

# DETERMINAÇÃO DE UMA EQUAÇÃO DE REGRESSÃO DA MATÉRIA SÊCA EM RELAÇÃO À PORCENTAGEM DE SACAROSE E AO BRUX EM CALDO DE CANA

ARY COELHO DA SILVA

Instituto de Química Agrícola, Rio de Janeiro

EDILBERTO AMARAL

Instituto Agrônômico do Sul, Pelotas, R. G. do Sul

A pureza do caldo de cana, relação percentual da porcentagem de sacarose e do Brix, é apenas uma aproximação da pureza verdadeira, em que o Brix é substituído pelos sólidos totais, dissolvidos ou em suspensão. O cálculo da pureza verdadeira exigiria a determinação da porcentagem de matéria sêca no caldo, determinação mais cheia de dificuldades do que pareceria à primeira vista, em virtude da higroscopicidade do material, da formação de crostas que impedem a evaporação dos últimos resíduos de umidade e de fenômenos de decomposição. As dificuldades podem ser superadas por diversos processos: evaporação a baixa temperatura (estufa a vácuo), etc. Tais processos são, entretanto, demorados e trabalhosos quando devem ser repetidos para numerosas amostras.

Em primeira aproximação, o Brix pode ser considerado uma estimativa da matéria sêca. A estimativa seria correta se se tratasse de uma solução pura de sacarose. Pode-se, entretanto, determinar uma equação de regressão entre a matéria sêca e o Brix. Substituindo nessa equação o Brix pelo seu valor, calcular-se-á o valor correspondente da matéria sêca. Trata-se evidentemente de um valor aproximado, mas conveniente para fins práticos, desde que a equação de regressão seja aplicada dentro das mesmas condições em que foi determinada. E' as-

sim que, se a equação foi determinada em caldo de uma moenda determinada, é possível que não se obtenham resultados tão bons quando se aplica a equação na determinação da matéria sêca de caldos provenientes de outras moendas com diferente capacidade de esmagamento. O mesmo se pode dizer no referente a variedades de cana.

Valores ainda mais exatos podem ser determinados se se estabelece uma equação de regressão da matéria sêca em relação à sacarose e ao Brix. Fazendo depender a matéria sêca de duas variáveis independentes, a equação de regressão torna-se menos rígida, permitindo melhor ajustamento dos valores calculados com os valores determinados diretamente.

Para ilustrar o processo, estabelecemos a equação de regressão da matéria sêca em relação ao Brix e a equação de regressão da matéria sêca em relação à sacarose e ao Brix em amostras de caldo de cana coletadas no quebrador da Usina S. João (Campos). As amostras foram coletadas no quebrador e não nas moendas para evitar a água de imbebição. Tôdas as amostras foram de caldo da variedade Co 290. Melhor teria sido, se se pretendesse estabelecer uma equação válida para um número indeterminado de variedades, não limitar as determinações a uma só variedade. O fim que tínhamos em vista era, entretanto, o de ilustrar o processo de determinação das equações de regressão.

A determinação da matéria sêca necessita de cuidados especiais tendo em vista a facilidade de decomposição do material. A secagem deveria ser feita a menos de 80° C o que exigiria o emprêgo de uma estufa a vácuo. Sendo isto impossível foram ensaiados dois processos a temperatura mais alta e introduzindo um meio absorvente que aumentasse a superfície de evaporação do caldo.

Entre um processo usando areia lavada e outro (segundo JOSSE) empregando uma fita pregueada de papel de filtro, achamos mais eficiente êste por exigir menos tempo de permanência na estufa para atingir pêso constante.

O pesa-filtro contendo a tira de papel é secado em estufa a 100-105°C durante 6 horas e tarado. Pipetam-se 5ml do caldo e deixam-se escoar de modo a embeber a fita pregueada. Tara-se. Deixa-se o pesa-filtro na estufa por 6 horas a 100-105°C. Toma-se a perda do pêso como água evaporada.

O "Brix" foi determinado no caldo filtrado para retirar as partículas grosseiras. Utilizou-se areômetro graduado em percentagem de sacarose com aproximação de 0,1%. As leituras foram referidas a 20°C.

Na determinação da sacarose, foi feita a polarização do caldo defecado com acetato básico de chumbo sêco (HORNE), corrigida da percentagem de redutores. Esta foi avaliada pelo método Ionescu, modificado.

### REGRESSÃO DA MATÉRIA SÊCA EM RELAÇÃO AO BRUX

Se  $x_1$  é a matéria sêca,  $x_2$  o Brix e  $\bar{x}_1$  e  $\bar{x}_2$  as médias respectivas, a equação de regressão da matéria sêca em relação ao Brix é  $x_1 = \bar{x}_1 + b(x_2 - \bar{x}_2)$ , onde  $b$  representa o coeficiente de regressão da matéria sêca em relação ao Brix. Calcula-se  $b$  por meio da fórmula :

$$b = \frac{\frac{\sum(x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2)}{n}}{\frac{\sum(x_2 - \bar{x}_2)^2}{n}} = \frac{\sum x_1 x_2 - \frac{\sum x_1 \sum x_2}{n}}{\sum x_2^2 - \frac{(\sum x_2)^2}{n}}$$

onde  $n = 96$  é o número de amostras.

Teremos:  $\sum x_2^2 = 40\ 264.7503$

$$\frac{(\sum x_2)^2}{n} = \frac{(1964.53)^2}{96} = 40\ 201.8554$$

$$\sum x_2^2 - \frac{(\sum x_2)^2}{n} = 62.8949 \quad e \quad \sigma_2 = \sqrt{\frac{62.8949}{96}} = 0.809$$

sendo  $\sigma_2$  o erro "standard" do Brix, de que vamos necessitar ulteriormente.

$$\Sigma x_1 x_2 = 39\ 046.3912$$

$$\frac{\Sigma x_1 \Sigma x_2}{n} = 38\ 981.6153$$

$$\Sigma x_1 x_2 - \frac{\Sigma x_1 \Sigma x_2}{n} = 64.7759$$

$$\text{e, finalmente, } b = \frac{64.7759}{62.8949} = 1.0299$$

$$\bar{x}_1 = \frac{\Sigma x_1}{96} = 19.843 \quad \bar{x}_2 = \frac{\Sigma x_2}{96} = 20.464$$

A equação de regressão entre a matéria sêca e o Brix será agora facilmente determinada:  $x_1 = 1.0299x_2 - 1.233$ .

Para determinar o êrro "standard" da estimativa da matéria sêca por meio da equação de regressão, precisamos calcular o êrro "standard" da matéria sêca e o coeficiente de correlação entre a matéria sêca e o Brix.

$$\text{Temos: } \Sigma x_1^2 = 37\ 867.6837$$

$$\frac{(\Sigma x_1)^2}{96} = 37\ 797.9783$$

$$\Sigma x_1^2 - \frac{(\Sigma x_1)^2}{96} = 69.7054$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{69.7054}{96}} = 0.852$$

$$r_{12} = \frac{\Sigma(x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2)}{96 \sigma_1 \sigma_2} = \frac{64.7759}{96 \times 0.852 \times 0.809} = 0.9789$$

Amost.	Matéria sêca (x1)	Brix (x2)	Sacarose (x3)	Amost.	Matéria sêca (x1)	Brix (x2)
1	21.37	21.76	18.86	50	19.67	20.26
2 *	22.82 *	21.86 *	18.99 *	51	19.77	20.36
3	21.41	21.86	18.82	52	19.91	20.49
4	21.19	21.72	18.69	53	19.80	20.46
5	21.34	21.56	19.32	54	20.21	20.79
6	21.06	21.42	19.26	55	20.19	20.75
7	21.16	21.42	19.23	56	20.15	20.73
8	20.76	21.42	19.19	57	20.60	21.16
9	21.55	21.92	19.15	58	20.99	21.56
10	20.52	20.92	18.73	59	20.20	20.76
11	17.49	18.15	14.73	60	20.55	21.06
12	17.86	18.55	15.20	61	20.48	21.06
13	17.94	18.55	15.13	62	20.45	21.09
14	17.75	18.55	15.13	63	20.54	21.05
15	17.90	18.55	15.12	64	20.33	20.89
16	17.63	18.35	14.99	65	20.61	21.09
17 *	18.34 *	17.99 *	14.85 *	66	20.71	21.12
18	17.42	18.09	14.72	67	20.18	20.96
19	18.01	18.42	15.45	68	20.24	20.66
20	17.93	18.32	15.85	69	19.61	20.35
21	19.77	20.39	17.88	70	19.70	20.45
22	19.82	20.39	18.09	71	19.73	20.45
23	19.85	20.39	18.02	72	19.98	20.65
24	19.96	20.59	18.26	73	19.86	20.59
25	19.70	20.39	17.71	74	20.10	20.89
26	19.91	20.59	17.78	75	20.76	21.09
27	20.21	20.79	18.26	76	20.39	21.09
28	19.45	20.69	18.31	77	20.32	20.99
29	19.52	20.02	17.84	78	20.36	21.09
30	19.53	20.16	17.73	79	19.20	19.89
31	19.67	20.20	17.72	80	19.20	19.99
32	19.86	20.50	17.91	81	19.64	20.39
33	19.47	19.96	17.47	82	19.45	20.29
34	19.30	19.94	17.34	83	19.47	21.19
35	20.04	20.54	17.69	84	19.14	19.92
36	20.41	21.11	17.69	85	19.44	20.22
37	20.50	21.03	17.91	86	19.46	20.22
38	20.60	21.34	18.33	87	19.36	20.15
39	20.43	21.00	18.35	88	19.60	20.35
40	20.24	20.84	17.90	89	19.91	20.63
41	20.08	20.64	17.96	90	19.91	20.53
42	20.04	20.54	17.79	91	20.25	20.83
43	20.11	20.74	17.33	92	20.12	20.70
44	19.87	20.44	17.16	93	19.61	20.26
45	19.66	20.24	16.89	94	19.54	20.16
46	19.58	20.20	16.75	95	19.37	20.05
47	19.98	20.66	17.15	96	19.54	20.12
48	19.98	20.52	17.13	97	19.42	20.05
49	19.67	20.26	17.96	98	19.37	20.02

\* As amostras assinaladas foram eliminadas por terem o Brix



O erro «standard» da estimativa da matéria sêca é

$$\sigma_1 \sqrt{1-r^2_{12}} = 0.1738$$

### REGRESSÃO DA MATÉRIA SÊCA EM RELAÇÃO A SACAROSE E AO BRUX

Os seguintes valores já estão determinados :

$$\bar{x}_1 = 19.843; \bar{x}_2 = 20.464; \sigma_1 = 0.852; \sigma_2 = 0.809; r_{12} = 0.9789$$

A equação de regressão da matéria sêca em relação à sacarose

$$(x_3) \text{ e ao Brix } (x_2) \text{ é } (x_1 - \bar{x}_1) + \frac{\sigma_1 R_{12}}{\sigma_2 R_{11}} (x_2 - \bar{x}_2) + \frac{\sigma_1 R_{13}}{\sigma_3 R_{11}} (x_3 - \bar{x}_3) = 0$$

onde  $R_{11} = \begin{vmatrix} 1 & r_{23} \\ r_{23} & 1 \end{vmatrix} = 1 - r_{23}^2$ ,  $R_{12} = - \begin{vmatrix} r_{12} & r_{23} \\ r_{13} & 1 \end{vmatrix} = r_{13} \cdot r_{23} -$

$$- r_{12} \text{ e } R_{13} = \begin{vmatrix} r_{12} & 1 \\ r_{13} & r_{23} \end{vmatrix} = r_{12} \cdot r_{23} - r_{13}$$

Teremos:  $\Sigma x_3^2 = 29\ 891.5196$

$$\frac{(\Sigma x_3)^2}{96} = 29\ 793.3067$$

$$\Sigma x_3^2 - \frac{(\Sigma x_3)^2}{96} = 98.2129, \sigma_3 = \sqrt{\frac{98.2129}{96}} = 1.011, \bar{x}_3 = 17.617$$

$$\Sigma x_1 x_3 = 33\ 633.6809$$

$$\frac{\Sigma x_1 \Sigma x_3}{96} = 33\ 557.8122, \quad \Sigma x_1 x_3 - \frac{\Sigma x_1 \Sigma x_3}{96} = 75.8687$$

$$r_{13} = \frac{75.8687}{96 \times 0.852 \times 1.011} = 0.9175$$

$$\Sigma x_2 x_3 = 34\ 679.1982 \quad \frac{\Sigma x_2 x_3}{96} = 34\ 608.4702$$

$$\Sigma x_2 x_3 - \frac{\Sigma x_2 \Sigma x_3}{96} = 70.7280, \quad r_{23} = \frac{70.7280}{96 \times 0.809 \times 1.011} = 0.9008$$

$$R_{11} = 0.188559 \quad R_{12} = 0.035707 \quad R_{13} = -0.152416$$

Substituindo êsses valores na equação de regressão e pon-  
do  $x_1$  em evidência, temos finalmente:  $x_1 = 0.8513x_2 +$   
 $+ 0.1596x_3 - 0.389$ .

O êrro "standard" da estimativa da matéria sêca por meio  
da equação de regressão em relação à sacarose ( $x_3$ ) e ao Brix  
( $x_2$ ), é

$$S_{1.23} = \sigma_1 \sqrt{\frac{R}{R_{11}}} \quad \text{onde } R = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} \\ r_{12} & 1 & r_{23} \\ r_{13} & r_{23} & 1 \end{vmatrix} = R_{11} + R_{12} +$$

$$+ R_{13} = 0.000436$$

Teremos  $S_{1.23} = 0.0410$ , muito menor do que o êrro "stan-  
dard" da estimativa por meio da regressão em relação ao Brix  
(0.1738), o que mostra muito melhor ajustamento dos valores