

BRAGANTIA

Boletim Científico do Instituto Agrônomico do Estado de São Paulo

Vol. 25

Campinas, junho de 1966

N.º 4

NÍVEIS DE FERTILIDADE DO SOLO PARA A CULTURA ALGODOEIRA

II — CORRELAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO E O TEOR DE FÓSFORO NO SOLO (1)

FRANCISCO DA COSTA VERDADE, *engenheiro-agrônomo, Seção de Fertilidade do Solo* (2), WANDERLEY R. VENTURINI, *engenheiro-agrônomo, Seção de Técnica Experimental*, ÁLVARO ZINGRA DO AMARAL (2), ANTÔNIO CARLOS PIMENTEL WUTKE, *engenheiros-agrônomo, Seção de Fertilidade do Solo, Instituto Agrônomico*

SINOPSE

Os resultados de 216 experiências de adubação do algodoeiro realizadas no período de 1957 a 1960 foram correlacionados com os teores de fósforo do solo. Em virtude do pequeno número de reações favoráveis à adubação nitrogenada e potássica, somente aquele nutriente pôde ser estudado. Verificou-se, porém, que o nitrogênio e o potássio, em níveis baixos (30 kg/ha), dão melhor consistência à ação do fósforo. Considerando-se como 100 a melhor produção, foi possível estabelecer, estatisticamente, a relação entre os teores de fósforo do solo e as porcentagens de produção. A correlação foi altamente significativa, explicando, a linear, cerca de 50%, e a quadrática, menos de 10%, para os solos do arenito Bauru. Obteve-se a equação que levaria à maior porcentagem de produção por adição de fertilizante fosfatado.

Esses mesmos critérios foram aplicados à terra-roxa, onde somente a correlação linear foi significativa, explicando 40% da ligação entre as variáveis.

1 — INTRODUÇÃO

A produção das culturas depende de uma série de fatores que podem ser reunidos em cinco grupos: clima, organismos, solo (incluindo topografia) e homem. Neste trabalho de adubação do algodoeiro, o emprêgo da mesma variedade tornou constante tal fator. Os organismos pouca influência exerceram, porque as pragas e moléstias foram controladas ou eliminaram-se as experiências cujo

(1) Trabalho apresentado e aprovado no X Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, realizado de 19 a 30 de julho de 1965, em Piracicaba, São Paulo. Recebido para publicação em 12 de novembro de 1965.

(2) Atualmente no Serviço de Fotointerpretação.

ataque havia prejudicado os resultados. Restou, neste caso, a ação de outros organismos de difícil avaliação, mas que foi admitida constante. O fator homem foi controlado por uma série de instruções e inspeções, e o solo foi caracterizado por perfis, analisado nos seus nutrientes e empregando-se o mesmo tipo de adubo em cada ano. Restaram as variações climáticas entre as áreas plantadas num mesmo ano e as dos anos sucessivos.

O fator clima deve ser considerado dentro de limites amplos, porque, se os resultados da produção dependessem de limites estreitos, não haveria interesse nas correlações entre nutrientes do solo e planta, pois a ação climática eliminaria as suas aplicações práticas. Os limites extremos de clima anulam a produção e, portanto, não foram considerados neste trabalho.

2 — MATERIAL E MÉTODOS

Os solos foram grupados em duas categorias principais, arenosos e argilosos, conforme descrito em trabalho anterior (4). O método de extração do PO_4^{-3} foi o de ácido sulfúrico 0,05 N e com técnica de dosagem descrita por Catani e outros (1).

Os solos da experimentação representam os mais cultivados com a malvácea e os mais férteis do Estado de São Paulo. Não incluem os depauperados, denominados comumente de “cerrados”, onde, além do baixo teor em nutrientes, há também o problema da acidez, entrando o corretivo como fator de produção (2).

Os dados de produção tomados por base neste trabalho foram os valores esperados, cálculos fornecidos pela Seção de Técnica Experimental, do Instituto Agrônômico.

Os resultados analíticos do fósforo, expressos em e.mg de PO_4^{-3} por 100 g de terra fina sêca ao ar, foram transformados em kg de P_2O_5 /ha/20 cm de profundidade. Os níveis de adubação foram 0, 30 e 60 kg/ha de N e K_2O e 0, 45 e 90 kg/ha de P_2O_5 (na forma de superfosfato simples), representados, neste trabalho, pelo símbolo do elemento ou óxidos, com sub-índices, respectivamente, 0, 1 e 2.

3 — RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Em virtude da imprecisão dos níveis de reação para nitrogênio e da ausência de resposta ao potássio, os estudos de correlação foram conduzidos somente para o fósforo.

Não se obteve correlação entre a produção em kg/ha de algodão em pluma com o P_2O_5 do solo, ou o solo + adubo. As variações de 100 a 600 arrôbas/alqueire (620 a 2.479 kg/ha) para teores apro-

ximados de P_2O_5 impossibilitaram tais correlações, somente obtidas em um número restrito de experiências e com solos similares.

A etapa seguinte foi estabelecer a relação entre a porcentagem de produção, considerando a máxima obtida no experimento como 100, e o teor de fósforo do solo, bem como as adições crescentes de adubo fosfatado. Este processo elimina, em grande parte, as ações estranhas sobre a produção.

3.1 — SOLOS ARENOSOS

Os resultados foram analisados para os solos derivados do arenito Bauru. A produção máxima foi considerada 100, calculando-se as porcentagens da produção nos níveis N_0K_0 , N_1K_1 e N_2K_2 para os diferentes níveis de P_2O_5 .

Nas figuras 1, 2 e 3 encontram-se gráficamente representados os resultados.

Os aumentos da porcentagem da produção máxima em relação ao P_2O_5 no solo, no nível N_0K_0 , apresentaram maior dispersão no ramo inferior da curva do que nos níveis N_1K_1 e N_2K_2 . Por outro lado, a adição de fósforo sem nitrogênio e potássio elevou a produção a níveis mais altos do que quando tais adubos foram empregados, mesmo em doses pequenas ($N_1K_1 = 30$ kg/ha). É de se concluir que esses elementos têm efeito depressivo nos solos comumente empregados na cultura algodoeira.

As doses de P_2O_5 com N_2K_2 produziram maior efeito para elevar os resultados da adubação fosfatada do que o nível N_1K_1 , porém maior número de resultados negativos foram encontrados, pois o ramo assintótico da curva foi mais disperso.

Pelo exame das curvas, nas figuras 1 e 2, pode-se admitir, também, que N e K têm efeito de elevar as necessidades do fósforo do solo, a fim de atingir a produção máxima.

Os autores acham que a adição de pequenas doses de NK (níveis 1) é recomendável, porque os solos podem esgotar-se nesses elementos, à medida que as culturas se sucedem; a diferença para a produção máxima é pequena e dão melhor consistência à adubação fosfatada.

Em trabalho anterior foram estabelecidos os níveis de fertilidade para esses solos (4). Teor igual ou menor que 0,7 — 0,6 e.mg de PO_4^{-3} /100 g de solo (31 a 36 kg de P_2O_5 /ha/20 cm) corresponde a 58% do máximo de produção desse solo, e há alta possibilidade de reação ao fósforo. A faixa de 0,7 a 0,14 e.mg de PO_4^{-3} /100 g de solo (entre 36 a 73 kg/ P_2O_5 /ha/20 cm), correspondem as porcentagens de 58 a 78% da produção máxima; correspondem a cerca de 50% de possibilidades de reação à adubação

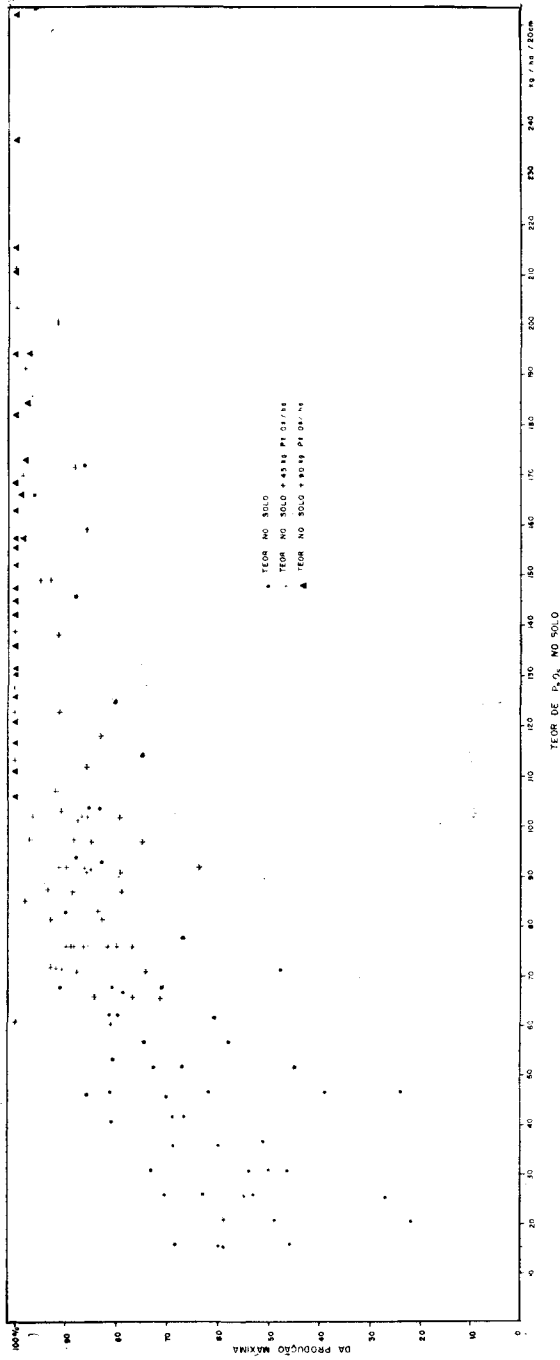


FIGURA 1. — Relação entre a porcentagem da produção máxima e o teor de P_2O_5 , no nível $N_{1/2}$, para solos derivados do arenito Bauri.

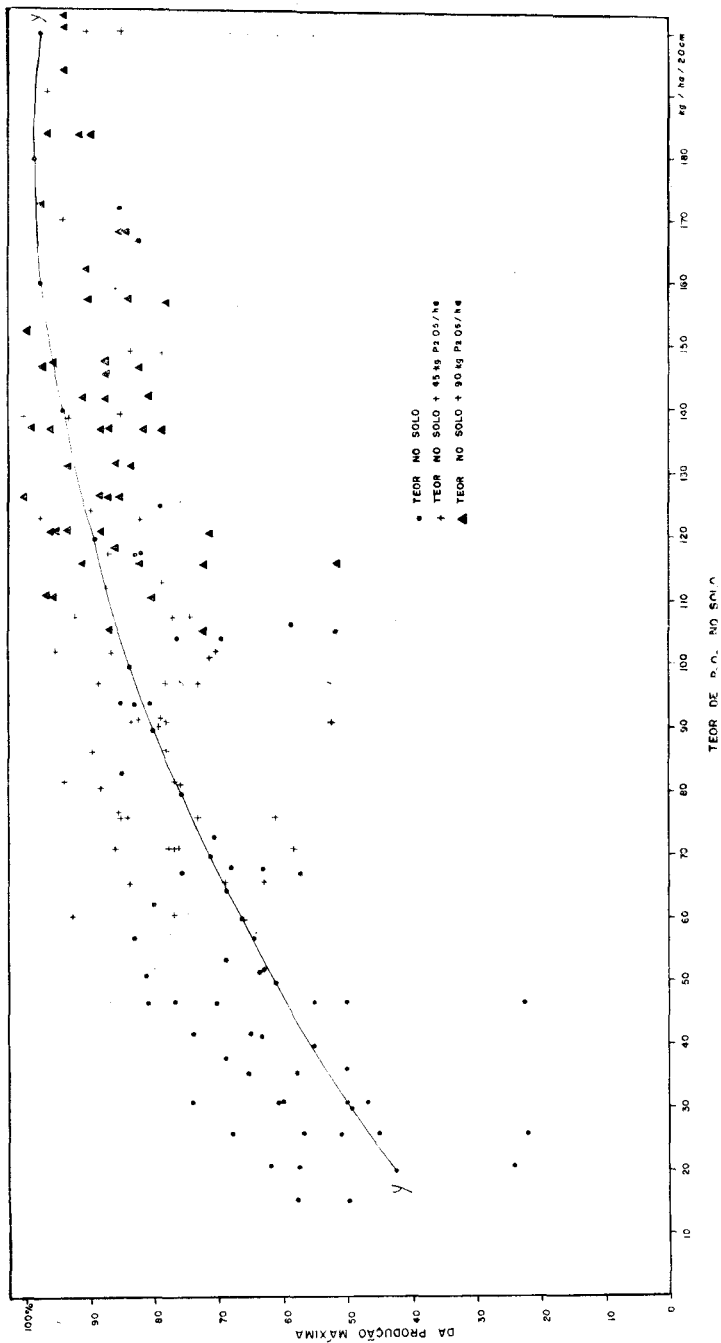


FIGURA 2. — Relação entre a porcentagem da produção máxima de algodão e o teor de P₂O₅ no nível N₁K₁, para os solos derivados do arenito Bauru.

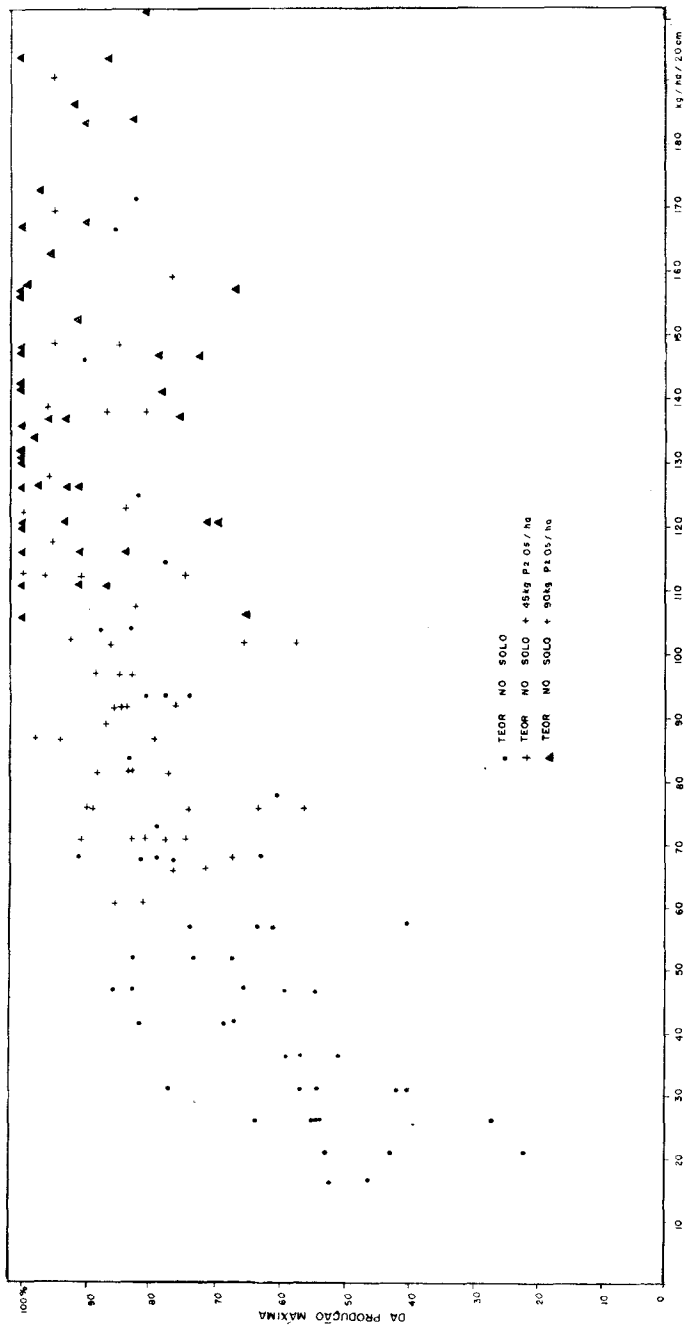


FIGURA 3. — Relação entre a porcentagem da produção máxima e o teor de P₂O₅ no nível N₂₀, para solos derivados do arenito Bauru.

fosfatada e, naturalmente, diminui essa possibilidade à medida que aumenta o teor de fósforo no solo. Acima de 73 kg de P_2O_5 no solo, a possibilidade de reação é mínima.

Os aumentos de produção devem ser analisados quanto à produtividade do terreno. Um aumento de 10% não terá significação econômica, quando o terreno produzir 100 arrôbas/alqueire (620 kg/ha), mas será de interesse na produção de 400 arrôbas/alqueire (2.480 kg/ha).

Outra observação a ser anotada é que, apesar dos solos apresentarem um sentido igual de reação à adubação, como foi demonstrado no estudo sobre níveis de fertilidade (4), há outros fatores que fazem variar sua produção de 100 a 500 arrôbas/alqueire (620 kg a 3.100 kg/ha). Não se acredita que as causas sejam encontradas nas variações climáticas, mas, sim, em certas propriedades físicas do solo, que não foram controladas neste trabalho.

Para o estudo da correlação, utilizaram-se somente os resultados em relação ao nível N_1K_1 , pelas razões já expostas. A variável "produção", dada em porcentagem, foi transformada em $\sqrt{\%}$ para efeito de análise. Dos ensaios nos solos arenito de Bauru, foram utilizados os 52 com reação ao fósforo.

Verificou-se, pela análise, que as variáveis "produções" e "teor de fósforo" estão altamente correlacionadas. Os valores para os coeficientes de correlação são:

Linear	=	0,694 **
Quadrático	=	0,275 **

Ambos os valores são significativos ao nível de 1%. O primeiro (linear) explica quase 50% da dependência das variáveis, ao passo que o segundo (quadrático) explica menos de 10%.

A equação de regressão entre o teor de P_2O_5 (X) e a porcentagem de produção transformada (Y) é

$$Y = 37,66 + 0,3682 X - 0,000907 X^2$$

A equação que levaria diretamente à porcentagem da produção (P) em função do teor de P_2O_5 (X) seria:

$$P = 100 [\text{sen} (37,66 + 0,3682 X - 0,000907 X^2)]^2$$

No quadro 1 encontra-se a análise da variância.

Os demais solos arenosos tinham poucas experiências, e estes casos, aparentemente, seguiam a curva apresentada.

É possível, portanto, prever o aumento de produção em kg/ha, devido ao fósforo, nos solos deficientes, e adubados, em N_1K_1 , quando se conhece a produção anterior. Esta será a incógnita, além da

QUADRO 1. — Análises da variância para os solos derivados do arenito de Bauru e terra-roxa

Solos	F.V.	G.L.	S. Q.	Q. M.	F
Arenito Bauru	Regressão	2	9 949,7249	4 974,8624	96,67**
	linear	1	8 600,1176	8 600,1176	143,59**
	quadrática	1	1 349,6073	1 349,6073	26,22**
	Desvio de regressão	153	7 874,1009	51,4647	
	Desvio de regressão	154	9 223,7082	59,8942	
Total	155	17 823,8258			
Terra-roxa	Regressão	2	3 287,1869	1 643,5934	22,59**
	linear	1	3 139,5061	3 139,5061	42,50**
	quadrática	1	147,6808	147,6808	n.s.
	Desvio de regressão	66	4 800,9832	72,4222	
	Desvio de regressão	67	4 948,6640	73,8606	
Total	68	8 088,1701			

análise do solo, justificando-se a necessidade do antecedente histórico da gleba. Evidentemente, essa previsão está sujeita a erro.

Nos solos cultivados continuamente com algodão, a fórmula acima poderá desviar-se se houver declínio da produção devido a outros fatores negativos.

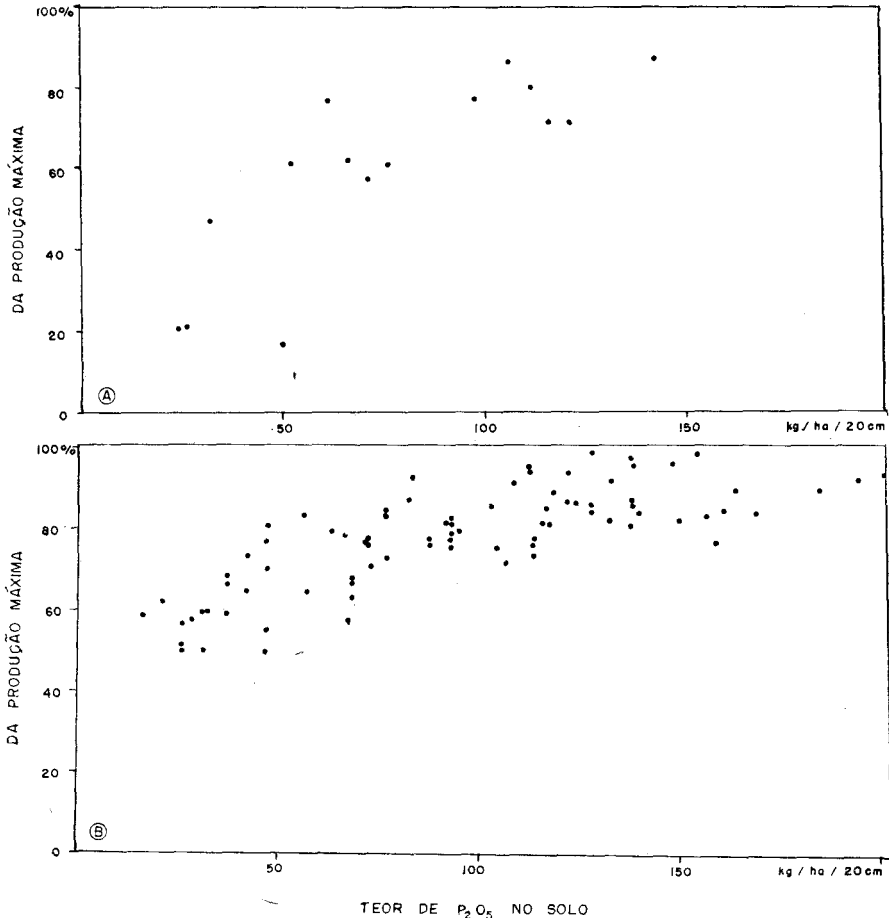


FIGURA 4. — Relação entre a porcentagem da produção máxima de algodão e o teor de P₂O₅ dos solos arenosos: A — produções até 620 kg/ha; B — produções entre 620 e 1.860 kg/ha de algodão.

As figuras 4 e 5 apresentam as mesmas relações anteriores, em função da produtividade do terreno. Na figura 4-A estão as experiências cuja produção foi igual ou menor que 100 arrôbas/alqueire (620 kg/ha). Na figura 4-B, as experiências que produziram de 101 a 300 arrôbas/alqueire (635 a 1860 kg/ha), e na figura

5, aquelas acima de 301 arrôbas/alqueire (1.875 kg/ha). É evidente que altas porcentagens de aumento são encontradas nas baixas produções, mas, economicamente, as pequenas porcentagens nos solos mais produtivos são mais interessantes. Nota-se, também, a concordância entre as três figuras, aliás, confirmada na correlação.

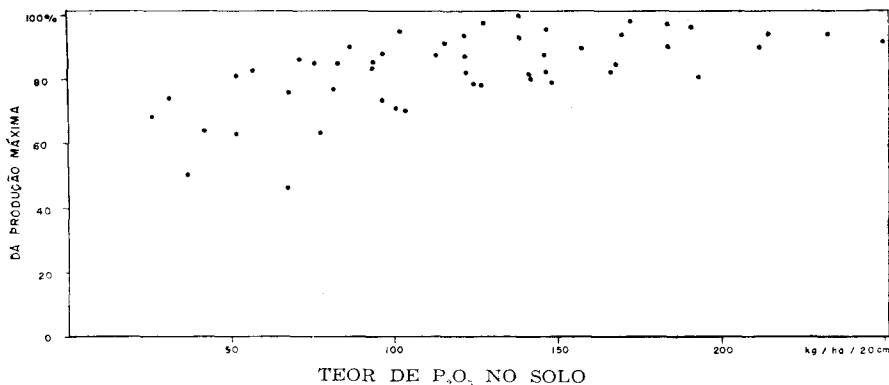


FIGURA 5. — Relação entre a porcentagem de produção máxima de algodão e o teor de P_2O_5 nos solos arenosos, com produções acima de 1.860 kg/ha de algodão.

Para se analisar o fator climático, as experiências estão apresentadas nos níveis $N_1K_1P_x$, como se encontra nas figuras 6A, 6B e 6C, correspondentes aos anos de 1957/58, de 1958/59 e 1959/60. Não aparentam discrepância, funcionando o clima como relativamente uniforme para os três anos.

3.2 — TERRA-ROXA E SOLOS ARGILOSOS

Os mesmos estudos anteriores foram feitos na terra-roxa. As figuras 7A, 7B e 7C indicam que as doses crescentes de fósforo apresentaram resultados erráticos nos níveis N_0K_0 , tornaram-se mais precisos para os níveis N_1K_1 , retornando algo mais errático nos níveis N_2K_2 . Neste último caso, as doses de 60 kg/ha de N e K_2O tenderam a dar resultados mais próximos da produção máxima que no nível N_1K_1 . Praticamente, as curvas são idênticas para N_1K_1 e N_2K_2 , sendo mais precisas nos níveis mais baixos de P, para N_1K_1 , e menos nos níveis mais altos.

Outro fator a ser anotado é que nenhuma vantagem existe em manter no solo um teor acima de 140 kg/ P_2O_5 /ha/20 cm, mostrando mesmo uma tendência negativa.

Conforme foi apresentado em trabalho anterior (4), o nível de fertilidade para terra-roxa é de 0,17 e.mg/100 g de solo, sem reação para maior teor e com reação à adubação fosfatada para menores

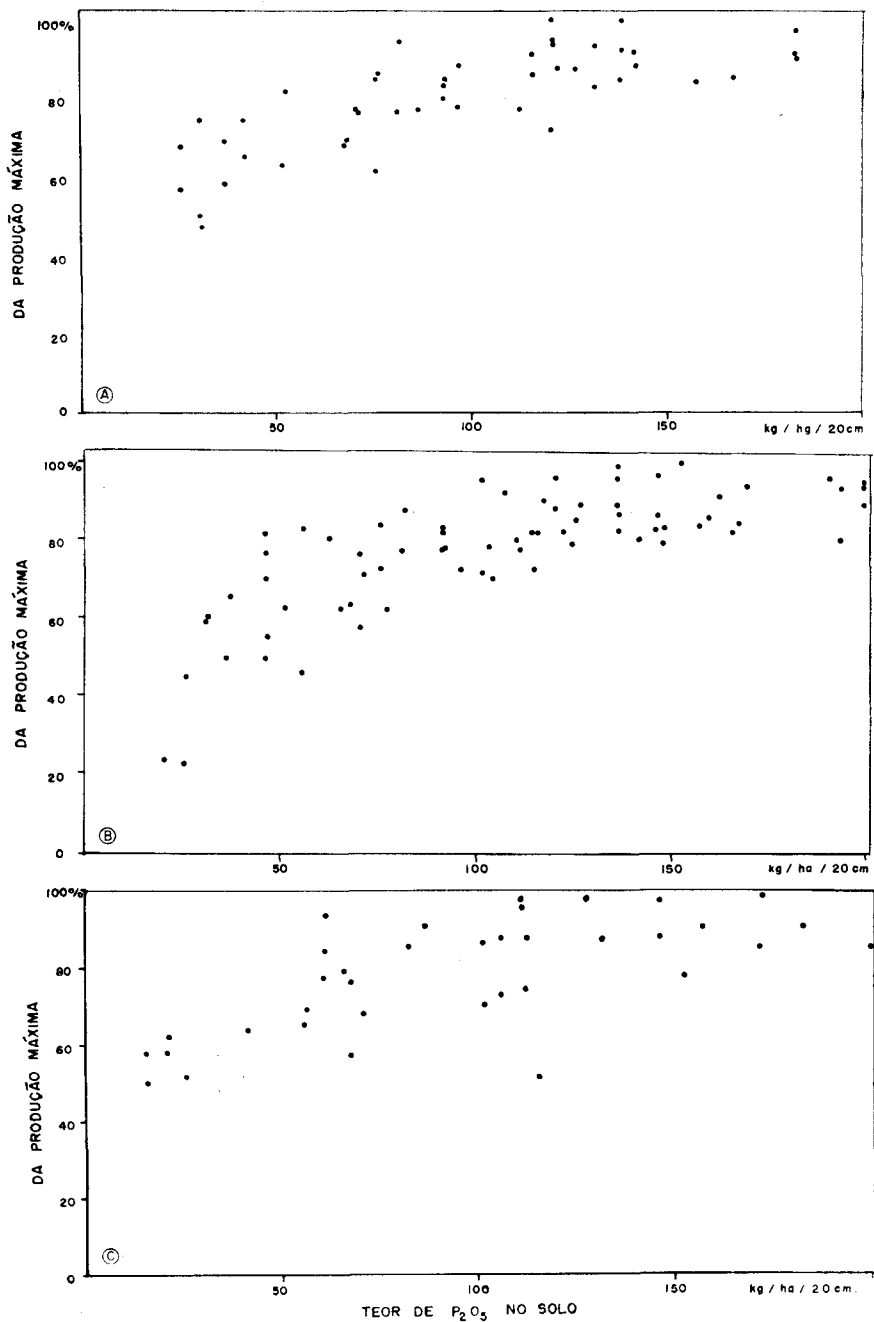


FIGURA 6. — Porcentagens da produção de algodão em relação ao teor de fósforo do solo arenoso: A — ano agrícola de 1957/58; B — ano agrícola de 1958/59; C — ano agrícola de 1959/60.

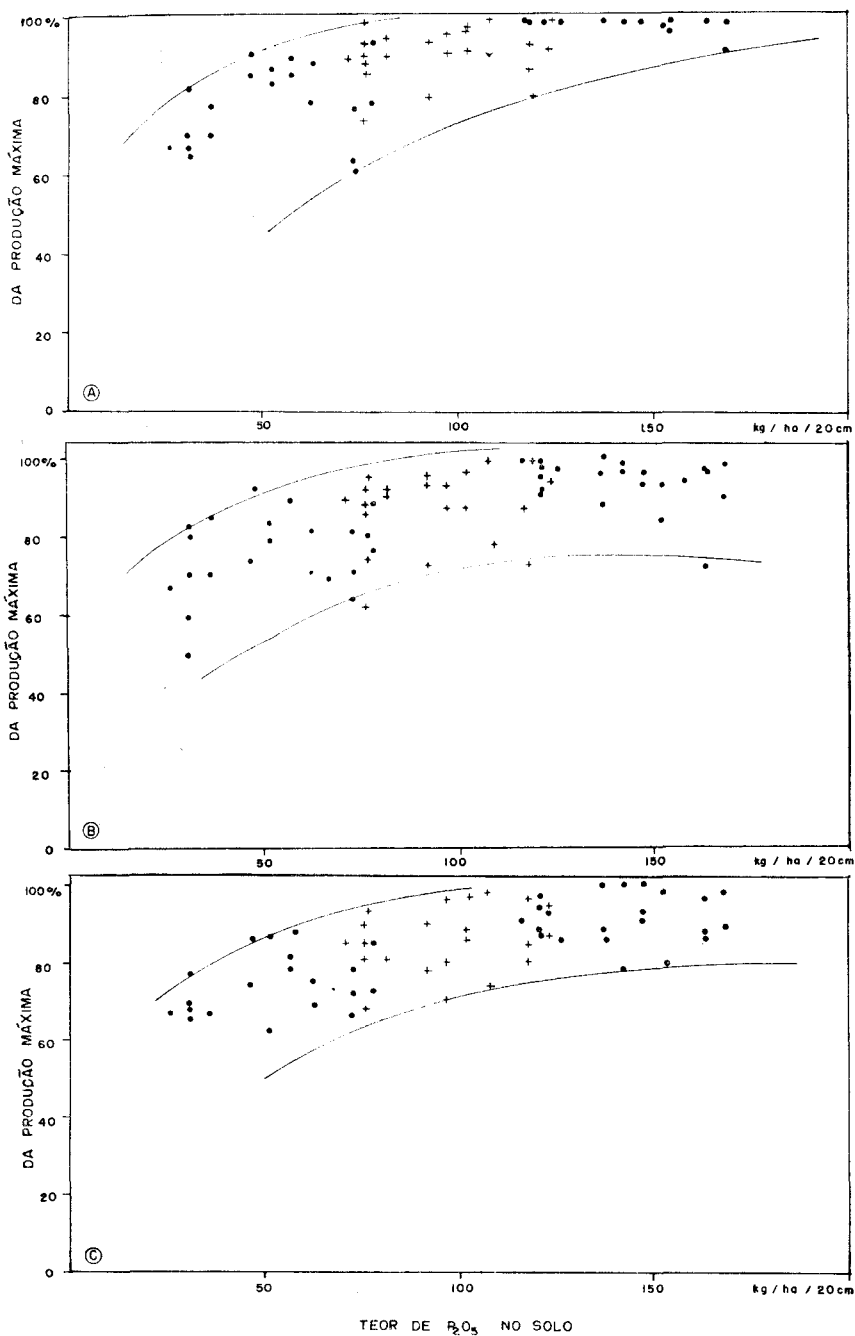


FIGURA 7. — Relação entre a porcentagem da produção máxima de algodão e o teor de P_2O_5 em experimentos montados em terra-roxa: A — nível de N_0K_0 ; B — nível de N_1K_1 ; C — nível de N_2K_2 .

teores. Esse limite corresponde cêrca de 90 kg/P₂O₅/ha/20 cm e com porcentagem de produção de 83%.

Comparando os teores de fósforo do solo e solo + adubo das figuras para a terra-roxa e os dos solos do arenito Bauru, verifica-se que êstes são mais pobres em PO₄⁻³ solúvel em H₂SO₄ 0,05 N. Como já foi apresentado anteriormente (3), as terras-roxas possuem alto teor de fósforo total, devido à retenção promovida pelos óxidos de ferro e alumínio. O fósforo fixado, não indicado pelo método do H₂SO₄ 0,05 N, mas, parcialmente, pelo método do ácido oxálico + oxalato de potássio (4), pode ser mobilizado por calagem, conforme se infere das experiências de Wutke e outros (5), com milho.

Nos 23 ensaios analisados para terra-roxa, a variável "produção", apresentada em porcentagem da produção máxima, foi transformada em V%. Apenas o coeficiente de correlação linear foi significativo: C = 0,623 **. Entretanto, êsse valor só explica 40% da ligação entre variáveis.

A equação de regressão linear entre o teor de P₂O₅ (X) e a porcentagem de produção transformada (Y) é:

$$Y = 50,85 + 0,1673 X$$

A equação que levaria diretamente à porcentagem de produção P em função do teor de P₂O₅ (X) seria:

$$P = 100 [\text{sen } (50,85 - 0,1673 X)]^2$$

No quadro 1 encontra-se a análise da variância.

Os poucos resultados obtidos nos solos derivados de rochas do pré-Cambriano, comumente chamados massapé-salmourão, seguiram aquêles correspondentes à terra-roxa. Infelizmente, o número de experiências foi muito pequeno (4) para conclusões definitivas.

Para se conhecer a influência da capacidade produtiva do solo em relação ao teor de fósforo, as experiências foram grupadas segundo as produções sem adubo em: menor que 100 arrôbas/alqueire (620 kg/ha); entre 101 a 300 arrôbas/alqueire (635 a 1.860 kg/ha) e entre 301 a 500 arrôbas/alqueire (1.875 a 3.100 kg/ha). Os resultados seguiram os do arenito Bauru, cujas inferências já foram apresentadas.

A fim de comparar o efeito climático dos três anos, os resultados foram estudados de maneira semelhante aos do arenito Bauru. Foi verificada a mesma uniformidade da ação climática.

4 — CONCLUSÕES

1) Para os solos comumente empregados na cultura algodoeira, somente o fósforo apresentou reações suscetíveis de estudo de correlação.

2) As correlações estabelecidas em dois grupos de solos, foram obtidas entre o teor de fósforo do solo (ou solo + adubo) e a porcentagem da produção máxima (melhor tratamento da experiência).

3) Os adubos nitrogenados e os potássicos retardaram a ação do fósforo, para atingir a produção máxima, porém, na sua ausência, o último elemento não deu reações uniformes. Achou-se aconselhável utilizar os dados experimentais com fertilizantes de nitrogênio e de potássio em doses mínimas (30 kg/ha de N e K₂O) para as correlações.

4) Nos solos derivados do arenito Bauru, a correlação mostrou-se altamente significativa, explicando, a linear, quase 50%, e a quadrática, menos de 10%. A equação que levaria à porcentagem de produção é a seguinte:

$$P = 100 [\text{sen } (37,66 + 0,3682 X - 0,000907 X^2)]^2$$

onde P é a porcentagem da produção e X o teor de P₂O₅ no solo.

Nas terras-roxas somente a correlação linear foi significativa, podendo explicar 40% das variáveis. Neste caso, a equação seria:

$$P = 100 [\text{sen } (50,85 - 0,1673 X)]^2$$

5) Para se estimar o aumento de produção em relação ao teor do solo + adubo, é necessário o conhecimento da produção anterior.

LEVEL OF SOIL FERTILITY FOR COTTON CROPS

II — CORRELATION BETWEEN YIELD AND PHOSPHORUS CONTENT IN THE SOIL

SUMMARY

From a total of 216 trials with cotton fertilization carried out from 1957 through 1960, the results were put in correlation with the phosphorus contents of the soil. On account of the small number of favorable reactions to the nitrogenous and potassic fertilization, just that one only nutrient could be studied. It was found out, however, that low levels of nitrogen and potassium (30 kilograms to the hectare) give a better consistence to the action of phosphorus. Considering 100 the best yield, it was possible to statistically establish the ratio between the contents of phosphorus of the soil and the percentages of yield. The correlation was highly significant, giving an explanation for the linear being about 50% and the quadratic one less than 10% for the soils of arenito Bauru. Thus, the equation was obtained leading to the higher percentage of yield by adding the phosphated fertilizer.

LITERATURA CITADA

1. CATANI, R. A., GALLO, J. R. & GARGANTINI, H. Amostragem de solo, métodos de análise, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônômico, 1955. 29p. (Boletim n.º 69)
2. MCCLUNG, A. C., FREITAS, L. M. N. (e outros). A adubação do algodoeiro em solos de campo cerrado do Estado de São Paulo. São Paulo, IBEC Research Institute, 1961. 35p. (Boletim n.º 27)
3. VERDADE, F. C. Composição química de alguns solos do Estado de São Paulo. II — Fósforo e Manganês. *Bragantia* 19:[567]-577. 1960.
4. ———, WUTKE, A. C. P., AMARAL, A. Z. (e outros). Níveis de fertilidade dos solos do Estado de São Paulo para a cultura algodoeira. I — Os teores de fósforo, nitrogênio e potássio. Tese apresentada no Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. *Bragantia* 24:[55]-74. 1965.
5. WUTKE, A. C. P., SCHMIDT, N. C., AMARAL, A. Z. (e outros). Disponibilidade de fosfatos naturais em função do pH do solo. *Bragantia* 21:[271]-284. 1962.