

# ÁLCOOL DE RESÍDUOS DE FRUTAS TROPICAIS<sup>1</sup>

RAÚL J.H. CASTRO-GÓMEZ<sup>2</sup>, E.R. TAMBURINI<sup>3</sup> e JOSÉ CAL-VIDAL<sup>2</sup>

**RESUMO** - Foram estudados os rendimentos em álcool de cascas de frutos tropicais (banana, abacaxi e tangerina) em extratos contendo açúcares fermentáveis obtidos mediante extração aquosa a quente e em solução ácida diluída (6,7%) e concentrada, (35% e 41%). Na fermentação - feita em escala de laboratório - empregou-se a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. O aproveitamento dos açúcares variou de 96% a 100% no caso da extração em água quente, sendo estes valores inferiores na extração com ácido clorídrico diluído. Foi estimada uma média de 12,6 l de álcool por t de casca de banana, de 68,7 l/t de casca de tangerina e de 100,6 l por t de casca de abacaxi, nas extrações com água quente. Estes valores caíram, na extração com ácido diluído, para 12 l/t no caso de banana, 10 l/t no abacaxi, e 26 l/t no da casca de tangerina. Num processo de extração combinado de água com ácido concentrado foram obtidos rendimentos da ordem de 13 l/t (abacaxi), 9,5 l/t (tangerina) e 7,8 l/t (banana). O rendimento em álcool foi de 72,1% para banana, 98,2% para abacaxi e 98,0% para tangerina no caso de extração com água quente. Estes valores foram reduzidos para 59%, 34% e 43%, respectivamente, na extração ácida diluída e no processo combinado, para 64,3%, 32,9% e 65,1% na mesma ordem.

Termos para indexação: cascas de frutos, banana, abacaxi, tangerina, açúcares fermentáveis, levedura.

## ALCOHOL FROM TROPICAL FRUIT RESIDUES

**ABSTRACT** - Alcohol production from peels extracts of tropical fruits (banana, pineapple and mandarin oranges) having fermentable sugars extracted with hot water and HCl solutions (6,7% and a combined 35% and 41%) was studied. For the fermentation of the extract the yeast *Saccharomyces cerevisiae* was used. The sugar utilization varied from 96% to 100% for hot water extraction being this value lower for the HCl extractions. Alcohol productions were 12,6 liters per ton in the case of banana, 68,7 liters per ton for mandarins, and 100,6 liters per ton for pineapple, for the hot water extractions. These values dropped to 12 liters per ton in banana, 10 liters per ton in pineapple and 26 liters per ton in orange peels for the diluted acid extraction. For an extraction process using a combination of hot water and concentrated acid, yields were 13 l/ton for pineapple, 9,5 l/ton for mandarin and 7,8 l/ton for banana peels. The alcoholic yields were estimated as 72,1% for banana, 98,2% for pineapple and 98,0% for mandarins, for the hot water extraction. These values were reduced to 59%, 34% and 43%, respectively, in the diluted acid extraction, and to 64,3%, 32,9% e 65,1% in the same order, for the combined process.

Index terms: fruit peels, banana, pineapple, mandarin oranges, fermentable sugars, yeast.

## INTRODUÇÃO

No atual contexto nacional, em que o Brasil busca novas fontes alternativas de energia, cresce em importância a exploração de todas as possibilidades de utilização de materiais descartáveis contendo carboidratos fermentáveis. Gregor & Jeffries (1979) estimam que no ano 2000 as reservas de energia derivadas de fósseis reduzir-se-ão enormemente, com a conseqüente elevação de seus preços.

A energia solar é, sem dúvida, uma fonte de energia a considerar de modo crescente, pois lança mão principalmente da máquina fotossintética que as plantas nos oferecem.

No Brasil, a existência de resíduos de origem vegetal, principalmente os que se concentram nas plantas de industrialização de frutos e similares, constitui grande potencial a ser utilizado em programas de obtenção de energia a partir de fontes renováveis. Em 1975, a produção agrícola nacional de cítricos, banana e abacaxi atingiu as cifras de 37 milhões de toneladas, 364.000 t e 351.000 t, respectivamente (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 1977). Um plantio de industrialização de abacaxi que processe 45 milhões de frutos por ano (78.000 toneladas) renderá 27.000 t de casca (Souza 1972).

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 22 de março de 1988

<sup>2</sup> Tecnol. de Alim., Prof., Dr., Bolsista do CNPq, Dep. Ciência dos Alimentos, Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), CEP 37200 Lavras, MG.

<sup>3</sup> Profa., Esc. de Farmácia e Odont. de Alfenas (EFOA), CEP 37130 Alfenas, MG.

A produção de etanol a partir de resíduos agrícolas foi analisada técnica e economicamente por Sifton et al. (1979), utilizando resíduos de milho. No caso de cascas de frutos deve considerar-se em primeiro lugar a sua composição química, que durante o amadurecimento a casca sofre transformações do tipo encontrado quanto ao fruto (Fernandes et al. 1979), destacando-se a conversão de amido em sacarose e glicose as quais constituem os açúcares mais fáceis de serem fermentados (Tabela 1).

De modo geral, nas cascas de frutos encontra-se a celulose, a hemi-celulose, pequenas quantidades de lignina, e amidos. Como açúcares principais têm-se a sacarose, a glicose e a frutose. Para a extração eficiente destes carboidratos, é necessário lançar mão de processos de hidrólise combinados com extrações com água. Pela hidrólise, transformamos a celulose, a hemi-celulose e o amido em açúcares mais simples, solúveis em água. Gregor & Jeffries (1979) reviram a cinética de extração de açúcares utilizando ácidos fortes diluídos a várias concentrações e temperaturas, destacando o fato de ter, paralelamente à rápida sacarificação, uma produção e subprodutos não fermentáveis. Bergius (1973), na tentativa de desenvolver um processo de hidrólise de madeira, recomendou o uso de ácido clorídrico concentrado.

Neste trabalho são apresentados resultados de produção de álcool a partir de cascas de frutos de banana, abacaxi e cítricos, com diversos métodos de extração dos açúcares fermentáveis.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Amostragem

Frutos de banana-nanica, abacaxi e tangerina, com grau de amadurecimento próprio para o consumo, foram obtidas no comércio local. As cascas foram removidas manualmente, sendo, a seguir, incorporadas ao líquido de extração (água ou HCl) e trituradas em liquidificador, para extração dos açúcares solúveis.

### Processos de extração

Para a extração dos açúcares solúveis, foram empregados os seguintes tratamentos: água quente, água/ácido clorídrico concentrado (35% e 41%) e ácido clorídrico diluído (6,7%).

Para os tratamentos de água quente e água/ácido clorídrico concentrado, as relações peso de cascas úmidas e líquido de extração foram: 0,5 kg de casca de banana para 1,0 l de líquido de extração (1:2); 0,5 kg de casca de abacaxi para 0,5 l de líquido de extração (1:1) e 0,24 kg de casca de tangerina para 0,72 l de líquido de extração (1:3). O tratamento com ácido clorídrico concentrado foi feito obedecendo-se o esquema adaptado de Gregor & Jeffries (1979), como indicado na Fig. 1.

Para o tratamento com ácido clorídrico diluído, as relações foram as seguintes: 0,5 kg de casca de banana para 1,0 l de líquido de extração (1:2); 0,5 kg de casca de abacaxi para 0,5 l de líquido de extração (1:1) e 0,5 kg de casca de tangerina para 0,5 l de líquido de extração (1:1).

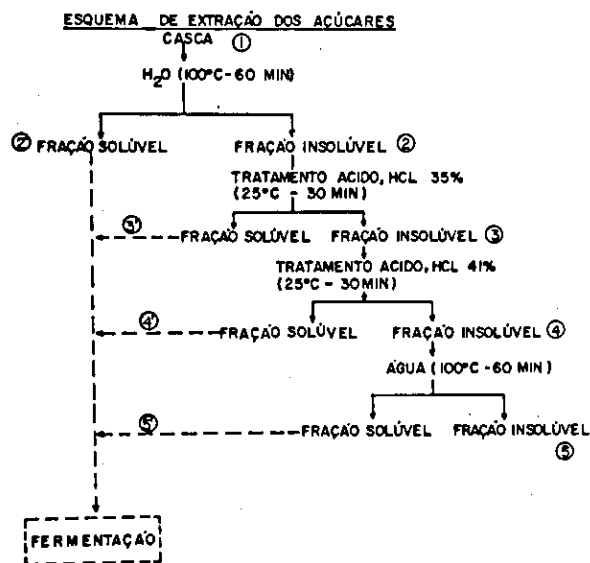
A extração dos açúcares foi conduzida em sistema de refluxo, a 100°C, por uma hora, para a extração com água ou ácido clorídrico diluído. No caso da extração com ácido clorídrico concentrado, empregaram-se 25°C, por 30 minutos.

Ao término da extração, fez-se uma filtração para a remoção do resíduo insolúvel, o qual foi submetido a lavagem com água destilada.

TABELA 1. Mudanças químicas em casca de banana-nanica durante o amadurecimento (base seca).

| Tempo (dias) | Amadurecimento (x) | Sólidos voláteis (%) | Umidade (%)   | Amido (%)    | Açúcares totais (%) | Glicose (%)   | Sacarose (%) |
|--------------|--------------------|----------------------|---------------|--------------|---------------------|---------------|--------------|
| 0            | 1                  | 76,47 ± 20,66        | 89,48 ± 1,85  | 35,03 ± 6,10 | 0,00                | 0,00          | 0,00         |
| 3            | 1                  | 86,43 ± 18,96        | 90,77 ± 1,50  | 39,51 ± 1,75 | 0,00                | 0,00          | 0,00         |
| 6            | 1                  | 88,61 ± 13,19        | 89,83 ± 1,50  | 48,54 ± 3,50 | 0,00                | 0,00          | 0,00         |
| 9            | 1                  | 86,43 ± 13,87        | 90,24 ± 2,93  | 26,75 ± 4,50 | 5,50 ± 1,77         | 1,10 ± 0,66   | 4,18 ± 1,05  |
| 12           | 2                  | 80,41 ± 24,89        | 88,47 ± 3,60  | 20,02 ± 9,44 | 2,20 ± 1,63         | 0,5 ± 0,31    | 1,62 ± 1,25  |
| 15           | 3                  | 78,48 ± 9,59         | 87,11 ± 0,68  | 4,80 ± 8,82  | 24,62 ± 8,40        | 3,01 ± 0,82   | 20,53 ± 7,20 |
| 18           | 6                  | 84,75 ± 0,93         | 86,30 ± 1,03  | 0,00         | 19,27 ± 3,67        | 8,25 ± 0,85   | 10,47 ± 2,68 |
| 21           | 8                  | 88,02 ± 3,38         | 77,18 ± 7,31  | 0,00         | 23,07 ± 11,27       | 5,15 ± 4,32   | 17,02 ± 6,61 |
| 23           | 8                  | 89,45 ± 3,50         | 71,00 ± 3,65  | 0,00         | 17,72 ± 7,84        | 14,74 ± 11,05 | 2,83 ± 3,05  |
| 27           | 8                  | 91,38 ± 1,47         | 66,67 ± 13,91 | 0,00         | 28,06 ± 5,80        | 12,96 ± 0,67  | 14,35 ± 4,63 |

(x) - Escala da Fruit Dispatch Company, 1942.



ADAPTADO DE GREGOR E JEFFRIES (1979)

FIG. 1. Esquema de extração dos açúcares em que se combina o uso de água com o de ácido clorídrico concentrado (35% e 41%).

Os volumes obtidos nos diferentes tratamentos empregados, respectivamente, para a casca de banana, abacaxi e tangerina, foram 2,20 l, 2,70 l e 0,81 l, quando se utilizou água/ácido clorídrico concentrado; 2,17 l, 2,67 l e 1,09 l, para o caso do emprego de água quente e, 2,20 l, 1,62 l e 0,79 l para as extrações realizadas com ácido diluído.

### Fermentação

Ao filtrado resultante das operações de extração acima descritas, adicionaram-se 5,0 g/l de sulfato de amônia (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, e o pH foi ajustado à faixa de 4,5 - 5,0, sendo, a seguir, esterilizado em autoclave (100°C - 30 min). Após o resfriamento, a suspensão foi inoculada com um cultivo - de 72 horas a 30°C - de levedura *Saccharomyces cerevisiae*, a um nível de 1,0% em volume e incubada a 25°C por dez dias.

### Análises químicas

Durante o transcurso da fermentação foram feitas, a cada dois (2) dias, determinações de açúcares totais, sacarose e glicose, utilizando o método de Somogyi-Nelson (Nelson 1944). Ao mesmo tempo foram feitas análises para determinação do álcool etílico produzido de acordo com o método de Maxon & Johnson (1945).

Análises de celulose, hemicelulose e lignina foram feitas pelo método de Bailey (1967). O teor de amido foi determinado pelo método da Association of Official Analytical Chemists (1970) e Somogyi-Nelson (Nelson 1944).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 2 mostra os conteúdos de sacarose e glicose na casca de banana-nanica durante um processo de extração com ácido diluído (6,7%), e o teor de glicose presente no extrato que se acumulou durante as 24 horas em que se desenvolveu a extração. Notar que de um teor inicial de 3,04% de glicose na casca, consegue-se um teor final de 1,32%, significando uma extração de 56,58%. Com relação ao nível de sacarose, verifica-se que durante o mesmo período é possível conseguir uma extração de 100%. Pelo gráfico, vemos, ainda, que o teor de glicose no extrato atinge o máximo após seis horas de extração. Além disto, análises de amido realizadas paralelamente revelaram que ele não sofreu qualquer alteração durante o processo. Isto deveu-se principalmente ao fato de a extração ter sido conduzida à temperatura ambiente. Verificou-se, ainda, que uma extração combinada utilizando água e ácido elevava o rendimento da extração em 24% para o caso de glicose.

O consumo de glicose durante a fermentação dos extratos dos diferentes resíduos está representado na Fig. 3. Estes resultados mostram um comportamento diferente no consumo de glicose por parte da levedura. Nota-se que para o caso do extrato da casca de abacaxi a velocidade máxima de consumo de glicose é da ordem de 0,045 gr. de glicose/100 ml/hora. Dados de eficiência e velocidade máxima de consumo de glicose para este e os demais extratos são apresentados na Tabela 2. É significativo o efeito da extração ácida na eficiência de consumo de glicose pela levedura, que se apresenta com valores bem inferiores em relação ao correspondente à extração com água. Com respeito à velocidade máxima de consumo de glicose, nota-se que, à exceção dos extratos de banana, os que correspondem às demais cascas de frutas apresentaram velocidades bem inferiores quando a extração se processou com ácido. Para o caso do extrato de abacaxi com água, observa-se um aumento de velocidade de consumo à medida que o tempo de fermentação transcorre, sugerindo uma adaptação gradativa da levedura ao meio. Tais comportamentos poderiam ser atribuídos a diferenças no teor de nutrientes, quando se examinam as velocidades de consumo dos diferentes extratos

aqueosos. O efeito-ácido, especialmente nos casos de abacaxi e tangerina, pode ser resultado do já estabelecido na literatura (Gregor & Jeffries 1979), em virtude, principalmente, da possibilidade de degradação dos açúcares presentes no substrato.

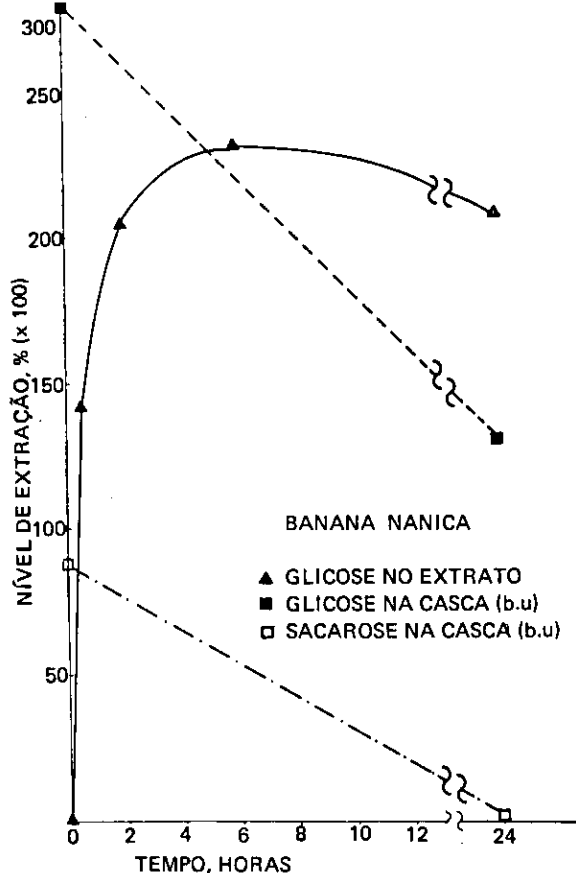


FIG. 2. Extração de açúcares em casca de banana-nanica mostrando as quedas de sacarose e glicose na casca e o conseqüente ganho de glicose no extrato.

As Fig. 4, 5 e 6 apresentam as curvas de cinética de fermentação para os extratos das cascas de banana, abacaxi e tangerina, respectivamente. Pode-se verificar novamente, e com maior clareza - notadamente nos casos de abacaxi e tangerina -, que há um efeito de inibição no aproveitamento da glicose presente nos extratos ácidos. Para o extrato de banana, vemos um comportamento semelhante quanto ao consumo de glicose. Todavia, as curvas de produção de álcool mostram níveis máximos

diferentes. Isto pode ser devido a um efeito de nutrientes ou ao já discutido efeito-ácido.

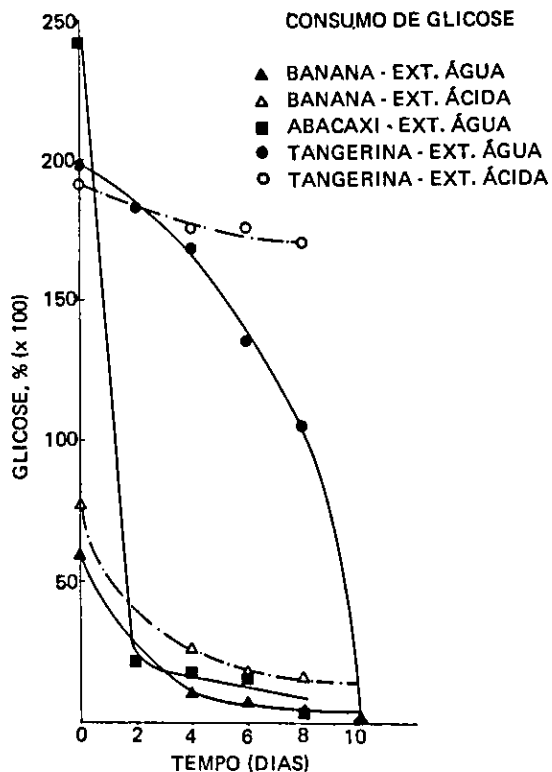


FIG. 3. Consumo de glicose durante a fermentação dos extratos dos diferentes resíduos.

O que se observa na Fig. 5, com referência ao extrato aquoso de abacaxi, é um consumo de glicose e conseqüente produção de álcool dentro do esperado normalmente. Novamente há diferença quanto ao comportamento do extrato-ácido, e neste caso temos um consumo inicial de açúcar sem produção de álcool, para ter-se a seguir uma cinética normal de produção. A Fig. 6 mostra o comportamento dos extratos de tangerina. No extrato aquoso, notou-se o já discutido aumento gradual de velocidade de consumo de glicose e produção de álcool, sendo, esse aumento, considerado normal. Para o extrato-ácido achou-se novamente um comportamento diferente, sendo que neste caso há uma produção inicial rápida de álcool.

As Tabelas 3 e 4 mostram o balanço de materiais para as frações solúveis e insolúveis, num processo de extração em que se combinou o uso de

água quente e ácido clorídrico concentrado, conforme o esquema da Fig. 1. Os resultados referentes aos açúcares (glicose, sacarose e outros) presentes nas diversas cascas foram, quase que totalmente, extraídos nos tratamentos com água. Com relação aos amidos, encontraram-se diferentes graus na eficiência de remoção nas diversas etapas. Deste modo, verificou-se uma eficiência de 67% para a banana, destacando-se a extração com HCl concentrado (41%) como sendo a mais efetiva; uma eficiência de 76% para a casca de abacaxi com a extração com HCl concentrado (35%) sendo a mais efetiva; e uma eficiência de 81% para a casca de tangerina com a etapa 4 (extração com HCl, 41%) como a mais importante. Com respeito à celulose, observa-se que ela permaneceu inalterável no caso da casca de banana, se for considerado o seu conteúdo inicial e final. Todavia, notou-se que nas etapas 2 e 3 houve, possivelmente, uma purificação da celulose, resultando numa elevação do seu teor nos resíduos, para decrescer na etapa seguinte (Sitton et al. 1979). No caso da casca de abacaxi, a eficiência de extração da celulose correspondeu a 27%, tendo, neste caso, maior contribuição das etapas 2 e 3 na extração. Para a tangerina, foi estimada uma eficiência de 73%, merecendo destaque as etapas 2 e 3. Para a hemicelulose, a eficiência de extração foi de 15%, 55% e 77% para as cascas de banana, abacaxi e tangerina, respectivamente. Do discutido conclui-se que a casca de tangerina foi a que apresentou maior facilidade de extração nos diversos componentes mencionados, seguida pela de abacaxi e banana.

Com referência ao balanço da fração solúvel (Tabela 4), verificou-se que, de modo geral, as frações cuja extração foi feita com água apresentaram maior teor de açúcares (glicose e sacarose), produzindo, como conseqüência, baixo teor nas frações extraídas com ácido. Estes resultados ratificam a análise da fração insolúvel, feita acima.

Os rendimentos e produção de álcool nos extratos solúveis combinados, obtidos nos processos de extração, conforme indicado no esquema da Fig. 1, são mostrados na Tabela 5. Na Tabela 6 é dada a mesma informação para o caso da extração com água quente, e na Tabela 7, os dados obtidos na extração com HCl diluído (6,7%). Foi constatado maior consumo de açúcares e, em conseqüên-

cia, rendimento alcoólico mais alto para o caso da extração com água quente. Saliente-se que, muito embora existam diferenças quanto ao tempo de fermentação, sendo dez dias para o caso em que se fez uso dos extratos combinados e ácido diluído, e dois dias para os extratos obtidos com água quente, o consumo de açúcar foi bem superior neste último caso. Fica evidente que o uso de ácido concentrado na extração provoca uma diminuição no rendimento de álcool, resultando num consumo deficiente de açúcares. Isto é bem evidente no caso da casca de abacaxi e de tangerina. As tabelas mostram, ainda, a produção de álcool (em litros por tonelada de casca) para os três sistemas de extração.

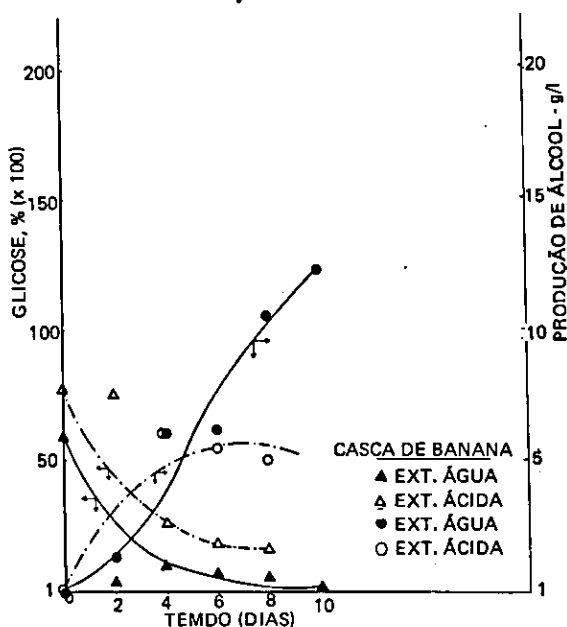


FIG. 4. Cinética de consumo de glicose e produção de álcool para extrato de casca de banana.

A maior ou menor facilidade de extração dos diversos componentes - tais como glicose, sacarose, amido, celulose e hemicelulose - vai depender do tipo de casca e do processo de extração. Neste caso, a casca de tangerina, em geral, foi a que apresentou maior facilidade de extração, seguida pelas de abacaxi e banana. Entretanto, em termos de álcool produzido, a casca de abacaxi, com uma média de 100,6 l por tonelada, foi a de maior ren-

dimento, seguida das cascas de tangerina e banana, com médias de produção de 68,7 l e 12,6 l por tonelada, respectivamente, nas extrações com água. Estes valores foram profundamente afetados pelo processo de extração dos açúcares, sendo que a ex-

tração com água/ácido concentrado foi o que mais afetou. É possível que o tipo de casca seja um fator que também determine o maior ou menor grau em que o processo de extração vai afetar o rendimento de álcool.

TABELA 2. Efeito do processo de extração na eficiência e velocidade de consumo de glicose.

| Extrato           | Teor de glicose (%) |       | Eficiência de consumo (%) | Velocidade máxima de consumo (GR/100 ML-M   x 100 |
|-------------------|---------------------|-------|---------------------------|---|
|                   | Inicial             | Final |                           |   |
| Banana (água)     | 0,59                | 0,05  | 91,53                     | 0,76  |
| Banana (ácido)    | 0,76                | 0,15  | 80,26                     | 1,25  |
| Abacaxi (água)    | 2,42                | 0,09  | 96,28                     | 4,50  |
| Abacaxi (ácido)   | 5,25                | 2,17  | 58,67                     | 0,80  |
| Tangerina (água)  | 1,99                | 0,01  | 99,50                     | 1,33 - 5,60                                       |
| Tangerina (ácido) | 1,92                | 1,70  | 11,45                     | 0,16  |

TABELA 3. Balanço de material para a fração insolúvel no processo de extração água/ácido concentrado (% base úmida).

| Etapas de extração <sup>x</sup> | Casca de banana |     |      |      |      | Casca de abacaxi |      |      |      |      | Casca de tangerina |      |      |      |      |
|---------------------------------|-----------------|-----|------|------|------|------------------|------|------|------|------|--------------------|------|------|------|------|
|                                 | 1               | 2   | 3    | 4    | 5    | 1                | 2    | 3    | 4    | 5    | 1                  | 2    | 3    | 4    | 5    |
| Peso total de casca (G)         | 600             | 390 | 240  | 120  | 50   | 500              | 420  | 280  | 230  | 100  | 240                | 400  | 260  | 200  | 80   |
| Teor de amido                   | 0,6             | 0,9 | 0,9  | 0,3  | 0,2  | 2,9              | 4,5  | 0,8  | 0,7  | 0,7  | 3,6                | 1,6  | 0,8  | 0,3  | 0,7  |
| Teor de glicose                 | 1,5             | 0,6 | 0    | 0    | 0    | 4,8              | 1,5  | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 5,3                | 1,5  | 0,02 | 0    | 0    |
| Teor de sacarose                | 0               | 0   | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,6              | 0    | 0,02 | 0    | 0,02 | 3,3                | 0,03 | 0    | 0,02 | 0,02 |
| Teor de outros açúcares         | 0               | 0   | 0    | 0    | 0    | 0,03             | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,2                | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Celulose                        | 0,9             | 1,0 | 1,3  | 0,7  | 1,0  | 2,3              | 1,7  | 1,3  | 1,4  | 1,6  | 3,7                | 1,8  | 0,9  | 0,8  | 1,0  |
| Hemicelulose                    | 2,6             | 3,1 | 3,2  | 1,8  | 2,2  | 8,9              | 8,7  | 3,8  | 3,4  | 4,0  | 10,4               | 4,4  | 2,3  | 1,9  | 2,4  |
| Sólidos totais                  | 8,7             | 8,9 | 12,1 | 7,3  | 9,1  | 22,5             | 16,4 | 12,6 | 11,9 | 13,3 | 35,7               | 14,2 | 8,7  | 7,5  | 9,1  |

<sup>x</sup> 1 - Composição inicial. 2 - Após extração com água quente. 3 - Após extração com HCl, 35% (V/V).  
4 - Após extração com HCl, 41% (V/V). 5 - Após extração com água quente.

TABELA 4. Balanço de material para a fração solúvel no processo de extração água/ácido concentrado (g/100 ml de extrato).

| Etapas de extração <sup>xx</sup> | Casca de banana |     |      |     | Casca de abacaxi |     |      |     | Casca de tangerina |     |     |     |
|----------------------------------|-----------------|-----|------|-----|------------------|-----|------|-----|--------------------|-----|-----|-----|
|                                  | 2'              | 3'  | 4'   | 5'  | 2'               | 3'  | 4'   | 5'  | 2'                 | 3'  | 4'  | 5'  |
| Teor de glicose                  | 0,9             | 0,4 | 0,09 | 0,3 | 1,9              | 0,8 | 0,3  | 1,8 | 1,5                | 0,9 | 0,3 | 0,5 |
| Teor de sacarose                 | 0,05            | 0   | 0,2  | 0   | 1,2              | 0   | 0,06 | 0   | 1,0                | 0   | 0   | 0   |
| Açúcares totais                  | 1,0             | 0,4 | 0,2  | 0,3 | 3,1              | 0,8 | 0,4  | 1,8 | 2,6                | 0,9 | 0,3 | 0,5 |
| Sólidos totais                   | 1,0             | 0,9 | 9,7  | 3,8 | 3,9              | 4,7 | 1,6  | 4,5 | 3,9                | 4,8 | 1,5 | 2,3 |

<sup>xx</sup> 2 - Após extração com água quente; 3 - Após extração com HCl, 35% (V/V); 4 - Após extração com HCl, 41% (V/V); 5 - Após extração com água quente.

TABELA 5. Rendimentos e produção de álcool nos extratos solúveis obtidos no processo de extração com água/ácido concentrado.

| Extratos           | Teor de açúcares, g/l |          | Produção de álcool, ml/l |         | Rendimento de álcool (%) | Álcool por tonelada de casca, l/t*** |
|--------------------|-----------------------|----------|--------------------------|---------|--------------------------|--------------------------------------|
|                    | Glicose               | Sacarose | Teórico *                | Real ** |                          |                                      |
| Casca de banana    | 3,8                   | 1,6      | 2,8                      | 1,8     | 64,3                     | 7,8                                  |
| Casca de abacaxi   | 12,6                  | 1,6      | 7,3                      | 2,4     | 32,9                     | 13,0                                 |
| Casca de tangerina | 7,9                   | 0,5      | 4,3                      | 2,8     | 65,1                     | 9,5                                  |

\* Álcool teórico = (teor glicose x 0,51) + (teor sacarose x 0,54).

\*\* Após dez dias de fermentação a 25°C - 30°C.

\*\*\* Álcool/t casca = álcool real produzido, ml/l x litros de extrato/kg de casca.

TABELA 6. Rendimentos e produção de álcool nos extratos solúveis obtidos no processo de extração com água quente (100°C - uma hora).

| Extratos           | Teor de açúcares, g/l |          | Produção de álcool, ml/l |        | Rendimento de álcool (%) | Álcool por tonelada de casca, l/t |
|--------------------|-----------------------|----------|--------------------------|--------|--------------------------|-----------------------------------|
|                    | Glicose               | Sacarose | Teórico                  | Real * |                          |                                   |
| Casca de banana    | 7,8                   | 0,0      | 4,0                      | 2,9    | 72,5                     | 12,6                              |
| Casca de abacaxi   | 21,5                  | 15,0     | 19,1                     | 18,8   | 98,2                     | 100,6                             |
| Casca de tangerina | 18,1                  | 11,2     | 15,3                     | 15,0   | 98,0                     | 68,7                              |

\* Após dois dias de fermentação.

TABELA 7. Rendimentos e produção de álcool nos extratos solúveis no processo de extração com ácido diluído (6,7%).

| Extratos           | Teor de açúcares, g/l |          | Produção de álcool, ml/l |        | Rendimento de álcool (%) | Álcool por tonelada de casca, l/t |
|--------------------|-----------------------|----------|--------------------------|--------|--------------------------|-----------------------------------|
|                    | Glicose               | Sacarose | Teórico                  | Real * |                          |                                   |
| Casca de banana    | 9,0                   | 0,5      | 4,9                      | 2,9    | 59                       | 12,6                              |
| Casca de abacaxi   | 19,0                  | 12,0     | 16,2                     | 5,5    | 34                       | 17,9                              |
| Casca de tangerina | 15,0                  | 10,0     | 13,0                     | 5,6    | 43                       | 8,9                               |

\* Após dez dias de fermentação.

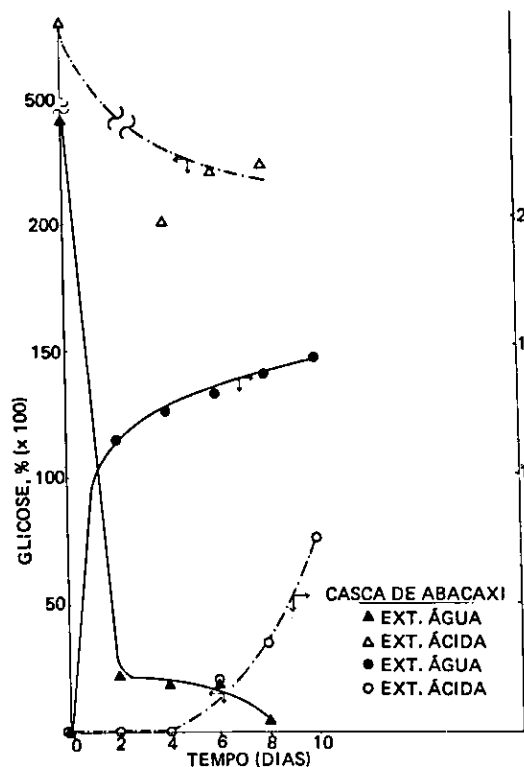


FIG. 5. Cinética de consumo de glicose e produção de álcool para extrato de casca de abacaxi.

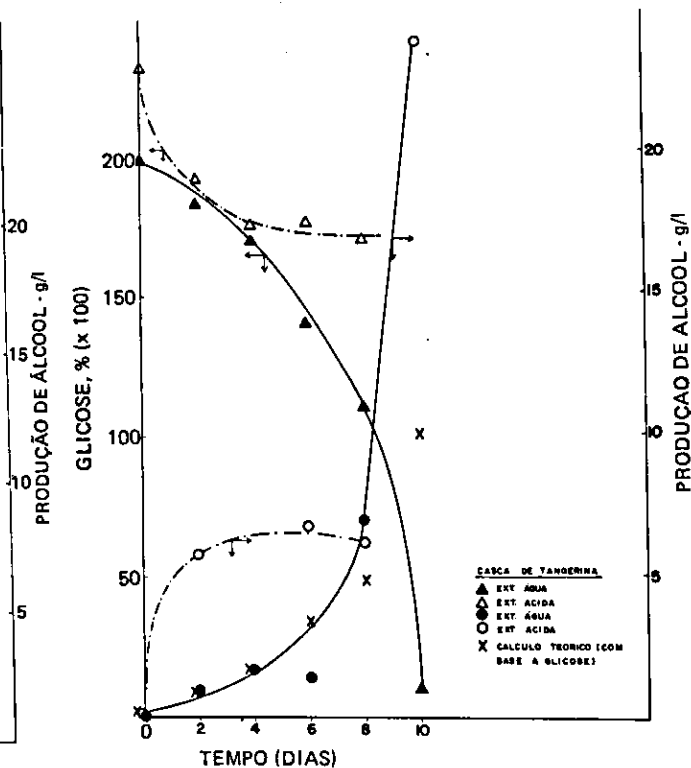


FIG. 6. Cinética de consumo de glicose e produção de álcool para extrato de casca de tangerina.

### CONCLUSÕES

1. O aproveitamento de cascas de tangerina, banana e abacaxi é tecnologicamente possível para produção de álcool.
2. O uso de ácido nas extrações dos açúcares das cascas provoca um consumo deficiente destes pela levedura, e, como consequência, uma diminuição no rendimento de álcool.
3. Nas extrações com água, verificam-se melhores rendimentos de álcool, como resultado de uma alta eficiência no aproveitamento dos açúcares pela levedura, durante a fermentação.

### REFERÊNCIAS

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, Washington, EUA. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 11.ed. Washington, 1970. 1015p.
- BAILEY, R.W. Quantitative studies of ruminant digestion. II. Loss of ingested plant carbohydrates from the reticle rumen. *J. Agric. Res.*, 10:15-32, 1967.
- BERGIUS, F. Conversion of wood to carbohydrates. *Ind. Eng. Chem.*, 29:247-53, 1973.
- FERNANDES, K.M.; CARVALHO, V.D. de; CAL-VIDAL, J. Physical changes during ripening of silver bananas. *J. Food Sci.*, 44:1254-5, 1979.



- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Anuário estatístico do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE. v.38, 1977.
- GREGOR, H.P. & JEFFRIES, T.W. Ethanolic fuels from renewable resources in the solar age. In: VIETH, W. R.; VENKATASUBRAMANIAN, K.; CONSTANTINIDES, A., ed. *Biochemical engineering*. New York, New York Academy of Science, 1979.
- MAXON, W.D. & JONHSON, M.J. Aeration studies on propagation of Baker's yeast. *Ind. Eng. Chem.*, 45: 2554-64, 1945.
- NELSON, N.A. A photometric adaptation of somogyi method for the determination of glucose. *J. Biol. Chem.*, 153:375-80, 1944.
- SITTON, O.C.; FOUTCH, G.L.; BOOK, N.L.; GADDY, J. L. Ethanol from agricultural residues. *Chem. Eng. Prog.*, 75, 12:52-7, 1979.
- SOUZA, J.A.J. Industrialização do abacaxi. *B. Inst. Tecnol. Alim.*, (30):1-86, 1972.