

RESPOSTA DO CULTIVAR DE SOJA 'SANTA ROSA' À APLICAÇÃO DE P, K E CALCÁRIO, EM LATOSSOLOS DO TRIÂNGULO MINEIRO. II - CORRELAÇÃO COM ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO*

José Mário Braga
Ruy A. Rocha Ferrari
Laede M. de Oliveira
Carlos S. Sedyama**

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento crescente da área de plantio da soja no Triângulo Mineiro, muitos ensaios experimentais têm sido instalados naquela região (4), obtendo-se várias informações sobre análise química desses solos, com as quais se têm feito estudos de correlações. Estas correlações têm sido utilizadas para a determinação de índices interpretativos de dados químicos de solos e para a predição da possibilidade e magnitude de respostas da cultura aos fertilizantes (2, 3, 7, 10).

Estudos de correlações entre produção de grãos de soja e o alumínio trocável (1), comportamento de cálcio (8, 9), valor de pH (6, 20) o fósforo «disponível» (22) e o cálcio mais magnésio trocável no solo (16, 26) têm sido realizados.

Correlações também têm sido estabelecidas entre os dados de análise de solo, por muitos pesquisadores, tais como: GOEPERT (14), LONG e SEATZ (17); KAMPRATH e MILLER, e WELCH e NELSON (23).

O objetivo deste trabalho foi colher informações relativas a correlações entre características químicas do solo e a produção de sementes de soja, quando se aplica adubação fosfatada e potássica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados para o presente estudo foram obtidos pelo Programa Integrado de Pesquisas Agropecuárias do Estado de Minas Gerais, no ano agrícola de 1972-73, com a instalação de dezessete ensaios experimentais, quatro em Latossolo Roxo, e quatro em Latossolo Vermelho Escuro textura média. No Quadro 1, mencionam-se as identificações e os resultados das análises químicas de amostras dos solos.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso, com 4 re-

* Projeto nº 4.1233 do Conselho de Pesquisa da U.F.V.

Recebido para publicação em 03-10-1975.

** Respectivamente, Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa, Engenheiro Agrônomo da ACAR, Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa e Auxiliar de Ensino da Universidade Federal de Viçosa.

petições, onde dois receberam calagem e dois não a receberam. Em cada repetição, o fósforo, com quatro níveis (0, 100, 200, 300 kg de P_2O_5 /ha, como superfosfato triplo) e o potássio com três níveis (0, 50 e 100 kg de K_2O /ha, como cloreto de potássio) formaram um fatorial completo. Em todos os tratamentos, aplicaram-se 50 kg de fosfato de amônio, 25 kg de sulfato de zinco, 15 kg de borax e 0,5 kg de molibdato de amônio.

Para os experimentos instalados em solos que não necessitaram de calagem, foi utilizado um fatorial completo 4 x 2 para fósforo e potássio disposto em blocos casualizados com três repetições.

A quantidade de calcário utilizada foi determinada tomando-se por base o teor de alumínio trocável e de cálcio mais magnésio (PIPAEMG, 21). O corretivo, com PRNT de 73%, foi aplicado a lanço e incorporado ao solo trinta dias antes do plantio, por ocasião do preparo do terreno.

A soja empregada no plantio foi a variedade 'Santa Rosa', previamente inoculada com *Rhizobium japonicum*, na base de 200 g de inoculante, para 50 kg de sementes.

Cada parcela experimental foi formada de seis linhas de dez metros de comprimento, com espaços de sessenta centímetros entre linhas. Na análise de resultados, foram consideradas apenas as produções de quatro fileiras centrais, eliminando-se ainda plantas situadas nos primeiros 100 centímetros das extremidades de cada fileira, de modo que se ficou com uma área útil de 19,1 m² por parcela.

Os valores de produção relativa e produção testemunha, considerando-se todos os grandes grupos e solos, em conjunto, foram correlacionados com os seguintes dados de análise química do solo: pH, Al^{+++} , K, P, Ca^{++} + Mg^{++} e % de saturação de alumínio (Quadro 1).

Para se obter os valores de produção relativa, usaram-se as equações 1, 2 e 3 para fósforo e, para potássio, as equações 4, 5 e 6, como segue:

$$PRP = \frac{\bar{P}_o}{\bar{P}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$PRK = \frac{\bar{K}_o}{\bar{K}} \cdot 100 \quad (4)$$

$$\bar{P}_o = \frac{\sum_{j=0}^2 P_o K_j}{3} \quad (2)$$

$$\bar{K}_o = \frac{\sum_{i=0}^3 P_i K_o}{4} \quad (5)$$

$$\bar{P} = \frac{\sum_{j=0}^2 \sum_{i=1}^3 P_i K_j}{9} \quad (3)$$

$$\bar{K} = \frac{\sum_{j=1}^2 \sum_{i=0}^3 P_i K_j}{8} \quad (6)$$

Estabeleceram-se, também, equações de regressão para o estudo do comportamento das diferentes variáveis.

Foi efetuado o teste de t dos coeficientes de regressão, não se considerando os termos que não apresentavam significância estatística ($\alpha = 0,05$). O grau de ajustamento das equações foi avaliado por meio do coeficiente de determinação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produção Relativa Devida a Fósforo

A produção de soja da testemunha e a produção relativa devida a fósforo e a potássio, para um dos solos estudados, foram calculados, e determinaram-se os coeficientes de correlação. Os valores encontrados entre a produção da testemunha, sem calagem, e o pH, o alumínio trocável, a % de saturação de alumínio, o cálcio mais magnésio trocáveis e o potássio disponível foram significativos (Quadro 2). Por outro lado, nos solos com calagem, os coeficientes de correlação

QUADRO 1 - Identificação das amostras por grande grupo de solo e resultados das análises químicas e % de saturação de alumínio de amostras de solo colhidas nos locais dos experimentos 1/

Características químicas									
Experi- mentos	Símbolo do grande gru- po 5/	pH em Água (1:1)	Al ^{+++2/} (eq.mg/100g)	Ca ⁺⁺ +Mg ^{++3/} (eq.mg/100g)	K ^{3/} (ppm)	P ^{2/} (ppm)	M.O. ^{4/} (%)	N-total ^{4/} (%)	% de satu- ração de Al+++
1	LR	4,96	0,30	1,55	81	1	1,085	0,058	14,58
2	LR	4,40	0,47	0,52	20	1	1,685	0,086	46,35
3	LR	5,48	0,00	6,26	79	2	1,989	0,103	0,00
4	LR	5,48	0,00	1,58	45	11	-	-	0,00
5	LV	4,82	0,97	0,87	46	1	1,818	0,094	49,54
6	LV	4,25	0,67	0,51	17	traços	1,344	0,069	54,74
7	LV	4,60	0,74	0,51	30	traços	2,251	0,117	55,76
8	LV	5,15	0,57	0,55	36	1	1,023	0,053	51,26
9	LE	4,76	0,74	0,57	31	traços	1,779	0,092	53,28
10	LE	4,90	0,40	0,66	23	traços	1,186	0,063	18,30
11	LE	4,90	0,92	0,70	31	traços	1,867	0,097	54,15
12	LE	5,30	0,32	0,48	43	1	-	-	35,16
13	LE	4,85	0,66	0,77	41	traços	0,118	0,110	43,00
14	LEm	4,62	0,57	0,40	17	1	0,588	0,036	56,21
15	LEm	5,31	0,21	1,82	62	8	0,838	0,051	9,59
16	LEm	5,90	0,00	2,93	62	7	0,999	0,055	0,00
17	LEm	4,82	0,72	0,83	31	18	-	-	44,20

1/ Determinações realizadas no Laboratório de análises de Solo do IPEACO.

2/ Extrator: KCl 1N.

3/ Extrator: Carolina do Norte (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N).

4/ Processo: "Walkley Black".

5/ LR: Latossolo Roxo; LV: Latossolo Vermelho Amarelo; LE: Latossolo Vermelho Escuro; LEm: Latossolo Vermelho Escuro - textura média.

entre produção e as variáveis anteriormente mencionadas não foram significativas, indicando que a calagem modificou as características químicas do solo, fato também observado por outros pesquisadores (10, 11, 13, 18, 19).

Procedendo-se à análise de regressão, observa-se, no quadro 3, que o coeficiente de regressão é positivo no caso do pH do solo, negativo para alumínio e para a percentagem de alumínio no complexo. Os resultados obtidos estão de acordo com muitos pesquisadores, tais como: BOEKERT (1), EVANS e KAMPRATH (5), FOY e BROWN (8) e FOY *et alii* (9).

Os valores de pH correlacionaram-se significativamente com os parâmetros estudados, com exceção apenas para o P disponível, onde o coeficiente de correlação não foi significativo (Quadro 4).

Coefficientes de correlação significativos foram também obtidos entre a produção de grãos e o potássio disponível e entre a produção de Ca + Mg trocáveis, (Quadro 5).

Dados de produção relativa de soja devido a fósforo correlacionaram-se significativamente com o pH do solo, alumínio trocável, cálcio + magnésio trocáveis, potássio disponível e saturação de alumínio na ausência de calagem (Quadro 6). Nestes casos, os coeficientes de regressão foram positivos (Quadro 7). Na presença de calagem, porém, os coeficientes de correlação foram significativos (Quadro 6).

QUADRO 2 - Correlação entre a produção da testemunha (kg/ha) e algumas variáveis, para os solos em estudo

Variáveis	Coeficientes de correlação (r)	
	sem calagem	com calagem
pH	0,69**	0,22 ns
Al ⁺⁺⁺	-0,85**	-0,18 ns
Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	0,72**	0,06 ns
K disponível	0,61**	0,21 ns
P disponível	0,40 ns	0,44 ns
Saturação de Alumínio (%)	-0,80**	-0,16 ns

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns, Não significativo.

QUADRO 3 - Relacionamento entre a produção de grãos (Y) e algumas variáveis, para os solos estudados

Variável independente	Equação	r
pH	$Y = 5.186,20 + 1182,33^{**} (\text{pH})$	0,69
Alumínio trocável (Al)	$Y = 1.685,63 - 1986,96^{**} (\text{Al})$	-0,85
% de saturação de alumínio (%Al)	$Y = 1.598,56 - 26,32^{**} (\% \text{Al})$	0,80

QUADRO 4 - Correlação entre pH e algumas variáveis do solo e entre alumínio e cálcio + magnésio trocáveis

Variáveis	r
pH X Alumínio trocável	-0,73**
pH X ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$)	0,62**
pH X K disponível	0,70**
pH X P disponível	0,37 ns
pH X % saturação de alumínio	-0,79**
Alumínio trocável X ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$)	-0,65**

** Significativo ao nível 1% de probabilidade.

ns Não significativo

QUADRO 5 - Relação entre produção de grãos de soja e teores de potássio disponível e Ca + Mg trocáveis

Variável	Equação	r
Potássio disponível (K)	$Y = -221,79 + 22,3078^{**}K$	0,61
Ca + Mg trocáveis (S)	$Y = 231,14 + 362,8120^{**}S$	0,72

** Significativo ao nível 1% de probabilidade.

Paralelamente, correlacionou-se o teor de alumínio trocável no solo com as produções de soja (kg/ha) obtidos nos tratamentos, P_0 , P_1 , P_2 e P_3 , na ausência de calagem, obtendo-se as funções do Quadro 8. Verificou-se a inexistência de diferença estatística entre as declividades (b) das retas ajustadas. Os dados obtidos evidenciam os efeitos negativos do alumínio sobre o rendimento de grãos, tanto nos tratamentos com ausência de fósforo quanto nas doses de 100, 200 e 300 kg de P_2O_5 /ha (Quadro 8).

A produção relativa ao fósforo correlacionou-se com o teor de potássio disponível no solo ($r = 0,63$). Este resultado é justificável pela lei do mínimo, pois as respostas a fósforo dependem de um teor de potássio disponível para estabelecimento do equilíbrio nutricional da planta.

3.2. Produção Relativa Devida a Potássio.

As correlações entre produção relativa de soja devida ao potássio e as demais variáveis não apresentam significância estatística, conforme se pode verificar no Quadro 9.

QUADRO 6 - Correlação entre a produção relativa ao fósforo (%) e algumas variáveis para os solos em estudo

Variável	Coeficiente de correlação (r)	
	sem calagem	com calagem
pH	0,63**	0,16 ns
Al ⁺⁺⁺	-0,75**	-0,44 ns
Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	0,63**	0,23 ns
K disponível	0,63**	0,27 ns
p disponível	0,46 ns	0,40 ns
Saturação de alumínio (%)	-0,73**	-0,22 ns

** Significativo ao nível 1% de probabilidade.

ns. Não significativo.

QUADRO 7 - Relação entre produção relativa de fósforo, os parâmetros pH alumínio trocável e % de saturação de alumínio

Variável	Equação	r
pH	PRP = -149,33 + 39,07** (pH)	0,63
Alumínio trocável	PRP = 75,40 - 62,97** (Al)	-0,75
% de saturação de alumínio (%) Al)	PRP = 74,66 - 0,87** (%Al)	-0,73

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 8 - Relacionamento entre a produção de grãos (Y) e alumínio trocável do solo (Al) em diferentes níveis de P_2O_5

Funções	P_2O_5	a	b	r^2
	0	1674,06	-2002,09**	0,76
	100	2083,37	-1812,08**	0,73
Y = f(Al)	200	2295,45	-1732,53**	0,72
	300	2314,10	-1671,02**	0,71

** Nível 1% de probabilidade.

QUADRO 9 - Correlação entre a produção relativa ao potássio (%) e algumas variáveis para os solos em estudo

Variável	Coeficiente de correlação (r)	
	sem calagem	com calagem
pH	0,39 ns	0,29 ns
Al ⁺⁺⁺	-0,09 ns	-0,14 ns
Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	0,23 ns	0,24 ns
K disponível	-0,34 ns	0,32 ns
P disponível	-0,41 ns	-0,34 ns
Saturação de alumínio (%)	-0,17 ns	-0,21 ns

ns Não significativo.

A ausência de correlação significativa, como mostram os dados do Quadro 9, pode ser justificada pelo fato de que houve resposta ao potássio em somente 5 dos 17 experimentos, muitos deles com teores abaixo do crítico (Quadro 1).

O grande número de experimentos sem resposta ao potássio, como é o presente caso, mesmo com teores disponíveis desse elemento abaixo do nível crítico, vem alertar que o extrator «Norte Carolina» não caracteriza, propriamente, o potássio, que poderá ser liberado durante o ciclo de cultura, tornando a adubação potássica desnecessária.

4. RESUMO

Usando dados de produção de soja, obtidos com aplicações de níveis de fósforo (0, 100, 200 e 300 Kg de P₂O₅/ha, na ausência e presença de calcário e níveis de potássio (0, 50, 100 kg de K₂O/ha) e resultados de análise química de dezessete Latossolos do Triângulo Mineiro, determinaram-se correlações entre os parâmetros do solo e do vegetal, para melhor orientação nas recomendações de adubação da soja. Os resultados permitiram concluir que valores de pH e soma de bases relacionaram positivamente com o rendimento de grãos e com produção relativa devida ao fósforo, mas o contrário foi observado com alumínio trocável. Não se obtiveram coeficiente de correlação significativos entre fósforo disponível e rendimento de grãos e nem entre fósforo disponível e produção relativa devida ao fósforo. O potássio disponível, entretanto, correlacionou significativa e positivamente com a produção de grãos de soja e com a resposta ao uso de fósforo, mas não foi significativa a correlação de potássio disponível com a produção devida ao potássio.

5. SUMMARY

With data on soybean production obtained with applications of phosphorus at levels of 0, 100, 200 and 300 kg of P₂O₅/ha, with and without lime, and of potassium at levels of 0, 50 and 100 kg of K₂O/ha and results of chemical analyses of 17 latosols from the Triângulo Mineiro, correlations between soil plant

parameters were determined in order to provide a better orientation for recommendations for fertilizings soybeans. The results allowed the conclusion that pH values and the sum of bases were positively related to soybean yield and to relative production according to phosphorus levels, but the opposite relationship was observed in respect to exchangeable aluminum. Correlation coefficients between available phosphorus and soybean and between available phosphorus and relative production according to phosphorus application levels were not significant. Available potassium, at the same time, correlated significantly and positively with soybean production and with response to the use of phosphorus, but the correlation between available potassium and relative production according to potassium application level was not significant.

6. LITERATURA CITADA

1. BORKET, C.M. *Efeito do Calcário e do Cloreto de potássio sobre as concentrações de manganês e alumínio nos oxis-solos-Santo Angelo e Passo Fundo e suas relações com a nodulação e rendimento de dois cultivares de soja*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 96 p. 1973. (Tese M.S.).
2. CATE, R.B. *Como calcular ecuaciones Liebig*. Raleigh, North Carolina State University, 10 p. 1974.
3. CATE, R.B. & NELSON, L.A. *A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data*. North Carolina, Int. Soil Testing Project, 22 p. 1965. (Bull. 1).
4. COSENZA, G.W. *Realidade Agrícola do Triângulo Mineiro*. Belo Horizonte, ACAR, 24 p. 1973. (Boletim 1.)
5. EVANS, C.E. & KAMPRATH, E.J. lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. *Soil Sci. Soc. Amerc. Proc.*, 34 (6): 891-96. 1970.
6. FAGUNDES, A.B.; MENEZES, W.C. & KALCKMANN, R.E. Adubação e calagem de terras de cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. 2ª Campinas, 1963. *Anais*. Campinas, Soc. Bras. Ciência do Solo, p 295-305. 1963.
7. FONSECA, R.; DIAS, A.C.; PINHO, A.; PIRES, E.; MIRANDA, E.; CABALA, P. & SANTANA, C. Correlações dos teores de fósforo nos solos com respostas de micro-parcelas de milho na zona cacauzeira da Bahia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 3:325-42. 1968.
8. FOY, C.D. & BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. *Soil Sci. Soc. Amerc. Proc.*, 27(4):403-07. 1963.
9. FOY, C.D.; FLEMING, A.L. & ARMINGER, W.H. Aluminum tolerance of soybean varieties in relation to calcium nutrition. *Agron. Journal*, 61(4): 505-11. 1968.
10. FREITAS, L.M.M.; McCLUNG, A.C. & GOMES, F.P. Determinação das áreas deficientes em potássio para cultura do algodão. *Fertilidade*, 2634-47. 1966.
11. FREITAS, L.M.M.; McCLUNG, A.C. & LOTT, W.L. *Experimento de adubação em dois solos de campo-cerrado*. São Paulo, IBEC, Research Institute, 32 p. 1960. (Boletim, 21).
12. FREITAS, L.M.M.; MIKKERSEN, D.S.; McCLUNG, A.C.; LOTT, W.L. Efeitos da calagem e adubação na produção de algodão, milho e soja em três solos de campo cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, São Paulo, 1963. *Anais*, Universidade de São Paulo, p. 323-357. 1963.

13. FREITAS, L.M.M.; TANAKA, T.; LOBATO, E.; SOARES, W.V. & FRANÇA, G.E. Experimento de adubação de milho doce e soja em solos de campo cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 7:57-63. 1972.
14. GOEPERT, C.F. Importância do fósforo na nodulação e rendimento da soja. *Agronomia Sulriograndense*, 7:5-9. 1971.
15. GOEPERT, C.F. & FREIRE, J.R.J. Efeito da calagem e do fósforo em soja. *Agronomia Sulriograndense*, 8 (2): 181-86. 1972.
16. KAMPRATH, E.J. & MILLER, E.V. Soybean Yields as function of the soil phosphorus level. *Soil Sci. Amerc. Proc.*, 22 (4):317-19. 1958.
17. LONG, O.H. & SEATZ, L.F. Correlation of soil test for available phosphorus and potassium with corn responses to fertilization. *Soil Sci. Soc. Amerc. Proc.* 17:258-62. 1963.
18. MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S.; IGUE, T. & DI SORDI, G. Respostas da soja à calagem e adubações minerais com fósforo e potássio em Latossolo-Roxo. *Bragantia*, 28: XVII-XI. 1969.
19. MIKKELSEN, D.S.; FREITAS, L.M. & McCLUNG, A.C. *Efeitos de calagem e adubação na produção de algodão, milho, soja, em três solos de campo cerrado*. São Paulo, IBEC Research Institute, 48 p. S.d. (Boletim 29).
20. PERRIN, R.K. *Fertilizer response. An economic evaluation of alternative analytical approaches*. Raleigh, N.C.; North Carolina State University, 27 p. 1974.
21. PROGRAMA INTEGRADO DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Programa soja, relatório anual 72/73*. Belo Horizonte, 97 p. 1973.
22. VIDOR, C. Calibração de análise de solo para a cultura de soja (*Glycine max* (L). Merrill). *Agronomia Sulriograndense*, 7(2): 181-90. 1971.
23. WELCH, C.D. & NELSON, W.L. Calcium and magnesium requirements of soybean as related to the degree of base saturation of the soil. *Agron. Journal*, 42(1):9-13. 1950.