

AS INTERAÇÕES NUM GRUPO DE EXPERIMENTOS DE ADUBAÇÃO DE CANA DE AÇÚCAR

FREDERICO PIMENTEL GOMES e ENEAS SALATI

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Universidade de S. Paulo — Piracicaba

INTRODUÇÃO

Sabe-se que nos experimentos de adubação as interações são geralmente pouco importantes e frequentemente não significativas. No entanto, há interêsse em estudá-las, principalmente nos grupos de experimentos, onde a abundância de dados permite determinar com maior precisão o valor das interações por ventura existentes.

No presente trabalho estudaremos as interações N x P, N x K e P x K em um grupo de 38 experimentos fatoriais de adubação com NPK, todos com cana planta e soca, realizados por STRAUSS e localizados em solos de encosta da Zona Sul da faixa canavieira de Pernambuco e da região adjacente de Alagoas. Tais experimentos já foram objeto de atenção de PIMENTEL GOMES (1957), que estudou os efeitos principais dos fertilizantes.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos fatoriais de 3 x 3 x 3 de STRAUSS com NPK tinham todos 3 doses de cada elemento fertilizante: 0, 60 e 120 kg/ha de N, de P₂O₅ e de K₂O. Comportavam todos pois, 2 graus de liberdade para o efeito principal de N, 2 para o de P₂O₅ e 2 para o de K₂O. Em cada caso um grau de liberdade pode ser tomado como referente ao efeito linear e outro, ao efeito quadrático do fertilizante. Poderíamos pois, adotar a seguinte subdivisão para os graus de liberdade para tratamentos:

	G. L.
Nitrogênio	1
Efeito linear (N')	1
Efeito quadrático (N'')	1
Fósforo	1
Efeito linear (P')	1
Efeito quadrático (P'')	1
Potássio	1
Efeito linear (K')	1
Efeito quadrático (K'')	1

Estudamos inicialmente as interações N' x P', N' x K' e P' x K', as mais importantes.

Indicando-se por 0, 1 e 2, respectivamente, as doses de 0, 60 e 120 kg/ha dos elementos fertilizantes, a interação N' x P' será estimada (YATES) pelo contraste:

$$N' \times P' = \frac{1}{6} (N_2 - 1) (P_2 - 1) (K_2 + K_1 + 1)$$

$$= \frac{1}{6} \left[\begin{array}{l} (1) + K_1 + K_2 + N_2P_2 + N_2P_2K_1 + N_2P_2K_2 \\ - (N_2 + P_2 + N_2K_1 + N_2K_2 + P_2K_1 + P_2K_2) \end{array} \right]$$

que podemos também indicar assim:

$$N' \times P' = \frac{1}{6} \left[\begin{array}{l} 000 + 001 + 002 + 220 + 221 + 222 \\ - (200 + 201 + 202 + 020 + 021 + 022) \end{array} \right]$$

Analogamente temos:

$$N' \times K' = \frac{1}{6} \left[\begin{array}{l} 000 + 010 + 020 + 202 + 212 + 222 \\ - (002 + 012 + 022 + 200 + 210 + 220) \end{array} \right]$$

$$P' \times K' = \frac{1}{6} \left[\begin{array}{l} 000 + 100 + 200 + 022 + 122 + 222 \\ - (002 + 102 + 202 + 020 + 120 + 220) \end{array} \right]$$

Para evitar a divisão por 6, calculamos só os valores das expressões entre parênteses, os quais constam de tabelas anexas, para a cana planta e a soça. No entanto, a divisão por 6 foi feita depois, ao calcular a média geral e as somas de quadrados da análise da variância.

De maneira análoga estimamos as interações N x P, N x K e P x K correspondentes às doses de 60 kg/ha. Por exemplo :

$$N \times P = \frac{1}{6} \left[\begin{array}{c} 000 + 001 + 002 + 110 + 111 + 112 \\ - (100 + 101 + 102 + 010 + 011 + 012) \end{array} \right]$$

INTERAÇÃO N' x P'

Neste caso tínhamos :

$$\Sigma x = 869,4 \quad , \quad \Sigma x^2 = 83.271,42 \quad ,$$

logo

$$SQ \text{ Interação } N' \times P' = C = \frac{(869,4)^2}{36 \times 76} = 276,26,$$

$$SQ \text{ Total} = \frac{83.276,42}{36} = 2.313,09.$$

Note-se que no caso presente não se subtrai a correção ao calcular a soma de quadrados total.

Trabalhando análogamente para os outros casos, obtemos a seguinte análise da variância.

Causa da Variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	Erro	$\vartheta = \sqrt{F}$
Interação N' x P'	1	276,26	276,26	16,62	2,88**
Experimentos (E)	37	1233,96	33,35	5,77	
Cortes (C)	1	9,08	9,08	3,01	0,65
Interação C x E	37	793,79	21,45	4,63	
Total	76	2313,09			

E' interessante salientar que a interação é a mesma nos dois cortes, planta e soca.

A interação média é :

$$N' \times P' = \frac{869,4}{76 \times 36} = + 1,91 \text{ t/ha,}$$

com erro padrão de 0,66.

Os efeitos principais de N e P para a dose de 120 kg/ha são (PIMENTEL GOMES, 1957) :

$$N_2 = 8,88$$

$$P_2 = 23,94.$$

Logo o efeito do N na presença de P é :

$$N_2 + N' \times P' = 8,88 + 1,91 = 10,79 \text{ t/ha,}$$

ao passo que na ausência de P é :

$$N_2 - N' \times P' = 8,88 - 1,91 = 6,97 \text{ t/ha.}$$

Analogamente o efeito de P₂ na presença de N₂ será :

$$P_2 + N' \times P' = 23,94 + 1,91 = 25,85 \text{ t/ha,}$$

e na sua ausência :

$$P_2 - N' \times P' = 23,94 - 1,91 = 22,03 \text{ t/ha.}$$

INTERAÇÃO N' x K'

Métodos análogos aos do caso anterior nos conduziram à seguinte análise da variância.

Causa da Variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	Erro	$\sigma = \sqrt{F}$
Interação N' x K'	1	70,89	70,89	8,42	1,06
Experimentos (E)	37	2339,51	63,23	7,95	
Cortes (C)	1	17,82	17,82	4,22	0,73
Interação C x E	37	1249,79	33,78	5,81	
Total	76	3678,01			

Neste caso a existência da interação não fica comprovada, pois não há o menor indício de significação estatística para o teste utilizado. No entanto a média para ela obtida foi — 0,97, com erro padrão 0,91.

INTERAÇÃO P' x K'

A análise da variância foi feita como nos casos anteriores, com os resultados dados a seguir.

Causa da Variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	Erro	$\vartheta = \sqrt{F}$
Interação P' x K' Experimentos (E)	1 37	200,90 1100,98	200,90 29,76	14,17 5,46	2,60*
Cortes (C) Interação C x E	1 37	3,03 580,73	3,03 15,70	1,74 3,96	0,44
Total	76	1885,64			

O valor da interação seria :

$$P' \times K' = \frac{741,4}{76, \times 6} = + 1,63 \text{ t/ha,}$$

com erro padrão 0,63.

Os efeitos principais de P e K para a dose de 120 kg/ha são (PIMENTEL GOMES, 1957) :

$$P_2 = 23,94, \quad K_2 = 7,46.$$

Logo, o efeito do P na presença de K será :

$$P_2 + P' \times K = 23,94 + 1,63 = 25,57 \text{ t/ha,}$$

ao passo que na ausência de K o efeito do P será :

$$P_2 - P' \times K' = 23,94 - 1,63 = 22,31 \text{ t/ha.}$$

O efeito de P na presença de N e de K será, pois

$P_2 + N' \times P' + P' \times K' = 23,94 + 1,91 + 1,63 = 27,48 \text{ t/ha,}$
enquanto que na ausência de ambos teremos :

$$P_2 - N' \times P' - P' \times K' = 23,94 - 1,91 - 1,63 = 20,40 \text{ t/ha.}$$

Como se vê, a presença dos outros fertilizantes melhora notavelmente a eficiência da adubação fosfatada.

QUADRO GERAL DAS INTERAÇÕES ESTIMADAS

Da maneira já explicada acima foram estimadas também as interações correspondentes às doses de 60 kg/ha dos elementos fertilizantes. Os resultados obtidos para tôdas as interações consta do quadro seguinte, com os respectivos erros padrões.

	Interações em t/ha.		
	N x P	N x K	P x K
60 kg/ha	0.91 ± 0.87	0.43 ± 0.75	2,01* ± 0.75
120 kg/ha	1.91** ± 0.66	-0.97 ± 0.91	1,63* ± 0,63

COMPARAÇÃO COM RESULTADOS DE HODNETT

HODNETT (1956) determinou também, para a cana-de-açúcar e para diversos países do Império Britânico, interações entre os diversos elementos fertilizantes. Os resultados por êle obtidos são transcritos a seguir, com os respectivos êrros padrões, em toneladas de cana por hectare.

	N x P		N x K		P x K					
Jamaica	(11)	0,22	±	0,68	(11)	0,63	±	0,50	±	1,33
Antigua	(28)	0,36	±	0,32	(11)	0,23	±	0,15	±	0,38
Barbados	(9)	0,55	±	0,90	(18)	0,40	±	0,27	±	0,52
Trinidad	(3)	0,67	±	1,17	(4)	1,18	±	0,08	±	0,50
Mauritius	(21)	0,58	±	0,47	(20)	0,13	±	0,00	±	0,45
Africa do Sul	(3)	0,55	±	0,36	(4)	0,81	±	—	±	0,38

Tôdas estas interações se referem a doses padrões de 56 kg/ha de cada um dos elementos fertilizantes.

Os números entre parênteses indicam quantos experimentos foram analisados em cada caso.

Os dados de HODNETT parecem indicar, pois, a presença de interações positivas N x P e N x K, ao passo que a interação P x K parece inexistente. Ora, no nosso caso se evidenciam as interações N x P e P x K, isto é, as interações de P com os outros elementos fertilizantes, ao passo que HODNETT evidenciou as interações de N com os demais nutrientes. Ora, nos experimentos analisados por êsse pesquisador britânico o nitrogênio foi o elemento mais eficiente no aumento da produção de cana, ao passo que no Brasil tal papel foi representado pelo fósforo. Talvez seja, pois, esta a razão da discordância observada.

CONCLUSÕES

Nos experimentos de adubação analisados pôde-se comprovar a existência de interações positivas N x P e P x K, com as estimativas seguintes :

Para a dose de 60 kg/ha :

$$N \times P = 0,91 \pm 0,87,$$

$$P \times K = 2,01 \pm 0,75;$$

Para a dose de 120 kg/ha :

$$N \times P = 1,91 \pm 0,66,$$

$$P \times K = 1,63 \pm 0,63.$$

A interação N x K não foi significativa em nenhum caso; a estimativa para ela obtida corresponde à dose de 60 kg/ha foi :

$$N \times K = 0,43 \pm 0,75$$

e para a dose de 120 kg/ha foi :

$$N \times K = - 0,97 \pm 0,91.$$

Embora os valores achados para as interações N x P e P x K não sejam altos, êles indicam que o efeito do fósforo, elemento no mínimo nos solos em questão, é bastante mais acentuado quando em presença de nitrogênio e de potássio.

Tendo em vista a interação N x P e considerando que nesses experimentos o efeito principal de 120 kg/ha de fósforo foi de 23,94 t/ha de cana, o efeito dessa dose de fósforo na ausência de N seria :

$$23,94 - 1,91 = 22,03 \text{ t/ha,}$$

ao passo que em presença de 120 kg/ha de N alcança :

$$23,94 + 1,91 = 25,85 \text{ t/ha.}$$

Analogamente, o efeito de 120 kg/ha de fósforo em ausência de potássio seria :

$$23,94 - 1,63 = 22,31 \text{ t/ha,}$$

ao passo que em presença de 120 kg/ha de K₂O atinge :

$$23,94 + 1,63 = 25,57 \text{ t/ha.}$$

Finalmente, o aumento causado por 120 kg/ha de P₂O₅ em ausência de nitrogênio e de potássio seria :

$$23,94 - 1,91 - 1,63 = 20,40 \text{ t/ha,}$$

ao passo que em presença de quantidades iguais dos demais nutrientes alcançaria :

$$23,94 + 1,91 + 1,63 = 27,48 \text{ t/ha.}$$

A conclusão prática que se tira é, pois, que, embora o elemento no mínimo seja o fósforo, seu efeito, já por si mesmo importante, é bastante aumentado por doses simultaneamente aplicadas de nitrogênio e de potassa.

ABSTRACT

The authors studied the interactions in a group of 38 3 x 3 x 3 NPK factorial experiments with sugar cane, all with plant cane and first ratoon crops. The levels used were 0, 60 and 120 kilos/hectare for N, P₂O₅ and N₂O. Let N', P' and K' stand for the linear effects of N, P and K. The interactions N' x P', N' x K' and P' x K' were estimated. If we indicate the three different levels by 0, 1 and 2, interaction N' x P' is estimated by :

$$N' \times P' = \frac{1}{6} \left[\begin{array}{c} 000 + 001 + 002 + 220 + 221 + 222 \\ - (200 + 201 + 202 + 020 + 021 + 022) \end{array} \right]$$

and similarly for the other cases. This is equivalent

to the computation of the interactions, in each case, with the levels zero and 120 kilos/hectare for the nutrients whose interaction is being estimated. Interactions for the case of the two lower levels were also estimated, thus in the case of N x P:

$$N \times P = \frac{1}{6} \left[\begin{array}{c} 000 + 001 + 002 + 110 + 111 + 112 \\ - (100 + 101 + 102 + 010 + 011 + 012) \end{array} \right]$$

Similar formulas were used for N x K and P x K.

The estimates obtained are given below, with their respective standard errors.

Interactions in metric tons/hectare

	N x P	N x K	P x K
60 kg/ha	0,91 ± 0,87	0,43 ± 0,75	2,01* ± 0,75
120 kg/ha	1,91** ± 0,66	-0,97 ± 0,91	1,63* ± 0,63

It seems therefore, that interaction N x K is not present. But the others are certainly present and not too small. Since the main effect for 120 kg/ha of P₂O₅ was 23.94 metric tons/hectare, the effect of P in absence of N and K is:

$$23.94 - 1.91 - 1.63 = 20.40 \text{ t/ha,}$$

while in presence of both nutrients it is:

$$23.94 + 1.91 + 1.63 = 27.48 \text{ t/ha.}$$

The results obtained do differ from those given by HODNETT for sugar cane in several countries of the British Commonwealth, with the exception of interaction N x P, for which he found also consistent positive estimates.

BIBLIOGRAFIA

- HODNETT, G. E., 1956 — The responses of sugar-cane to fertilizers. *Empire J. Exp. Agric.* 24: 1-19.
- PIMENTEL GOMES, F., 1957 — Análise conjunta de 38 experimentos de adubação de cana-de-açúcar. *Rev. de Agricultura* 32: 113-126.
- STRAUSS, E., 1951 — Experimentos de adubação no zona canavieira de Pernambuco. *Anais da Terceira Reunião Brasileira de Ciência do Solo*, 1.º tomo, pp. 336-443.
- YATES, F., 1937 — *The design and analysis of factorial experiments*. Technical Communication n. 35, Imp. Bureau of Soil Science, Harpenden, Inglaterra.

N.º do Experimento	N' x P'		N' x K'		P' x K'	
	Planta	Soca	Planta	Soca	Planta	Soca
7	+ 18,3	+13,8	+ 41,9	+11,1	- 10,4	+ 4,4
9	- 46,0	-71,3	+ 8,5	+17,6	+ 16,0	+15,9
10	- 38,4	+28,9	+ 26,0	+45,8	+ 42,1	-28,5
12	+152,8	+46,3	+ 55,4	+15,1	+ 50,4	+ 4,7
13	- 14,9	+29,1	+ 20,6	+27,0	- 23,7	+29,5
20	- 11,7	+17,1	- 41,8	-34,7	+ 28,7	+29,7
21	+ 7,6	-34,2	+ 83,0	-24,1	+ 2,6	+39,7
24	+ 39,2	+19,7	+ 69,5	-50,0	+ 1,2	-16,2
25	+ 20,0	+ 6,7	- 62,7	-73,3	+ 52,4	+21,1
31	+ 14,3	+31,3	+ 15,9	- 8,4	+ 4,1	+ 5,4
32	+ 9,3	+32,6	+ 14,1	+12,0	- 7,8	-19,0
33	- 28,7	+18,7	+ 2,6	-18,7	+ 7,3	+25,8
35	- 22,2	+25,4	- 32,6	+27,1	+ 28,8	+ 9,3
36	+ 27,2	+35,1	- 22,5	+11,7	+ 62,7	+31,2
39	+ 40,4	+38,9	- 47,0	-63,4	+ 45,1	-12,3
41	+ 3,3	+21,9	- 64,7	-13,6	+ 52,7	+21,3
56	- 4,2	+ 8,9	- 38,0	-22,0	+ 20,2	- 6,2
57	- 26,5	+32,8	- 23,1	-16,8	+ 30,5	+10,3
58	+ 31,8	+ 1,8	+ 21,4	+18,5	+ 9,6	+50,6
59	+ 10,8	+23,3	+ 6,4	-19,0	- 3,9	+58,3
61	+ 1,5	-23,1	+ 67,7	+89,9	+ 38,9	+ 7,4
62	+ 11,4	- 6,8	- 21,1	-13,1	- 37,8	-52,0
65	- 4,2	-10,4	+ 32,0	+ 5,0	- 3,2	+60,5
66	+ 23,2	+56,6	- 42,7	-64,0	+ 31,2	+19,4
68	+ 21,5	+13,4	+ 25,9	+13,4	+ 18,7	+42,5
70	+ 7,8	-16,2	- 29,6	-28,3	+ 41,8	+30,9
71	+ 54,0	-14,1	+ 0,8	-17,7	+ 1,0	-47,2
73	+ 76,7	+45,9	- 35,2	-12,7	- 2,0	-12,7
77	+ 5,4	+ 9,3	+ 16,0	+27,0	- 36,4	-23,0
78	+ 9,9	- 7,5	- 31,8	- 4,9	- 4,1	+ 9,7
79	- 45,8	+47,3	- 5,4	+92,7	- 58,0	+19,0
80	+ 19,4	+39,1	+ 26,6	+62,5	+ 65,3	+49,3
81	- 5,3	+ 6,6	- 60,7	-16,6	- 21,8	- 1,4
82	- 7,3	-23,7	-138,2	+49,8	+ 20,2	+13,2
83	- 0,4	- 2,4	- 31,3	-30,4	- 2,7	-27,1
85	- 25,0	+60,2	- 58,6	-37,3	- 22,0	-24,1
89	+ 6,2	+ 5,7	- 52,5	-36,7	- 2,9	-11,1
92	+ 24,0	+ 6,2	- 25,4	-36,6	- 18,6	+ 1,6