

EMBRAPA

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA

CENTRO DE TECNOLOGIA AGRÍCOLA E ALIMENTAR

PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE  
FARINHA DE GRÃOS DE SORGO SACARINO

## CHEFIA DO GTAA

João Fernando Marques — Chefe  
José Gilberto Jardine — Chefe Adjunto Técnico  
Servilho J. Gianetti — Chefe Adjunto de Apoio

## COMITÊ DE PUBLICAÇÕES

José Gilberto Jardine — Presidente  
Mauro Taveira Magalhães  
Adelaide del Pino Beleia  
Ismênia Salignac de Souza Guimarães  
Luís Fernando Vieira  
Moacir Roberto Mazzari  
Regina Celi Araujo Lago  
Marynice Medeiros Matos

Embrapa  
FL06795  
AI/SEDE

Embrapa  
MEMÓRIA  
AI/SEDE

PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE FARINHA DE GRÃOS DE SORGO SACARINO

EDITOR : COMITÊ DE PUBLICAÇÕES DO CTAA/EMBRAPA

ENDEREÇO: Rua Jardim Botânico, 1024  
22.460 - Rio de Janeiro-RJ

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de  
Tecnologia Agrícola e Alimentar, Rio de Janeiro, RJ.

Produção de etanol a partir de farinha de grãos de  
sorgo sacarino, por Paschoal G. Robbs e outros. Rio de  
Janeiro, 1983.

32 p. (EMBRAPA.CTAA. Documentos, 3)

1. Sorgo sacarino-Produção-Etanol. 2. Energia-Fon-  
tes alternativas. I. Robbs, P.G. colab. II. Santana,  
D.M. da N. colab. III. Gularte, J.L. dos S. colab. IV.  
Teixeira, C.G. colab. V. Título. VI Série.

CDD - 19ed 380.141318

© EMBRAPA

## APRESENTAÇÃO

O presente trabalho é resultado de pesquisa realizada no Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-DTA/UFRRJ, como parte do projeto de pesquisa em execução no CTAA: Utilização do Grão de Sorgo Sacarino Para Obtenção de Alcool Etílico, Ração Animal e Farinha Alimentícia.

Os técnicos que participaram na execução das pesquisas foram: PASCHOAL G. ROBBS; DJALVA MARIA DA N.SANTANA; JORGE LUIZ DOS S. GULARTE, sob a orientação do Dr. CYRO GONÇALVES TEIXEIRA, Coordenador do projeto.

---

Este trabalho integra o PROGRAMA NACIONAL DE PESQUISA DE ENERGIA DA EMBRAPA e foi financiado pelo PROGRAMA DE MOBILIZAÇÃO ENERGÉTICA DA SEPLAN.

---

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	7
MATERIAL E MÉTODOS .....	7
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	15
CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	30
CONCLUSÕES .....	31
BIBLIOGRAFIA .....	31

## 1. INTRODUÇÃO

O sorgo sacarino pode ser uma boa opção para produção de etanol, pelos seguintes motivos<sup>1</sup>:

a - Possibilita ampliar o trabalho das destilarias em pelo menos dois meses.

b - Constitui uma alternativa para desfazer o caráter de monocultura que a produção de álcool imprime a algumas regiões brasileiras.

c - Permite que a oferta de emprego se torne mais estável.

A produtividade do sorgo sacarino gira em torno de 45 ton/ha, sendo que 15% constituem folhas, 75% colmo e 10% panículas (com 70% de grão). Assim, cerca de 3,15 toneladas de grãos podem ser obtidos por ha.

Diversos aspectos da produção de etanol a partir do colmo (com ou sem as folhas) do sorgo sacarino foram pesquisados por Dias & Borgonovi (1981).

O presente estudo visou obter dados sobre a produção de etanol a partir da farinha de grãos de sorgo sacarino, tendo sido realizado no Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFRRJ por solicitação do CTAA/EMBRAPA; através do Contrato Epistolar entre CTAA/UFRRJ - (OFÍCIO C.CH.CTAA nº 053/82). O processo de hidrólise utilizado foi o enzimático, sem autoclavagem, desenvolvido em estudos prévios pela PFIZER, juntamente com a EMBRAPA.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Matéria Prima

A matéria prima utilizada foi farinha de sorgo, obtida de grãos fornecidos pela EMBRAPA. A moagem foi feita em moinho de martelo marca TECMOLIN-modelo DC-3013, de 1980. Após duas passagens (utilizando peneira de 1 mm) obteve-se uma farinha com as seguintes características:

## Granulometria:

Malha	Abertura (mm)	% de farinha retida
62	0,50	7,9
60	0,25	49,5
150	0,105	40,4
270	0,053	0,9

Composição Centesimal: (técnicas recomendadas pelo A.O.A.C., 10<sup>a</sup> ed.)

Umidade a 105 <sup>o</sup> C	12,25%
Cinza	1,18%
Amido	61,33%
Açúcares totais (em dextrose)	77,5%

## 2.2. Dextrinização

Em todas as experiências, seguiu-se basicamente a metodologia recomendada pela PFIZER (1981). Assim, a partir de uma quantidade adequada de farinha para fornecer de 15 a 18% de amido (dependendo do experimento), foi feita uma suspensão em água destilada e o volume completado para 3 litros, os quais foram transferidos para um recipiente de alumínio, utilizando para a dextrinização e sacarificação. O pH foi ajustado a 6,8-7,0 com NaOH (a 10%) e o recipiente adaptado em banho-maria marca ELKA, modelo 120/3, com temperatura regulável. A agitação foi logo iniciada (agitador marca JANKE & HANKEL) com velocidade ajustada na faixa de 100 a 500 rpm, sendo a haste utilizada provida de uma hélice convencional e de um agitador tipo turbina. Esta adaptação foi necessária para conseguir-se uma homogeneização satisfatória, principalmente na fase de máxima viscosidade.

A alfa-amilase PFIZER, foi adicionada no início da agitação, na proporção de 1000 BAU/kg de amido. A temperatura foi elevada gradualmente até 85%, tendo sido mantida por duas horas. Este período (maior do que o estipulado pela

PFIZER, que foi de 1 h) foi necessário para obter-se uma melhor dextrinização, em nossas condições de trabalho.

### 2.3. Sacarificação:

Após a dextrinização, o mosto foi resfriado para 60°C, o pH logo corrigido para 4,5 com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 10% e a amiloglicosidase (PFIZER) adicionada em quantidade para fornecer 250 DU/kg de amido. Nesta fase utilizou-se um banho-maria marca FANEN, Mod 120/2 e manteve-se a mistura em agitação (mesmo sistema utilizado anteriormente) por 40 horas a 60°C.

### 2.4. Preparo do Mosto:

Após completada a sacarificação a mistura foi resfriada, o volume medido e então passada em peneira (com malha de 0,5mm) para retirar-se a fração mais grosseira. Para maioria dos experimentos utilizou-se somente estas operações. Entretanto, para fermentações com recuperação de levedura, foi necessária uma centrifugação, após a peneiragem, a 2.000 rpm por 15 min. (Centrífuga marca INTERNATIONAL EQUIPAMENTS Co., Mod. K) para retirar as partículas grosseiras que dificultavam o processo.

Em ambos os casos foram feitas posteriormente as seguintes adições, baseadas em trabalho semelhante (Silva, 1981)

(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .....	2g/l
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O .....	0,1g/l
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	0,1g/l

O pH foi corrigido para 4,5-5,0 com HCl 1N.

O mosto assim preparado e contendo de 15 a 19% de A.T., foi distribuído em recipientes adequados para cada experimento, pasteurizado sob vapor fluente por 20 min. e mantido em geladeira (4-7°C) por um máximo de 10 dias.

## 2.5. Fermentação:

### 2.5.1. Leveduras utilizadas

- Saccharomyces cerevisiae Fleischmann - Cultura pura obtida a partir de fermento Fleischmann comercial.

- Saccharomyces uvarum - Amostra gentilmente cedida pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Piracicaba. Esta levedura está sendo distribuída para usinas, para produção de etanol a partir de material sacarino, principalmente.

- Levedura SA-018 - Amostra de Saccharomyces selecionada pelo ITAL para produção de aguardente de cana, gentilmente cedida pelo Dr. CYRO G. TEIXEIRA.

- Levedura SA-100 - Amostra de Saccharomyces selecionada pelo ITAL para produção de aguardente de cana, gentilmente cedida pelo Dr. CYRO G. TEIXEIRA.

Todas as culturas foram mantidas em meio Sabourraud glicose agar, Hagler (1978), por repiques mensais.

### 2.5.2. Preparo do inóculo

Para preparo do inóculo, inicialmente, a levedura foi transferida para meio sólido com a seguinte formulação.

- Hidrolisado de farinha de sorgo (filtrado) .....	500ml
- Água destilada .....	500ml
- $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ .....	2g
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .....	0,1g
- $\text{K}_2\text{SO}_4$ .....	0,1g
- Agar .....	20g

O pH foi corrigido para 5,5 e o meio foi distribuído em tubos de rosca (10ml/tubo) e esterilizado a 115°C por 15 min.

A incubação nesta fase foi a 30°C por 48 horas, após o que foi feita a propagação, que variou de acordo com o processo de fermentação utilizado.

### 2.5.3. Processos de fermentação:

#### 2.5.3.1. Processo de recuperação de levedura:

Neste caso utilizou-se mosto peneirado e centrifugado após a sacarificação, preparado como visto anteriormente. Para cada levedura, o procedimento foi o seguinte:

1. Inóculo em tubo de meio sólido, incubado a 30°C/48 horas.
2. Passagem (com alça) para tubo contendo 10ml de mosto (idêntico ao principal). Incubação a 30°C por 12 horas.
3. Inoculação de frasco de 150ml, contendo 100ml de mosto, com os 10ml obtido anteriormente. Incubação a 30°C por 30 horas (1ª fermentação).
4. Centrifugação a 2.000 rpm por 15 min., retirada do sobrenadante para análises e reposição de 100ml de mosto com as mesmas características. Homogeneização.
5. Nova incubação a 30°C por 30 horas (2ª fermentação).
6. Centrifugação a 2.000 rpm por 15 min., retirada do sobrenadante para análises e reposição de 100ml de mosto com as mesmas características. Homogeneização.
7. Nova incubação a 30°C por 30 horas (3ª fermentação).
8. Centrifugação a 2.000 rpm por 15 min., e retirada do sobrenadante para análises.

Os frascos utilizados para este experimento eram cilíndricos, adaptáveis à centrífuga utilizada. Desse modo, não havia necessidade de remoção do material para centrifugação, que era feita no próprio recipiente de fermentação.

### 2.5.3.2. Processo de cortes

Neste caso utilizou-se mosto apenas peneirado após a sacarificação, preparado como visto anteriormente. O procedimento foi o seguinte:

1. Inóculo em tubo de meio sólido, incubado a 30°C/48 horas.
2. Adição de 2ml de solução salina por tubo e preparo da suspensão.
3. Inoculação de 1ml da suspensão anterior em tubo com 10ml de mosto. Incubação a 30°C por 12 horas:
4. Inoculação de erlenmeyer de 250ml contendo 100ml de mosto, com os 10ml do tubo preparado anteriormente.
  - Após 12 horas, corte de 50ml de 1º frasco para erlenmeyer de 250ml esteril (2º frasco). Após transferência, o volume de ambos (1º e 2º) foi completado para 100 ml, com mosto.
  - Após 12 horas, corte de 50ml do 2º frasco para erlenmeyer de 250ml esteril (3º frasco). Após transferência, o volume de ambos (2º e 3º) foi completado para 100ml, com mosto.
  - Cada frasco foi incubado por mais 24 hs a 30°C, após o corte, para que a fermentação se completasse.

### 2.5.3.3. Processo Clássico:

Para este caso utilizou-se mosto apenas peneirado após a sacarificação, e com as correções vistas anteriormente. O procedimento foi o seguinte:

- Inóculo em tubos de meio sólido, incubado a 30°C/48 horas.
- Adição de 2ml de solução salina por tubo e preparo da suspensão.
- Inoculação de 1ml da suspensão anterior em tubo contendo 10ml de mosto. Incubação a 30°C por 12 horas.
- Inoculação de erlenmeyer de 500ml, contendo 200ml de mosto, com 2 tubos de 10ml, preparados como visto anteriormente. Incubação a 30°C por 12 horas.

- Inoculação de 1.800ml de mosto contido em cuba de fermentação (Fermentador marca VIRTIS de 3 estágios independentes, com 200ml do inóculo preparado anteriormente. Incubação a 30<sup>o</sup>C por até 30 horas.

## 2.6. Análises de Controle:

2.6.1. Teste de iodo - (T.I.) feito segundo a técnica da PFIZER-Groton Fermentation Department, descrita no relatório sobre hidrólise de farinha de sorgo. Este teste foi utilizado para controle de dextrinização.

### 2.6.2. Açúcares totais (A.T.)

Aliquota adequada do material foi hidrolisada na presença de HCl 2N por 40 min. e em seguida neutralizada com NaOH 1N. Posteriormente foram dosados os açúcares redutores formados, pela técnica de Somogyi (1952), espectrofotometricamente, com aparelho Spectronic 20 - Bausch & Lomb, a 540nm.

### 2.6.3. Açúcares Solúveis Totais (A.S.T.)

Aliquota de 10ml foi diluída em água destilada, centrifugada a 3.000 rpm por 15 min. e lavada 3 vezes com água destilada. A fração solúvel obtida teve seu volume ajustado para 50ml. Os A.S.T. foram dosados, após a hidrólise ácida de uma alíquota conveniente, pelo método de Somogyi (1952).

### 2.6.4. Açúcares redutores livres (A.R.L.)

Foram dosados pelo método de Somogyi (1952), diretamente da fração solúvel obtida para dosagem dos A.S.T.

### 2.6.5. Sólidos solúveis

Foram medidos através de refratômetro em <sup>o</sup>BRIX. (Brix refratométrico) - Refratômetro de campo marca PZO (0-30 <sup>o</sup>B).

### 2.6.6. Etanol

Para dosagem de etanol foi utilizado um cromatógrafo a gás marca C.G. Mod. 370, da Instrumentos Científicos C.G. Ltda.

A coluna foi de PORAPAK K, com 2 metros de comprimento e 3/16" de diâmetro interno.

As condições de operação foram:

- Temperatura da coluna	190°C
- Temperatura do redutor (de ionização da chama)	220°C
- Temperatura do vaporizador	220°C
- Atenuação	10x10 <sup>-9</sup>
- Vazão do gás de arraste	40ml/min.
- Vazão do H <sub>2</sub>	40ml/min.
- Vazão do ar	400ml/min.

O destilado foi obtido da seguinte forma:

50ml do fermentado foram transferidos para um balão de destilação e após a adição de 50ml de água destilada, foi neutralizado com solução a 20% de NaOH e adicionado de 2 gotas de antiespumante. O destilado foi recolhido em balão volumétrico de 50ml e o volume final ajustado.

Após diluição para que o teor alcoólico ficasse em concentração próxima a 1% (estimado), a amostra foi injetada no cromatógrafo, tendo acetona como padrão interno. O teor de etanol foi então calculado através da seguinte fórmula:

$$\% (V/V) \text{ de etanol} = \frac{A_1 \text{ amostra} \cdot V_1 \text{ acetona}}{A_2 \text{ acetona} \cdot V_2 \text{ amostra}} \times 100 \times f_c$$

onde:

$A_1$  - área do pico do etanol

$A_2$  - área do pico da acetona

$V_1$  - volume de acetona utilizado na diluição

$V_2$  - volume de amostra utilizada na diluição

fc - fator de resposta do detector

### 2.6.7. pH

Medido em potenciômetro marca Schott Mainz, Mod. CG-711, de eletrodo combinado.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Experimento 1

Finalidade: estabelecer as melhores condições de dextrinização e sacarificação, para o equipamento utilizado.

#### Condições:

- Concentração de amido	15% p/V
- pH de dextrinização	6,8-7,0
- Temperatura de dextrinização	85 $\pm$ 2 $^{\circ}$ C
- Dosagem de alfa amilase	1000 BAU/kg amido
- pH de sacarificação	4,5
- Temperatura de sacarificação	60 $\pm$ 2 $^{\circ}$ C
- Dosagem de amiloglicosidade	250 DU/kg amido

Resultado: TABELA 1.

Discussão: Com relação a dextrinização a maior dificuldade foi a agitação, principalmente na fase de gelatinização do amido. Somente após a adaptação do agitador em turbina, foi possível realizar a dextrinização. Mesmo assim, o tempo necessário para uma boa dextrinização foi maior, para nossas condições, do que o encontrado pela PFIZER (1981). O teste de iodo manteve-se positivo durante a dextrinização, fato que também ocorreu nos experimentos conduzidos pela PFIZER.

Já com relação a sacarificação, somente com 40 horas a conversão (calculada da mesma forma empregada pela PFIZER) foi de 85,2%. Os resultados, portanto, foram semelhantes aos encontrados pela PFIZER (83% em 30 horas, 79,9% em 40 horas de 84,3% em 50 horas).

Adotamos, em vista destes resultados, o tempo de 2 horas para a dextrinização e de 40 horas para a sacarificação.

TABELA 1 - Aumento dos ARL em função do tempo de dextrinização e sacarificação (média de duas repetições). Teor de amido - 15% p/v.

Fase do Processo	ARL %(p/v)	°Brix	Conversão* (%)
Início	0,47	1,7	2,8
Dextrinização - 1h**	0,61	10,5	3,7
Dextrinização - 2h**	3,57	14,5	21,4
Sacarificação - 10h	8,13	14,5	48,8
Sacarificação - 20h	9,75	14,5	58,5
Sacarificação - 30h	12,24	14,5	73,5
Sacarificação - 40h	14,20	14,5	85,2

$$* \text{ Conversão} = \frac{\text{AT} \times 100}{\text{AT Teórico}}$$

\*\* Teste de Iodo - positivo.

### 3.2. Experimento 2

Finalidade: Verificar o comportamento de diferentes amostras de levedura na fermentação de hidrolisado de farinha de sorgo.

Condições:

a. Da 1.<sup>a</sup> repetição:

- Mosto peneirado e centrifugado após sacarificação.
- Conversão na sacarificação: 80,2%
- Características do mosto:

pH	4,9
Brix	18,0 <sup>o</sup>
AT	17,6%
AST	17,1%
ARL	16,3%

Fortificação com 2g/l de  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ; 0,1g/l de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  e 0,1g/l de

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

a. Da 2.<sup>a</sup> repetição:

- Mosto peneirado e centrifugado após sacarificação
- Conversão na sacarificação: 87,5%
- Características do mosto:

pH	4,6
Brix	18,5 <sup>o</sup>
AT	18,4%
AST	18,0%
ARL	17,5%

- Fortificação com 2g/l de  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ; 0,1g/l de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  e 0,1g/l de

$\text{MgSO}_4$ .

O sistema de fermentação, para ambos os casos, foi o de recuperação de levedura.

O pH, durante a fermentação, foi mantido na faixa de 4,0 - 5,0, pela adição de NaOH 1N (estéril).

O controle da pureza foi feito no início e no final da fermentação, através da lâmina a fresco e corada ao Gram.

O tempo de fermentação foi 30 horas, à temperatura de 30°C.

Resultados: TABELAS 2 e 3

Discussão: Como se pode observar pelas Tabelas 2 e 3, as eficiências médias de fermentação variaram na faixa de 82,2 a 90,9%. As eficiências um pouco mais elevadas, entretanto, foram observadas nas fermentações com S. cerevisiae Fleischmann.

Em trabalho utilizando hidrolisado de farinha de mandioca, Silva(1981) comparou as eficiências de fermentação de S. cerevisiae var. ellyphoideus e S. cerevisiae Fleischmann, empregando o processo clássico de fermentação alcoólica. Os resultados obtidos foram bastantes próximos (82,1 para a primeira e 83,7% para a segunda) para as duas amostras. As eficiências médias encontradas no presente estudo foram um pouco maiores. Entretanto, deve-se levar em consideração que, neste experimento, foi utilizado o processo de recuperação de levedura, o qual proporciona maiores eficiências, pois não há praticamente gastos de açúcar para multiplicação celular.

Em vista dos resultados encontrados e ainda, por ser a levedura mais utilizada para produção de etanol no Brasil, S. cerevisiae Fleischmann foi o agente escolhido para os demais experimentos.

É importante, neste ponto, salientar que o sistema de recuperação de leveduras será bastante difícil de ser utilizado industrialmente com esta matéria-prima. Isto porque a quantidade de resíduo (fragmentos) insolúveis é muito grande, mesmo quando feita a peneiragem e centrifugação prévia de mosto. Desta forma, só foi possível neste experimento fazer-se 2 recuperações, pois a quantidade de sedimento era muito grande, impedindo novas centrifugações de mostos fermentados.

Acredita-se portanto que, se utilizado na prática industrial, o processo de recuperação permitirá, no máximo, umas 3 recuperações, mesmo se o método utilizado for o de sedimentação do fermento, ao invés de centrifugação.

Nota-se pelas Tabelas 2 e 3 que os teores de AT e ARL são próximos, indicando uma boa sacarificação. Os açúcares residuais devem ser pentosanas, não fermentáveis.

TABELA 2 - Comparação de quatro amostras de leveduras na fermentação alcoólica de hidrolisado de farinha de sorgo (1ª repetição).

AMOSTRA	FERMENTAÇÃO	ETANOL OBTIDO (% V/V)	AT (%) RESIDUAL	ARL (%) RESIDUAL	EFICIÊNCIA DA* FERMENTAÇÃO (%)
S.A. - 100	1ª	8,10	0,39	0,36	73,3
	2ª	10,97	0,44	0,29	99,5
	3ª	9,90	0,48	0,34	89,9
		$\bar{X}$ = 9,65	$\bar{X}$ = 0,44	$\bar{X}$ = 0,33	$\bar{X}$ = 87,5
S.A. - 018	1ª	8,61	0,42	0,38	77,9
	2ª	8,99	0,43	0,35	80,9
	3ª	10,03	0,53	0,39	91,3
		$\bar{X}$ = 9,21	$\bar{X}$ = 0,46	$\bar{X}$ = 0,37	$\bar{X}$ = 83,6
<u>S.cerevisiae</u> var.Fleischmann	1ª	9,22	0,40	0,34	83,4
	2ª	8,77	0,22	0,11	78,4
	3ª	11,13	0,22	0,13	99,5
		$\bar{X}$ = 9,71	$\bar{X}$ = 0,28	$\bar{X}$ = 0,19	$\bar{X}$ = 87,2
<u>S.uvarum</u>	1ª	9,06	0,42	0,36	82,1
	2ª	8,10	0,47	0,35	73,6
	3ª	10,04	0,42	0,29	90,9
		$\bar{X}$ = 9,07	$\bar{X}$ = 0,44	$\bar{X}$ = 0,33	$\bar{X}$ = 82,2

\* Calculada através da fórmula:

$$Ef = \frac{\text{Etanol obtido (\% V/V)}}{\text{Etanol teórico calculado (\% V/V) a partir do açúcar consumido}} \times 100$$

Densidade do etanol (considerada) = 0,7947

TABELA 3 - Comparação de quatro amostras de leveduras, na fermentação alcoólica de hidrolisado de farinha de sorgo (2ª repetição).

AMOSTRA	FERMENTAÇÃO	ETANOL OBTIDO (% V/V)	AT (%) RESIDUAL	ARL (%) RESIDUAL	EFICIENCIA DA FERMENTAÇÃO (%) <sup>*</sup>
S.A. - 100	1. <sup>a</sup>	10,17	0,57	0,39	88,4
	2. <sup>a</sup>	9,66	0,49	0,37	83,9
	3. <sup>a</sup>	9,57	0,53	0,39	83,3
		$\bar{X}$ = 9,80	$\bar{X}$ = 0,53	$\bar{X}$ = 0,38	$\bar{X}$ = 85,2
S.A. - 018	1. <sup>a</sup>	9,55	-	0,41	-
	2. <sup>a</sup>	9,92	0,56	0,34	86,5
	3. <sup>a</sup>	9,49	0,55	0,38	82,7
		$\bar{X}$ = 9,65	$\bar{X}$ = 0,55	$\bar{X}$ = 0,38	$\bar{X}$ = 84,1
<u>S.cerevisiae</u> var.Fleischmann	1. <sup>a</sup>	10,54	0,57	0,30	91,2
	2. <sup>a</sup>	10,73	0,28	0,16	92,1
	3. <sup>a</sup>	10,39	0,22	0,11	88,9
		$\bar{X}$ = 10,55	$\bar{X}$ = 0,36	$\bar{X}$ = 0,19	$\bar{X}$ = 90,9
<u>S.uvarum</u>	1. <sup>a</sup>	10,46	0,50	0,41	90,9
	2. <sup>a</sup>	9,80	0,54	0,34	86,4
	3. <sup>a</sup>	10,74	0,53	0,39	93,5
		$\bar{X}$ = 10,33	$\bar{X}$ = 0,52	$\bar{X}$ = 0,38	$\bar{X}$ = 89,8

\*Calculada através da fórmula:

$$Ef = \frac{\text{Etanol obtido (\% V/V)}}{\text{Etanol teórico calculado (\% V/V) a partir do açúcar consumido}} \times 100$$

Densidade do etanol considerada = 0,7947

### 3.3. Experimento 3

Finalidade: Verificar o comportamento de S. cerevisiae Fleischmann na produção de etanol, a partir de hidrolisado de farinha de sorgo, pelo sistema de corte.

Condições:

- Proporção de farinha utilizada: 828g/3 ℓ
- Volume de mosto produzido - 2.750ml
- Conversão na sacarificação - 92,5%
- Características do mosto (peneirado)

pH	4,9
Brix	19,0 <sup>o</sup>
AT	18,9%
AST	18,8%
ARL	18,7%

Fortificação com 2g/l de  $(NH_4)_2$ ; 0,1g/l de  $K_2SO_4$  e 0,1g/l de  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ .

Os sistemas de fermentação foi o de corte (descrito em material e métodos), sendo a incubação feita a 30<sup>o</sup>C, em Estufa-Incubadora (B.O.D.) da FANEN (12 horas até o corte e, posteriormente, mais 24 horas).

Resultados: TABELA 4.

Discussão: Os resultados encontrados foram satisfatórios, tanto em termos de sacarificação quanto em termos de fermentação (83,1%) havendo variação de 76,8 até 90,8%.

Os rendimentos obtidos foram também satisfatórios (média de 326,8 ℓ de etanol/tonelada de farinha com 61% de amido), se compararmos com o obtido por Silva (1981), que foi de até 333 kg de etanol/ton. de farinha, ou de 419,0 ℓ de etanol/ton de farinha de mandioca, com 77% de amido.

TABELA 4 - Produção de etanol por *S.cerevisiae* Fleischmann a partir de hidrolisado de farinha de sorgo, pelo sistema de corte.

FERMENTAÇÃO	CORTE	ETANOL (%V/V)	A.T. RESIDUAL (%)	A.R.L. RESIDUAL (%)	Ef.Ferm. (%)	RENDIMENTO (l etanol/* ton farinha)
A	1º	9,12	0,43	0,39	76,8	
	2º	10,27	0,51	0,41	86,9	
	3º	10,73	0,51	0,41	90,8	
	$\bar{x}$ =	10,00	0,48	0,40	84,8	332,1
B	1º	10,23	0,49	0,39	86,5	
	2º	9,26	0,43	0,41	78,0	
	3º	9,43	0,47	0,40	79,5	
	$\bar{x}$ =	9,64	0,46	0,40	81,3	320,2
C	1º	10,32	0,49	0,38	87,2	
	2º	9,21	0,49	0,49	77,9	
	3º	10,29	0,41	0,38	86,5	
	$\bar{x}$ =	9,94	0,46	0,42	83,9	330,2
D	1º	9,15	0,51	0,39	77,4	
	2º	10,18	0,39	0,39	85,5	
	3º	10,00	0,49	0,41	84,5	
	$\bar{x}$ =	9,78	0,46	0,40	82,5	324,9
Média Geral		9,89			83,1	326,8

\* Base úmida.

### 3.4. Experimento 4

Finalidade: Verificar o desempenho da amostra de S.cerevisiae Fleischmann durante a fermentação alcoólica de hidrolisado de farinha de sorgo sacarino, bem como estipular o tempo de fermentação adequado para o processo clássico.

#### Condições:

Características do mosto:

	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
pH	4,9	4,9	4,9
Brix	17,7	18,9	17,0
AST (%)	17,4	18,7	16,5

O sistema utilizado foi o já descrito anteriormente, tendo sido utilizado fermentador VIRTIS. As condições de fermentação foram:

Temperatura — 30<sup>o</sup>C (mantida anteriormente por refrigeração externa - FIGURA 4)

pH — mantido entre 4,0-5,0, através de adição de NaOH (10%) estéril.

Resultados: FIGURA 1.

Discussão: Como se pode notar pela Figura 1, o comportamento da levedura foi bom, dando margem a uma excelente eficiência de fermentação (média de 90,2%). Esta eficiência elevada deve-se provavelmente as condições ideais em que foram mantidas as fermentações.

Pode-se observar também que a partir de 26 horas não houve mais alteração dos <sup>o</sup>Brix, sendo também observada nesta fase uma paralização total no despreendimento de CO<sub>2</sub>. Escolheu-se o tempo de 30 horas para as fermentações posteriores, para melhor garantir o término da fermentação, nas condições de estudo.

### 3.5. Experimento 5

Finalidade: Avaliar a eficiência e rendimentos de fermentações de hidrolisado de farinha de sorgo sacarino, pelo processo clássico, em fermentador de laboratório.

#### Condições:

- Mosto peneirado
- Proporção de farinha utilizada: 828g/3 l
- Os volumes (ml) de mosto após sacarificação e o teor de A.S.T. de cada um dos mostos, encontram-se na Tabela 5.
- O mosto foi fortificado com 2g/l de  $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$ ; 0,1g/l de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  e 0,1g/l de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .
- A fermentação foi conduzida em fermentador VIRTIS com volume total de mosto de 2.000ml. O pH foi mantido na faixa de 4,0-5,0, por adição de solução de NaOH (10%) estéril.
- Temperatura - 30°C
- Tempo de fermentação - 30 h

#### Resultados: TABELA 5

Discussão: As eficiências de fermentação foram boas, principalmente para o processo clássico, variando de 82,3 a 93,5%, com média de 89%. Isto se deve, principalmente, as ótimas condições de fermentação. Silva(1981) obteve eficiência, com S. cerevisiae var. ellypsoideus, de 86,0%.

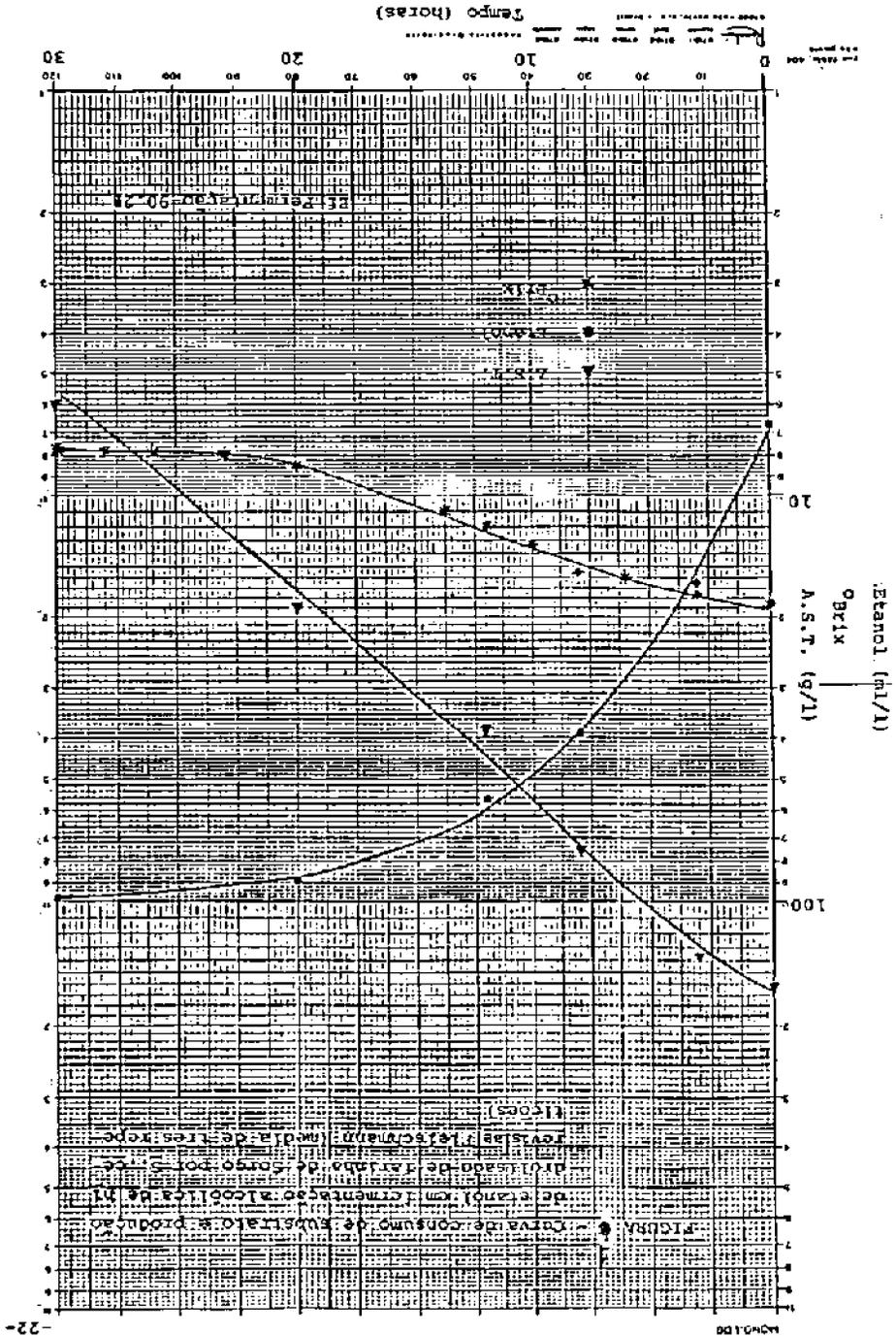


TABELA 5 - Dados de fermentações pelo processo clássico (em fermentador VIRTIS), de hidrolisados de farinha de sorgo sacarino, por S. cerevisiae Fleischmann (30°C/30 horas)

FERM. Nº	VOLUME APÓS SACARIF. (ml)	A.S.T. DO MOSTO (%)	CONVERSÃO (%)	ETANOL (%V/V)	A.S.T. RESIDUAL (%)	AÇÚCAR CONSUMIDO (%)	EFICIÊNCIA DA FERMENTAÇÃO (%)	RENDIMENTO (1 EtOH/ton de farinha)***	RENDIMENTO (1 EtOH/ton de amido)*
1	2.800	17,3	86,5	9,65	0,4	16,9	88,9	326,3	534,8
2	2.800	18,3	91,5	9,47	0,4	17,9	82,3	320,2	524,8
3	2.750	18,2	89,5	10,50	0,4	17,0	91,8	348,7	571,5
4	2.700	18,5	89,4	10,14	0,5	16,9	88,6	330,1	541,3
5	2.500	18,7	83,5	10,17	0,6	18,1	87,4	307,1	503,3
6	2.750	16,5	81,5	9,19	0,6	15,9	89,9	305,2	500,2
7	3.200**	15,7	89,7	8,58	0,8	14,9	89,6	331,6	543,5
8	3.050**	16,1	87,9	9,31	0,6	14,9	93,5	342,9	562,0
Média			87,4	9,63			89,0	326,5	535,2

\* Calculada da mesma forma empregada pela PFIZER.

\*\* Adicionada água destilada durante a dextrinização.

\*\*\* Base Úmida.

Os rendimentos em etanol obtidos no presente estudo (média de 326,5 l/ton. de farinha) podem também ser considerados bons. Dias e Borgonovi (1981), mencionam que os grãos de sorgo sacarino fornecem rendimentos não inferiores a 300 l/ton. de grãos, e Silva (1981) encontrou rendimentos da ordem de 410 l de etanol/ton. de farinha de mandioca.

Considerando a produção com base no amido, obteve-se, no presente trabalho, rendimento médio de 532,2 l/ton. enquanto que Silva (1981), obteve 547,4 l/ton. Teoricamente, 1 ton. de amido fornece 714,4 l de etanol (1 ton. amido = 1,11 ton. A.T. = 714,4 l etanol, havendo portanto, no cômputo global (dextrinização, sacarificação e fermentação) um rendimento de 74,9% na transformação amido-etanol.

O rendimento poderá cair um pouco, considerando-se as perdas 10 a 15% na peneiragem (material inerte para fermentação). Desta forma, pode-se ter rendimentos na faixa de 260-315 l/ton. de farinha (N- úmida), considerando-se as variações de rendimentos observada na Tabela 5, ou 295 a 360 l/ton. farinha (Base seca).

#### 4. CONSIDERAÇÕES GERAIS

##### 4.1. Com relação a etapa dextrinização-sacarificação.

Sobre esta etapa, deve-se salientar que houve dificuldades principalmente na fase de dextrinização. Quando teores maiores de amido foram utilizados (16,8%), durante a gelatinização o agitador trabalhava no seu limite de capacidade. Foram testados maiores concentrações de amido (18 a 20%), mas o agitador não teve capacidade para trabalhar nestas condições. Além disso, a absorção de água, nestas concentrações, é muito grande, ficando uma pasta de difícil homogeneização. Isto também prejudicava a transferência de calor.

Em termos práticos, a faixa de 15 a 17% de amido deve ser utilizada para o sorgo. Silva (1981) utilizou, para hidrólise enzimática de farinha de mandioca, suspensões com 22,5% de amido).

##### 4.2. Com relação a etapa de fermentação.

Nesta fase, o maior problema encontrado foi a manutenção do pH. O hidrolisado de farinha de sorgo não possui bom poder tamponante (como tem o melão por exemplo), obrigando constantemente a correções de pH. Nas fermentações iniciais (sondagens), valores de pH de 3,0 foram observados após 8-10 horas de fermentação partindo-se de mosto com pH 4,5. Para manutenção adequada de pH, correções de no máximo de 3-3 horas foram necessárias.

Outro problema observado foi a quantidade de resíduo em suspensão, principalmente em mostos com maiores concentrações de farinha.

## 5. CONCLUSÕES

5.1. O processo da PFIZER de hidrólise enzimática é passível de ser utilizado para farinha de grãos de sorgo sacarino, fornecendo conversões da ordem de 80 a 90%, nas condições empregadas.

5.2. A fermentação alcoólica dos hidrolisados, com 15 a 18% de açúcares, se processa em 30 horas, fornecendo bons teores alcoólicos (da ordem de 9,5% V/V) e com boa eficiência de fermentação.

5.3. Os processos de corte e o clássico parecem ser os mais recomendados para esta matéria prima.

5.4. Rendimentos na faixa de 295 a 360 l de etanol/ton. farinha (Base seca) podem ser obtidos.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 - DIAS, J.M.C.S. & BORGONOV, R.A. Produção de álcool de sorgo sacarino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALCOOLQUÍMICA 19; São Paulo, 1981. Anais. Rio de Janeiro, ABIQUIM, 1981. p. 464-489.
- 2 - HAGLER, A.N. Ecologia e taxonomia de leveduras em um estuário poluído em ambientes marinhos do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, UFRJ, 1978. (Tese Doutorado).
- 3 - PFIZER. Hidrólise de farinha de sorgo (para fermentação de etanol), processo enzimático sem autoclave. (Relatório de trabalhos efetuados no Lab. de Desenvolvimento de Recuperação e Síntese, a partir de sementes de sorgo sacarino) 1981.

4 - SILVA, I. M. da, Hidrolisados enzimáticos de farinha de mandioca para fermentação alcoólica. Rio de Janeiro, Escola de Química da UFRJ, 1981. (Tese Mestrado)..

5 - SOMOGYI, M. Notes on sugar determination. J.Biol.Chem., 195:9, 1952.