

RESPOSTAS DE LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS TROPICAIS À CALAGEM E AO FÓSFORO, EM CASA DE VEGETAÇÃO⁽¹⁾

M. M. CARVALHO⁽²⁾, O. F. SARAIVA⁽²⁾, F. T. T. OLIVEIRA⁽³⁾
& C. E. MARTINS⁽²⁾

RESUMO

Através de um ensaio conduzido em casa de vegetação no Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite (CNPGL), Coronel Pacheco, MG, estudou-se a resposta de cinco leguminosas forrageiras tropicais à aplicação de calcário e fósforo em um latossolo vermelho-amarelo álico, textura muito argilosa. Os níveis de fósforo corresponderam a 30, 60, 120, 180 e 240kg/ha de P₂O₅ e os de calcário, a 0, 1.000 e 4.000kg/ha de CaCO₃. Na ausência de calagem, o crescimento das leguminosas, exceto *Stylosanthes guianensis*, foi seriamente limitado. Esse efeito foi atribuído principalmente a deficiência de cálcio e magnésio no solo. Além disso, a acidez do solo inibiu a nodulação em todas as espécies, exceto *S. guianensis*, ocasionando deficiência de nitrogênio, o que limitou ainda mais o crescimento das plantas. Houve respostas marcantes às aplicações de calcário, exceto em *S. guianensis*, cuja resposta foi menos acentuada. No nível mais alto de calcário, o maior crescimento das leguminosas foi associado principalmente à maior disponibilidade de nitrogênio. O fósforo aumentou consideravelmente o crescimento das leguminosas, mas as respostas variaram entre espécies e com níveis de calcário. As respostas a fósforo foram reduzidas na ausência de calagem e mais acentuadas no nível mais alto do calcário.

Termos de indexação: Calagem, fósforo; leguminosas forrageiras; *Calopogonium mucunoides*, *Galactia striata*, *Macroptilium sp.*, *Centrosema pubescens* e *Stylosanthes guianensis*.

SUMMARY: RESPONSE OF TROPICAL FORAGE LEGUMES TO LIME AND PHOSPHORUS APPLICATION IN A GLASSHOUSE

A glasshouse experiment was undertaken at the Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite (CNPGL), Coronel Pacheco, State of Minas Gerais, Brazil, to study the response of five tropical legumes to lime and phosphorus application in a Red-yellow Latosol (Oxisol). Phosphorus levels corresponded to 30, 60, 120, 180, and 240kg P₂O₅ and the lime levels were 0, 1,000 and 4,000kg/ha. In the absence of lime, the top dry matter yield of all species, except *Stylosanthes guianensis*, was drastically reduced. Growth limitations were attributed mainly to Ca and Mg deficiencies in the soil. Acidity also impaired nodulation in all species, except *S. guianensis*, leading to N deficiency which further limited growth. Amongst the generally large responses to lime application, that of *S. guianensis* was again the lowest but still significant. At the highest lime rate growth response was associated mainly with improved N₂ fixation. Phosphorus application increased the dry weight of tops of all species, but the extent of the responses varied among species and with lime rates. There was a marked interaction between the responses to lime and phosphorus, with little benefit from added phosphorus except in the presence of lime; furthermore, the higher the level of lime application the greater the response to phosphorus.

Index terms: Liming, phosphorus, *Calopogonium mucunoides*, *Galactia striata*, *Macroptilium sp.*, *Centrosema pubescens* and *Stylosanthes guianensis*.

INTRODUÇÃO

O melhoramento das pastagens de capim-gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.) na Zona da Mata de Minas Gerais, entre outros fatores, depende do aumento do suprimento de nitrogênio no solo (Carvalho et al., 1985;

Saraiva et al., 1986). A introdução de leguminosas tropicais nessas pastagens parece ser a forma mais viável de fornecimento de nitrogênio, tendo em vista o elevado preço dos fertilizantes nitrogenados e o baixo potencial de produção animal nas pastagens de capim-gordura. Os solos predominantes na região são latossolos vermelho-amarelos, os quais

(1) Recebido para publicação em julho de 1987 e aprovado em junho de 1988.

(2) Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite (CNPGL) - EMBRAPA, CEP 36155, Coronel Pacheco, MG.

(3) Pesquisador da EMBRAPA em Curso de Pós-Graduação.

se caracterizam por elevada acidez e deficiência de fósforo e outros nutrientes (EMBRAPA, 1980).

Em solos ácidos, o crescimento das leguminosas e a fixação simbiótica de N_2 são afetados por vários fatores, entre os quais baixo pH e baixa concentração de cálcio na solução do solo, limitando tanto a nodulação (Munns, 1970; Andrew, 1976) como o crescimento da planta hospedeira (Andrew, 1976). Outro fator prejudicial é a toxicidade de alumínio, reduzindo o crescimento das plantas (Andrew et al., 1973) e a nodulação (Carvalho et al., 1981, Murphy et al., 1984).

O fósforo é um elemento muito importante para a nutrição das leguminosas (Andrew & Jones, 1978) e para a nodulação e fixação de N_2 (De Mooy & Pesek, 1966, Gates, 1974). Em condições de elevada acidez do solo, a disponibilidade de P para as plantas pode diminuir, devido a sua fixação por reações de adsorção e precipitação por Fe e Al (Hsu, 1965). Dessa forma, a escolha de espécies de leguminosas para serem introduzidas nas áreas dos solos ácidos em questão, deve basear-se em tolerância a fatores de acidez do solo e eficiência de utilização do P aplicado.

O objetivo do presente trabalho foi verificar a resposta de cinco leguminosas tropicais à aplicação de P em um latossolo vermelho-amarelo, álico, e o efeito de níveis de acidez do solo sobre essa resposta.

MATERIAL E MÉTODOS

No experimento, conduzido em casa de vegetação, utilizou-se um latossolo vermelho-amarelo álico, textura muito argilosa, coletado no Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite. O solo é o mesmo empregado por Carvalho et al. (1985), com as seguintes características químicas: pH em água (1:2,5), 4,80; Al-trocável, 1,36meq/100g; Ca-trocável, 0,14meq/100g; Mg-trocável, 0,07 meq/100g; K-extraível (Mehlich), 25ppm; P-extraível (Mehlich) 2ppm, e matéria orgânica, 2,8%.

Utilizou-se um delineamento em blocos ao acaso, com três repetições, em esquema fatorial com os seguintes fatores: cinco leguminosas, cinco níveis de P_2O_5 e três níveis de calcário. As leguminosas foram ecótipos das espécies *Centrosema pubescens* Benth., *Calopogonium mucunoides* Desv., *Macroptilium* sp. e *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw., existentes no Banco Ativo de Germoplasma do CNPGL e um cultivar comercial de *Galactia striata* Benth. A origem desses ecótipos e as estirpes de *Rhizobium* usadas na inoculação das sementes estão no quadro 1. Os níveis de P_2O_5 foram correspondentes a 30(P_1), 60(P_2), 120(P_3), 180(P_4) e 240(P_5)kg/ha na forma de $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$, e os de

calcário corresponderam à aplicação de 0(C_0), 1.000(C_1) e 4.000(C_2)kg/ha, usando-se uma mistura de $CaCO_3 + MgCO_3$, na relação Ca:Mg = 4:1 em equivalente. Esses níveis de calcário resultaram em percentagens de saturação por Al no solo de, respectivamente, 83, 30 e 0,5%, por ocasião do início do experimento. Adotou-se um tratamento extra (S_1), com 120kg/ha de P_2O_5 , sendo o Ca e o Mg adicionados na forma de sulfatos em quantidades correspondentes à fornecida no nível de calcário C_1 .

O solo foi coletado à profundidade de 0-15cm e passado em peneira com malhas de 2mm de diâmetro. Após a aplicação dos carbonatos e sulfatos nos tratamentos C_1 , C_2 e S_1 , o solo foi incubado com 28% de umidade. Transcorridos 85 dias de incubação, colocaram-se 3,075kg de solo com 23% de umidade em vasos de plástico, revestidos internamente com sacos de polietileno. Todos os vasos receberam uma adubação básica constituída de: 184kg/ha de K_2SO_4 (83,6kg de K e 34,2kg de S), 9kg/ha de $ZnCl_2$ (4,5kg de Zn), 6,7kg/ha de $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ (2,5kg de Cu), 6kg/ha de H_3BO_3 (1,04kg de B), 1kg/ha de $NaMoO_4 \cdot 2H_2O$ (0,38kg de Mo) e 0,404kg/ha de $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ (0,1kg de Co).

Semearam-se as leguminosas no final de setembro, após a inoculação das sementes, com o inoculante próprio (Quadro 1). Com o desbaste, deixaram-se quatro plantas por vaso. Os vasos foram irrigados, sempre que necessário, com água deionizada, para manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo, e sua casualização foi feita semanalmente.

Efetuaram-se dois cortes nas leguminosas, exceto em *S. guianensis*, que apresentou taxa de crescimento mais lenta que as demais: o primeiro, 73 dias após o plantio e, o segundo, 97 dias depois. Colheu-se o *S. guianensis* decorridos 87 dias do plantio. Mediu-se o peso da matéria seca da parte aérea e das raízes após secagem a 70°C. Na parte aérea avaliou-se a concentração de N pelo método Kjeldahl e as concentrações de Ca e Mg após digestão com a mistura de ácidos nítrico e perclórico, por espectrofotometria de absorção atômica. Essas avaliações foram feitas apenas em material do primeiro corte, pois a rebrota foi fraca nas quatro leguminosas, principalmente nos tratamentos C_0 . Para fins de avaliação da fixação de N_2 , considerou-se a concentração de N na parte aérea das leguminosas e o N total produzido. Submeteram-se os dados à análise de variância, usando-se o teste de Tukey para comparação entre médias, e efetuaram-se análises de regressão dos níveis de P sobre o peso da matéria seca da parte aérea para cada leguminosa, em cada nível de calagem.

RESULTADOS

Crescimento da parte aérea

O crescimento da parte aérea das cinco leguminosas foi influenciado positivamente tanto pela calagem como pelos níveis de fósforo. O peso da matéria seca da parte aérea aumentou significativamente com a aplicação de P, no entanto, a resposta variou entre as leguminosas e entre os níveis de calcário.

Na ausência da calagem, houve pouca resposta a P, exceto em *S. guianensis*. Além disso, a análise de regressão mostrou que, em todas as leguminosas, os dados se ajustaram melhor a um modelo do tipo $y = a + bx + c/x$ ou quadrático, indicando queda de produção de matéria seca com os níveis mais altos de P (Figura 1 e Quadro 2).

Quadro 1. Leguminosas comparadas no experimento, sua origem e estirpes de *Rhizobium* usadas

Espécie	Origem	Inoculante
<i>Centrosema pubescens</i>	S.E.A./km 47	C101a + C102
<i>Calopogonium mucunoides</i>	MG - 129-73 ⁽¹⁾	CM-7
<i>Galactia striata</i>	Comercial	SMS2 + SMS11
<i>Macroptilium</i> sp.	MG - 013-73 ⁽¹⁾	CB-756
<i>Stylosanthes guianensis</i>	S.E.A./km 47	Br 23a + H-8

⁽¹⁾ Número de introdução da EPAMIG.

A calagem contribuiu para melhorar a eficiência do P aplicado. Assim, com a aplicação do nível C₁, houve resposta moderada a P por todas as leguminosas, enquanto na

dose C₂ verificou-se um acréscimo marcante no peso da matéria seca das leguminosas, sendo que em três espécies esse acréscimo foi linear (Figura 1 e Quadro 2).

Em geral, a aplicação dos níveis crescentes de calcário contribuiu para elevar o peso da matéria seca da parte aérea das leguminosas (Quadro 6). A exceção foi o *S. guianensis*, que respondeu apenas quando o nível de calcário foi elevado de 0 para 4.000kg/ha. Essa leguminosa teve, no nível C₀, crescimento da parte aérea comparável ao nível C₁ das leguminosas *C. mucunoides*, *C. pubescens* e *Macroptilium* sp., confirmando assim sua maior adaptação a condições de acidez do solo.

Nodulação e fixação de nitrogênio

Na ausência da calagem, as leguminosas *C. pubescens*, *Macroptilium* sp. e *G. striata* não nodularam. O *C. mucunoides* teve nodulação inexpressiva, enquanto a *S. guianensis* nodulou tão bem quanto no tratamento C₁. Todas as leguminosas nodularam nos tratamentos C₁ e C₂. A concentração de N na parte aérea das leguminosas e o N total produzido encontram-se no quadro 3. Como o crescimento da maioria das leguminosas no nível C₀ foi muito baixo, não foi possível determinar o N em todas as repetições. Portanto, a comparação feita no quadro 3 refere-se aos níveis C₁ e C₂.

A concentração de N na parte aérea das leguminosas foi, em geral, mais alta nos níveis mais baixos de P₂O₅. Entretanto, no nível C₁ as reduções observadas com os níveis de P₂O₅ não foram significativas. Ao contrário, no nível C₂ essas reduções foram acentuadas, exceto em *S. guianensis*. O N total no nível C₁ não foi afetado pelos níveis crescentes de P₂O₅, exceto em *C. pubescens* (Quadro 3). No nível C₂, os níveis de P₂O₅ tiveram efeito variável entre as leguminosas, mas em geral aumentaram o N total produzido.

Apesar do efeito de diluição verificado, devido ao crescimento em geral maior no nível C₂ (Figura 1), a aplicação de 4.000kg/ha de calcário aumentou significativamente a concentração de N na parte aérea em relação ao nível C₁ (Quadro 3).

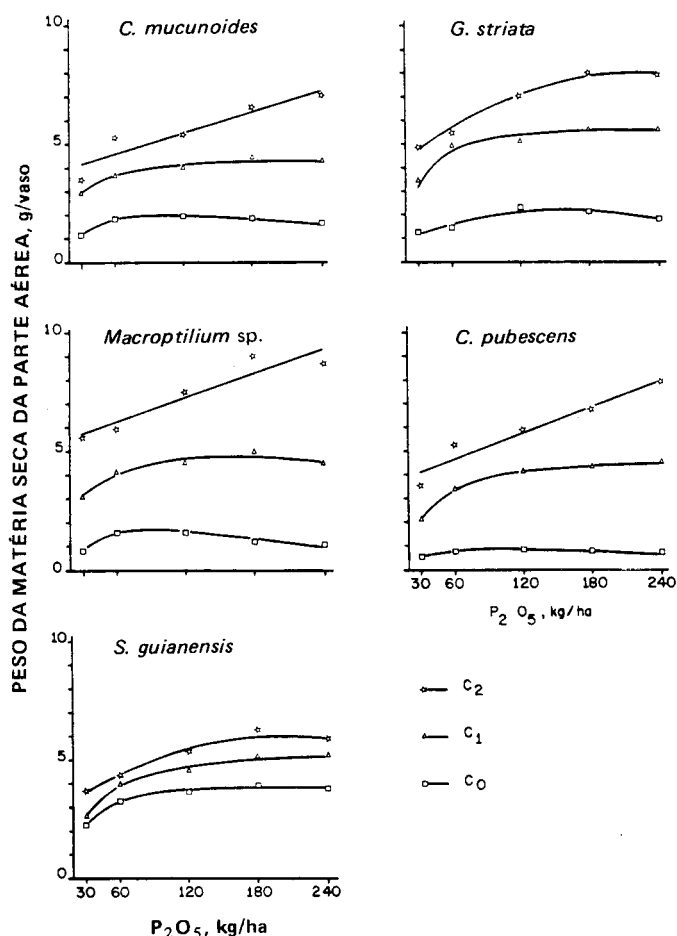


Figura 1. Efeito de três níveis de calcário e cinco níveis de fósforo sobre o peso da matéria seca da parte aérea de cinco leguminosas cultivadas sobre um latossolo vermelho-amarelo álico.

Quadro 2. Equações de regressão dos níveis de fósforo sobre o peso da matéria seca da parte aérea das leguminosas em cada nível de calcário

Leguminosa	Nível de calcário	R ²	Equação de regressão
<i>C. mucunoides</i>	C ₀	0,99	Y = 2,8325 - 0,00403X - 46,71/X
	C ₁	0,97	Y = 4,3344 + 0,00109X - 42,87/X
	C ₂	0,87	Y = 3,6912 + 0,0149X
<i>G. striata</i>	C ₀	0,92	Y = 0,6034 + 0,02063X - 0,0000654X ²
	C ₁	0,96	Y = 5,9931 - 0,00035X - 74,09/X
	C ₂	0,98	Y = 3,6744 + 0,03911X - 0,000088X ²
<i>Macroptilium</i> sp.	C ₀	0,92	Y = 2,8844 - 0,00697X - 55,36/X
	C ₁	0,95	Y = -0,3798 - 0,03214X + 0,8151X ^{0,5}
	C ₂	0,88	Y = 5,1662 + 0,01714X
<i>C. pubescens</i>	C ₀	0,97	Y = 1,1623 - 0,00145X - 17,58/X
	C ₁	0,99	Y = 4,6238 + 0,00092X - 76,14/X
	C ₂	0,93	Y = 3,5558 + 0,01837X
<i>S. guianensis</i>	C ₀	0,99	Y = 4,3235 - 0,00087X - 61,31/X
	C ₁	0,99	Y = 5,0611 + 0,00196X - 75,32/X
	C ₂	0,98	Y = 2,6970 + 0,03280X - 0,0000801X ²

Quadro 3. Concentrações de N e N-total na parte aérea de cinco leguminosas sob efeito de dois níveis de calcário e cinco níveis de fósforo em um latossolo vermelho-amarelo

Calcário	P ₂ O ₅	<i>C. mucunoides</i>		<i>G. striata</i>		<i>Macroptilium sp.</i>		<i>C. pubescens</i>		<i>S. guianensis</i>	
		N	N-total	N	N-total	N	N-total	N	N-total	N	N-total
kg/ha		%	mg/vaso	%	mg/vaso	%	mg/vaso	%	mg/vaso	%	mg/vaso
1.000	30	1,79	47,4	1,47	42,6	1,36	34,5	2,09	41,4	2,02	51,7
	60	1,69	58,2	1,38	59,1	1,00	35,2	1,72	53,8	1,61	63,7
	120	1,72	63,8	1,27	56,0	0,96	36,0	1,41	51,4	1,51	69,1
	180	1,69	67,9	1,57	75,3	0,81	33,7	2,07	81,8	1,50	76,5
	240	1,78	69,2	1,48	73,2	0,86	32,6	1,41	56,8	1,59	82,0
4.000	30	3,20	107,1	2,91	102,4	2,98	108,7	3,25	79,8	2,79	100,3
	60	2,76	125,1	2,81	114,9	2,73	111,6	3,10	116,9	2,70	113,2
	120	2,77	133,4	2,31	133,3	2,12	119,9	2,93	129,5	2,69	143,2
	180	2,48	142,0	1,99	132,3	1,98	149,8	1,94	101,4	2,57	159,0
	240	2,34	143,6	2,03	135,0	2,03	146,2	2,12	133,2	2,62	136,6
DMS ⁽¹⁾		0,77	35,2	0,77	35,2	0,77	35,2	0,77	35,2	0,77	35,2
1.000 ⁽²⁾		1,59	65,1	1,43	67,8	0,90	39,5	1,50	56,3	1,54	83,8

(¹) Teste de Tukey a 5%. (²) Ca + Mg na forma de sulfato (S₁).

DISCUSSÃO

Limitações ao crescimento das leguminosas na ausência da calagem

Na ausência da calagem, o crescimento das leguminosas foi seriamente limitado, exceto no caso de *S. guianensis* (Figura 1). Diversos fatores de acidez do solo podem estar associados a essa limitação. As deficiências de Ca e Mg, reveladas pela análise química do solo (0,14 e 0,07meq/100g respectivamente) e ao final do experimento (Quadro 4), foram confirmadas pelas baixas concentrações desses elementos na parte aérea das leguminosas (Quadro 5) e pela observação de sintomas de deficiência de Ca nas folhas, no tratamento C₀. As concentrações de Ca na parte aérea variaram de 0,16% (*G. striata*) a 0,33% (*S. guianensis*) (Quadro 5). Tais concentrações são comparáveis àquelas relacionadas com deficiência de Ca, observadas em experi-

mentos destinados ao desenvolvimento de sintomas visuais de deficiências nutricionais, entre as quais 0,20% em *D. intortum* (Andrew & Pieters, 1972a) e 0,50% em *M. atropurpurem* cv. Siratro (Andrew & Pieters, 1972b). As concentrações de Mg na parte aérea das leguminosas (Quadro 5) são também comparáveis e, em alguns casos, até inferiores àquelas observadas em plantas deficientes em Mg, pelos mesmos autores. Além disso, verificaram-se nas folhas medianas e basais sintomas de deficiência de Ca.

Quadro 4. Efeito de três níveis de calcário aplicados a um latossolo vermelho-amarelo sobre alguns parâmetros químicos do solo ao final do período de crescimento das plantas

Níveis de calcário	pH em H ₂ O	P	Cátions trocáveis			Saturação por Al
			Ca	Mg	Al	
kg/ha		ppm	meq/100g			%
0	4,4a	4,5a	0,1a	0,1a	1,8a	90,0a
1.000	4,8b	4,3a	0,8b	0,5b	0,9b	40,5b
4.000	5,9c	3,8b	2,6c	2,0c	0,2c	3,1c
DMS ⁽¹⁾	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	7,1
1.000 ⁽²⁾	4,4	4,7	0,6	0,1	1,7	69,7

(¹) Teste de Tukey a 5%. (²) Ca + Mg na forma de sulfato, em quantidade correspondente a 1.000kg de calcário/hectare.

Quadro 5. Efeito de três níveis de calcário sobre as concentrações de Ca e Mg na parte aérea de quatro leguminosas

Leguminosa	Calcário	Ca		Mg
		kg/ha	%	
<i>C. mucunoides</i>	0		0,25c ⁽¹⁾	0,09c
	1.000		1,02b	0,32b
	4.000		1,45a	0,55a
<i>G. striata</i>	0		0,16c	0,08b
	1.000		1,01b	0,19ab
	4.000		1,53a	0,35a
<i>Macroptilium sp.</i>	0		0,22c	0,09c
	1.000		0,95b	0,33b
	4.000		1,35a	0,63a
<i>S. guianensis</i>	0		0,33c	0,07b
	1.000		1,38b	0,35a
	4.000		1,90a	0,45a

(¹) Médias, dentro da mesma leguminosa, seguidas da mesma letra, não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

Além da baixa disponibilidade de Ca e Mg no solo sem calagem, as altas concentrações de H^+ e Al^{3+} podem ter contribuído para reduzir ainda mais a absorção desses elementos pelas plantas. É bem conhecido o efeito do baixo pH, reduzindo a absorção de Ca (Maas, 1969) e de Mg (Maas & Ogata, 1971). Teores tóxicos de Al^{3+} na solução de solo também contribuem para reduzir a absorção de Ca e Mg (Foy & Fleming, 1978).

O efeito da deficiência de Ca e Mg limitando o crescimento das leguminosas na ausência da calagem pode ser ainda comprovado pelo acréscimo significativo, em geral verificado no peso da matéria seca da parte aérea e raízes, quando esses elementos foram adicionados ao solo na forma de sulfato (Quadro 6). Em todos os casos, o peso da matéria seca da parte aérea nesse tratamento (S_1) foi superior ao tratamento C_0 e, exceto em *S. guianensis*, semelhante ao do tratamento C_1 , que recebeu o mesmo nível de Ca e Mg na forma de carbonato. O crescimento da parte aérea do *S. guianensis* em S_1 não diferiu significativamente do tratamento C_2 (Quadro 6). A análise química do solo coletado ao final do experimento (Quadro 4) mostrou que os valores de pH e Al-trocável foram semelhantes entre os tratamentos C_0 e S_1 , enquanto o Ca-trocável do tratamento S_1 ficou mais próximo de C_1 . Quanto ao Mg-trocável, a análise química do solo não revelou muita diferença entre os níveis de S_1 e C_0 (Quadro 4). As concentrações médias de Ca e Mg na parte aérea das plantas do tratamento S_1 foram 0,97 e 0,22%, 0,97 e 0,17%, 0,84 e 0,23% e 0,98 e 0,27%, respectivamente em *C. mucunoides*, *G. striata*, *Macroptilium* sp. e *S. guianensis*, valores esses comparáveis aos obtidos no tratamento C_1 (Quadro 4). Apesar desses resultados (Quadro 6), indicando que deficiências de Ca e provavelmente de Mg limitaram o crescimento das leguminosas no solo não corrigido, existe ainda a possibilidade de que algum efeito tóxico devido a Al possa ter sido minorado com a redução na saturação por Al na CTC efetiva, de 90 para 70%, devido à aplicação dos sulfatos de Ca e Mg ao solo (tratamento S_1).

Na ausência da calagem, aparentemente ainda houve uma limitação ao crescimento das leguminosas por deficiência de nitrogênio. Nas condições do solo não corrigido, a nodulação foi inibida em todas as leguminosas, exceto em *S. guianensis*, onde foi comparável à do nível C_1 . Esse fato

explica, pelo menos em parte, o melhor desempenho dessa espécie em relação às demais (Figura 1). A inibição da nodulação nas quatro leguminosas poderia estar relacionada, entre outros fatores, com o baixo pH do solo e alto teor de Al-trocável (Quadro 4). Alta concentração de H^+ na solução do solo pode inibir a nodulação de leguminosas, mas seu efeito varia consideravelmente entre espécies (Andrew, 1976). Em solos ácidos, a nodulação das leguminosas é também inibida ou reduzida pela presença de Al na solução do solo (Carvalho et al., 1981, Murphy et al., 1984). Esse efeito varia entre espécies e com a concentração de Al. No presente caso, não foi medida a concentração de Al na solução do solo, mas o baixo pH e a alta saturação por Al sugerem que esse fator possa ter contribuído para a inibição da nodulação das leguminosas. O Ca exerce uma influência muito grande sobre o processo de nodulação das leguminosas e interage com o pH, tanto na infecção das raízes como na formação de nódulos (Munns, 1978), sendo que a combinação de baixo pH e baixa concentração de Ca pode ter efeitos adversos na nodulação, dependendo da espécie de leguminosa (Munns, 1970, Andrew, 1976). No presente experimento, a baixa concentração de Ca no solo parece ter contribuído marcadamente para inibir a nodulação das leguminosas, na medida em que a aplicação de Ca e Mg na forma de sulfato permitiu a nodulação em todas as leguminosas.

Resposta das leguminosas à calagem

À exceção do *S. guianensis*, todas as leguminosas responderam acentuadamente a cada incremento de calcário (Quadro 6). Respostas de leguminosas forrageiras tropicais à calagem, em solos ácidos, têm sido obtidas em experimentos conduzidos em várias regiões (Jones & Freitas, 1970; Spain et al., 1975; Snyder et al., 1978); tais respostas variam entre espécies (Munns & Fox, 1977) mas também para uma mesma espécie com as características químicas do solo (Freitas & Pratt, 1969).

O aumento no peso da matéria seca da parte aérea das leguminosas, verificado entre os níveis de C_1 e C_2 , parece estar associado à maior fixação de N_2 , conforme indicado pela concentração de N na parte aérea (Quadro 3). Resposta à calagem por leguminosa devido ao estímulo na fixação de N_2 foi observada também por Munns et al. (1977) e por

Quadro 6. Efeito da calagem e do suprimento de Ca + Mg a um latossolo vermelho-amarelo sobre o peso da matéria seca da parte aérea e das raízes de cinco leguminosas tropicais⁽¹⁾

Calcário	<i>Calopogonium mucunoides</i>	<i>Galactia striata</i>	<i>Macroptilium</i> sp.	<i>Centrosema pubescens</i>	<i>Stylosanthes guianenses</i>
kg/ha			Parte aérea (g/vaso)		
0	1,94c ⁽²⁾	2,28c	1,54c	0,86c	3,67b
1.000	4,01b	5,05b	4,50b	4,18b	4,57b
1.000 ⁽³⁾	4,39b	5,30b	4,91b	4,19b	5,44a
4.000	5,43a	7,06a	7,49a	5,90a	5,33a
			Raízes (g/vaso)		
0	0,41b	0,35b	0,44c	0,22b	0,92a
1.000	1,23a	0,67ab	1,78a	0,80a	1,12a
1.000 ⁽³⁾	1,06a	0,67ab	1,29b	0,88a	1,21a
4.000	1,27a	0,82a	1,85a	1,03a	1,00a

⁽¹⁾ Dados referentes ao nível de 120kg de P_2O_5 /hectare. ⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%. ⁽³⁾ Ca + Mg fornecidos como sulfato, em nível correspondente a 1.000kg de calcário/hectare.

Sanzonowicz & Vargas (1980). Munns et al. (1977) aplicaram níveis de CaCO_3 variáveis de 0 a 22t/ha em um solo ácido do Havaí, para estudar as respostas de dezoito leguminosas à calagem, verificando que na maioria dos casos a calagem aumentou a nodulação e o teor de N nas plantas.

No presente experimento, as baixas concentrações de N na parte aérea no nível C_1 sugerem que nesse tratamento os nódulos formados foram ineficientes (Quadro 3). A aplicação de 4.000kg/ha de calcário produziu alterações químicas no solo, permitindo fixação de N_2 suficiente para aumentar significativamente a concentração de N e a produção de matéria seca da parte aérea. Portanto, apesar de todas as plantas das cinco espécies terem nodulado no nível C_1 , algum fator limitou a fixação de N_2 nesse tratamento. O pH do solo ao final do experimento aumentou de 4,84 para 5,88 do nível C_1 para o C_2 (Quadro 4). Essa diferença de pH pode ter contribuído para aumentar a fixação de N_2 no tratamento C_2 . Andrew & Johnson (1976), estudando o efeito de pH sobre a composição química de um grupo de leguminosas tropicais e temperadas, verificaram que em plantas noduladas o aumento do pH elevou a concentração de N na maioria das espécies. Essa elevação na concentração de N coincidiu com aumentos no crescimento relativo dessas espécies (Andrew, 1976).

O Ca-trocável aumentou de 0,79 para 2,62meq/100g de C_1 para C_2 (Quadro 4), no entanto, não há evidências que comprovem que esse aumento na disponibilidade de Ca no solo tenha beneficiado a fixação de N_2 ou o crescimento da planta hospedeira. O nível crítico interno de Ca para diversas leguminosas tropicais, segundo pesquisa do Centro Internacional de Agricultura Tropical (1982) variou entre espécies e entre ecótipos de uma mesma espécie. Assim, o nível crítico para o período chuvoso variou entre ecótipos de *S. capitata* de 0,70 a 1,30%, enquanto o de *C. pubescens* foi 0,98%. Esses valores estão dentro dos limites das concentrações de Ca na parte aérea obtidas no tratamento C_1 do presente experimento (Quadro 5), o que poderia sugerir que os níveis de Ca no solo, no tratamento C_1 , estavam adequados.

A aplicação do nível C_2 reduziu a percentagem de saturação por Al no solo de 40,5 para 3,1% (Quadro 4), condição que pode ter beneficiado tanto o crescimento das leguminosas quanto a nodulação. No entanto, novamente não há evidências que comprovem o envolvimento direto de toxicidade de Al limitando o crescimento das plantas ou a fixação de N_2 no nível C_1 .

Resposta das leguminosas a fósforo

Os dados indicam que a eficiência do P aplicado aumentou com os níveis crescentes de calcário (Figura 1 e Quadro 2). As interações da calagem com o P podem refletir efeitos diretos da calagem sobre a disponibilidade de P no solo e, indiretos, sobre vários fatores que afetam o crescimento das plantas. Os resultados de pesquisa sobre efeito da calagem na disponibilidade de P em solos ácidos são controversos, segundo Haynes (1982): esse autor chamou a atenção para o fato de que ao mesmo tempo que o aumento do pH pela calagem pode reduzir a adsorção de P no solo, novas superfícies de adsorção são criadas quando os íons de Al^{3+} precipitam como polímeros catiônicos de hidróxi-Al. No presente caso, não se dispõe de evidências sobre o efeito da calagem aumentando a disponibilidade de P no solo. É possível, no entanto, que, na ausência da

calagem, a disponibilidade de P para as plantas tenha sido afetada pela presença de níveis elevados de Al-trocável no solo. Uma das características de toxicidade de Al é a redução na absorção e translocação de P pelas plantas (Foy & Fleming, 1978). Contudo, a calagem parece ter exercido efeitos indiretos sobre a resposta das leguminosas a P. Assim, na ausência da calagem, essa resposta pode ter sido limitada pelas deficiências de Ca, Mg, N e outros fatores que impediram o crescimento das plantas.

O efeito da calagem, aumentando a resposta a P, em leguminosas, foi observado também por Snyder et al. (1978) em um experimento de campo conduzido na Flórida, no qual foram incluídas as leguminosas *C. pubescens* e *S. guianensis*. O Ca, além de haver favorecido o crescimento das leguminosas nos níveis de C_1 e C_2 , pode ter propiciado maior absorção de P. Robson et al. (1970) verificaram que o Ca promoveu um estímulo na absorção de P por leguminosas de clima temperado. Aparentemente, esse efeito se deve a um aumento na permeabilidade da membrana celular aos íons H_2PO_4^- (Andrew & Johansen, 1978).

Maior resposta a P foi obtida no nível C_2 de calagem, quando, inclusive, houve um acréscimo linear no peso da matéria seca da parte aérea das leguminosas *C. mucunoides*, *Macroptilium* sp. e *C. pubescens* (Figura 1 e Quadro 2), indicando que, sem outros fatores limitando o crescimento, essas leguminosas responderiam a níveis mais altos de P. Nesse nível de calagem, o maior suprimento de N devido ao aumento na fixação de N_2 deve ter concorrido para aumentar a resposta a P pelas leguminosas.

CONCLUSÕES

1. As limitações ao crescimento das leguminosas, observadas na ausência da calagem, foram atribuídas principalmente a deficiências de Ca, Mg e N. A leguminosa mais tolerante às condições de acidez do solo foi a *S. guianensis*, sendo a única espécie que nodulou bem no solo sem calagem.
2. O efeito benéfico da calagem sobre o crescimento das leguminosas esteve associado principalmente ao aumento na disponibilidade de Ca e Mg para as plantas e à maior fixação simbiótica de N_2 .
3. A aplicação de fósforo aumentou o crescimento das leguminosas, mas a resposta variou entre espécies e com os níveis de calcário.
4. A eficiência do fósforo aplicado aumentou com os níveis crescentes de calcário.

LITERATURA CITADA

- ANDREW, C.S. Effect of calcium, pH and nitrogen on the growth and chemical composition of some tropical and temperate legumes. I. Nodulation and growth. Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 27:611-623, 1976.
- ANDREW, C.S. & JOHANSEN, C. Differences between pastures species in their requirements for nitrogen and phosphorus. In: WILSON, J.R., ed. Plant relations in pasture. Melbourne, CSIRO, 1978. p.111-127.
- ANDREW, C.S. & JOHNSON, A.D. Effect of calcium, pH and nitrogen on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. II. Chemical composition

- (calcium, nitrogen, potassium, magnesium, sodium, and phosphorus). Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 27:625-636, 1976.
- ANDREW, C.S.; JOHNSON, A.D. & SANDLAND, R.L. Effect of aluminium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 24:325-339, 1973.
- ANDREW, C.S. & JONES, R.K. The phosphorus nutrition of tropical forage legumes. In: ANDREW, C.S. & KAMPRATH, E.J., ed. Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. Melbourne, CSIRO, 1978. p.295-311.
- ANDREW, C.S. & PIETERS, W.H.J. Foliar symptoms of mineral disorders in *Desmodium intortum*. Melbourne, CSIRO, 1972a. 14p. (CSIRO Div. Trop. Pastures Tech. Paper, 10)
- ANDREW, C.S. & PIETERS, W.H.J. Foliar symptoms of mineral disorders in *Phaseolus atropurpureus*. Melbourne, CSIRO, 1972b. 13p. (CSIRO Div. Trop. Pastures Tech. Paper, 11)
- CARVALHO, M.M.; EDWARDS, D.G.; ANDREW, C.S. & ASHER, C.J. Aluminium toxicity, nodulation, and growth of *Stylosanthes* species. Agron. J., Madison, 73:261-265, 1981.
- CARVALHO, M.M.; OLIVEIRA, F.T.T.; SARAIVA, O.F. & MARTINS, C.E. Fatores nutricionais limitantes ao crescimento de forrageiras tropicais em dois solos da Zona da Mata, MG. I. Latossolo Vermelho-Amarelo. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 20:519-528, 1985.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Informe anual, 1981: programa de pastos tropicales. Cali, 1982. 302p.
- DE MOOY, C.J. & PESEK, J. Nodulation responses of soybeans to added phosphorus, potassium, and calcium salts. Agron. J., Madison, 58:275-280, 1966.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. Levantamento semidelhado de solos da área do Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite, Coronel Pacheco, MG. Rio de Janeiro, 1980. 252p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 76)
- FREITAS, L.M.M. & PRATT, P.F. Resposta de três leguminosas a calcário em diversos solos ácidos de São Paulo. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 4:89-95, 1969.
- FOY, C.D. & FLEMING, A.L. The physiology of plant tolerance to excess available aluminium and manganese in acid soils. In: JUNG, G.A., ed. Crop tolerance to suboptimal land conditions. Madison, American Society of Agronomy, 1978. p.301-328.
- GATES, C.T. Nodule and plant development in *Stylosanthes humilis* HBK: symbiotic response to phosphorus and sulphur. Aust. J. Bot., Victoria, 22:45-55, 1974.
- HAYNES, R.J. Effects of liming on phosphate availability in acid soils. Pl. Soil, The Hague, 68:289-308, 1982.
- HSU, P.H. Fixation of phosphate by aluminium and iron in acidic soils. Soil Sci., Baltimore, 99:398-402, 1965.
- JONES, M.B. & FREITAS, L.M.M. Respostas de quatro leguminosas tropicais a fósforo, potássio e calcário num Latossolo Vermelho-Amarelo de Campo Cerrado. Pesq. Agropec. Bras., Rio de Janeiro, 5:91-99, 1970.
- MAAS, E.V. Calcium uptake by excised maize roots and interactions with alkali cations. Plant. Physiol., Lancaster, 44:985-989, 1969.
- MAAS, E.V. & OGATA, G. Absorption of magnesium and chloride by excised corn roots. Plant. Physiol., Lancaster, 47:357-360, 1971.
- MUNNS, D.N. Nodulation of *Medicago sativa* in solution culture. V. Calcium and pH requirements during infections. Pl. Soil, The Hague, 32:90-102, 1970.
- MUNNS, D.N. Soil acidity and nodulation. In: ANDREW, C.S. & KAMPRATH, E.J., ed. Mineral nutrition of legumes in tropical and sub-tropical soils. Melbourne, CSIRO, 1978. p.247-263.
- MUNNS, D.N. & FOX, R.L. Comparative lime requirements of tropical and temperate legumes. Pl. Soil, The Hague, 46:533-548, 1977.
- MUNNS, D.N.; FOX, R.L. & KOCH, B.L. Influence of lime on nitrogen fixation by tropical and temperate legumes. Pl. Soil, The Hague, 46:591-601, 1977.
- MURPHY, H.E.; EDWARDS, D.G. & ASHER, C.J. Effects of aluminium on nodulation and early growth of four tropical pasture legumes. Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 35:663-673, 1984.
- ROBSON, A.D.; EDWARDS, D.G. & LONERAGAN, J.F. Calcium stimulation of phosphate absorption by annual legumes. Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 21:601-612, 1970.
- SANZONOWICZ, C. & VARGAS, A.A.T. Efeito do calcário e do potássio na produção e na composição química de *Stylosanthes guianensis* em um Latossolo Vermelho-Amarelo de Cerrado. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 4:165-169, 1980.
- SARAIVA, O.F.; CARVALHO, M.M.; OLIVEIRA, F.T.T. & MARTINS, C.E. Fatores nutricionais limitantes ao crescimento de forrageiras tropicais em dois solos da Zona da Mata, MG. II. Podzólico Vermelho-Amarelo. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 21:709-714, 1986.
- SNYDER, G.H.; KRETSCHMER, A.E. & SARTAIN, J.B. Field response of four tropical legumes to lime and superphosphate. Agron. J., Madison, 70:269-273, 1978.
- SPAIN, J.M.; FRANCIS, C.A.; HOWELER, R.H. & CALVO, F. Differential species and varietal tolerance to soil acidity in tropical crops and pasture. In: BORNEMISZA, E. & ALVARADO, A. Soil management in tropical America. Raleigh, North Carolina State Univ., 1975. p.308-329.