

ESTUDO DA FERTILIDADE DE UM SOLO DE CAMPO CERRADO¹

PAULO AUGUSTO DA EIRA², ALAÍDES PUPPIN RUSCHEL³, DIRCE P. P. DE SOUZA BRITTO⁴, STANLEY FRANK MILLER⁵ e GEORGE RICHARD BAUWIN⁶

SINOPSE.- Em experimento realizado em potes, em casa de vegetação, com milho como planta teste, foi estudada a possibilidade de, ao invés de se utilizarem tôdas as combinações de um fatorial completo 2⁵, usar-se apenas parte delas, verificando-se, ainda, quais as que devam ser usadas para uma resposta às investigações essenciais; o trabalho é, também, uma contribuição para o melhor conhecimento de um solo de campo cerrado.

A análise estatística foi feita como fatorial completo 2⁵ e também em fatoriais fracionados correspondentes aos dois sub-blocos -NPKCaM e +NPKCaM. A interação de mais alta ordem foi confundida em virtude do fracionamento em dois sub-blocos.

O esquema que apresentou o menor coeficiente de variação e, portanto, melhor precisão, foi o -NPKCaM, que ainda permite o estudo dos efeitos principais e suas interações de primeira ordem, de grande importância para as informações de adubação.

Tomando por base os resultados encontrados na análise feita para o esquema -NPKCaM, têm-se, como necessidades máximas deste solo, o cálcio + magnésio (calagem), o fósforo e o nitrogênio, elementos que a análise do solo revelou deficientes.

Não se observou resposta a micronutrientes, bem como ao potássio.

INTRODUÇÃO

O problema da adubação nos solos de campo cerrado tem merecido a atenção de vários pesquisadores, face principalmente às enormes áreas que eles ocupam, mas que permaneceram por longos anos cobertas por vegetação natural.

Alguns autores (Rawitscher *et al.* 1943, Ferri 1955) mostram que as reservas de água em muitos destes solos são suficientes para garantir um bom desenvolvimento das plantas.

McClung *et al.* (1958) e Freitas *et al.* (1960) pesquisaram a resposta de solos de cerrado a elementos nutritivos, usando esquema experimental "todos menos um", constituído de um tratamento completo onde estavam presentes todos os nutrientes, sendo os demais tratamentos obtidos pela omissão de um dos nutrientes por vez. Os primeiros, em ensaios de potes, com capim Pangola e com solos de Goiás e São Paulo, obtiveram resposta a fósforo, nitrogênio, calagem e microelementos + enxofre; já Freitas *et al.* (1960), trabalhando em campo, com milho e soja, obtiveram diminuição nas produções dos tratamentos em que foram omitidos o nitrogênio, fósforo, potássio, zinco e calagem. Neste, com relação à

soja, a diminuição foi menor no tratamento sem molibdênio e sem cálcio que naquele onde só o cálcio foi omitido.

Um estudo do efeito da calagem em doses variáveis e em presença de outros nutrientes foi feito por Mikkelsen *et al.* (1963) com algodão, milho e soja, em três solos de campo cerrado, obtendo os autores acréscimo na produção ao aumentar a calagem e resposta a potássio, nitrogênio, fósforo, enxofre e micronutrientes (zinco, boro e molibdênio), que variou com a cultura e o nível da calagem.

Tendo em vista a importância econômica da região em que ocorre este tipo de solo, seria interessante a instalação de experimentos nos mesmos, visando obter-se respostas rápidas e que indicassem o caminho para seu melhor aproveitamento.

É este trabalho uma contribuição ao melhor conhecimento do solo em questão, no que diz respeito à adubação mineral, além de representar uma tentativa no sentido de encontrar, entre os três esquemas experimentais usados na análise dos dados, qual seria o mais adequado para um estudo de fertilidade em esquema fatorial (com dois níveis dos elementos), ou ainda, se haveria alteração das respostas ao se usar os fatoriais fracionados em lugar do completo.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se um solo podzólico de campo cerrado, coletado em área da Escola Agrotécnica de Brasília, o qual apresentava uma coloração vermelho-escuro e cuja análise química mostrou os seguintes resultados: pH 4,0, 0,20% de N, 2,2 ppm de P, 60 ppm K, 0,35 mEq% de Ca + Mg e 2,25 mEq% de Al. As análises químicas foram realizadas utilizando-se os métodos descritos pelo Plano Nacional de Análises Rápidas de Solos.

O experimento foi realizado em casa de vegetação, usando-se potes de plástico com 1 kg de solo e, como planta teste, o milho (sintético IPEACS).

¹ Recebido 19 mar. 1970, aceito 24 mai. 1971.

Apresentado no XII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Curitiba, julho 1969.

² Eng.º Agrônomo do Setor de Solos do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Centro-Sul (IPEACS), Km 47, Campo Grande, GB, ZC-26, e bolsista Pesquisador Assistente do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq).

³ Eng.º Agrônomo, Chefe do Setor de Solos do IPEACS e bolsista Pesquisador do CNPq.

⁴ Eng.º Agrônomo, Chefe do Setor de Estatística Experimental e Análise Econômica do IPEACS, Prof. Adjunto da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e bolsista Chefe de Pesquisa do CNPq.

⁵ Economista Agrícola do Instituto de Pesquisas IRI.

⁶ Especialista em fertilidade de solo, do Instituto de Pesquisas IRI.

O esquema experimental foi o fatorial 2⁸ completo, colocado em blocos ao acaso com 32 tratamentos repetidos duas vezes, variando os nutrientes: nitrogênio, fósforo, cálcio + magnésio (calagem) e micronutrientes.

Os níveis de nitrogênio, fósforos e potássio foram dois: zero e 200 mg de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, por kg de solo. As fontes destes elementos foram: nitrato de amônio (NH₄NO₃), fosfato ácido de sódio (NaH₂PO₄.H₂O) e cloreto de potássio (KCl), todos produtos de laboratório p.a. A quantidade da mistura 1/1 de CaCO₃ e MgCO₃ (pré-análise) necessária para elevar o pH a 5,5 foi de 3 g/kg de solo, calculada mediante uma curva de neutralização. Aplicaram-se 10 ml/kg de solo da seguinte solução de micronutrientes: 1,250 g de ZnSO₄.7H₂O, 1,250 g de CuSO₄.5H₂O, 1,000 g de Na₂B₄O₇.10 H₂O, 0,001 g de (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O, 1,532 g de FeSO₄.7H₂O e água destilada até completar 1.000 ml, todos os produtos pré-análise.

Com exceção do fosfato e da mistura de carbonatos, todos os nutrientes foram aplicados em solução. Após a aplicação dos produtos deixou-se secar e homogeneizou-se o solo de cada pote, adicionou-se, então, água até a capacidade de campo e deixou-se em incubação à temperatura ambiente, durante 3 semanas. Durante este tempo, como também no decorrer de todo o experimento, procurou-se manter sempre o solo com um teor de água satisfatório, mediante regas periódicas.

Fêz-se a semeadura de seis sementes por pote, deixando-se após o desbaste, 2 plantas. A colheita foi feita seis semanas após o plantio.

Na colheita, as plantas foram cortadas ao nível do solo e logo após, levadas à estufa ventilada e regulada para 55°C, onde secaram. Fêz-se então a determinação do peso seco.

Análise estatística: Além do esquema fatorial 2⁸, já citado anteriormente, foram feitas análises em dois fatoriais fracionados obtidos a partir do completo.

Um fatorial 2⁸ fornece 32 tratamentos ou combinações entre os elementos citados e obriga o pesquisador a usar, quando em experimento de campo, o fatorial propriamente dito, com os 32 tratamentos divididos em dois sub-blocos, de forma a encontrar faixas homogêneas de solo dentro dos mesmos. Para a divisão dos tratamentos em dois sub-blocos é necessário usar o confundimento, que geralmente é obtido confundindo o efeito da interação de mais alto grau. Para isso organiza-se um sub-bloco com os tratamentos que no quadro de sinalização apresentaram sinal negativo para o cálculo dos efeitos da interação de mais alto grau e um segundo sub-bloco com os tratamentos que apresentaram sinal positivo no quadro de efeitos da mesma interação.

Tendo sido o presente trabalho realizado em vasos, em casa de vegetação, após obtidas as 32 combinações, foram estas colocadas no delineamento de blocos ao acaso, com duas repetições, tendo cada bloco os 32 tratamentos.

Para efeito comparativo, o trabalho de análise foi dividido em princípio, em duas fases: 1.^a) análise da variância do delineamento em blocos ao acaso, na qual se estuda a regressão, ou seja, se testa a variância dos efeitos principais e os efeitos de suas interações de 1.^a, 2.^a, 3.^a e 4.^a ordens; 2.^a) análise, também em blocos ao acaso separadamente, dos efeitos dos tratamentos colocados num e noutro sub-bloco, de acordo com o princípio de confundimento já explicado anteriormente, a fim de se verificar se os efeitos significativos observados na análise normal são confirmados nas análises isoladas para os 16 tratamentos colocados nos sub-blocos.

Detalhes destas análises podem ser vistos em Cockran e Cox (1957) e Li (1964).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se os resultados colhidos nesta experiência, inicialmente com a análise realizada para o fatorial completo 2⁸. No Quadro 1 observam-se os resultados de peso seco de milho assim como os efeitos dos diferentes tratamentos e significâncias indicadas pela análise de variância. Pode-se notar que os efeitos de P, Ca, NP, NCa, PCa e NPCa foram todos positivos e significativos.

QUADRO 1. Influência dos tratamentos no peso seco do milho e efeitos significativos indicados pela análise de variância no esquema fatorial completo

Tratamentos	Peso seco do milho (g)		Efeitos*
	Totais	Média p/pote	
N	0,9	0,45	+ 3,8
P	2,5	1,25	+ 49,2**
K	1,3	0,65	+ 1,0
Ca	4,0	2,00	+ 81,8**
M	1,0	0,50	+ 1,0
NP	1,5	0,75	+ 10,4*
NK	1,1	0,55	+ 2,0
NCa	3,5	1,75	+ 11,6*
NM	1,2	0,60	+ 6,0
PK	1,2	0,60	+ 3,2
PCa	3,1	1,55	+ 40,0**
PM	2,8	1,40	+ 2,0
KCa	4,3	2,15	+ 4,8
KM	1,4	0,70	+ 3,6
CaM	4,0	2,00	+ 4,0
NPK	1,1	0,55	+ 3,4
NPCa	9,9	4,95	+ 13,0**
NPM	1,2	0,60	+ 3,8
NKCa	3,4	1,70	+ 6,2
NKM	1,3	0,65	+ 1,0
NCaM	3,5	1,75	+ 6,2
PKCa	10,2	5,10	+ 2,2
PKM	2,0	1,00	+ 5,0
PCaM	7,1	3,55	+ 4,2
KCaM	4,3	2,15	+ 4,6
NPKCa	10,6	5,30	+ 4,8
NPKM	1,5	0,75	+ 2,4
NPCaM	12,2	6,10	+ 5,2
NKCaM	4,2	2,10	+ 0,0
PKCaM	7,4	3,70	+ 6,4
NPKCaM	9,8	4,90	+ 1,8
t	1,5	0,75	-
Total	131,2		C.V. = 26%

* - 5% de probabilidade, ** - 1% de probabilidade.

As maiores respostas foram obtidas para a calagem, fósforo e calagem mais fósforo. O nitrogênio só respondeu quando em presença de um deles ou dos dois. Estes resultados confirmam em parte os obtidos por Freitas *et al.* (1960), também com milho em solo de cerrado, que tiveram respostas para o fósforo e cálcio, diferindo quanto ao potássio e nitrogênio. No que se refere ao potássio deve-se considerar que o teor deste elemento no solo utilizado era médio-alto segundo o critério do Plano Nacional de Análises Rápidas de Solos e bastante mais alto que naquele utilizado por Freitas *et al.* (1960). Deste modo, não seria de se estranhar a falta de resposta do solo em questão ao citado elemento.

Ainda pela análise do solo, observa-se que tanto os teores de fósforo e de Ca + Mg como o pH são baixos e o teor de alumínio trocável é bastante elevado. Em vista destas observações, era de esperar uma resposta acentuada à aplicação da mistura de carbonatos (cala-

gem) que funcionaria não só como fonte de cálcio e magnésio mas também como corretivo da acidez. A elevação do pH ao nível pretendido (5,5) proporcionaria diminuição considerável do efeito nocivo do alumínio existente no solo. Também com respeito ao fósforo obtive-se resposta e justifica-se a mesma, face ao teor baixo do mesmo apresentado pelo solo.

Observou-se que a presença da mistura de carbonatos provocou um aumento, em relação à testemunha, cinco vezes maior que o provocado pelo fósforo, e que os dois elementos juntos, comparados com a testemunha, aumentam de 6 vezes a produção.

QUADRO 2. Valores observados e estimados (médias de 2 potes) da interação de 2.ª ordem significativa NPCa

Calagem	NO		N1	
	PO	P1	PO	P1
S/Ca	0,75 ^a 0,72	1,25 1,08	0,45 0,58	0,75 0,74
C/Ca	2,00 2,08	4,65 4,10	1,75 1,82	4,95 5,31

^a Os dados grifados referem-se às médias observadas e os não grifados às médias estimadas.

Equação da Produção:

$$Y = 2,050000 + 0,959375N + 0,753125P + 1,278125 Ca + 0,162500NP + 0,181250 NCa + 0,625000 PCa + 0,203125 NPCa$$

No Quadro 2 apresenta-se a interação NPCa, onde se compararam as produções observadas e estimadas. As produções estimadas são obtidas através da equação de produção apresentada junto ao quadro. Vê-se que a produção do tratamento só com nitrogênio é menor que a do tratamento testemunha. Os valores para NP e NCa também são menores que os obtidos para P e calagem sem a presença do nitrogênio, porém, quando aparecem os três na interação NPCa, a quantidade de matéria seca é maior que a obtida só com o PCa. A diferença, portanto, entre estes dois valores deve ser atribuída ao

nitrogênio, apesar de ter havido uma pequena diminuição quando em presença de cada um deles em separado. Pode-se atribuir a significância encontrada para NPCa às interações significantivas NP e NCa.

Numa segunda fase do trabalho, como já foi dito, trabalhou-se com a metade do número total de tratamentos com a finalidade de verificar se os mesmos efeitos significantivos na análise geral dos 32 tratamentos ocorreriam nos fracionados. Apresenta-se para tal o Quadro 3, que representa os tratamentos colocados nos dois sub-blocos: o +NPKCaM e o -NPKCaM, onde estão presentes os tratamentos que no quadro de sinalização receberam, respectivamente, sinais positivos e negativos assim como seus totais, médias de duas repetições e efeitos pesquisados com suas respectivas significâncias.

Pode-se notar que a análise do fracionado +NPKCaM, só apresentou significância para os efeitos de P, Ca e PCa, o que não concorda com a análise do completo que, além destes, mostrou significância para NP, NCa e NPCa. Há que se notar ainda o coeficiente de variação, que no fatorial completo foi de 26% e neste fracionado elevou-se a 35%.

Quanto ao fracionado -NPKCaM, todos os efeitos significantivos da análise do fatorial completo apresentaram-se significantivos, assim como o nitrogênio, que naquela análise não mostrou significância e nesta teve um efeito significativo e positivo, vindo com isto melhor informar o aparecimento, nas duas análises, da significância das interações NP e NCa. Ainda mostraram significância nesta análise K, PK e KM, mas no sentido prejudicial, já que os seus efeitos são negativos, o que vem mais uma vez corroborar a falta de resposta deste solo ao potássio e micronutrientes. Deve-se informar ainda que o aparecimento de significância para Km parece-nos ser devido ao seu alias, que é NPCa, que foi altamente significativo na análise do fatorial completo, indicando, talvez, que aquilo que supúnhamos ser efeito de KM, na realidade é de NPCa, já que os dois efeitos são determinados pelo mesmo contraste.

Outro ponto a ser observado é o do coeficiente de variação, que de 26% no completo passou a 13% no -NPKCaM.

QUADRO 3. Influência dos tratamentos no peso seco, total e médio do Milho (g) e efeitos significantivos indicados pela análise de variância nos esquemas fracionados +NPKCaM e -NPKCaM

+NPKCaM					-NPKCaM					
Tratamentos	Total	Média p/pote	"Alias"	Efeitos	Tratamentos	Total	Média p/pote	"Alias"	Efeitos*	
N	0,9	0,45		N	1,5	0,75	P	PKCaM	N	+ 5,1**
P	2,5	1,25	NKCaM	P	1,5	0,75	P	NKCaM	P	+ 24,1**
K	1,3	0,65		K	1,1	0,55	K	NPCaM	K	- 3,1*
Ca	4,0	2,00	NPKM	Ca	3,5	1,75	Ca	NPKM	Ca	+ 42,1**
M	1,8	0,80		M	1,2	0,60	NM		M	+ 2,9
NPK	1,1	0,55		NP	1,2	0,60	PK	KCaM	NP	+ 7,5**
NPCa	9,9	4,95		NK	1,2	0,60	PCa		NK	+ 1,1
NPM	1,8	0,90		NKa	2,9	1,40	PM	PKM	NKa	+ 8,3**
NKCa	3,4	1,70		NM	4,3	2,15	KCa		NM	+ 1,9
NKM	1,3	0,65		PK	1,4	0,70	KM	NCaM	PK	- 4,7**
NCaM	3,5	1,75	NKM	PCa	4,0	2,00	CaM	NKM	PCa	+ 20,5**
PKCa	10,2	5,01		PM	10,6	5,30	NPKCa		PM	+ 2,1
PKM	2,0	1,00		KCa	1,5	0,75	NPKM		KCa	+ 0,5
PCaM	7,1	3,55		KM	12,2	6,10	NPCaM	NPCa	KM	- 8,3**
KCaM	4,3	2,15		CaM	4,2	2,10	NKCaM		CaM	- 0,3
NPKCaM	9,8	4,90			7,4	3,70	PKCaM			-

C.V. = 35%

C.V. = 13%

* Os asteriscos indicam os efeitos significantivos fracionados pela análise de variância: * = 5% de probabilidade, ** = 1% de probabilidade.

Quanto aos efeitos de interação de ordem elevada, é interessante lembrar que eles dificilmente se apresentam significativos e quando isto acontece, em geral, é nas interações de 1.^a ordem dos elementos principais. No presente trabalho, como pode ser verificado no Quadro 1, a não ser NPCa, que já teve discutida a sua significância, nenhuma interação de ordem elevada foi significativa.

Diante dos resultados aqui apresentados, acredita-se não haver inconveniente em se trabalhar com apenas os 16 tratamentos que formam o sub-bloco -NPKCaM, ou seja, os que no quadro de sinalização receberam sinal negativo, ao invés dos 32 do fatorial completo. Isto porque se nota que este esquema deu melhor precisão, além de a referida análise permitir o estudo dos efeitos principais e suas interações de primeira ordem justamente o que mais interessa para as informações de adubação.

O solo utilizado neste experimento, baseando-nos nos resultados do -NPKCaM, tem como suas maiores necessidades o cálcio + magnésio, o fósforo e o nitrogênio, que são, afinal, os elementos que se apresentam com teores baixos na análise química do mesmo.

Quanto a micronutrientes, observa-se que em nenhum dos esquemas pesquisados houve respostas, nem à aplicação simples nem às suas interações com os demais nutrientes, ao contrário do observado por McClung *et al.* (1958), com capim pangola, e Mikkelsen *et al.* (1963), com milho, soja e algodão em solos de cerrado, de São Paulo e Goiás. Também Britto *et al.* (1967), trabalhando com solo de cerrado em São Simão, São Paulo, notaram efeito significativo do zinco para a cultura do milho.

Concluimos, quanto aos fatoriais fracionados, que no solo utilizado não há inconveniência em usar apenas os 16 tratamentos do esquema experimental -NPKCaM. Deve-se, no entanto, levar ao campo experimentos com estes mesmos esquemas, em diferentes áreas de campo cerrado, visando obter maiores conclusões, já que grandes são as vantagens de sua aplicação em vista, principalmente, da economia de área, mão-de-obra, tempo e material, além de fornecer os resultados que mais interessam em um estudo de fertilidade.

REFERÊNCIAS

- Britto, D.P.P. de S., Castro, A.F. de & Nery, C. 1967. Ensaio de adubação de milho em latossolo vermelho amarelo sob vegetação de cerrado. Reunião sobre Cerrado, Sete Lagoas, Minas Gerais.
- Cochran, W.G. & Cox, G.M. 1957. *Experimental designs*. 2nd ed. John Wiley, New York, p. 122-207.
- Ferri, M.G. 1955. Contribuição ao conhecimento da ecologia do cerrado e da caatinga. Tese, Univ. São Paulo. 170 p.
- Freitas, L.M.M. de, McClung, A.C. & Lott, W.L. 1960. Experimentos de adubação em dois solos de campo cerrado. Bolm 21, IRI, Matão, S. Paulo, p. 12-26.
- Li, J.C.R. 1964. *Statistical inference*. 1st ed. Edwards Brothers, Michigan, p. 425-496.
- McClung, A.C., Freitas, L.M.M. de, Gallo, J.R., Quinn, L.R. & Mott, G.O. 1958. Alguns estudos preliminares sobre possíveis problemas de fertilidade em solos de diferentes campos cerrados de São Paulo e Goiás. Bolm 13, IRI, Matão, S. Paulo, p. 15-24.
- Mikkelsen, D.S., Freitas, L.M.M. de & McClung, A.C. 1963. Efeitos da calagem e adubação na produção de algodão, milho e soja em três solos de campo cerrado. Bolm 29, IRI, Matão, S. Paulo, p. 15-38.
- Rawitscher, F., Ferri, M.G. & Rachid, M. 1943. Profundidade de solos e vegetação em campo cerrado do Brasil Meridional. Ann. Acad. bras. Ciên. 15:267:294.

ABSTRACT.- Eira, P.A. da, Ruschel, A.P., Britto, D.P.P. de S., Miller, S.F. & Bauwin, G.R. 1972. *Fertility study on a Campo Cerrado soil*. Pesq. agropec. bras., Sér. Agron. 7: 119-122. (Inst. Pesq. Agropec. Centro-Sul, Km 47, Rio de Janeiro, GB ZC-26, Brazil)

In a greenhouse experiment with corn the response to mineral fertilizers (NPK, lime and micronutrients) was analyzed by three different experimental designs to determine how the responses to fertilizers as measured with incomplete factorials compared with the complete factorial. The present paper represents also a contribution to the evaluation of the fertility of a campo cerrado soil from Goiás, Brazil.

A complete 2⁵ factorial analysis was done as well as two additional fractional factorial analysis corresponding to the two groups: -NPKCaM and +NPKCaM. The interaction of the higher order was confounded because of the fractionization in two groups.

The best results were obtained from the fractional factorial analysis whose NPKCaM interaction was not confounded, since its standard deviation came out to be smaller. The same analysis was able to give us all the information about the single effects and main interactions, and according to its results the main needs of the soil in question are lime, phosphorus and nitrogen, the same deficiencies a previous soil analysis had detected. Neither micronutrients nor potassium responses were found to be significant.