

RESPOSTA DE VARIEDADES DE SOJA A DIFERENTES NÍVEIS DE FÓSFORO E SATURAÇÃO DE ALUMÍNIO^{1/}

Antônio Costa^{2/}
José Mário Braga^{3/}

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja, que, em 1969, ocupava área inferior a 907.000 ha, expandiu-se, atingindo, em 1980, 8.764.000 ha. Essa rápida expansão foi acompanhada pelo acréscimo do rendimento e produção total da cultura em todo o Brasil e na maioria dos Estados.

Atualmente, a expansão da cultura tem sido feita com o aproveitamento de áreas de cerrado, que são planas, o que facilita o emprego de maquinaria. Apesar dessa aceitável característica, os baixos teores de fósforo e o elevado percentual de alumínio no complexo sortivo do solo com vegetação de cerrado encarecem o cultivo da soja, em razão da grande necessidade de fertilizantes e corretivos. Um recurso para corrigir essa situação seria a utilização de variedades tolerantes ao alumínio e adaptadas a baixos níveis de fósforo no solo.

Dos fertilizantes usados, as fontes de fósforo são as que mais têm sido empregadas, e os dados de pesquisa comprovam o aumento da produção de soja com a aplicação desse nutriente (3, 14, 15, 18).

A sensibilidade da soja ao alumínio tem sido estudada tanto em solução nutritiva como no solo (17), em casa de vegetação, assim como em trabalhos de campo (6), e MUZILLI *et alii* (13) e CORDEIRO *et alii* (4) classificaram algumas variedades de soja em quatro categorias, quanto à tolerância ao alumínio (Quadro 2).

Para as várias culturas, a tolerância ao alumínio parece estar relacionada com a capacidade das plantas para absorver e translocar o fósforo mesmo na presença de altos teores de alumínio, capacidade que pode estar ligada à variação ge-

^{1/} Recebido para publicação em 11-5-1984.

^{2/} IAPAR — Rodovia Celso Garcia KIDI, Km 375. 86100 Londrina, PR.

^{3/} Departamento de Solos da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

nética das espécies e, mesmo, de cultivares dentro de uma mesma espécie (2, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 16, 18).

Foi objetivo deste trabalho estudar a interação de cultivares de soja, porcentagem de saturação de alumínio no solo e doses de fósforo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo álico, textura argilosa, da região de Viçosa, coletadas até a profundidade de 20 cm. O material coletado foi homogeneizado e amostrado para análises químicas (Quadro 1).

Os tratamentos formaram um fatorial 3x3x4 (três níveis de saturação de alumínio, três doses de fósforo e quatro variedades de soja) e foram dispostos no delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

QUADRO 1 - Resultados das análises químicas da amostra do Latossolo Vermelho-Amarelo com 57% de argila^{1/}

pH	P	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Saturação de Al ³⁺
	ppm	meq/cm ³ de solo				%
4,8	3	0,9	0,3	0,1	0,13	62,9

^{1/} Análises realizadas no Laboratório de Fertilidade de Solo da UFV (5).

Os níveis de saturação de alumínio foram determinados mediante a incubação de amostras do solo com seis doses de carbonato de cálcio (10), misturas que foram acondicionadas em sacos plásticos e permaneceram em repouso por quinze dias, com a umidade mantida na capacidade de campo. Depois desse período, essas amostras foram analisadas, e quantidades equivalentes a 1100, 750 e 0 kg de carbonato de cálcio/ha foram tidas como suficientes para que se atingissem, aproximadamente, os níveis de 5, 25 e 50% de saturação de alumínio no solo.

As doses de fósforo foram de 630, 315 e 0 kg de P/ha, quantidades suficientes para atingir 1/2, 1/4 e 0 vez a capacidade máxima de adsorção de fósforo do solo utilizado. A fonte do elemento foi o superfosfato triplo em pó.

As variedades de soja estudadas foram 'Andrews', 'Bragg', 'Santa Rosa' e 'UFV-1'. A escolha dessas variedades foi feita para que se tivesse uma representante das classes de tolerância ao alumínio definidas no Quadro 2.

A instalação do ensaio teve início com a mistura das amostras de solo com carbonato de cálcio e superfosfato triplo, nas doses mencionadas anteriormente, e ainda 25 ppm de N, como nitrato de amônio, 40 ppm de K, como cloreto de potássio, 30 ppm de Mg, como cloreto de magnésio, e uma solução de micronutrientes, nas doses descritas por ALVARES V. (1). As misturas correspondentes aos vários tratamentos foram deixadas em repouso durante 12 dias. Durante esse tempo, adicionava-se, periodicamente, água suficiente para manter o teor de umidade do solo em torno de 80% da capacidade de campo.

QUADRO 2 - Caracterização da tolerância de cultivares de soja à acidez do solo^{1/}

Grau de tolerância	Saturação de Al (%)	Cultivares
Muito sensível	10	Andrews, Cobb
Sensível	11 a 15	Flórida, Bragg, Prata
Mediamente sensível	16 a 20	Sant'Ana, Hutton, Planalto, Pérola, Santa Rosa.
Tolerante	21 a 25	UFV-1, Viçoja, S. Luiz, Bossier.

^{1/} Segundo MUZILLI *et alii* (13) e CORDEIRO *et alii* (4).

Logo depois, as misturas foram acondicionadas em vasos com capacidade para 1,8 dm³ de solo, semeando-se seis sementes de soja por vaso. Uma semana depois da emergência das plântulas, efetuou-se um desbaste, deixando-se duas plântulas por vaso. Durante o período do ensaio foi feita a irrigação dos vasos, procurando-se manter o teor de umidade do solo em torno de 80% da capacidade de campo.

O ensaio foi encerrado 35 dias após a semeadura, com a colheita, separadamente, da parte aérea e das raízes. O material vegetal foi acondicionado, individualmente, em sacos de papel e, em seguida, secado, pesado, moído e analisado quanto a fósforo.

Presumiu-se, como MIRANDA e LOBATO (12), que 80% da maior produção obtida de matéria seca da parte aérea e raízes de cada variedade (Quadro 4) seriam um rendimento satisfatório e efetuou-se a discussão de resultados com base nesse valor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 3 podem-se observar as análises químicas do solo, realizadas após a colheita do experimento, e as alterações resultantes da aplicação dos tratamentos. Para o mesmo nível de calcário, a elevação das doses de fósforo propiciou uma redução na saturação de alumínio, graças ao fornecimento de cálcio pelo superfosfato triplo, que elevou, conseqüentemente, a saturação, em bases, do solo, bem como à neutralização do alumínio trocável. O aumento dos níveis de calcário provocou redução acentuada na saturação de alumínio e somente pequenas alterações no valor do pH, em razão do elevado teor de matéria orgânica, 3,2% de C, do solo utilizado. Para as doses de 0,00, 0,75 e 1,10 t/ha de calcário, os níveis médios de saturação de alumínio foram de 52,8%, 25,9% e 8,3%, respectivamente.

As produções de matéria seca de soja aumentaram à medida que a saturação de alumínio no complexo de troca diminuiu e a quantidade de fósforo aplicado aumentou. A análise de variância dos dados de peso de matéria seca da parte aérea mostrou significância, a 1%, para as diferenças entre variedades, para efeitos de saturação de alumínio e fósforo e para interações de fósforo e variedade e fósforo e alumínio.

QUADRO 3 - Características químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo, LV, após cultivo de quatro variedades de soja e aplicação de três doses de fósforo e de calcário.

Tratamentos		Análise do solo após o cultivo		
Calcário	P	P*	pH em água	Sat.Al
t/ha	kg/ha	ppm	(1:2,5)	%
0,00	0	3,7	4,1	67,6
	315	25,5	4,2	48,9
	630	52,3	4,2	42,0
0,75	0	3,8	4,2	34,9
	315	26,4	4,3	23,1
	630	52,0	4,3	19,7
1,10	0	4,0	4,2	11,6
	315	23,1	4,4	8,9
	630	49,4	4,4	4,3

* Extrator de Mehlich.

As variedades 'Andrews' e 'UFV-1' atingiram produções iguais a 80% da produção máxima quando foram aplicados 630 kg de P/ha, o que ocorreu independentemente do nível de saturação de alumínio no solo. Contrariamente, as variedades 'Bragg' e 'Santa Rosa' só atingiram 80% da produção máxima quando a saturação de alumínio foi de 25,9% e a dose de fósforo de 630 kg de P/ha. Nos tratamentos que não receberam fósforo os rendimentos de matéria seca foram inferiores a 50%, para todas as variedades, como se pode verificar na Figura 1.

Os dados observados (Figura 1) sugerem que as variedades 'Andrews' e 'UFV-1' foram mais sensíveis a baixos níveis de fósforo que a elevados teores de alumínio, o que não aconteceu com as variedades 'Bragg' e 'Santa Rosa', que só atingiram 80% da produção relativa de matéria seca da parte aérea quando a saturação de alumínio foi inferior a 25,9% e a dose de fósforo de 630 kg de P/ha. A variedade 'UFV-1' apresentou, como se pode ver na Figura 1 e no Quadro 4, os maiores rendimentos de matéria seca com a mesma dose de fósforo, na presença de 25,9% de saturação de alumínio, e a produção máxima foi atingida, com essa saturação, quando foram aplicados 630 kg de P/ha. Dentre os vários fatores, citados por FOY (9), que condicionam a tolerância ao alumínio está a capacidade das plantas para absorver e utilizar o fósforo na presença do alumínio. Isso ocorreu com a variedade 'UFV-1', que teve a maior quantidade de fósforo absorvida e acumulada na parte aérea com saturação de 25,9% de alumínio, como pode ser verificado no Quadro 5. Por outro lado, maior quantidade de raízes foi produzida com essa saturação de alumínio, o que sugere, confirmando resultados de MUZILLI *et alii* (12), que a variedade 'UFV-1' tolera saturação de alumínio em torno de 25%.

Com a aplicação de fósforo, a influência da saturação de alumínio sobre a produção de massa seca da variedade 'Andrews' foi menos acentuada que nas demais

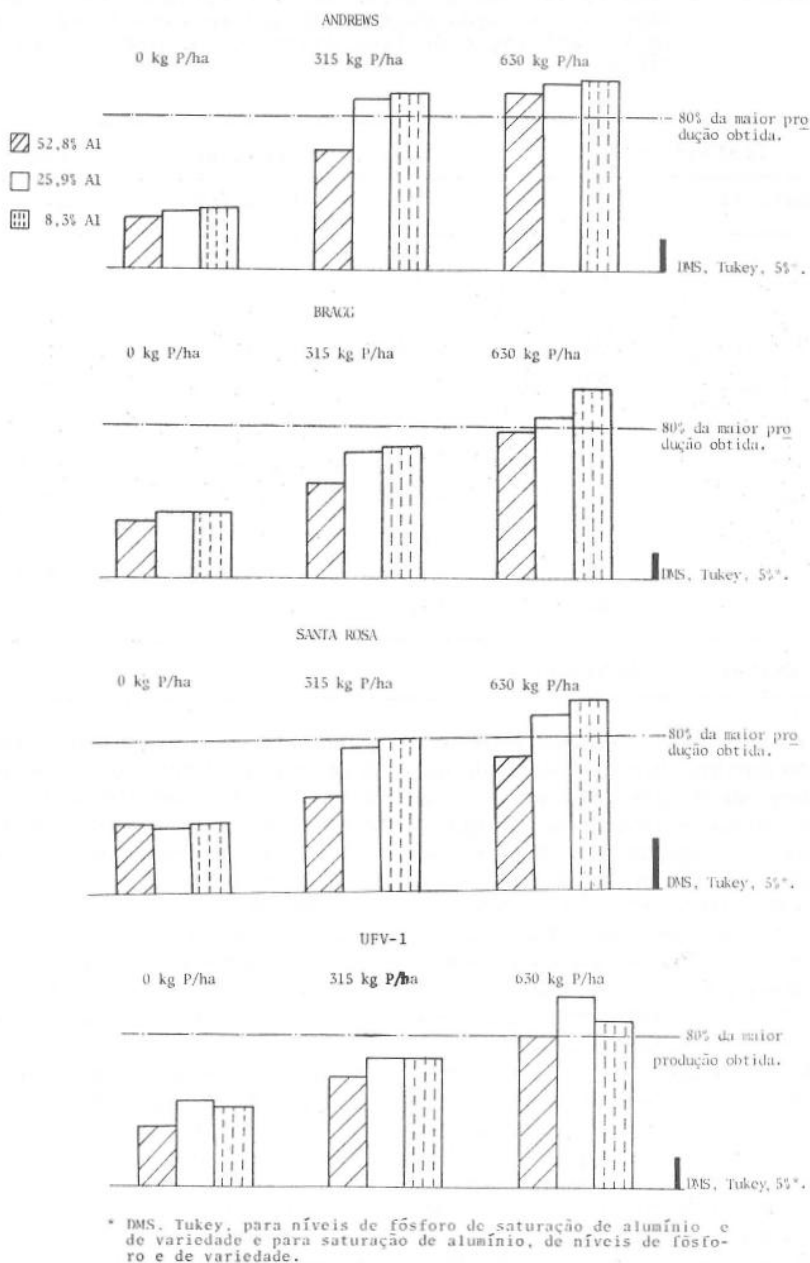


FIGURA 1 - Efeitos das doses de fósforo e da saturação de alumínio no solo sobre a produção relativa de matéria seca da parte aérea das variedades de soja Andrews, Bragg, Santa Rosa e UFV-1.

QUADRO 4 - Produção média de matéria seca da parte aérea e das raízes de quatro variedades de soja, em g/vaso, em resposta à aplicação de três doses de fósforo e três níveis de saturação de alumínio.

Parte aérea(1)	Fósforo (kg/ha)			Saturação de alumínio(%)		
	0	315	630	52,8	25,9	8,3
Variedades						
Andrews	1,2 c	3,4 b	4,0 a	2,5 b	3,0 a	3,1 a
Bragg	1,5 c	2,9 b	4,0 a	2,4 b	2,9 a	3,1 a
Santa Rosa	1,4 c	2,8 b	3,5 a	2,1 b	2,7 a	2,9 a
UFV-1	1,4 c	2,3 b	3,2 a	2,0 b	2,6 a	2,4 a
Raízes (1)	Fósforo (kg/ha)			Saturação de alumínio(%)		
	0	315	630	52,8	25,9	8,3
Variedades						
Andrews	0,5 c	1,0 b	1,2 a	0,8 b	0,9 ab	1,0 a
Bragg	0,9 c	1,8 b	2,4 a	0,7 b	0,8 b	1,0 a
Santa Rosa	0,6 c	0,9 b	1,1 a	0,8 b	0,9 ab	1,0 a
UFV-1	1,0 c	1,9 b	2,2 a	0,7 b	0,9 a	0,9 a

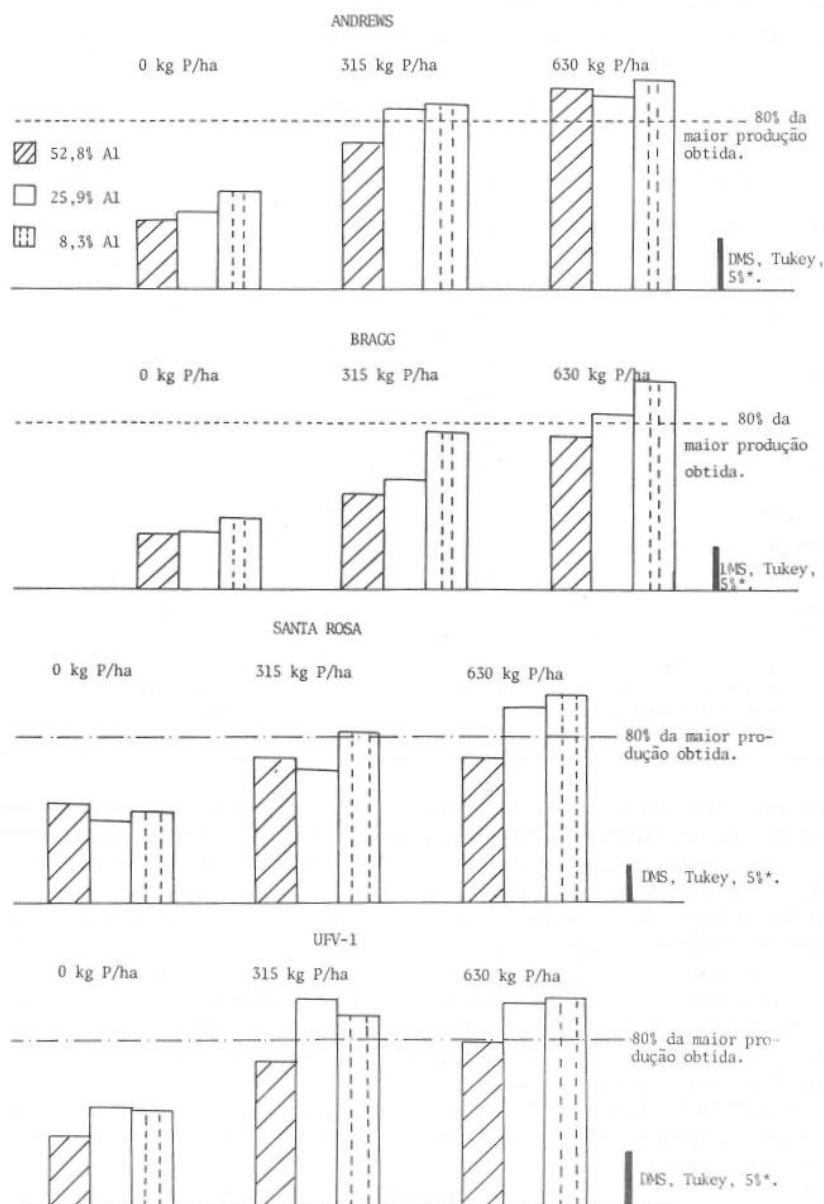
(1) As médias seguidas da mesma letra, no sentido horizontal, para cada fator estudado, fósforo e saturação de alumínio, e para cada parâmetro avaliado, parte aérea e raízes, não diferem estatisticamente, a 5%, pelo teste de Tukey.

variedades, como se pode ver na Figura 2. A produção dessa variedade foi superior a 80% de seu rendimento máximo quando, com 52,9% de saturação de alumínio, foi adicionada a maior dose de fósforo. Comportamento semelhante teve a 'UFV-1' com a dosagem mais elevada de fósforo, o que não aconteceu com as variedades 'Bragg' e 'Santa Rosa'. Essas observações reforçam a idéia de que, para a variedade 'Andrews', baixo teor de fósforo no solo é mais limitante que saturação elevada de alumínio. MUZILLI *et alii* (12) classificaram essa variedade como muito sensível, não tolerando saturações de alumínio superiores a 10%; entretanto, quando os níveis de fósforo são adequados, no estágio vegetativo em que foi avaliada, essa variedade produz satisfatoriamente mesmo com alta saturação de alumínio (Figura 1 e Quadro 4).

As variedades 'Bragg' e 'Santa Rosa' foram as mais sensíveis à presença de alumínio, independentemente da dose de fósforo, confirmando a caracterização apresentada no Quadro 2.

A produção de raízes teve comportamento muito semelhante ao da parte aérea (Figura 2). As análises estatísticas apresentaram significância, a 1%, para os efeitos de alumínio e fósforo e, a 5%, para as variedades e para a interação de variedades e alumínio.

Na ausência de fósforo, nenhuma das variedades atingiu 50% do rendimento máximo de raízes. Na presença do fósforo, as variedades 'Andrews' e 'UFV-1' produziram acima de 80% da máxima produção de matéria seca de raízes, quando a saturação de alumínio foi inferior a 25,9%. Por outro lado, as variedades 'Bragg' e 'Santa Rosa' só atingiram produção satisfatória de raízes com a aplicação da dose mais alta de fósforo e saturação de alumínio abaixo de 25,9% (Figura 2). Certa-



* DMS, Tukey, para níveis de fósforo, de saturação de alumínio e de variedade e para saturação de alumínio, de níveis de fósforo e de variedade.

FIGURA 2 - Efeitos das doses de fósforo e da saturação de alumínio do solo sobre a produção relativa de matéria seca de raízes das variedades de soja Andrews, Bragg, Santa Rosa e UFV-1.

mente, o desenvolvimento radicular influenciou o aumento da tolerância da variedade 'Andrews' à saturação de alumínio na presença do fósforo, a tolerância da variedade 'UFV-1' ao alumínio e a sensibilidade das variedades 'Bragg' e 'Santa Rosa' a esse cátion.

As quantidades de fósforo absorvidas e acumuladas na parte aérea encontram-se no Quadro 5. Na ausência do fósforo, os teores do elemento na planta foram significativamente inferiores aos observados com sua aplicação, embora, na presença do elemento, não tenha sido verificada diferença no teor de fósforo na parte aérea. À exceção da variedade 'Andrews', com a maior saturação de alumínio foram observadas as menores quantidades de fósforo absorvido e acumulado na parte aérea.

QUADRO 5 - Efeito das doses de fósforo, em kg de P/ha, e da porcentagem de saturação de alumínio sobre a quantidade de fósforo absorvida e acumulada na matéria seca da parte aérea da soja ^{1/}

	Fósforo			Saturação de alumínio (%)		
	0	315	630	52,8%	25,9%	8,3%
	mg P/vaso					
Andrews	1,02 b	5,53 a	5,64 a	3,85 a	3,97 a	4,37 a
Bragg	1,56 b	5,16 a	5,00 a	3,24 b	4,50 a	3,98 ab
Santa Rosa	1,22 b	4,96 a	4,56 a	2,57 b	3,92 ab	4,25 a
UFV - 1	1,23 b	4,12 a	5,13 a	2,90 b	4,27 a	3,30 ab

^{1/} As médias seguidas da mesma letra, no sentido horizontal, para cada fator estudado, fósforo e saturação de alumínio, não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, a 5%.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Foi avaliado o comportamento de quatro variedades de soja submetidas a diferentes níveis de saturação de alumínio e fósforo. Para isso, instalou-se, em casa de vegetação, utilizando amostras de um LV, ensaio fatorial com quatro variedades de soja, três níveis de fósforo (0, 1/4 e 1/2 vez a capacidade máxima de adsorção de fosfatos do solo) e três níveis de saturação de alumínio (52,8%, 25,9% e 8,3% de alumínio no complexo de troca do solo).

Os dados obtidos, nas condições em que foi conduzido o experimento, possibilitaram as seguintes conclusões:

1. A variedade 'Bragg' foi a mais sensível à presença de alumínio no solo, seguida das variedades 'Santa Rosa', 'Andrews' e 'UFV-1'.
2. A variedade 'UFV-1' apresentou as maiores produções de matéria seca da parte aérea e das raízes na presença de até 25,9% de saturação de alumínio.
3. A tolerância da variedade 'Andrews' a altas saturações de alumínio cresceu com o aumento das doses de fósforo.

5. SUMMARY

(RESPONSE OF SOYBEAN (*Glycine max* L.) CULTIVARS TO DIFFERENT PHOSPHORUS LEVELS AND ALUMINUM SATURATION)

Four varieties of soybean were tested in relation to their tolerances to high levels of aluminum saturation and low levels of phosphorus.

The experiment was carried out in the greenhouse, using a local red-yellow latosol, as a one-factorial experiment, with: four varieties of soybean; three levels of phosphorus (0,0, 0,25 and 0,5 times the maximum capacity of adsorption); and, three levels of aluminum saturation on the soil complex (50, 25 and 5% CEC).

The data were taken 35 days after seeding, with the following results:

1. In relation to soil aluminum, the most sensible variety was 'Bragg', followed in order by 'Santa Rosa', 'Andrews', and 'UFV-1'.
2. The variety 'UFV-1' yielded the greatest amount of dry matter (whole plant) with 25% aluminum saturation.
3. The quantities of phosphorus added were more important for increasing the production of the 'Andrews' variety, in the presence of aluminum, than they were for other varieties tested.

6. LITERATURA CITADA

1. ALVAREZ, V., V.H. *Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois Latossolos de Minas Gerais*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1974. 125 p. (Tese de MS.)
2. BRAGA, J.M. Influência da calagem e do fósforo na adubação de culturas com zinco. I: Sorgo. *Rev. Ceres*, 30:249-260. 1983.
3. BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. & ANDRADE, D. Adubação da soja em solos sob vegetação de cerrado na região do Triângulo Mineiro. *Rev. Ceres*, 19:52-62. 1972.
4. CORDEIRO, D.S.; BORKERT, G.H.; SFREDO, G.T.; PALHANO, T.B.; DITRICH, R.C. & QUEIROZ, E.F. Acidez do solo, calcário e cultura da soja. In: EMBRAPA. *Resultados de pesquisa da soja 1977/78*. Londrina, 1978, p. 47-52.
5. DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. *Análise química de solo (Metodologia)*. Viçosa, U.F.V., 1981. 17 p. (Boletim 29.)
6. FAGERIA, N.K. & BARBOSA FILHO, M.P. Avaliação de cultivares de arroz para maior eficiência na absorção de fósforo. *Pesq. Agric. Bras.*, 16:777-782. 1981.
7. FERRARI, R.A.R.; BRAGA, J.M.; SEDIYAMA, C.S. & OLIVEIRA, L.M. Resposta do cultivar de soja 'Santa Rosa' à aplicação P, K e calcário em Latossolos do Triângulo Mineiro. I — Produção e características agrônômicas. *Rev. Ceres*, 23:11-20. 1976.
8. FOY, C.D. Plant adaptation to mineral stress in problem soils. *Rev. Ceres*, 29: 551-560. 1982.
9. FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: Carson, E.W. (ed.) *The*

paltu root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1981. p. 601-624.

10. KAMPARTH, E.S. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34:252-254. 1970.
11. MESQUITA FILHO, M.V. & MIRANDA, L.N. & KLUTHCOUSKI, J. Avaliação de cultivares de feijão para sua tolerância à toxicidade de alumínio com relação à disponibilidade de fósforo em solo de cerrado. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 6:43-46. 1982.
12. MIRANDA, L.N. & LOBATO, E. Tolerância de variedades de feijão e de trigo ao alumínio à baixa disponibilidade de fósforo no solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 2: 44-50. 1978.
13. MUZILLI, O.; SANTOS, D.; PALHANO, J.B.; MANETTI FILHO, J.; LANTMANN, A.F.; GARCIA, A. & CATANEO, A. Tolerância de cultivares de soja e trigo a acidez do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 2:34-40. 1978.
14. PEREIRA, J.; BRAGA, J.M. & NOVAIS, R.F. Efeito de fontes e doses de fósforo na adubação da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em um solo sob campo cerrado. *Rev. Ceres*, 21:227-240. 1974.
15. ROLIM, R.B.; BRAGA, J.M. & REIS, M.S. Comportamento de duas variedades e três linhagens de soja, em diferentes níveis de adubação fosfatada, em solos sob vegetação de cerrado de Ituiutaba-MG e Goiânia-GO. *Rev. Ceres*, 26: 223-237. 1979.
16. SALINAS, J.G. & SANCHES, P.A. Soil-plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. *Ciência e Cultura*, 28:156-168. 1975.
17. SANTANA, M.B.M. & BRAGA, J.M. Interação alumínio-fósforo em um solo ácido do Sul da Bahia. *Rev. Ceres*, 24:200-211. 1977.
18. SANTOS, P.R.R.S. *Relação entre teores de fósforo no solo e produção de soja em três solos sob vegetação de cerrado — um estudo de calibração*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1978. 68 p. (Tese de MS.)
19. SILVA, J.B.C. *Seleção de genótipos de sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) e de soja (Glycine max. (L.) Merrill) tolerantes à toxidez de alumínio*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1983. 55 p. (Tese de Mestrado.)