

CÁLCULO DE RESULTADOS EM ANÁLISES TECNOLÓGICAS DE CANA-DE-AÇÚCAR PELO MÉTODO DA PRENSA¹

MARCO ANTONIO TEIXEIRA ZULLO² e MARIA TEREZA BARALDI RAMOS³

RESUMO - Deceve-se um novo procedimento para o cálculo de resultados em análises tecnológicas de cana-de-açúcar, desenvolvido para uso em instrumentos programáveis de cálculo e para minimizar a quantidade de erros encontrada. O método utiliza uma série de equações que: 1) simulam ambas a Tabela Internacional de Correção de Temperatura para o Modelo Normal de Refratômetro, acima e abaixo de 20°C, e a Tabela de Valores Picnométricos de Soluções Aquosas de Sacarose a 20°C e 2) corrigem a leitura polarimétrica do caldo extraído para a que seria obtida a 20°C.

Termos para indexação: Tabela Internacional de Correção de Temperatura para o Modelo Normal de Refratômetro, Tabela de Valores Picnométricos de Soluções Aquosas de Sacarose.

CALCULATION OF RESULTS IN SUGARCANE ANALYSIS BY THE PRESS METHOD

ABSTRACT - A new procedure for the calculation of results in sugarcane analysis, developed for use in programmable calculators and aimed to minimize the amount of errors found, is described. The method uses a series of equations that: 1) simulate both the International Temperature Correction Table for the Normal Model of Refractometer, above and below 20°C, and the Table of Picnometric Values for Aqueous Sucrose Solutions at 20°C and 2) perform the correction of the rotation of the polarized light by the raw sugar solution to that at 20°C.

Index terms: International Temperature Correction Table for the Normal Model of Refractometer, Table of Picnometric Values of Aqueous Sucrose Solutions.

INTRODUÇÃO

Um problema encontrado na análise tecnológica de cana-de-açúcar é a obtenção dos resultados das determinações envolvidas que, por serem indiretas e tomarem como verdadeiras algumas aproximações analíticas, requerem o uso de tabelas empiricamente obtidas, que são de emprego internacional. Este procedimento resulta em um consumo de tempo bastante elevado e está sujeito a uma série de erros subjetivos, cuja frequência está intimamente relacionada com o número de análises efetuadas e, portanto, com o número de resultados a serem obtidos.

Com o fim de evitar o recurso constante a tabelas e minimizar a ocorrência de erros subjetivos, desenvolveram-se equações de regressão que permitem a reprodução fiel das tabelas em uso e são passíveis de utilização em instrumentos programáveis de cálculo. O procedimento proposto aplica-se em análise efetuadas em regiões de clima temperado, à temperatura padrão de 20°C.

¹ Aceito para publicação em 19 de março de 1984.

² Farmacêutico, M.Sc., Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)/Seção de Fitoquímica, Caixa Postal 28, CEP 13100 Campinas, SP. Com bolsa de suplementação do CNPq.

³ Farmacêutica, IAC/Seção de Fitoquímica.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados experimentais necessários à aplicação deste procedimento são os mesmos utilizados em análises tecnológicas de cana-de-açúcar pelo método da prensa (Tanimoto 1964), isto é, peso da amostra (P_{am}), peso do bolo úmido (BU), peso do bloco seco (BS), leituras refratométrica (brix, B) e polarimétrica (pol, P) do caldo extraído, e temperatura (T) em que ambas as leituras são realizadas.

Cálculo do teor de sólidos solúveis a 20°C

O teor de sólidos solúveis do caldo extraído (brix do caldo extraído) é função tanto da concentração de açúcares no caldo extraído como da temperatura em que é realizada a determinação. Para normalizar os resultados a serem obtidos, corrige-se a leitura refratométrica, obtida à temperatura T, para a que seria obtida a 20°C, para regiões de clima temperado, conforme a Tabela Internacional de Correção de Temperatura para o Modelo Normal de Refratômetro, acima e abaixo de 20°C (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis 1937). Para evitar o uso desta tabela de dupla entrada foram desenvolvidas as equações abaixo para a obtenção do valor do brix do caldo extraído a 20°C:

$$B \% CE = B + a + bT + cT^2 \quad (1)$$

$$a = a_0 + a_1B + a_2B^2 + a_3B^3 \quad (1a)$$

$$b = b_0 + b_1B + b_2B^2 + b_3B^3 \quad (1b)$$

$$c = c_0 + c_1B + c_2B^2 + c_3B^3 \quad (1c)$$

onde B % CE = brix por cento do caldo extraído a 20°C
a, b, a_0, \dots, c_3 = fatores de correção.

Os fatores de correção foram obtidos por regressão po-

linomial múltipla, pelo método dos quadrados mínimos, a partir dos valores constantes da tabela citada. Estes fatores estão mostrados na Tabela 1. O intervalo de uso destas equações é entre 0 e 70 unidades de brix e temperatura entre 10 e 30°C, condições em que os erros obtidos pela sua aplicação são, em geral, menores que 0,01 unidade de brix.

Cálculo da densidade do caldo extraído a 20°C

A densidade do caldo extraído, função do seu teor de açúcares, é obtida pelo método do picnômetro ou, usualmente, a partir do brix do caldo extraído, através do uso de tabelas (Hirschmüller 1953). As equações abaixo fornecem, alternativamente, a densidade, a 20°C, da solução de sacarose com relação à densidade da água a 20°C:

$$d_{20}^{20} = d_0 + d_1 \text{B\%CE} + d_2 (\text{B\%CE})^2 + d_3 (\text{B\%CE})^3 + d_4 (\text{B\%CE})^4 + d_5 (\text{B\%CE})^5 \quad (2a)$$

$$\text{ou} \\ d_{20}^{20} = d_0 + d_1 \text{B\%CE} + d_2 (\text{B\%CE})^2 + d_3 (\text{B\%CE})^3 + d_4 (\text{B\%CE})^4 \quad (2b)$$

onde d_{20}^{20} = densidade da solução de sacarose a 20°C com relação à densidade da água a 20°C

d_0, \dots, d_5 = fatores de conversão

Os fatores de conversão foram obtidos por regressão polinomial, pelo método dos quadrados mínimos, a partir dos valores constantes da Tabela de Valores Picnométricos de Soluções Aquosas de Sacarose a 20°C (Hirschmüller 1953), e estão mostrados na Tabela 2. O intervalo de uso destas equações é de 0 a 95 B%CE e os erros obtidos pela aplicação das equações (2a) e (2b) são da ordem de 1×10^{-5} e 1×10^{-4} unidade de densidade, respectivamente.

Cálculo da leitura polarimétrica a 20°C

Dos fatores que afetam a leitura polarimétrica do caldo extraído, o único de mensuração imediata, e cuja influência pode ser corrigida, é a temperatura, pela aplicação da equação:

$$P_{\lambda}^{20} = P_{\lambda} [1 + e_1 (T - 20) + e_2 (T - 20)^2] \quad (3)$$

onde P_{λ}^{20} = leitura polarimétrica corrigida para 20°C, no comprimento de onda λ

P_{λ} = leitura polarimétrica obtida à temperatura T, no comprimento de onda λ

e_1, e_2 = fatores de correção

Os fatores de correção da leitura polarimétrica, obti-

dos de valores conhecidos para soluções de sacarose (Flügge s.d.), estão mostrados na Tabela 3, para os comprimentos de onda usualmente empregados na leitura polarimétrica.

Cálculo do teor de sacarose no caldo extraído (pol por cento do caldo extraído)

Pela aplicação das equações anteriores, o teor de sacarose no caldo extraído (pol por cento do caldo extraído) passa a ser calculado pela equações abaixo:

$$\text{P\%CE} = (100 \times P_{\lambda}^{20}) / (d_{20}^{20} \times [\alpha]_{\lambda}^{20}) \quad (4)$$

TABELA 1. Fatores de correção do teor de sólidos solúveis do caldo extraído para uso nas equações (1a), (1b) e (1c).

| | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $a_0 = -7,771226478 \times 10^{-1}$ | $b_0 = 1,688191031 \times 10^{-2}$ | $c_0 = 1,098788306 \times 10^{-3}$ |
| $a_1 = -2,143432429 \times 10^{-2}$ | $b_1 = 1,431688693 \times 10^{-3}$ | $c_1 = -1,784068011 \times 10^{-5}$ |
| $a_2 = 2,311192763 \times 10^{-4}$ | $b_2 = -1,235989976 \times 10^{-5}$ | $c_2 = 4,103087560 \times 10^{-8}$ |
| $a_3 = -1,186607584 \times 10^{-6}$ | $b_3 = 5,455335430 \times 10^{-8}$ | $c_3 = 1,820624552 \times 10^{-10}$ |

TABELA 2. Fatores para a conversão do teor de sólidos solúveis em densidade de solução de sacarose, a 20°C, segundo as equações (2a) e (2b).

| Fatores de conversão | Equação (2a) | Equação (2b) |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| d_0 | 1,000011192 | 0,9999952643 |
| d_1 | $3,866323592 \times 10^{-3}$ | $3,871750185 \times 10^{-3}$ |
| d_2 | $1,297378269 \times 10^{-5}$ | $1,256554188 \times 10^{-5}$ |
| d_3 | $5,842383414 \times 10^{-8}$ | $6,997156949 \times 10^{-8}$ |
| d_4 | $-1,383416955 \times 10^{-10}$ | $-2,754391112 \times 10^{-10}$ |
| d_5 | $-5,772475290 \times 10^{-13}$ | - |

TABELA 3. Fatores de correção da leitura polarimétrica de solução de sacarose, em função da temperatura e do comprimento de onda, para uso na equação (3).

| Fatores de correção | λ (nm) | |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | 546,1 | 589,3 |
| c_1 | $-1,838094509 \times 10^{-4}$ | $-1,848790020 \times 10^{-4}$ |
| c_2 | $6,280156238 \times 10^{-6}$ | $6,297910717 \times 10^{-6}$ |

onde P%CE = pol por cento do caldo extraído

$[\alpha]_{\lambda}^{20}$ = rotação óptica específica da sacarose, a 20°C, no comprimento de onda λ

$[\alpha]_{546,1}^{20} = +78,342$ $[\alpha]_{589,3}^{20} = +66,530$

Cálculos da percentagem em peso do caldo extraído, da percentagem de fibra na cana, pureza do açúcar, teor de açúcar na cana (pol por cento cana) e teor de sólidos solúveis na cana (brix por cento cana)

Estes cálculos não são afetados pelo procedimento exposto (equações 1 a 4) e continuam a ser realizados pelas seguintes equações:

$$\text{Peso \%CE} = 100 \times (P_{am} - BU) / P_{am}$$

onde Peso %CE = peso por cento do caldo extraído (5a)

$$F\%C = 100 \times [BS - BU(1-h)] / (h \times P_{am})$$

onde F%C = fibra por cento cana (5b)

$$h = (100 - B\%C) / 100$$

$$\text{Pureza} = 100 \times (P\%CE / B\%C)$$

(5c)

$$P\%C = P\%CE \times (1 - F\%C / 100)$$

onde P%C = pol por cento cana (5d)

$$B\%C = B\%CE \times (1 - F\%C / 100)$$

onde B%C = brix por cento cana (5e)

RESULTADOS

Na Tabela 4, apresentam-se alguns resultados de análises tecnológicas de cana-de-açúcar, calculados segundo o procedimento aqui proposto e o procedimento usual. De um modo geral, são concordantes entre os dois procedimentos os valores obtidos para brix por cento do caldo extraído (B % CE), fibra por cento cana (F % C) e brix por cento cana (B % C). Devido à expansão dos erros de aproximação, os valores de pol por cento do caldo extraído

TABELA 4. Comparação de resultados entre o procedimento proposto e o procedimento usual para a análise tecnológica de cana-de-açúcar*.

| Amostra | Dados experimentais | | | | | Procedimento proposto | | | | | Procedimento usual | | | | | | |
|---------|---------------------|--------|-------|--------|------|-----------------------|-------|------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|
| | BU (g) | BS (g) | T(°C) | P | B | P%CE | B%CE | Pureza (%) | F%C | P%C | B%C | P%CE | B%CE | Pureza (%) | F%C | P%C | B%C |
| A | 138 | 75 | 16 | 13,700 | 18,0 | 16,31 | 17,73 | 92,00 | 12,28 | 14,31 | 15,55 | 16,30 | 17,73 | 91,94 | 12,28 | 14,30 | 15,55 |
| B | 128 | 72 | 16 | 13,270 | 17,2 | 15,85 | 16,94 | 93,61 | 12,12 | 13,93 | 14,88 | 15,84 | 16,94 | 93,51 | 12,12 | 13,92 | 14,88 |
| C | 159 | 81 | 18 | 15,120 | 19,0 | 17,91 | 18,86 | 94,96 | 12,57 | 15,66 | 16,49 | 17,91 | 18,86 | 94,96 | 12,58 | 15,66 | 16,49 |
| D | 143 | 76 | 18 | 11,450 | 15,4 | 13,76 | 15,26 | 90,17 | 12,79 | 12,00 | 13,31 | 13,76 | 15,26 | 90,15 | 12,79 | 12,00 | 13,31 |
| E | 151 | 67 | 20 | 7,690 | 12,8 | 9,33 | 12,80 | 72,91 | 10,93 | 8,31 | 11,40 | 9,33 | 12,80 | 72,91 | 10,93 | 8,31 | 11,40 |
| F | 171 | 82 | 20 | 11,435 | 16,2 | 13,69 | 16,20 | 84,49 | 12,96 | 11,91 | 14,10 | 13,69 | 16,20 | 84,50 | 12,96 | 11,91 | 14,10 |
| G | 168 | 80 | 22 | 12,495 | 16,9 | 14,90 | 17,04 | 87,43 | 12,38 | 13,06 | 14,93 | 14,91 | 17,04 | 87,50 | 12,38 | 13,06 | 14,93 |
| H | 135 | 61 | 22 | 7,835 | 11,8 | 9,54 | 11,94 | 79,89 | 10,19 | 8,57 | 10,72 | 9,54 | 11,94 | 79,93 | 10,19 | 8,57 | 10,72 |
| I | 133 | 69 | 24 | 9,900 | 14,4 | 11,92 | 14,69 | 81,11 | 11,60 | 10,53 | 12,99 | 11,92 | 14,69 | 81,17 | 11,60 | 10,54 | 12,99 |
| J | 156 | 71 | 24 | 9,000 | 13,4 | 10,88 | 13,69 | 79,45 | 11,50 | 9,63 | 12,11 | 10,88 | 13,69 | 79,50 | 11,50 | 9,63 | 12,12 |

* Peso das amostras = 500 g; leituras polarimétricas efetuadas a 546,1 nm.

(P % CE) e pol por cento cana (P % C), calculados segundo os dois procedimentos, mostram entre si uma discrepância de $\pm 0,01$ unidade, enquanto os valores de pureza concordam entre si no intervalo de $\pm 0,1$ unidade. Os valores de pol por cento do caldo extraído podem também ser obtidos da leitura polarimétrica e refratométrica pelo uso da tabela de Schimitz para a avaliação do teor de açúcar pelo método do chumbo seco de Horne (Instituto do Açúcar e do Alcool 1975). Neste caso, os valores de P % CE calculados tanto pelo procedimento proposto como pelo procedimento usual são ligeiramente inferiores aos encontrados naquela tabela (no caso específico dos valores mostrados na Tabela 4 em $0,04 \pm 0,03$ unidade).

CONCLUSÃO

Em face da pequena magnitude dos erros encontrados na aplicação do procedimento proposto para o cálculo de resultados em análises tecnológicas de cana-de-açúcar - insuficientes, por si só, para afetar o valor dos resultados analíticos desejados -, da rapidez com que os resultados podem ser obtidos pelo procedimento proposto -

desde que sejam utilizados instrumentos programáveis de cálculo -, e da ausência de subjetividade no tratamento dos dados, uma vez que evita o recurso constante a tabelas, o procedimento aqui proposto substitui com vantagem o método usual para o cálculo de resultados de análises tecnológicas de cana-de-açúcar e pode ser utilizado em laboratórios de rotina de análises de cana-de-açúcar que manipulem grande quantidade de dados.

REFERÊNCIAS

- FLÜGGE, J. *The Principles of Polarimetry*. Oberkochen. Carl. Zeiss, s.d. 99p.
- HIRSCHMÜLLER, H. *Physical Properties of Sucrose*. In: HONIG, P. *Principles of Sugar Technology*. Amsterdam, Elsevier Publishing Co., 1953. v.1, C.2, p.18-74.
- INSTITUTO DO AÇÚCAR E DO ALCOOL. *Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Alagoas. Manual de Laboratório e Fabricação de Açúcar de Cana*. Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, 1975. 359p. (Coleção Canavieira, 18).
- INTERNATIONAL COMMISSION FOR UNIFORM METHODS OF SUGAR ANALYSIS. *Report of the Proceedings of the Ninth Session*. *Int. Sugar J.*, London, 39:1-40, jan./dez., 1937. Suplemento.
- TANIMOTO, T. *The press method of cane analysis*. *Hawaii. Plant. Rec.*, 57(2):133-50, 1964.