da espécie) não diferem entre si ao nível de 5% (Tukey).

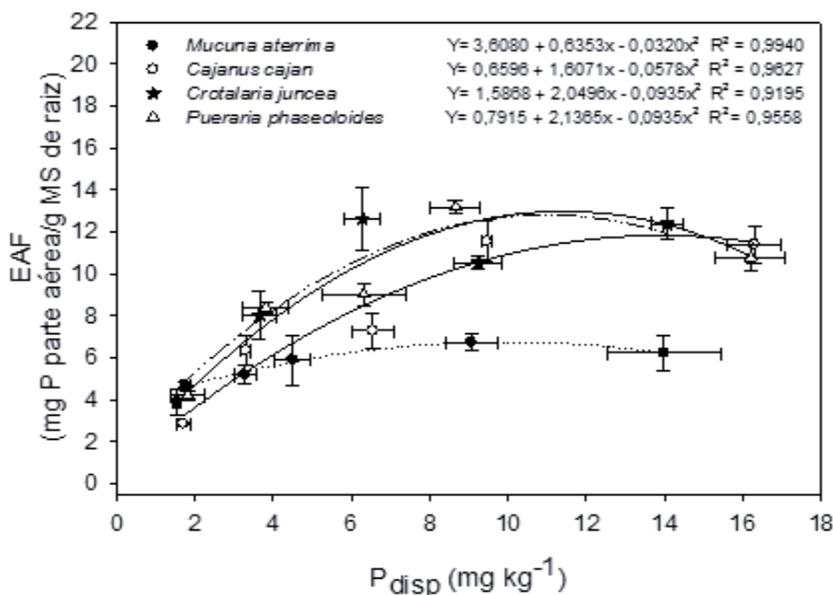


Figura 4 - Eficiência de absorção de fósforo (EAF) das leguminosas estudadas em relação à disponibilidade de fósforo no substrato.

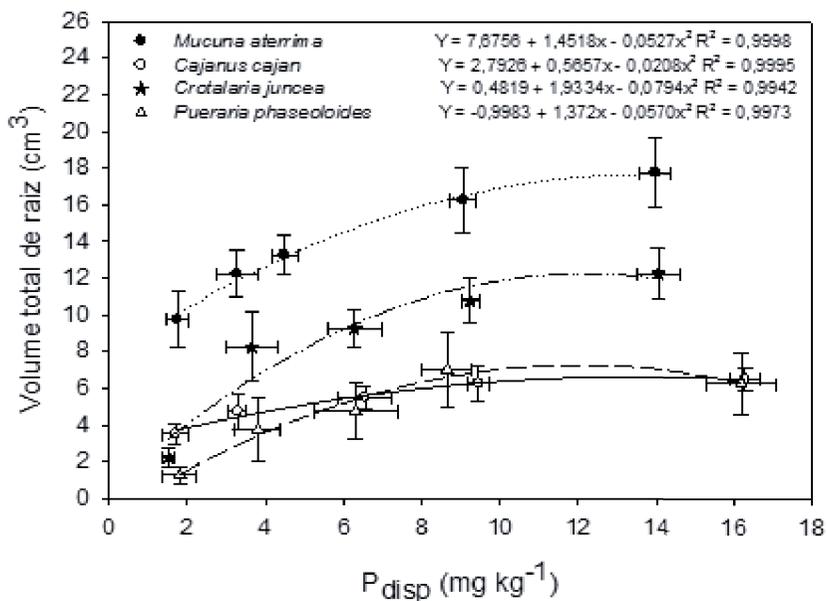


Figura 5 - Volume de raiz produzido pelas leguminosas estudadas em relação à disponibilidade de fósforo no substrato.

As raízes de guandu (*Cajanus cajan*), por exemplo, excretam ácidos piscídico, malônico e oxálico, o que parece ser o mecanismo pelo qual esta espécie é capaz de liberar o P dos fosfatos de alumínio e férrico (FERNANDES; MURAOKA, 2002). Alvarenga et al. (1995) também destacam que a *Mucuna aterrima* apresenta uma raiz pivotante bastante desuniforme e grande número de raízes secundárias com crescimento horizontal. Já as demais espécies estudadas apresentam uma raiz pivotante mais agressiva e com raízes laterais em menor quantidade. De acordo com os dados obtidos neste experimento, podemos observar que existe grande variação na produção de biomassa das espécies estudadas dependendo das condições nas quais elas crescem. Segundo Alvarenga et. al. (1995), o gênero *Crotalaria*, por exemplo, apresenta uma alta produção de biomassa, com produtividade de até 13,7 t ha⁻¹ de MS em solos com bom suprimento de nutrientes, enquanto que De-Polli e Chada (1989) obtiveram uma produção de 1,6 t ha⁻¹ de MS da *Crotalaria juncea* cultivada em solo de baixa fertilidade, onde o feijão-de-porco produziu 6 t ha⁻¹ de MS, e a mucuna preta, 4,4 t ha⁻¹ de MS.

Observou-se que as leguminosas *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* e *Pueraria phaseoloides* apresentaram os maiores teores de N nas menores doses de fosfato, diferenciando-se da *Mucuna aterrima* ($P < 0,05$) (Tabela 3). Nas três primeiras leguminosas, foi observado também um decréscimo nos teores de N ($P < 0,05$) na medida em que as plantas se

desenvolveram induzidas pelo aumento da dose de P, enquanto na *Mucuna aterrima* não foi observada diferença significativa. Foram observados aumentos crescentes dos teores de P nas leguminosas estudadas ($P < 0,05$) na medida em que aumentou a dose de adubo fosfatado. Entretanto, na ausência de adubação não foram observadas diferenças entre as espécies. Já nas doses mais elevadas, as espécies *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* e *Pueraria phaseoloides* apresentaram os maiores teores foliares de P (teores máximos de 3,9 g kg⁻¹, 4,2 g kg⁻¹ e 4,2 g kg⁻¹, respectivamente) em relação à *Mucuna aterrima* (teor máximo de 2,0 g kg⁻¹). Foi observado também uma redução dos teores de P nas espécies *Pueraria phaseoloides* e *Cajanus cajan* na dose mais elevada, o que não se observou nas demais espécies.

Observou-se na Tabela 3 que as espécies *Pueraria phaseoloides* e *Crotalaria juncea* apresentaram ($P < 0,05$) os maiores teores foliares de K (teores máximos de 14,9 g kg⁻¹ e 15,5 g kg⁻¹, respectivamente), seguidas do *Cajanus cajan* (teor máximo de 11,3 g kg⁻¹). Esses teores diminuíram com o desenvolvimento da planta. Já a *Mucuna aterrima* apresentou os teores mais baixos de K (teor máximo de 5,2 g kg⁻¹), não apresentando diferença significativa com o aumento da dosagem de P₂O₅. Observaram-se aumentos crescentes nos teores foliares de Ca em todas as leguminosas estudadas na medida em que se aumentou a adubação. Isso se deve ao fato de o fosfato natural utilizado apresentar alto teor de Ca (32%). No entanto, verificou-

se que a *Crotalaria juncea* apresentou ($P < 0,05$) os maiores teores de Ca em relação às outras espécies. Os teores foliares de Mg apresentaram um comportamento semelhante aos teores de K, onde se destacaram as espécies *Pueraria phaseoloides* e *Crotalaria juncea* com os maiores teores foliares. De modo geral, a maior absorção de Ca (*Crotalaria juncea*) e K (*Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* e *Pueraria phaseoloides*) ocorreu, provavelmente, pela maior capacidade de liberação de ácidos orgânicos pelas raízes dessas espécies e conseqüentemente maior liberação de cátions para a solução do substrato (BOLAN et al., 1997; FERNANDES; MURAOKA, 2002). Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2002) e Borkert et al. (2003), quando analisaram os teores de nutrientes na biomassa aérea de algumas espécies e cobertura de solo, inclusive as espécies *Mucuna aterrima* e *Cajanus cajan*. Foram observadas, de um modo geral, diminuições dos teores de nitrogênio nas leguminosas estudadas com o aumento da adubação com fosfato de rocha (Tabela 3). Fernandes et al. (2003), estudando as características químicas da matéria seca de adubos verdes em resposta à aplicação de calcário e ao fósforo, observaram uma diminuição dos teores foliares de N em função da calagem, enquanto que os acúmulos radiculares aumentaram. Tais resultados se justificaram pelo aumento da produção de matéria seca das raízes, principalmente nas mucunas. Com base nesses resultados, o decréscimo nos teores foliares de N observados

nas leguminosas estudadas provavelmente tenha ocorrido em decorrência do aumento de pH do substrato, causado pela grande quantidade de cálcio (Ca) contida no fosfato natural utilizado, e pela ausência de adubação nitrogenada neste experimento.

4 CONCLUSÃO

A *Mucuna aterrima* produziu mais biomassa com menor P disponível em relação às demais espécies.

As espécies *Pueraria phaseoloides*, *Crotalaria juncea* e *Cajanus cajan* acumularam mais macronutrientes na biomassa aérea e foram mais sensíveis à deficiência de fósforo. Essas espécies foram as que melhor responderam à adubação fosfatada, acumulando mais biomassa.

As espécies *Cajanus cajan* e *Pueraria phaseoloides* obtiveram as melhores taxas assimilatórias, seguidas da *Crotalaria juncea* em resposta à adubação com fosfato natural.

AGRADECIMENTOS

Ao Assistente de Pesquisa Ivanildo Alves Trindade, do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa Amazônia Oriental, pelo valioso apoio durante a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABBOUD, A. C. S. *Eficiência da adubação verde associada a fosfato natural de Patos de Minas*. 1986. 320p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1986.
- ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO; W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 30, n.2, p. 175-185, 1995
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.32, n.7/8, p.921-950, 2001.
- BARROTI, G.; NAHAS, E. População microbiana total e solubilizadora de fosfato em solo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.10, p. 2043-2050, 2000.
- BENEDETTI, T.; ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. N.; STEFFEN; R. B. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 4, n.1, p.44-51, 2005.
- BENINCASA, M. P. *Análise de crescimento de plantas (noções básicas)*. Jaboticabal: Funep, 2003. 41p.
- BOLAN, N. S.; ELLIOTT, J.; GREGG, P. E. H.; WEIL, S. Enhanced dissolution of phosphate rocks in the rhizosphere. *Biology and Fertility Soils*, v.24, p. 169-174, 1997.
- BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; PEREIRA, L. R.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.38, n.1, p.143-153, 2003.
- CARNEIRO MENDES, I. C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M.; VIVALDI, L. J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 39, n. 7, p. 661-669, 2004.
- CLARKSON, N. T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: ROSAND, P.C. (Ed.). *Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos*. Ilhéus: CEPLAC/ SBCS, 1985.
- DE-POLLI, H.; CHADA, S. S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.13, p.287-293, 1989.

- DUDA, G. P.; GUERRA, J. G. M.; MONTEIRO, M. T.; DE-POLLI, H.; TEIXEIRA, M. G. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, H, and P of the microbial biomass. *Scientia Agricola*, v.60, n.1, p.139-147, jan./mar. 2003.
- EMBRAPA. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília, DF: Embrapa Solos: Embrapa Informática Agropecuária: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. *Adubação verde: Estratégia para uma agricultura sustentável*. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1997. 20p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos,42).
- _____;_____;_____;TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S. Evaluation of perennial herbaceous legumes with different phosphorus sources and levels in a Brazilian Udisol. *Renewable Agriculture and Food System*, n.20, v.1, p.56-62, 2005a
- _____;_____;DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L.; ABBOUD, A. C. S. *Adubação verde com leguminosas*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005b. 49p.
- FAVERO, C.; JUCKSCH, I. Daninhas ou companheiras? *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.2, p. 26-27, 2000.
- _____;_____;ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, n.11, p.1355-1362, nov. 2001.
- FERNANDES, A. R.; LINHARES, L. C. F.; MORAIS, F. I. O de.; SILVA; G. R. da. Características químicas do solo, matéria seca e acumulação de minerais nas raízes de adubos verdes, em resposta ao calcário e ao fósforo. *Revista de Ciências Agrárias*, n.40, p. 45-54, 2003.
- FERNANDES, C.; MURAOKA, T. Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solos de cerrado. *Scientia Agricola*, v. 59, n. 4, p. 781-787, 2002.
- HUNT, R. *Plant growth analysis*. London: E. Artbold, 1978. 78p.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. 2.ed. São Carlos: Rima, 2000. 529p.

- MULVANEY, R. L. Nitrogen – inorganic form. In: SPARKS, D.L. et al. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods*. Madison: SSSA: ASA, 1996. p. 1123-1184. (SSSA Book.Ser.5).
- MURPHY, J., RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta*, v. 27, p. 31-36, 1962.
- NOVAIS, F. R.; SMYTH, T. J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa (MG): UFV, 1999. 399p.
- SALINAS, J. G.; GARCIA, R. *Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y forrajera*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1985. p. 83.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, v.4, n.3, p. 289-302, 1981.
- SIEVERDING, E. *Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems*. Eschborn: Technical Cooperation. Federal Republic of Germany, 1991. 371p.
- SILVA, J. A. A. da; VITTI, G. C.; STUCHI, E. S.; SEMPIONATO, O. R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranjeira-‘Pêra’. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.24, n.1, p. 225-230, 2002.
- SYSTAT Software. Sigma stat 3.5 for windows: user’s manual. S.l., 2006. 844p.