

# EFEITOS AGRONÔMICOS E ECONÔMICOS DO CALCÁRIO, NITROGÊNIO, FÓSFORO, POTÁSSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NOS RENDIMENTOS DE SOJA, FEIJÃO E ARROZ EM UBERABA, MINAS GERAIS<sup>1</sup>

RICARDO JOSÉ GUAZZELLI<sup>2</sup>, JOSÉ FERREIRA MENDES<sup>3</sup>, GEORGE R. BAUWIN<sup>4</sup> e STANLEY F. MILLER<sup>5</sup>

**SINOPSE.**- As terras de cerrado do Brasil Central prestam-se ao cultivo do arroz e têm grandes possibilidades para o plantio da soja. Estudam-se, no momento, as condições necessárias para tornar viável a cultura do feijão. Para estudar com maiores detalhes esses cultivos foram plantados, numa mesma área, ensaios exploratórios do tipo fatorial 2<sup>n</sup> e, para a avaliação das superfícies de respostas, delineamentos centrais compostos para arroz e feijão e um fatorial 5<sup>n</sup> para soja. Foram focalizados os nutrientes e corretivos calcário, fósforo, nitrogênio, potássio, enxofre e uma mistura de micronutrientes. Foi feita a interpretação dos dados de produção e a análise econômica.

## INTRODUÇÃO

As savanas ou campos cerrados do Brasil são provavelmente a maior área subdesenvolvida do globo que tem condições físicas e químicas para altas produções de muitos cultivos, mediante a adoção de adubação e manejo adequados.

Ela não se tem desenvolvido principalmente devido a ter o solo propriedades e composição química peculiares, à falta de conhecimentos de como modificá-las e aos aspectos econômicos pertinentes. A área foi descrita por McClung *et al.* (1957), Mikkelsen *et al.* (1963), Ranzani (1963) e outros.

De acordo com dados publicados, a maior parte dos experimentos de fertilidade de solo conduzidos em campo cerrado tem sido de natureza exploratória, para determinar os nutrientes deficientes e obter as estimativas das quantidades de calcário e fertilizantes necessários para rendimentos ótimos da cultura. Os primeiros ensaios eram em geral testes de fatores limitantes nos quais o tratamento completo era comparado com tratamentos em que se fazia omissão de um ou mais nutrientes. Os últimos ensaios apresentaram a forma de fatoriais do tipo 3<sup>3</sup> ou 3 × 2, envolvendo calcário e fertilizante (uma mistura dos elementos principais, secundários e micronutrientes). Naturalmente as duas informações poderiam ser colhidas em um ensaio do tipo 2<sup>n</sup>. Este último poderia também fornecer estimativas das interações. Muitos dados não publicados referem-se a ensaios fatoriais 3<sup>3</sup>,

envolvendo nitrogênio, fósforo e potássio, sendo dada pequena atenção a outros nutrientes essenciais e corretivos e, em um bom número de casos, às repetições. As limitações dos fatoriais 3<sup>3</sup> foram discutidas por Bauwin *et al.* (1967), Miller *et al.* (1972), e outros (Natn. Acad. Sci. 1961). O Triângulo Mineiro, no qual se localiza a Estação Experimental de Uberaba<sup>6</sup>, é parte da região de campo cerrado. Pertence a uma das maiores regiões produtoras de arroz do país. O arroz de sequeiro é frequentemente plantado nos solos sob cerrado de um a três anos após a destoca. O terreno é então aproveitado em pastagens. O cultivo é preferido nos níveis de preços atuais, sobre competidores potenciais como milho e soja, porque rendimentos satisfatórios podem ser obtidos nessas terras ácidas e de baixo nível de fertilidade, sem nenhum ou com pouco adubo e corretivos. O principal risco no cultivo de arroz da região é a possibilidade da ocorrência de estiagens prolongadas, as quais podem reduzir o rendimento drasticamente. O risco é distribuído mediante o semeio em datas diversas. Oliveira *et al.* (1964), em um ensaio N, P e K em campo cerrado, encontraram resposta unicamente para fósforo e chegaram à conclusão de que 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectare foram suficientes para boa produção.

Em outro trabalho com esta cultura, Oliveira *et al.* (1965) acharam resposta para P se o conteúdo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de solo for menor que 0,08 e.mg/100 g de solo e também resposta para N, no caso de os resíduos da cultura anterior terem sido incorporados ao solo pouco antes do plantio.

O pH e valores de K<sup>+</sup>, em e.mg/100 g de solo, variaram de 5,65 a 6,75 e de 0,10 a 0,20, respectivamente.

Em um experimento fatorial 5<sup>2</sup> com feijão em solo sob cerrado, Miller *et al.* (1972) encontraram respostas significativas para N, P e N × P. Tomando como base a equação de regressão obtida com os dados do ensaio, o rendimento máximo de 686 kg/ha seria obtido com o emprego de 210 kg de N e 101 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectare.

<sup>6</sup> Órgão regional do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Oeste (IPEACO), Sete Lagoas, MG.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 30 ago. 1971.

Trabalho conduzido em colaboração com o programa da Aliança para o Progresso, pelo convênio Min. Agricultura/USAID/IRI.

<sup>2</sup> Eng.º Agrônomo, Pesquisador em Agricultura da Estação Experimental de Uberaba, do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Oeste (IPEACO) Caixa Postal 57, Uberaba, Minas Gerais.

<sup>3</sup> Eng.º Químico da Seção de Solos do IPEACO, Caixa Postal 151, Sete Lagoas, Minas Gerais.

<sup>4</sup> Especialista de fertilidade de solos, Ph.D. do Instituto de Pesquisas IRI/USAID, Rio de Janeiro, GB, no período de 1967 a 1970. Atualmente trabalha em firma particular em Fresno, Califórnia.

<sup>5</sup> Economista Rural WRB, NRED, USDA, anteriormente com o Instituto de Pesquisas IRI/USAID, Rio de Janeiro, GB.

Infelizmente, os dois níveis de insumos empregados e a produção se situaram ligeiramente fora dos limites dos dados do ensaio. A extrapolação além desses limites é naturalmente arriscada. Portanto, às estimativas assim conseguidas cabe alguma dúvida. Todas as parcelas receberam calcário dolomítico, suficiente para elevar o pH para aproximadamente 6,0, mais potássio e micronutrientes.

O efeito de N, P, K e micronutrientes (enxofre foi colocado nesta categoria unicamente por conveniência) e mais Zn, B e Mo foi estudado em três tipos de solo sob cerrado por Mikkelsen *et al.* (1963), para soja. Os resultados mostraram respostas para todas as variáveis. Contudo, o ensaio de 1960/61 não foi repetido e pode ter havido algum confundimento nos ensaios 1961/62. Ainda que os autores tenham feito referência de que foram usados esquemas fatoriais  $3 \times 3 \times 3$  e  $4 \times 3 \times 3$ , os dados não foram apresentados na forma de equações de regressão apropriadas à análise econômica.

O uso de 4<sup>o</sup>, 5<sup>o</sup> e dos fatoriais parciais como os centrais compostos em ensaios agronômicos, com a finalidade de estudar dois ou mais nutrientes e corretivos e obter as curvas de respostas das quais podem ser tiradas avaliações econômicas, foi discutido por Bauwin *et al.* (1967), Miller *et al.* (1972), Baird e Mason (1959) e outros.

O objetivo deste estudo foi o de medir as respostas em rendimentos de soja, feijão e arroz em solo sob cerrado a diversos níveis de calcário, nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes, através do uso de delineamentos fatoriais 2<sup>o</sup>, 5<sup>o</sup> e centrais compostos, submetendo-se os resultados à avaliação econômica.

#### MATERIAL E MÉTODOS

O clima do Triângulo Mineiro na região de maior altitude ocupada pelos cerrados é caracterizado por ter, de um modo geral, temperaturas moderadas. O período de estiagem, com 4 a 6 meses, é mais frio e seco. O das chuvas, com 6 a 7 meses, que coincide com o período de crescimento de cultivos de outubro a abril, é quente e chuvoso. As temperaturas médias máximas mensais variam de 26 a 30°C durante o ano, com um máximo absoluto de 37 a 39°C, enquanto a média mensal das temperaturas mínimas varia de 13 a 20°C, com um mínimo ocasional de 5°C.

A precipitação anual é de aproximadamente 1.200 mm e varia de 1.000 a 1.400 mm. Aproximadamente 85% destas chuvas recaem sobre o período de outubro a março. O período mais seco vai de maio a agosto, quando a precipitação é de 50 a 70 mm. As condições climatológicas para os cultivos no ano agrícola 1967/68 podem ser consideradas ideais para o cultivo de arroz e soja, mas houve, durante os estágios finais do cultivo de feijão, escassez de chuvas necessárias para a obtenção de altos rendimentos. Os dados de chuvas e de temperaturas no ano agrícola 1967/68 constam do Quadro 1.

Algumas características físicas e químicas do solo e dos vários horizontes de um perfil, tomado próximo à área do ensaio, consta dos Quadros 2 e 3, respectivamente. As características dos solos foram determinadas pelos métodos da Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo, do Ministério da Agricultura (Vettori 1966). A

área experimental, antes da instalação do ensaio, estava coberta por gramíneas nativas da região e grama cuibana (*Paspalum* sp), não tendo sido cultivada ou adubada. As variáveis, tratamentos, delineamentos e número de repetições constam do Quadro 4.

QUADRO 1. Dados pluviométricos e de temperatura para o ano agrícola 1967/68

Meses	Chuvas			Temperaturas (°C)		
	Total (mm)	Dias (r.º)	Amplitude (mm)	Médias		Média
				Máxima	Mínima	
Outubro	101	12	0,2 a 27,1			
Novembro	176	18	0,7 a 42,6	29	18	23
Dezembro	201	24	0,3 a 49,6	28	18	22
Janeiro	134	16	0,3 a 37,8	29	18	23
Fevereiro	188	18	0,4 a 46,6	28	18	22
Março	93	9	0,3 a 29,1	31	18	24
Abril	14	3	1,9 a 7,1	28	15	21
Mai	1	1	1	27	11	19

QUADRO 2. Algumas características físicas e químicas do solo <sup>a</sup>

Itens	Amplitudes
Areia grossa	22,05 a 25,36%
Areia fina	50,89 a 54,51%
Silte	5,75 a 14,00%
Argila	8,75 a 16,75%
pH	5,00 a 5,30
Al	0,15 a 0,25 meq/100 g
Ca + Mg	0,70 a 1,20 meq/100 g
K	34,00 a 41,00 ppm
P	traços ppm
M.O.	0,17 a 1,11%
Total N	0,04 a 0,06%

<sup>a</sup> Profundidade: 0 - 15 cm.

QUADRO 3. Algumas características de um perfil de solo tomado nas proximidades da área experimental

Itens	Horizontes			
	A (0 - 9 cm)	B <sub>1</sub> (9 - 30 cm)	B <sub>2</sub> (30 - 61 cm)	B <sub>3</sub> (+ 61 cm)
Areia grossa (%)	37,44	41,63	42,80	40,70
Areia fina (%)	43,76	32,97	33,95	35,30
Silte (%)	3,40	2,10	1,45	1,80
Argila (%)	15,40	20,30	21,80	22,20
pH em água	4,82	5,10	5,20	5,10
pH em KCl	4,40	4,40	4,50	4,65
Umidade equivalente	13,24	13,75	14,62	15,82
Cations trocáveis	1,81	0,72	0,36	1,08
Al (meq/100 g)	0,50	0,30	0,20	0,20
Ca (meq/100 g)	0,88	1,04	0,88	0,88
Mg (meq/100 g)	0,16	0,16	0,16	0,13
K (meq/100 g)	0,15	0,15	0,13	0,08
Na (meq/100 g)	0,21	0,14	0,11	0,07
Saturação de bases (%)	49,86	67,42	78,04	51,78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				
Total (%)	0,92	0,08	0,08	0,08
Bray I (mg/100 g)	0,61	0,42	0,32	0,42
Carbono (%)	0,34	0,12	0,19	0,20
Total N (%)	0,04	0,04	0,02	0,02

Seis experimentos foram conduzidos lado a lado na Estação Experimental de Uberaba, em um solo arenoso do tipo Latossolo Vermelho-amarelo, fase cerrado, com baixa fertilidade, declividade de 4% e exposição leste.

QUADRO 4. Variáveis e delineamento usados para cada ensaio

Culturas	Variáveis <sup>a</sup>	Delineamentos <sup>b</sup>	N.º de repetições
Soja	L, P, K, ME	2ª fatorial	3
Soja	L, P	5ª fatorial	3
Feijão	L, N, P, K, ME	2ª fatorial	2
Feijão	L, N, P	Central composto	3
Arroz	L, N, P, K, ME	2ª fatorial	2
Arroz	L, N, P, K	Central composto	2

<sup>a</sup> L = calcário, N = nitrogênio, P = fósforo, K = potássio e ME = micronutrientes.

<sup>b</sup> Os tratamentos de cada experimento foram dispostos em blocos ao acaso.

*Experimento 1.* Soja. Ensaio fatorial 2<sup>1</sup>. Os tratamentos tiveram objetivo de verificar a influência da presença e da ausência de calcário, fósforo, potássio e de uma mistura de micronutrientes (Zn, Mo, B e Cu). Junto com os micronutrientes entrou nitrogênio e enxofre.

As doses e os níveis empregados constam do Quadro 5. Um terço do nitrogênio foi empregado no plantio, juntamente com os outros nutrientes.

Outros detalhes do ensaio e dados de produção figuram nos Quadros 6 e 7.

Foi plantada soja da variedade Pelican, sendo usado, pouco antes do plantio, inoculante específico de *Rhizobium*.

QUADRO 5. Quantidades aplicadas de calcário e nutrientes nos ensaios 2<sup>1</sup> (kg/ha)

Itens	Culturas		
	Soja (2 <sup>1</sup> )	Arroz (2 <sup>1</sup> )	Feijão (2 <sup>1</sup> )
L	1000	3000	4000
N	0	30	100
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	150	100	200
K <sub>2</sub> O	50	50	50
ME			
Zn	10	10	10
Mo	0,25	0,25	0,25
Cu	10	10	10
S	50	50	50
B	30	0	0
B	1	1	1

<sup>a</sup> Incluído na relação de micronutrientes unicamente por conveniência.

colocado o enxofre. Nos Quadros 4, 5 e 6 encontram-se os detalhes do ensaio e dos tratamentos. Nos experimentos de arroz foi usada a variedade Batatais.

*Experimento 4.* Arroz. Foi empregado um delineamento central composto rotativo de segunda ordem (Cochran & Cox 1957, N.A.S. 1961), envolvendo quatro variáveis (calcário, nitrogênio, fósforo e potássio) com cinco níveis cada, sendo usadas duas repetições.

Os delineamentos centrais compostos (Box) são aparentemente mais eficientes numa base por parcela do que um arranjo fatorial completo para estimar os coeficientes requeridos para caracterizar uma superfície de resposta

QUADRO 6. Informações das parcelas e do plantio

Itens	Culturas e delineamentos					
	Soja		Feijão		Arroz	
	2 <sup>1</sup>	5 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	Central composto	2 <sup>1</sup>	Central composto
Comprimento da parcela (m)	6,0	10,0	6,0	10,0	6,0	10,0
Largura da parcela (m)	3,5	3,5	2,5	2,5	3,0	3,0
Filieiras/parcela	5	5	5	5	5	5
Colagem	30.10.67	30.10.67	04.11.67	03.11.67	04.11.67	30.10.67
Plantio	11.12.67	11.12.67	01.02.68	02.01.68	02.12.67	02.12.67
Profundidade de plantio (cm)	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4
Sementes/m	30	30				
Covas/m			5	5		
Sementes/cova			3	3		
Plantas/m <sup>a</sup>					50	50
Desbaste <sup>b</sup>						
Plantas/m	20	20				
Plantas/cova			2	2		
Colheita						
Começo	16.04.68	13.04.68	22.04.68	18.01.68	28.03.68	02.04.68
Fim	17.04.68	16.04.68	11.05.68	22.04.68	02.04.68	10.04.68

<sup>a</sup> O arroz foi posto a germinar numa parcela à parte e algumas destas plantas foram usadas em 13.12.67 para plantar falhas e colocar a população em 50 plantas/m.

<sup>b</sup> Efetuado trinta dias após o plantio.

*Experimento 2.* Soja. Ensaio fatorial 5 × 5 para estabelecer o efeito das combinações de cinco níveis de calcário e de fósforo. Os Quadros 6 e 8 mostram detalhes do ensaio e combinações de tratamentos usados.

*Experimento 3.* Arroz. Ensaio fatorial 2<sup>5</sup> para testar o efeito da presença e ausência de calcário, nitrogênio, fósforo, potássio, e de uma mistura de micronutrientes (Zn, Mo, B e Cu). Junto com os micronutrientes foi

quadrática (Box 1954, Box & Wilson 1951), mas os arranjos dos tratamentos não substituem os fatoriais completos em todos os casos. Eles devem ser usados no pressuposto de que medidas simplificadas são feitas para estabelecer a natureza da superfície de resposta na região de interesse (Baird & Mason 1959).

Os detalhes do ensaio estão inscritos nos Quadros 4, 6 e 9.

**Experimento 5.** Feijão. Ensaio fatorial 2<sup>5</sup>, sendo estudado o efeito da presença e ausência das variáveis (calcário, nitrogênio, fósforo, potássio e uma mistura de micronutrientes: Zn, Mo, B e Cu, sendo incluído também o enxofre nessa mistura). A variedade empregada nos ensaios de feijão foi a Preto Rico 23.

QUADRO 7. *Rendimento de feijão, arroz e soja (kg/ha), para os ensaios 2<sup>o</sup>*

Tratamentos	Culturas <sup>a</sup>		
	Feijão (2 <sup>o</sup> fatorial)	Arroz (2 <sup>o</sup> fatorial)	Soja (2 <sup>a</sup> fatorial)
Testemunha	169	1033	817
N	181	1800*	
P	527*	2009*	1379*
NP	483*	2586	
K	188**	1760	682
NK	136	1788	
PK	399	1951	1365
NPK	573**	2092	
L	166*	2336*	1239*
NL	150*	2151	
PL	434	3095	1705
NPL	105**	3261	
KL	233	2092	1169
NKL	223	2943	
PKL	478	3228	1618
NPKL	593	3256	
ME	153*	1629	751
NME	186	1875	
PME	325	2439	1441
NPME	585	2915	
KME	220	1541	809*
NKME	138	1906	
PKME	387	2430	1515
NPKME	684	2537	
LME	348*	2218	1041
NLME	250*	2571	
PLME	634	2979	1620
NPLME	507**	3324	
KLME	338**	1896	1217
NKLME	265	2421	
PKLME	666	2818	1968
NPKLME	614	3095	

<sup>a</sup> Os valores apresentados são médias de duas repetições para os fatoriais 2<sup>o</sup> e três repetições para os fatoriais 2<sup>a</sup>; \* = significantes no nível de 5% de probabilidade, \*\* = significantes no nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 8. *Efeito do calcário e fósforo no rendimento de soja (kg/ha)<sup>a</sup>*

Calcário (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)				
	0	100	200	300	400
0	731	1391	1701	1859	1578
1500	909	1496	1843	(—) <sup>b</sup>	1902
3000	956	1589	1985	(—)	2141
4500	(—)	1750	1874	1945	2176
6000	1040	1559	1929	1988	2076

<sup>a</sup> Cada valor é a média de três repetições.

<sup>b</sup> Parcelas perdidas.

QUADRO 9. *Efeito de calcário, nitrogênio, fósforo e potássio no rendimento de arroz (kg/ha)*

Combinações (kg/ha) <sup>a</sup>				Rendimentos <sup>b</sup>
Calcário	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
0	0	0	0	1223
0	30	100	50	2662
1500	15	50	25	2597
1500	15	50	75	3262
1500	15	150	25	3503
1500	15	150	75	3127
1500	45	50	25	2617
1500	45	150	25	3114
1500	45	50	75	2920
1500	45	150	75	3380
4500	15	50	25	2798
4500	15	50	75	2858
4500	15	150	25	3592
4500	15	150	75	3608
4500	45	50	25	2588
4500	45	150	25	3336
4500	45	50	75	2761
4500	45	150	75	3539
3000	0	100	50	3410
3000	30	0	50	1530
3000	30	100	0	3212
3000	30	100	50	3008
3000	30	100	50	3448
3000	30	100	50	2920
3000	30	100	50	3199
3000	30	100	50	3164
3000	30	100	50	3284
3000	30	100	50	3264
3000	30	100	100	3431
3000	30	200	50	3906
3000	60	100	50	3411
6000	30	100	50	3145

<sup>a</sup> Todas as combinações de tratamento, exceto 0-0-0-0 ou testemunha, constituem um delineamento rotativo de segunda ordem. O tratamento testemunha não foi incluído na análise estatística.

<sup>b</sup> Cada valor é a média de duas repetições.

Os ensaios de feijão não foram tratados com inoculante adequado de *Rhizobium*. Esta prática não é usada habitualmente em Minas Gerais, tendo em vista que inoculante de confiança ainda não foi desenvolvido.

Um terço do nitrogênio e todo o fósforo, potássio, micronutrientes e enxofre foram aplicados no plantio, 5 cm ao lado e 5 cm abaixo do nível das sementes; o nitrogênio restante (2/3) foi aplicado em cobertura três semanas após o plantio.

O calcário foi aplicado e incorporado ao solo 30 dias antes do plantio. Para demais detalhes do ensaio, vide Quadros 4, 5 e 6.

**Experimento 6.** Feijão. Cada repetição do ensaio consistiu em um central composto com 15 coordenadas (Hader *et al.* 1957, Cochran & Cox 1957, e N.A.S. 1961). Foram estudadas as variáveis calcário, nitrogênio e fósforo, cada um em cinco níveis. O ensaio teve três repetições. As quantidades de nutrientes das combinações acima, adubação básica e detalhes do trabalho estão inscritos nos Quadros 4, 6 e 10. A quantidade do calcário utilizado para os experimentos 2<sup>o</sup> foi suficiente para elevar o pH para aproximadamente 6.

QUADRO 10. Efeito de calcário, nitrogênio e fósforo no rendimento de feijão (kg/ha)

Combinações (kg/ha) <sup>a</sup>			Rendimentos <sup>b</sup>
Calcário	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
0	0	0	352
0	50	100	679
1500	25	50	697
1500	25	150	717
1500	75	50	659
1500	75	150	643
3000	0	100	747
3000	50	0	307
3000	50	100	728
3000	50	200	758
3000	100	100	703
4500	25	50	689
4500	25	150	702
4500	75	50	650
4500	75	150	762
6000	50	100	712

<sup>a</sup> A testemunha (primeira linha) não é parte do delineamento, não tendo sido incluída na análise estatística.

<sup>b</sup> Cada valor é a média de três repetições.

Empregou-se nos ensaios calcário dolomítico com 25,93% de CaO, 17,13% de MgO com 99% passando numa peneira com malha de 2 mm e 68% na de 0,297 mm.

Os rendimentos foram obtidos colhendo-se as três fileiras centrais de cada parcela com eliminação de 0,5 m nas extremidades das mesmas, secando os grãos até 10% de umidade e, em seguida, procedendo-se à pesagem.

Os experimentos fatoriais 2<sup>o</sup> foram analisados de acordo com o método de Yates (1937).

Para os outros ensaios foi empregada a função quadrática  $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2 + b_3X_3 + \dots + b_{nn}X_n^2 + b_{n1}X_nX_1 + \dots + b_{np}X_nX_p$ , com  $X_1, X_2, \dots, X_n$  correspondendo às variáveis nutrientes;  $b_1$ , aos coeficientes lineares;  $b_{11}$ , aos coeficientes quadráticos;  $b_0$ , ao ponto de interseção, e  $p = n - 1$  foi ajustado aos dados para os experimentos que não são 2<sup>o</sup>. A equação completa foi reduzida eliminando-se do modelo as estimativas não significativas dos parâmetros. Este processo implica em desenvolver a análise novamente após a eliminação de cada parâmetro, o que pode mudar as estimativas dos mesmos.

A equação reduzida foi usada na fase econômica deste trabalho. Alguns pesquisadores concordam com a redução de equações enquanto que outros, como Hader *et al.* (1957), não recomendam a eliminação individual de termos não significativos. Eles postulam que é extremamente difícil prever, *a priori*, que o verdadeiro coeficiente em questão é exatamente zero. Mesmo que não procedam as evidências contra os valores serem zero, de acordo com os autores citados, a melhor estimativa é a obtida dos dados.

No final da análise, a decisão para aceitar ou rejeitar as estimativas não significativas deve ser deixada para o pesquisador. É uma atribuição da arte de desenvolver modelos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada uma das três culturas será abordada separadamente. Na discussão serão incluídos os aspectos agrônomicos e econômicos.

## Soja

A fonte de variação tratamento para o ensaio fatorial 2<sup>o</sup> foi significativa para  $p = 0,01$  (Quadro 11). Os rendimentos médios para as combinações de tratamentos são apresentados no Quadro 7, o qual mostra resultados altamente significativos para fósforo, calcário e potássio  $\times$  micronutrientes. Contudo, quando a interação foi tabulada num quadro de duas entradas, tornou-se óbvio que não tem importância física aparente. As respostas achadas para calcário e fósforo concordam, de um modo geral, com os resultados obtidos por Mikkelsen *et al.* (1963), que trabalharam em um solo semelhante, não muito longe de Uberaba, em Matão. A resposta média<sup>7</sup> para calcário e fósforo foi de 349 de 607 kg/ha, respectivamente, com um erro "standard" (30 graus de liberdade) de  $\pm 50$ . Estes valores são equivalentes ao aumento (sobre a testemunha) de 41 e 72%, respectivamente.

QUADRO 11. Análise de variância dos ensaios fatoriais 2<sup>o</sup>

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios	Valores F
Soja: fatorial 2 <sup>o</sup>			
Total	47		
Blocos	2	8526,64	0,29
Tratamentos	15	420631,53	14,14** <sup>a</sup>
Erro	30	29754,18	
Feijão: fatorial 2 <sup>o</sup>			
Total	63		
Blocos	1	12712,56	4,08
Tratamentos	31	67082,45	21,53**
Erro	31	3115,08	
Arroz: fatorial 2 <sup>o</sup>			
Total	63		
Blocos	1	12712,56	0,07
Tratamentos	31	702888,81	4,06**
Erro	31	172075,21	

\* \*\* = significativo no nível de 1% de probabilidade.

Na base destes resultados, para os ensaios fatoriais 2<sup>o</sup>, a aplicação de micronutrientes para cada parcela dos ensaios fatoriais 5<sup>o</sup> não seria necessária.

Os rendimentos para as várias combinações de tratamentos desse último tipo de experimento são dados no Quadro 8.

A análise de variância para regressão dos rendimentos (Quadro 12) mostra regressão e desvio significativos. Contudo, o quadrado médio e valores "F" para o último são pequenos em comparação com os obtidos para regressão.

As equações completas e reduzidas e  $R^2$  são apresentadas no Quadro 13. Estas equações corroboram os dados dos testes fatoriais 2<sup>o</sup> e, como indicam os valores dos coeficientes de determinação, são responsáveis por 79% da variação de rendimento.

<sup>7</sup> Refere-se ao rendimento médio tomado sobre todos os outros fatores. Por exemplo, no caso de calcário, seria sobre a presença e ausência de P, K e ME ou a média de  $(L - (1)) + (PL - P) + (KL - K) + (PKL - PK) + (LME - ME) + (PLME - PME) + (KLME - KME) + (PKLME - PKME)$ .

QUADRO 12. Análise de variância dos rendimentos do ensaio 5<sup>2</sup> e fatoriais parciais, com base nas equações reduzidas

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios	Valores F
Soja: fatorial 5 <sup>2</sup>			
Total	65		
Blocos	2	213908	4,59 <sup>a</sup>
Regressão	4	2106964	45,17 <sup>a,b</sup>
Desvio	17	148499	2,18 <sup>a</sup>
Feijão: central composto			
Total	44		
Blocos	2	11562	1,20
Regressão	2	175686	18,26 <sup>**</sup>
Desvio	12	11120	1,16
Erro	28	9621	
Arroz: central composto rotativo de segunda ordem			
Total	61		
Blocos	1	347701	2,79
Regressão	2	4200915	33,76 <sup>**</sup>
Desvio	28	122296	0,98
Erro	30	124435	

a \* = significante no nível de 5% de probabilidade.

b \*\* = significante no nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 13. Coeficientes de regressão calculados pelas equações completa e reduzida e R<sup>2</sup> para o ensaio de arroz

Efeitos	Equações	
	Completa	Reduzida <sup>a</sup>
Constante	1958,9199	1942,5800
L	0,1608	
N	-23,4221	
P	16,0801	17,3131
K	1,6822	
L <sup>2</sup>	-0,00003059	
N <sup>2</sup>	0,260370	
P <sup>2</sup>	-0,045840	-0,0468
K <sup>2</sup>	0,058230	
L.N	-0,000486	
L.P	0,001118	
L.K	-0,000678	
N.P	0,013999	
N.K	0,098833	
P.K	-0,054601	
R <sup>2</sup>	63	53

<sup>a</sup> Os parâmetros que não se apresentaram significativos ao nível de 5% de probabilidade foram eliminados. Em consequência, unicamente os parâmetros mencionados na 3ª coluna apresentaram-se significativos para P=0,05 ou mais alta.

Os rendimentos observados e estimados da equação reduzida estão igualmente em boa aproximação. Os resultados de alguns pontos selecionados são os seguintes:

	Observados	Estimados
Zero L, Zero P	731	748
6000 L, 400 P	2076	2099
6000 L, Zero P	1040	1015
Zero L, 400 P	1578	1742
3000 L, 200 P	1985	1946

As quantidades estimadas de calcário e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> necessárias para o rendimento máximo obtido, tomando a primeira derivada parcial da equação reduzida, igualando a zero e resolvendo simultaneamente, foi calculada em 4.268 e 323 kg/ha, respectivamente. O rendimento máximo estimado para estas quantidades é de 2.418 kg/ha (Quadro 14). Todos estes dados de insumos e produtos caíram dentro da amplitude dos valores observados do ensaio. A produção máxima, contudo, não é a produção ótima sob o ponto de vista econômico, a menos que os insumos aplicados no processo de produção

nada custem, o que não acontece no caso. Durante o ano agrícola de 1968 o superfosfato triplo (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) estava sendo vendido a Cr\$ 450,00/t ou Cr\$ 0,979/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O calcário estava sendo vendido em Uberaba a Cr\$ 32,00/t, sendo Cr\$ 15,00/t de material e Cr\$ 17,00/t pelo frete desde São Carlos, SP. A soja, por outro lado, estava sendo vendida a Cr\$ 0,20/kg. Usando estes preços, a produção ótima foi a de 1.224 kg/ha com emprego de 83 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha e sem calcário, que proporcionou um retorno residual, sobre os fatores fixos da produção, de Cr\$ 163,54 por hectare. Isto contrasta com o retorno residual de Cr\$ 19,77/ha no ponto de produção máxima. Aumentos no preço de soja e decréscimos no custo do calcário e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aumentam o uso dos dois insumos e fazem crescer a produção ótima. Se os preços dos dois insumos, calcário e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, fossem equivalentes àqueles existentes nos Estados Unidos em 1966, o calcário custaria Cr\$ 0,0176/kg em vez de Cr\$ 0,32/kg e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (na forma de superfosfato triplo) custaria Cr\$ 0,6297/kg em vez de Cr\$ 0,979/kg. A soja, por outro lado, valeria Cr\$ 0,30/kg em lugar de Cr\$ 0,20/kg. Usando estes preços, a produção ótima seria a de 1.940 kg/ha com um emprego ótimo de insumos de 2.099 kg/ha para calcário e 220 kg/ha para fósforo. O retorno residual cresceria para Cr\$ 406,53/ha.

QUADRO 14. Produção máxima estimada e quantidades de calcário, nitrogênio, fósforo e potássio necessárias para obter o rendimento máximo, todas expressas em kg/ha

Cultura	Produção máxima	Calcário	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Soja	2418	4268	(-) <sup>a</sup>	323	(-)
Feijão <sup>b</sup>	748	n.s.	n.s. <sup>c</sup>	136	(-)
Arroz	3545	n.s.	n.s.	185	n.s.

<sup>a</sup> Não foi incluída como variável no ensaio.

<sup>b</sup> Delineamento central composto.

<sup>c</sup> Não significativa.

Um ponto a pôr em evidência nas análises feitas é o de a produção ótima aumentar de 875 kg/ha, ou aproximadamente 71%, quando os preços mudaram. O retorno residual aumentou de 149%. O efeito do preço dos insumos e do produto influi, assim, na decisão do fazendeiro em produzir e os resultados são óbvios. O mais alto rendimento observado neste ensaio foi algo mais elevado do que o obtido por Mikkelsen *et al.* (1963) em Matão, em solo semelhante, com 4.350 kg de calcário dolomítico e 200 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectare, ainda que o último nutriente estivesse, no caso, provavelmente deficiente para a produção do rendimento máximo. Naturalmente, os resultados empíricos obtidos em uma equação localidade-ano estiveram sob a influência das condições de solo e clima peculiares àquele ano e localidade. Desde que estas condições variem no tempo para uma determinada localidade, os resultados de uma observação de solo e clima muitas vezes são errôneos quando estendidas a diferentes condições climatológicas e de fertilidade.

<sup>s</sup> O retorno residual não é o lucro. É o retorno sobre os custos dos insumos variáveis, calcário e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Entretanto, o custo do calcário e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> são de algum modo subestimados, desde que os custos de aplicação, juros no investimento com fertilizantes e custo do risco deveriam teoricamente fazer parte do custo dos insumos. Eles foram excluídos, pois nenhuma estimativa dessas adições estava disponível aos autores.

Arroz

Os resultados do experimento fatorial 2<sup>5</sup> mostram resultados altamente significativos para a fonte de variação tratamentos (Quadro 11) e resultados significativos não somente para fósforo e calcário, mas também para nitrogênio (Quadro 7). A resposta média para N, calcário e P foi da ordem de 314, 713 e 755 kg/ha, respectivamente, com um erro "standard" (31 graus de liberdade) de ± 104. Com base nos dados obtidos neste ensaio, a variável K<sub>2</sub>O e o uso de micronutrientes para cada parcela poderão ser eliminados do experimento central composto se o mesmo tiver de ser executado no futuro, no mesmo tipo de solo. O delineamento poderia então ser um central composto modificado conforme foi sugerido por Bauwin *et al.* (1967). Os rendimentos para o experimento central composto são apresentados no Quadro 9. Não houve respostas para nitrogênio e calcário neste ensaio. A única fonte de variação foi devida à regressão e P (Quadro 13), mas de acordo com os valores de R<sup>2</sup> constantes do Quadro 12, a equação de predição é responsável por unicamente 53% da variação em rendimentos.

A razão de uma falta de respostas a calcário e nitrogênio no central composto, quando comparada com respostas significativas destas variáveis no experimento fatorial 2<sup>5</sup>, não é sabida. Um dos problemas dos delineamentos centrais compostos, conforme foi assinalado por Bauwin *et al.* (1967), é a ausência das coordenadas extremas (0-0-0-0, 6000-60-200-100, 6000-0-0-0, etc., no caso). Elas deveriam ser incluídas para que a superfície de resposta de toda a região fosse coberta adequadamente. Aceita a equação reduzida como aquela que representa satisfatoriamente a verdadeira função de produção, a quantidade de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> necessária para o rendimento máximo é de aproximadamente 185 kg/ha. O rendimento máximo estimado para esta quantidade de insumo seria de 3.545 kg/ha. Estes valores estão dentro da amplitude dos dados experimentais.

Estabelecendo-se que o preço de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> é diferente de zero, um produtor racional produzirá menos que o máximo. Se o preço de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> disponível é de Cr\$ 0,979/kg e o arroz é vendido a Cr\$ 0,20/kg, a estimativa da produção cai para 3.418 kg/ha com 133 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha e resulta num retorno residual de Cr\$ 553,39/ha. A preços equivalentes aos dos Estados Unidos em 1966 (arroz a Cr\$ 0,29/kg e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a Cr\$ 0,6297/kg), um produtor bem informado usaria 162 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha para produzir 3.526 kg/ha de arroz. Deste resultado, ele obteria um retorno residual de Cr\$ 920,23/ha.

Feijão

A fonte de variação tratamentos e o efeito de fósforo foram significativos para o experimento fatorial 2<sup>6</sup> (Quadros 11 e 12, respectivamente). Os resultados do Quadro 7 mostraram também efeitos para K, Calcário, ME, N × P, N × Calcário, N × P × Calcário, Calcário × ME, N × Calcário × ME, N × P × Calcário × ME e K × Calcário × ME. Contudo, uma comparação dos rendimentos médios de calcário e ME com a testemunha e o seu estudo mediante a tabulação em um quadro de duas, três e quatro entradas indica que os aumentos físicos são pequenos. Yates (1937) discute as implicações da presença e ausência de efeitos significativos nos ensaios fatoriais 2<sup>n</sup>. A resposta média para

P atinge 315 kg/ha com um erro "standard" (31 graus de liberdade) de ± 14. Os resultados deste experimento sugerem que, se se vão fazer investigações subsequentes de emprego de adubos, estas deveriam incluir quantidades de fósforo (sem aplicar calcário, N, K<sub>2</sub>O e micronutrientes) e sem empregar o delineamento central composto com calcário, N e P. Deve-se observar, entretanto, que uma resposta a N foi encontrada em um ensaio no mesmo tipo de solo, porém, em outro local da Estação Experimental (Miller *et al.* 1972). Os rendimentos para o delineamento central composto constam do Quadro 15. Como ocorreu no caso do fatorial 2<sup>5</sup>, o único resultado significativo de efeito apreciável foi devido a P (Quadro 16). Não houve significância para a fonte de variação desvio de regressão (Quadro 12).

QUADRO 15. Coeficientes de regressão calculados pelas equações completas e reduzidas e R<sup>2</sup> para o fatorial 5<sup>2</sup> de soja

Efeitos	Equações	
	Completa	Reduzida <sup>a</sup>
Constante	773,2446	748,4651
L	0,1399	0,1498
P	6,6469	6,5817
L <sup>2</sup>	-0,00001730	-0,00001755
P <sup>2</sup>	-0,0103	-0,0102
LP	0,00004396	
R <sup>2</sup>	79	79

<sup>a</sup> Os parâmetros não significativos no nível de 5% de probabilidade na equação completa foram eliminados. Como resultado, unicamente os parâmetros acima são significativos para P = 0,05 ou mais alta.

QUADRO 16. Coeficientes de regressão calculados pelas equações completa e reduzida e R<sup>2</sup> para o ensaio de feijão central composto

Efeitos	Equações	
	Completa	Reduzida <sup>a</sup>
Constante	529,7290	409,8547
L	-0,0168	
N	-1,9255	
P	4,4573	4,9745
L <sup>2</sup>	-0,00000446	
N <sup>2</sup>	-0,00432000	
P <sup>2</sup>	-0,02031000	-0,01830000
LN	0,000510	
LP	0,000235	
NP	0,004299	
R <sup>2</sup>	48	45

<sup>a</sup> Os parâmetros não significativos no ponto de 5% de probabilidade foram eliminados. Assim, unicamente os parâmetros incluídos na 3.<sup>a</sup> coluna são significativos para P = 0,05 ou mais alto.

Ignorando-se os dados da equação de predição (Quadro 10), o ajustamento para os pontos extremos é pobre. Por exemplo, o rendimento estimado para a testemunha da equação reduzida do central composto é de 410 kg/ha, enquanto o rendimento real é de 352 kg/ha. A razão provável disto foi discutida na parte referente ao arroz. Outro ponto é que unicamente 48 e 45% da variação de rendimento são explicados pelas equações completa e reduzida, respectivamente, o que diminui a confiança das estimativas que se seguem.

O Quadro 14 mostra que aproximadamente 136 kg de  $P_2O_5$ /ha seriam necessários para um rendimento máximo estimado de 748 kg de feijão/ha. Aos preços vigorantes durante a condução do ensaio, temos Cr\$ 0,34/kg para feijão e Cr\$ 0,979/kg para  $P_2O_5$ . Com estes preços, o fazendeiro bem informado produziria 634 kg de feijão/ha, usando 57 kg de  $P_2O_5$ /ha e recebendo um retorno residual de Cr\$ 159,76/ha. A preços equivalentes aos dos Estados Unidos, de Cr\$ 0,55/kg para feijão e Cr\$ 0,6297/kg para  $P_2O_5$ , resultaria numa produção de 730 kg/ha de feijão, emprego de 105 kg/ha de  $P_2O_5$  com um retorno residual de Cr\$ 335,58/ha, ou um aumento de 110%. Na obtenção das estimativas para produção ótima para as várias culturas comentadas, foi usada a relação  $\frac{\partial y}{\partial p} = \frac{P_p}{P_y}$ , onde  $\frac{\partial y}{\partial p}$  é a quantidade do produto P que cada unidade de insumo y acarreta e  $P_p$  e  $P_y$  são os preços do insumo  $P_2O_5$  e produto (feijão), respectivamente. A equação pode ser reescrita  $\frac{\partial y}{\partial p} \cdot P_y = P_p$ , o que significa, em terminologia econômica, o valor do produto marginal (VPM). Numa situação de produtos múltiplos, o VPM de cada produto precisa ser igual ao fator preço para que possa ocorrer produção ótima.

Desde que  $P_2O_5$  é um insumo comum às três culturas, podemos usar o esquema VPM para indicar como o preço de  $P_2O_5$  afetará o seu uso nas três culturas.

Os VPM de  $P_2O_5$  na produção de feijão, arroz e soja (conforme dados obtidos nos experimentos) constam da Fig. 1, na qual foram usados os preços vigorantes no País, quando os ensaios foram instalados. Assim, se o

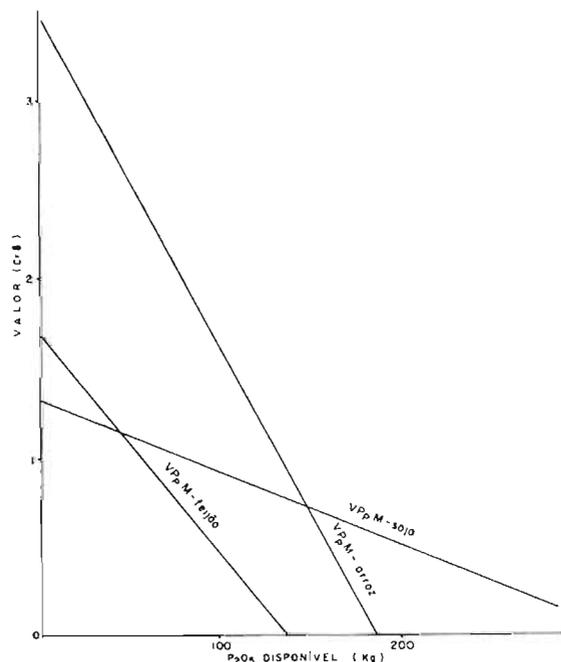


FIG. 1. VPM do arroz, soja e feijão aos preços correntes no período de execução do ensaio.

preço de  $P_2O_5$  permanece acima de Cr\$ 1,70/kg, naturalmente deveria ser usado somente em arroz. Destarte, feijão e soja somente deveriam receber  $P_2O_5$  quando o preço deste cair abaixo de Cr\$ 1,30/kg, ocasião em que as três culturas devem ser adubadas. Por exemplo, ao preço de Cr\$ 0,80/kg de  $P_2O_5$ , aproximadamente 70 kg/ha de  $P_2O_5$  devem ser usados para feijão; 120 kg/ha, para soja e 140 kg/ha, para arroz.

Deve-se ter cuidado no uso destes esquemas pelas razões: primeira) os ensaios foram conduzidos num único ano e, portanto, os resultados estão sujeitos às críticas pertinentes; segunda) os resultados prevalecem quando os insumos forem empregados nos níveis dos ensaios; mudanças nas quantidades usadas de outros fatores de produção (insumos) causarão mudanças nos esquemas do VPM e assim as quantidades ótimas de  $P_2O_5$  podem mudar.

#### AGRADECIMENTOS

Aos Eng.ºs Agrônomos José Leonardo Ribeiro, do Departamento de Estudos Rurais da Secretaria da Agricultura de Minas Gerais, pela revisão de um trecho na parte econômica, e Johanna Döbereiner, pelas sugestões na organização do manuscrito.

#### REFERÊNCIAS

- Baird, B.L. & Mason, D.D. 1959. Multi-variable equations describing fertility-corn yield response surfaces and their agronomic and economic interpretation. *Agron. J.* 51:152-159.
- Bauwin, G.R., Miller, S.F., Ruschel, A.P., Eira, P.A.da & Almeida, D.L.de 1967. Interpretação agrônômica e econômica da resposta de superfície. I. Efeito do nitrogênio e fósforo na produção vegetativa do milho. *Anais XI Congr. bras. Ciênc. Solo, Brasília*, p. 50-51. (Resumo)
- Box, G.E.P. 1954. The exploration and exploitation of response surfaces. *Biometrics* 10:16-60.
- Box, G.E.P. & Wilson, K.D. 1951. On the experimental attainment of optimum conditions. *J. Roy. Stat. Soc., Ser. B*, 13 (1).
- Cochran, N.G. & Cox, G.M. 1957. *Experimental Designs*. 2nd ed. John Wiley, New York, p. 611.
- Hader, R.J., Harward, M.E., Mason, D.D. & Moore, D.P. 1957. An investigation of some of the relationships between copper, iron and molybdenum in the growth and nutrition of lettuce. I. Experimental design and statistical methods for characterizing the response surface. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 21:59-64.
- McClung, A.C., Freitas, L.M.M.de, Gallo, J.R., Quinn, L.R. & Mott, G.O. 1957. Preliminary fertility studies on "campos cerrados" soil in Brazil. *Bull. 13, IRI Res. Inst., New York*, N.Y. 19 p.
- Mikkelsen, D.S., Freitas, L.M.M.de & McClung, A.C. 1963. Effects of liming and fertilizing cotton, corn and soybeans on campo cerrado soils State of São Paulo, Brazil. *Publ. n.º 29, IRI Res. Inst., New York, N.Y.* 40 p.
- Miller, S.P., Bauwin, G.R. & Guazzelli, R.J. 1972. Avaliação econômica e agrônômica de um experimento com feijão comum Uberaba. *Minas Gerais. Pesq. agropec. bras., Sér. Agron.*, 7:19-26.
- National Academy of Sciences 1961. Status and methods of research in economic and agronomic aspects of fertilizer response and use. *Publ. 918, Natn. Res. Council, Washington, D.C.*
- Oliveira, D.A., Montojo, J.C. & Igue, T. 1964. Adubação do arroz de sequeiro. *Bragantia* 23(8):73-81.
- Oliveira, D.A., Montojo, J.C., Igue, T., Miranda, N.S. & Freitas, L.M.M.de 1965. Ensaios preliminares de adubação do arroz de sequeiro. *Bragantia* 24(33):438-445.
- Ranzani, G. 1963. Solos de cerrado. *Simpósio sobre o cerrado*. Ed. Univ. São Paulo, p. 51-92.
- Vettori, L. 1966. Métodos de análise de solos. *Div. Pedol. Fertil. Solo, Min. Agric., Rio de Janeiro*. 19 p.
- Yates, F. 1937. *The design and analysis of factorial experiments*. *Tech. Commun. n.º 35, Commonw. Bur. Soils, Harpenden, England*, p. 1-18.

ABSTRACT.- Guazzelli, R.J.; Mendes, J.F.; Bauwin, C.R.; Miller, S.F. [Agronomic and economic effects of lime, nitrogen, phosphorus, potash, sulfur and micronutrients on the yields of soybeans, dry beans and rice at Uberaba, Minas Gerais.]. Efeitos agronômicos e econômicos do calcário, nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e micronutrientes nos rendimentos de soja, feijão e arroz em Uberaba, Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia* (1973) 8, 29-37 [Pt, en] IPEACO, Caixa Postal 57, Uberaba, MG, Brazil.

The savannah or "campo cerrado" in Brazil is probably the largest underdeveloped area in the world that is physically and chemically suited for high production of many crops. It has not been developed to a very great extent primarily because of unfavorable chemical properties, a lack of understanding of how to modify these, and the economics of doing so. The objectives of this study were to measure the yield responses of soybeans, field beans and rice, in a campo cerrado soil, to rates of lime, nitrogen, phosphorus, potassium and the microelements Zn, B, Mo and S (the last nutrient included in this category only for convenience), through the use of 2<sup>n</sup>, 5<sup>n</sup> and central composite treatment designs, and to subject the results to an economic evaluation.

The mean response of soybeans to lime and phosphorus showed increases over the control of 41 and 72% respectively. The estimated amount of lime and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> required for maximum yield was calculated to be 4268 and 323 kg/ha respectively at a maximum yield of 2418 kg/ha. Using the prevailing prices during the production season, lime Cr\$ 32.00/ton, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Cr\$ 0.979/kg, and soybeans Cr\$ 0.20/kg, optimal production was 1224 kg/ha with an input of 83 kilos of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per hectare and no lime. This provided a residual return to the fixed factors of production of Cr\$ 163.54 per hectare. This is in contrast with a residual return of Cr\$ 19.77 per hectare at the point of maximum production.

The mean responses of rice to N, L and P amounts to 314, 713 and 755 kg/ha, respectively.

There was no response to nitrogen and lime for the central composite experiment. The only significant source of variation was that due to regression and P. According to the R<sup>2</sup> value the prediction equation accounts only 53% of the variation in yield. The reason for a lack of response to lime and nitrogen is discussed.

Taking the reduced equation as the one representing the true production function, the amount of P required for maximum yield is approximately 185 kg/ha. The estimated maximum yield with this amount of input would have been 3545 kg/ha. These values are within the experimental range of the data. If the price of available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> is Cr\$ 0.979 and rice is sold at Cr\$ 0.20/kg, estimated production falls to 3418 kg/ha with 133 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha and results in a residual return of Cr\$ 553.39 per hectare.

Several significant effects (P, N, L, ME and interactions) were found in beans. However, with the exception of P, these have no apparent physical meaning. The mean response to P amounts to 315 kg/ha. The only significant source of variation was due to P in the central composite design. There was no significant lack-of-fit source of variation. The full and reduced equation provided only 48 and 45 percent of the variation in yield which lessens the reliability of the estimates which follow. Approximately 136 kilograms of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> would have been required for an estimated maximum yield of 748 kilograms of field beans per hectare. At the existing bean prices of Cr\$ 0.34/kg a rational farmer would produce 634 kg of beans per hectare using 57 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per hectare and a residual return of Cr\$ 159.76 per hectare.

Comparisons were made if the existing prices in the U.S. were used, for both inputs and outputs of the three cultures and the effects have been analyzed.

The marginal product value (MPV) of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in the production of field beans, rice and soybeans as derived from the experiments and using prevailing Brazilian prices is shown. When the price of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> remains above Cr\$ 1.70/kg it should only be used on rice until the price drops below Cr\$ 1.30/kg, at which time all three crops should be fertilized. For example, at a P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> price of Cr\$ 0.80/kg, approximately 70 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per hectare should be used for field beans, 120 kg/ha for soybeans and 140 kg/ha for rice. A note of caution is made regarding the use of these recommendations which are based on experiments conducted for only one year.