

**Sôbre uma Fórmula para o Cálculo da
Dose Mais Económica de Adubo**

F. PIMENTEL GOMES

CLOVIS POMPÍLIO DE ABREU

E. S. A. "Luiz de Queiroz"

1. INTRODUÇÃO

CAREY e ROBINSON (1953) introduziram nova fórmula para o cálculo da dose x^* economicamente aconselhável. Tal fórmula foi logo adotada por PIMENTEL GOMES (1957) e é, aliás, uma modificação de uma das fórmulas de PIMENTEL GOMES (1953) e um caso particular de uma fórmula de PIMENTEL GOMES e MALAVOLTA (1949).

A fórmula de CAREY e ROBINSON pode ser expressa assim:

$$x^* = (1/c) \log \frac{c x_u L 10}{1 - 10^{-cx_u}} + (1/c) \log (w u/x_u t),$$

onde c é o *coeficiente de eficácia* de Mitscherlich, x_u é uma dose de nutriente tomada como padrão, $L 10$ é o logaritmo neperiano de 10, u é a resposta padrão, isto é, o aumento de produção do produto agrícola causado pela dose padrão x_u do nutriente, w é o preço da unidade do produto agrícola, no campo, e t é o custo da unidade de nutriente.

Uma vantagem dessa fórmula é que não depende de A , produção máxima teórica possível, que não é dada diretamente pelos resultados experimentais. Mas uma vantagem muito maior, inédita, que demonstraremos adiante, é que o primeiro termo

$$K = (1/c) \log \frac{c x_u L 10}{1 - 10^{-cx_u}}$$

é praticamente independente de c , sendo muito aproximadamente igual à metade da dose padrão, isto é, equivalente a $(1/2) x_u$.

Tal propriedade permite fácil aplicação da fórmula em qualquer caso em que conheçamos o aumento de produção u causado por uma dose padrão arbitrária x_u , e a facilidade se torna ainda maior pelo uso de tabelas incluídas neste trabalho.

2. DEMONSTRAÇÃO DE UMA PROPRIEDADE DA FÓRMULA

Passamos a demonstrar que o termo

$$K = (1/c) \log \frac{c x_u L 10}{1 - 10^{-cx_u}}$$

é praticamente independente de c e aproximadamente equivalente a $(1/2) x_u$.

Temos, com grande aproximação, para valores não muito elevados de X :

$$e^X = 1 + X + (1/2) X^2, \text{ logo}$$

$$1 - 10^{-cx_u} = 1 - e^{cx_u} L 10 = cx_u L 10 - \frac{1}{2} (cx_u L 10)^2$$

Obtemos, pois,

$$\begin{aligned} K &= (1/c) \log \frac{cx_u L 10}{cx_u L 10 - (1/2) (cx_u L 10)^2} \\ &= (1/c) \log \frac{1}{1 - (1/2) cx_u L 10} \end{aligned}$$

Mas, temos ainda com boa aproximação

$$10^{-(1/2) cx_u} = e^{-(1/2) cx_u L 10} = 1 - (1/2) cx_u L 10,$$

portanto

$$\begin{aligned} K &= (1/c) \log \frac{1}{10^{-(1/2) cx_u}} \\ &= (1/c) (1/2) c x_u \\ &= (1/2) x_u \end{aligned}$$

Mostremos, agora, com exemplos, que a aproximação é realmente notável, mais do que suficiente para fins práticos.

Sabe-se que, nos casos de N , P_2O_5 e K_2O , tomado como unidade o quintal métrico, o valor de c está quase sempre entre 0,20 e 1,00.

A dose padrão x_u é arbitrária, mas em geral não deverá ser muito baixa, nem excessivamente elevada. Se adotarmos, a título de exemplo, a dose padrão de 60 kilos/hectares, praticamente igual à usada por HODNETT (56 kg/ha. ou um quintal longo por acre), teremos os valores seguintes para K.

Valores de c (ha/quintal métrico)	Valores de K (kg/ha)	(1/2) x_u (kg/ha)
0,20	29,4	30,0
0,50	28,3	30,0
0,90	26,9	30,0
1,00	26,6	30,0

Para o caso do estêrco, dados de CROWTHER e YATES (1941) e de CAREY e ROBINSON (1953), bem como determinação feita por F. Pimentel Gomes com dados inéditos de E. J. Kiehl e Cyro Marcondes Cesar, demonstraram que o valor de c é aproximadamente 0,018, quando a dose de estêrco é expressa em toneladas por hectare. Se adotarmos, então, como dose padrão, $x_u = 10$ t/ha, teremos

$$K = 4,83 \text{ t/ha, quando } (1/2) x_u = 5,00 \text{ t/ha.}$$

Em qualquer caso, temos, pois, com grande aproximação:

$$x^* = (1/2) x_u + \frac{1}{c} \log (wu/x_u t)$$

3. TABELAS PARA APLICAÇÃO DA FÓRMULA

Na última fórmula, wu é o preço do aumento de produção por hectare u , obtido com aplicação da dose x_u de nutriente também por hectare, e $x_u t$ é o preço do nutriente aplicado. Logo, sendo $z = wu/x_u t$, podemos organizar uma tabela para o termo

$$Y = (1/c) \log z.$$

Fica

$$x^* = (1/2) x_u + Y,$$

isto é, para achar a dose economicamente aconselhável bastará somar o valor Y , obtido da tabela, à metade da dose usada no ensaio de campo.

Damos abaixo duas tabelas, uma para o nitrogênio (N), organizada com $c = 0,49$, outra para fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O), preparada com $c = 0,88$. Os valores de c adotados se baseiam especialmente nos trabalhos de HODNETT (1956) e PIMENTEL GOMES (1957), mas têm apoio também em numerosas outras informações. Damos também uma terceira tabela, para o estêrco, com $c = 0,018$ ha/t.

Assim se dados experimentais nos permitirem prever o aumento de produção de milho de 600 kg/ha para a dose x_u de 80 kg/ha P_2O_5 , com o milho a Cr\$ 4,00 e o nutriente a Cr\$ 10,00 por quilo, teremos:

$$z = \frac{600 \times 4}{80 \times 10} = 3,00.$$

A tabela 2 nos dá $Y = 54$ kg/ha, logo a dose economicamente conveniente é

$$x^* = 80/2 + 54 = 40 + 54 = 94 \text{ kg/ha de } P_2O_5.$$

Se o aumento de produção fôsse $u = 200$ kg/ha para $x_u = 100$ kg/ha de fósforo (P_2O_5) então teríamos, aos mesmos preços anteriores,

$$z = \frac{200 \times 4}{100 \times 10} = \frac{800}{1000} = 0,8.$$

O valor de Y , dado pela tabela 2, seria $Y = -11$, logo a dose economicamente conveniente é

$$x^* = (1/2) 100 - 11 = 39 \text{ kg/ha de } P_2O_5.$$

Note-se que quando tivermos $z = 1,0$, isto é, quando o aumento de produção apenas pagar as despesas de adubação, a dose economicamente aconselhável será $x^* = (1/2) x_u$, isto é, igual à metade da dose usada no experimento.

Valores de Y, em kg/ha, para o nitrogênio (N), calculados com
c = 0,49 ha/quintal métrico.

z	Y (kg/ha)	z	Y (kg/ha)	z	Y (kg/ha)
0,1	— 204	1,6	42	3,2	103
0,2	— 143	1,7	47	3,4	108
0,3	— 107	1,8	52	3,6	114
0,4	— 81	1,9	57	3,8	118
0,5	— 62	2,0	61	4,0	123
0,6	— 45	2,1	66	4,2	127
0,7	— 32	2,2	70	4,4	131
0,8	— 20	2,3	74	4,6	135
0,9	— 09	2,4	78	4,8	139
1,0	00	2,5	81	5,0	143
1,1	08	2,6	85	5,5	151
1,2	16	2,7	88	6,0	159
1,3	23	2,8	91	6,5	166
1,4	30	2,9	94	7,0	172
1,5	36	3,0	97	8,0	184

TABELA 1

Valores de Y, em kg/ha, para o fósforo (P_2O_5) e o potássio (K_2O),
calculados com c = 0,88 ha/quintal métrico.

z	Y (kg/ha)	z	Y (kg/ha)	z	Y (kg/ha)
0,1	— 114	2,1	37	5,5	84
0,2	— 79	2,2	39	6,0	88
0,3	— 59	2,3	41	6,5	92
0,4	— 45	2,4	43	7,0	96
0,5	— 34	2,5	45	7,5	99
0,6	— 25	2,6	47	8,0	103
0,7	— 18	2,7	49	8,5	106
0,8	— 11	2,8	51	9,0	108
0,9	— 05	2,9	52	9,5	111
1,0	00	3,0	54	10,0	114
1,1	05	3,2	57	11,0	118
1,2	09	3,4	60	12,0	123
1,3	13	3,6	63	13,0	127
1,4	17	3,8	66	14,0	130
1,5	20	4,0	68	15,0	134
1,6	23	4,2	71	16,0	137
1,7	26	4,4	73	17,0	140
1,8	29	4,6	75	18,0	143
1,9	32	4,8	77	19,0	145
2,0	34	5,0	79	20,0	148

TABELA 2

Valores de Y, em t/ha, para o estérco, calculados com $c = 0,018$ ha/t.

z	Y (t/ha)	z	Y	z	Y
0,1	— 55,6	1,6	11,3	3,2	28,1
0,2	— 38,8	1,7	12,8	3,4	29,5
0,3	— 29,1	1,8	14,2	3,6	30,9
0,4	— 22,1	1,9	15,5	3,8	32,2
0,5	— 16,7	2,0	16,7	4,0	33,4
0,6	— 12,3	2,1	18,0	4,2	34,6
0,7	— 8,6	2,2	19,0	4,4	35,2
0,8	— 5,4	2,3	20,1	4,6	36,8
0,9	— 2,5	2,4	21,1	4,8	37,8
1,0	0,0	2,5	22,1	5,0	38,8
1,1	2,3	2,6	23,1	5,5	41,1
1,2	4,4	2,7	24,0	6,0	43,2
1,3	6,3	2,8	24,8	6,5	45,2
1,4	8,1	2,9	25,7	7,0	46,9
1,5	9,8	3,0	26,5	8,0	50,2

TABELA 3

4. SUMMARY

The authors discuss a formula for the determination of the most profitable level of fertilization (x^*). This formula, presented by CAREY and ROBINSON (1953), can be written as:

$$x^* = (1/c) \log \frac{cx_u L 10}{1 - 10^{-cx}} + (1/c) \log \frac{w u}{x_u t}$$

being c the growth factor in Mitscherlich's equation, x_u a standard dressing of the nutrient, $L 10$ the Naepierian logarithm of 10, u the response to the standard dressing, w the unit price of the crop product, and t the unit price of the nutrient. This formula is a modification of one of the formulas of PIMENTEL GOMES (1953).

One of its advantages is that it does not depend on A , the theoretical maximum harvest, which is not directly given

by experimental data. But another advantage, proved in this paper, is that the first term on the right hand side

$$K = (1/c) \log \frac{cx_u L 10}{1 - 10^{-cx_u}}$$

is practically independent of c , and approximately equivalent to $(1/2) x_u$. So, we have approximately

$$x^* = (1/2) x_u + (1/c) \log \frac{w u}{x_u t}.$$

With experimental data we compute

$$z = \frac{w u}{x_u t},$$

then using tables 1, 2 and 3, we may obtain

$$Y = (1/c) \log z$$

and finally

$$x^* = (1/2) x_u + Y.$$

This is an easy way to determine the most profitable level of fertilization when experimental data on the response u to a dressing x_u are available. Tables for the calculation of Y are included, for nitrogen, phosphorus, potash, and manure.

5. BIBLIOGRAFIA

- CAREY, T. M. & ROBINSON, 1953 — The Manuring of Sugar Cane. *Empire Jour. Exper. Agric.* 21: 99-115.
- CROWTHER, E. M. & F. YATES, 1941 — Fertilizer Policy in War-Time. *Empire Jour. Exper. Agric.* 9: 77-97.
- HODNETT, G. R., 1956 — The Response of Sugar Cane to Fertilizers. *Empire Jour. Asper. Agric.* 24: 1-19.
- PIMENTEL GOMES, F. & E. MALAVOLTA, 1949 — Aspectos Matemáticos e Estatísticos da Lei de Mitscherlich. *Anais da E. S. A. "Luiz de Queiroz"* 6: 193-229.
- PIMENTEL GOMES, F., 1953 — The Use of Mitscherlich's Regression Law in the Analysis of Experiments with Fertilizers. *Biometrics* 9: 498-516.
- PIMENTEL GOMES, F., 1957 — Análise Conjunta de 38 Experimentos de Adubação de Cana-de-Açúcar. *Rev. Agricultura* 32: 113-126.