

PRODUÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO DE COLMOS DE SORGO SACARINO EM MICRODESTILARIA

Cyro Gonçalves Teixeira¹

Ciro Ubiratan Ferreira²

Robert E. Schaffert³

Delia B. Rodrigues-Amaya⁴

Helena Teixeira Godoy⁵

RESUMO

A produção de etanol a partir de açúcares fermentescíveis de fontes renováveis de energia, despontou como a mais viável para substituir os combustíveis derivados do petróleo. As tecnologias para transformar carboidratos em etanol são bem conhecidas desde longa data, sendo utilizadas como principais fontes de obtenção de açúcares fermentescíveis a cana-de-açúcar e a beterraba açucareira. Entretanto, não há nenhuma limitação no uso do sorgo sacarino como matéria-prima para produção de etanol. Com o aumento do interesse em um melhor uso desta nova fonte de biomassa energética, informações adicionais devem ser obtidas para avaliar o real potencial dessa nova fonte renovável de energia. Pelo fato de se adaptar às condições climáticas diversas, rápido crescimento, moderada exigência de água e elevado conteúdo de carboidrato, o sorgo sacarino poderá vir a se constituir em uma cultura de alto valor para as regiões tropicais e sub-tropicais. Nos experimentos a cultivar de sorgo sacarino BR-505, originária da cultivar norte-americana Wray, foi plantada nos anos agrícolas de 1984/85 e 1985/86, para avaliar o seu comportamento como matéria-prima para produção de álcool etílico em microdestilaria. Amostras de colmos foram retiradas por algumas semanas, a partir do aparecimento das panículas até que os grãos atingissem o estágio firme, que ocorreu 120 dias após o plantio. Foram determinados nos colmos os teores de açúcares redutores, açúcares totais e sacarose. O teor em açúcares redutores decresceu durante a maturação do grão, provavelmente pelo fato de ser assimilado na forma de outros metabólicos. O teor em sacarose aumentou significativamente atingindo valores altos quando os grãos estavam maduros, bem firmes. Deste modo, é possível cultivar o sorgo sacarino com dupla finalidade: uso dos colmos para produção de etanol, e uso dos grãos para ração animal e/ou consumo humano. Foram obtidos rendimentos de colmos e folhas de 40-50 t/ha no estágio de maturação completa das panículas, com uma produção adicional de grãos de 2, 5-3, 5 t/ha. Os colmos e folhas foram processados em uma microdestilaria com sistema de difusão, obtendo-se alta taxa de extração de açúcares fermentescíveis, que permitiu a obtenção de cerca de 50 litros de etanol por tonelada de matéria-prima.

Palavras-chave: Sorgo Sacarino, biomassa, açúcares-teor, álcool-rendimento, extração-difusão.

¹ Eng.-Agr., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos, Av. das Américas, 29.501, CEP-23020 Rio de Janeiro - RJ.

² Eng.-Agr., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos.

³ Eng.-Agr., Dr., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35700, Sete Lagoas-MG.

⁴ Profa. Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, SP.

⁵ Profa. Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, SP.

ABSTRACT

In the search for sources of liquid fuels to replace those derived from petroleum, the advantages of converting the fermentable carbohydrate content of renewable agricultural materials into ethanol were recognized early. The technologies for converting sugars to ethanol have been known for many years, and crops such as sugar cane and sugar beets have been utilized as the main sources of fermentable carbohydrates. However, there are no constraints on the use of sweet sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, as the raw material for ethanol production. With increased interest in utilizing sweet sorghum biomass for energy additional information is needed to evaluate its potential as a renewable source of energy. With its adaptability to different climatic conditions, rapid growth characteristics, moderate water requirements and high carbohydrate content sweet sorghum can become a very important renewable energy source for the tropical and subtropical regions of the world. In this experimental trial, the cultivar of sweet sorghum BR 505, originated from the American cultivar Wray, was grown in 1984/85 and 1985/86, to evaluate its behaviour as the raw material for ethanol production in a microdistillery. Samples of culms were analysed for several weeks from early flowering up to the hard dough stage, which occurred 120 days after sowing. Reducing sugars, total sugars and sucrose contents in the stalks were determined. Reducing sugars decreased during seed maturation probably due to assimilation into other metabolites. Sucrose increased significantly reaching high values at the hard dough stage. Thus it is possible to raise sweet sorghum with the double purpose: to use the stalks for ethanol production and, the grain for animal feed and/or human consumption. Stalks and leaf yields of 40-50 tones per hectare were obtained at seed maturity with an additional production of 2.5-3.5 tones per hectare of grain. The stalks with leaves were processed in a microdistillery with a diffusion extraction system increasing the fermentable sugars extraction and raising the ethanol yield to around 50 liters per tone of fresh biomass (stalks and leaves).

Key-words: sweet sorghum, biomass, sugars content, ethanol yield, diffusion extraction.

INTRODUÇÃO

Com os problemas surgidos com a crise do petróleo, as pesquisas foram voltadas para a obtenção de combustíveis líquidos, a partir de açúcares fermentescíveis de fontes renováveis de energia. Entre elas, despontou a cana-de-açúcar como a mais promissora, podendo ser cultivada em diversas regiões do Brasil, tradicionalmente produtor de açúcar de cana. Esta nova opção foi considerada a mais viável para obtenção de álcool carburante, dando origem ao ambicioso programa estabelecido pelo Pro-álcool.

Entretanto, uma série de restrições foi colocada a esse programa, que levou ao cultivo de extensas áreas anteriormente ocupadas com plantas alimentícias. Todavia, em um programa para produção de álcool etílico carburante a cana-de-açúcar demonstrou ser a matéria-prima mais recomendável por várias razões, a saber:

a) trata-se de uma cultura de tecnologia de cultivo avançada, pelo emprego de variedades e práticas culturais eficientes e bem conhecidas;

b) adapta-se a quase todas as regiões do Brasil;

c) os seus colmos são ricos em açúcares diretamente fermentescíveis, além de permitir a obtenção de álcool etílico pela adoção de tecnologia de produção e de equipamentos totalmente nacionais;

d) a geração de vapor para operar a destilaria resulta da queima do próprio bagaço, não necessitando de energia externa e

e) permite a criação de um número significativo de empregos, tanto para a produção da matéria-prima, como no processo industrial, além daqueles resultantes do incremento das indústrias de equipamentos e de outras atividades indiretas.

Deste modo, em um período de 10 anos, a evolução na produção de álcool etílico carburante foi vertiginosa, permitindo que reduzíssemos muito a nossa dependência de importação de petróleo.

Posteriormente, com o surgimento do programa de implantação de microdestilarias, com o objetivo de tornar a propriedade rural auto-suficiente em energia (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, s.d.), foi aventada a possibilidade do emprego de outras matérias-primas, de fácil produção no País, que pudessem contribuir para uma diversificação de culturas e uma menor ociosidade de unidade industrial. Entre elas, despontou como a mais promissora o sorgo sacarino, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, pelo fato de seus colmos poderem ser processados na mesma instalação destinada à produção de álcool etílico de cana-de-açúcar. Por outro lado, apresenta a vantagem de ser plantado de semente, de ciclo curto, ao redor de quatro meses. Além disso, o sorgo sacarino oferece o benefício de ser uma cultura com dupla finalidade, a saber:

a) produz colmos ricos em açúcares fermentescíveis utilizados na obtenção de álcool etílico e

b) produz grãos para uso como ração animal e/ou na obtenção de farinhas alimentícias e outros produtos.

Ademais, o próprio bagaço dos colmos pode ser utilizado na geração de vapor para operar a microdestilaria..

A outra vantagem do cultivo do sorgo sacarino na propriedade rural reside na possibilidade do aproveitamento de um segundo corte, com produção de biomassa para alimentação de bovinos, bem como de uma segunda produção de grãos (Gorgatti Netto & Souza Dias 1983). Esta produção de grãos vai depender da época que se efetua o primeiro corte. Deste modo, a propriedade rural vai contar com um alimento volumoso, de boa aceitação pelo gado, no período de inverno de escassez de pastagem. Ainda parte do bagaço poderá também sofrer tratamento para ser fornecido ao gado. Assim, o álcool etílico será um dos produtos em uma atividade integrada dentro da propriedade rural, objetivando o máximo aproveitamento de todos os subprodutos oriundos da atividade da microdestilaria em um programa com a dupla finalidade de auto-suficiência em energia e produção de alimentos.

Como resultados desta filosofia adotada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (s.d.) e Gorgatti Netto & Souza Dias (1983) as pesquisas com sorgo sacarino foram intensificadas no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, em um programa de melhoramento, objetivando a obtenção de cultivares com boa produção de colmos com alto teor de açúcares reductores totais, ao lado de uma significativa produção de grãos.

Nos Estados Unidos da América do Norte o sorgo sacarino vem sendo pesquisado já por algum tempo. Os primeiros estudos foram voltados para a obtenção de cultivares que oferecessem xarope ou melado de boas características, muito utilizado para consumo humano. A cultura se concentra nos estados do sudeste, onde são produzidos cerca de 90% do total de melado (Freeman et al. 1973). Neste particular, as características almejadas na criação de novas cultivares são de produzir um volume apreciável de colmos por área, com alto teor de açúcares (Brix) no caldo, além de ser de fácil extração.

Um grande volume de trabalho de melhoramento de sorgo sacarino está sendo conduzido na Universidade Estadual do Texas. Em 1961, foi iniciado um programa para desenvolver cultivares de sorgo sacarino destinadas à produção de açúcar (sacarose), no período da entressafra da cana-de-açúcar.

Em 1972, Cowley & Smith (1972) realizaram alguns estudos com a variedade Rio, envolvendo época de plantio, densidade populacional, fertilizantes e irrigação. Os experimentos foram conduzidos pelo período de 5 anos, revelando uma variação no rendimento

em sacarose dos colmos, de acordo com a época de plantio. Esta variação foi de 85,8 a 97,1 kg de sacarose por tonelada de colmo, de acordo com a intensidade da luminosidade solar durante o período de cultivo (fotoperiodismo).

Reeves Jr. (1976) realizou pesquisas para verificar o comportamento de trinta cultivares de sorgo sacarino, observando que treze delas não mostravam diferença significativa com relação à produção de colmos por área. Reeves Jr. et al. (1978) estudaram também várias cultivares de sorgo sacarino para conhecer o seu comportamento com relação a época do plantio, espaçamento, e as influências no porte, produção de massa verde, teor de açúcares totais e outros. O espaçamento ao redor de 68 cm entre linhas pareceu ser o mais recomendável.

Teixeira (1953, 1954) realizou alguns experimentos para verificar o comportamento do sorgo sacarino na produção de álcool etílico. Naquela ocasião, os experimentos foram conduzidos com colmos da variedade Sart, cultivada no Instituto Agrônomo de Campinas. Posteriormente, estas pesquisas foram continuadas a partir de material selecionado pela EMBRAPA (Menezes et al. 1977) e Teixeira et al. (1977). Os resultados obtidos indicaram que o sorgo sacarino poderá vir a ser uma opção, principalmente para produção de álcool etílico em microdestilaria, visando uma melhor utilização da instalação industrial na entressafra da cana-de-açúcar. Ademais, o sorgo sacarino fornece os grãos, que poderão ser utilizados na alimentação animal e/ou na alimentação humana.

Reeves Jr. et al. (1978) realizaram pesquisas em que foram plantadas nove variedades de sorgo sacarino em um experimento com quatro repetições. Entre elas, estava a variedade Wray, que revelou boa produção de sacarose nos colmos, da ordem de 138 kg/t. Este resultado foi obtido ao redor de 135 dias após o plantio.

Lipinsky & Kresovich (1980) ressaltaram que as plantas de colmos ricos em açúcares podem dar uma significativa contribuição para se conseguir uma independência de energia e na obtenção de produtos químicos, em substituição ao petróleo. Em razão do balanço favorável de energia e de fácil integração com outras culturas produtoras de material celulósico e de amido; elas apresentam um potencial de exploração muito grande. O sorgo, por exemplo, apresenta a linha C₄ no processo de fotossíntese, tornando-o altamente eficiente na assimilação de dióxido de carbono. Utiliza também a água eficientemente, sendo mais tolerante a condições de seca. Para a produção de 1 kg de massa seca, o sorgo consome de 250 a 350 kg de água, ao passo que no caso do trigo e da soja o consumo é de aproximadamente 500 e 700 kg, respectivamente. Para o sorgo sacarino, que apresenta colmos de porte alto, já se usa com sucesso uma colheitadeira de cana-de-açúcar adaptada, que permite a separação dos colmos e dos grãos (panículas). Lipinsky & Kresovich (1982), nos Estados Unidos da América do Norte, estudaram a eficiência de plantas produtoras de açúcares como convertedoras de energia solar. Neste particular, as principais plantas exploradas são a cana-de-açúcar, a beterraba açucareira e o sorgo sacarino. O sorgo sacarino se distingue da cana-de-açúcar por ser obtido a partir de sementes em um ciclo de 3 a 6 meses. Apesar de estar sendo cultivado por mais de 100 anos, as pesquisas com esta planta ainda estão muito defasadas, quando comparadas com as realizadas com cana-de-açúcar e com beterraba açucareira, devendo merecer uma maior atenção por parte dos melhoristas. No caso do sorgo sacarino, os açúcares sintetizados são armazenados nos colmos nas formas mais simples, e parte acumulados nos grãos na forma de amido.

McBee & Miller (1982) observaram que os açúcares totais tendem a se elevar com a maturação na variedade Rio, após a emergência das panículas. A parte superior do colmo mostrou um teor um pouco mais elevado de sacarose, mas a distribuição deste açúcar é bem uniforme em todo o colmo. Para a glicose, há uma maior variabilidade em razão de ela poder ser assimilada na forma de outros metabólitos.

Smith & Reeves Jr. (1981) realizaram experimentos com diversas cultivares de sorgo sacarino, entre elas a Rio, Wray e MN 1500. A Rio é uma cultivar com alto teor de sacarose nos colmos. Os resultados obtidos se referem a experimentos realizados no sul do Texas, durante três anos consecutivos (1977 e 1979). Os teores mais elevados de açúcares to-

tais nos colmos foram obtidos quando os grãos estavam completamente maduros, bem firmes. Neste estágio, a Wray produziu massa verde de colmos e folhas de 52 t/ha, com um espaçamento de 75 cm entre linhas, apresentando um rendimento de 135 kg/t de açúcares totais nos colmos. Quando os grãos estavam completamente maduros, a Wray produziu 11,1 t/ha de colmos, em peso seco.

Creelman et al. (1982), no Texas, vêm se dedicando ao melhoramento do sorgo sacarino. As pesquisas estão voltadas para a obtenção de cultivares de múltiplas finalidades (high energy sorghum-HES), combinando produção de grãos com biomassa e teor elevado de açúcares nos colmos. A grande variabilidade entre as diversas cultivares de sorgo sacarino oferece grandes possibilidades para o melhorista para conseguir produtos finais com as características desejadas.

No Brasil, os trabalhos de melhoramento do sorgo sacarino são relativamente recentes, estando em franco desenvolvimento no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, em grande parte a partir de material selecionado no Texas. No nosso caso, o principal objetivo tem sido voltado para a obtenção de cultivares com boa produção de massa verde, com teores altos de açúcares fermentescíveis, ao lado de uma produção razoável de grãos. Em trabalhos já realizados (Figueiredo et al. 1981/1982 e Figueiredo 1984) foram obtidas informações valiosas, que recomendam uma intensificação dos programas de pesquisa com esta gramínea. Pelo alto potencial de produção de açúcares nos colmos, o sorgo sacarino poderá tornar-se uma valiosa matéria-prima alternativa na produção de álcool etílico.

Com os dados experimentais obtidos com o cultivo sorgo sacarino na Fazenda Ermida, Jundiá, Estado de São Paulo, Almeida et al. (1985) demonstraram a viabilidade do seu cultivo como matéria prima para produção de álcool etílico em microdestilarias. Uma vez que para o sorgo sacarino o interesse principal está voltado para o aproveitamento do colmo, pode-se adotar o critério de considerar os grãos subsidiando parte do custo de produção.

As nossas pesquisas, contando com a participação do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, têm sido orientadas para observar a evolução dos açúcares nos colmos das cultivares mais promissoras de sorgo sacarino, aliada à produção de colmos e grãos. Os resultados obtidos têm revelado a possibilidade do aproveitamento dos colmos e dos grãos, uma vez que os teores mais elevados de açúcares totais são obtidos quando os grãos atingem o estágio firme de maturação.

MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos experimentais foram realizados na Fazenda Ermida, Jundiá, Estado de São Paulo, com a colaboração da Agropecuária JLM Ltda., nos anos agrícolas de 1984/85 e 1985/86. Foi plantada a cultivar BR 505, cujas sementes foram fornecidas pelo Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo.

No ano agrícola 1984/85 o plantio foi feito em terreno de várzea, com boa fertilidade e drenagem média. Foi feita a correção prévia do solo com calcário dolomítico para pH = 5,0. Em razão de problemas de baixa pluviosidade, o plantio só foi realizado em 23 de dezembro de 1984. O espaçamento utilizado foi de 60 cm entre linhas, procurando-se manter uma densidade de população de 6 a 7 plantas por metro linear. A adubação foi feita com uma fórmula 4:14:8, na base de 500 kg/ha, também empregada na cultura do milho. Foi procedida uma dubação em cobertura, 45 dias após o plantio, com 200 kg/ha de nitrocálcio. Foi feito um tratamento do solo com o herbicida de pré-emergência Gesaprim 500 FW, na dose de 6 l/ha. A profundidade de plantio foi de 3 a 5 cm. O pulgão verde foi controlado com Pirimor 50 PM, na base de 0,5 kg/ha. A experimentação no campo foi acompanhada por técnicos do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo.

No ano agrícola 1985/86 o plantio foi feito no mesmo terreno de várzea. Em razão de ter também ocorrido o problema de seca, os plantios foram feitos em 28 de novembro e 24 de dezembro de 1985. Por outro lado, procurou-se adotar uma adubação próxima da recomendada pelo Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (Borgonovi et al. 1982) na base de 20 kg/ha de N, 90 kg/ha de P₂O₅ e 90 kg/ha de K₂O, além de 40 kg/ha de N em cobertura. Utilizou-se uma fórmula empregada na adubação de cana-de-açúcar (4: 20: 20), na razão de 400 kg/ha. Aos 35 dias após o plantio foi efetuada uma adubação em cobertura com 200 kg/ha de uréia.

Na Tabela 1, estão registrados os dados pluviométricos coletados no Posto Pluviométrico da Fazenda Ermida do DAEE.

TABELA 1 — Dados pluviométricos coletados na Fazenda Ermida, em milímetros

	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Setembro	12,2	17,0	240,4	125,4	94,1	
Outubro	163,2	207,3	119,0	24,4	5,3	
Novembro	221,7	137,4	152,6	109,6	272,8	
Dezembro	146,9	416,7	186,0	30,8	138,4	
Janeiro	254,3	330,9	303,4	177,2	157,4	198,4
Fevereiro	55,3	248,4	323,1	25,1	158,0	143,8
Março	87,3	150,8	191,0	42,1	142,0	124,4
Abril	36,1	85,4	185,5	89,3	102,0	
Maiο	57,1	93,1	252,7	86,6	102,7	
Anual	1.125,1	1.976,2	2.242,1	1.139,5		

Média do período 1975/81 = 1.334,9

Fonte: DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), Divisão de Pluviometria, Posto Pluviométrico da Fazenda Ermida, Jundiá, Estado de São Paulo.

Foi feita colheita manual das plantas com o emprego do facão, maneira semelhante à da cana-de-açúcar (Fig. 1). As panículas foram separadas dos colmos no campo, colocadas em jacá (Fig. 2) e transportadas para o terreiro para completar a secagem dos grãos antes do beneficiamento. Os colmos separados das panículas foram transportados para a microdestilaria (Fig. 3) para serem processados. A primeira operação consistiu na desintegração dos colmos (Fig. 4), passando em seguida por uma moenda. A extração dos açúcares fermentescíveis foi completada em um difusor inclinado desenvolvido pelo Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos da EMBRAPA (Figs. 5 e 6). O excesso de umidade do bagaço procedente do difusor foi retirado em uma segunda moenda, retornando o caldo diluído extraído para circular no difusor. Para a produção de álcool etílico de colmos de sorgo sacarino foi usada a mesma instalação da microdestilaria para processar colmos de cana-de-açúcar, conforme esquema das Figs. 7 e 8. Para determinar a taxa de extração de açúcares fermentescíveis na microdestilaria com difusor inclinado, foram feitas determinações de açúcares redutores totais nos colmos desintegrados e nos bagaços da primeira e segunda moendas.



FIG. 1 — Corte das plantas de sorgo sacarino BR 505



FIG. 2 — Coleta das panículas de sorgo sacarino BR 505



FIG. 3 – Colmos de sorgo sacarino para processamento na microdestilaria .



FIG. 4 – Desintegração dos colmos de sorgo sacarino

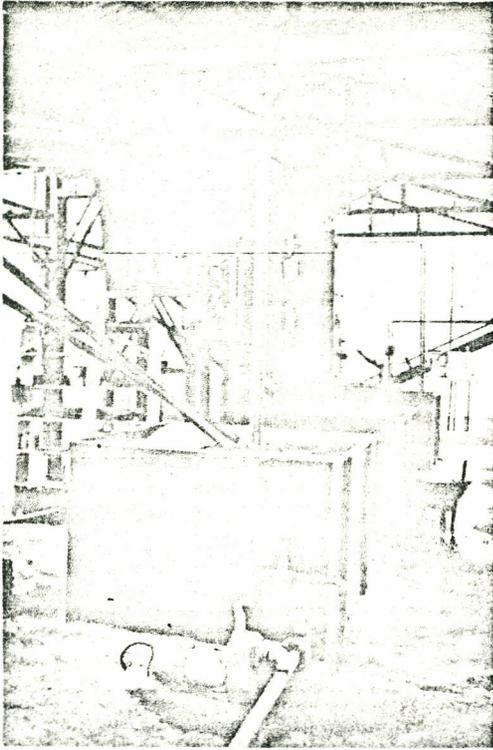


FIG. 5 – Difusor inclinado utilizado na microdestilaria

FIG. 6 – Detalhe da rosca transportadora do difusor inclinado



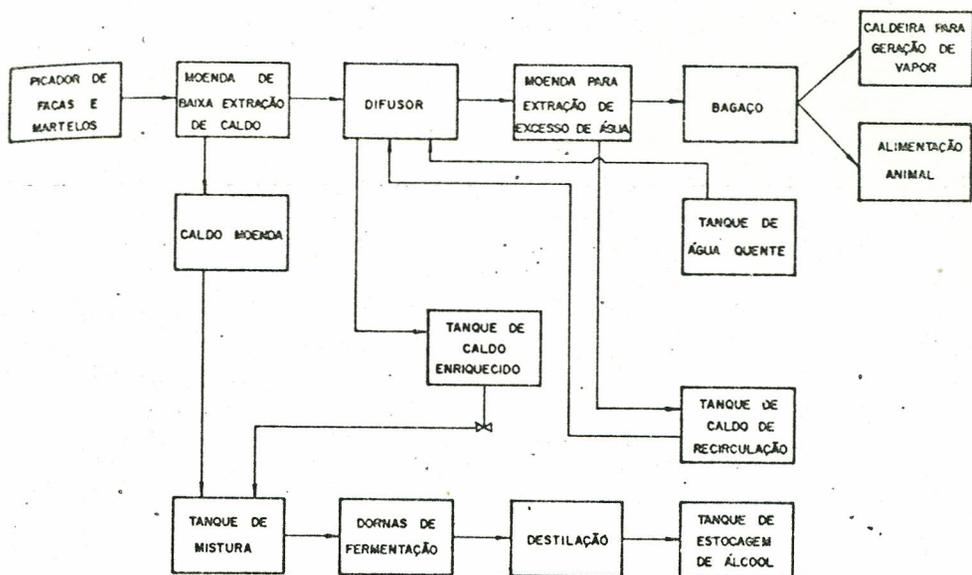


FIG. 7 – Fluxograma de operação de microdestilaria com difusor.

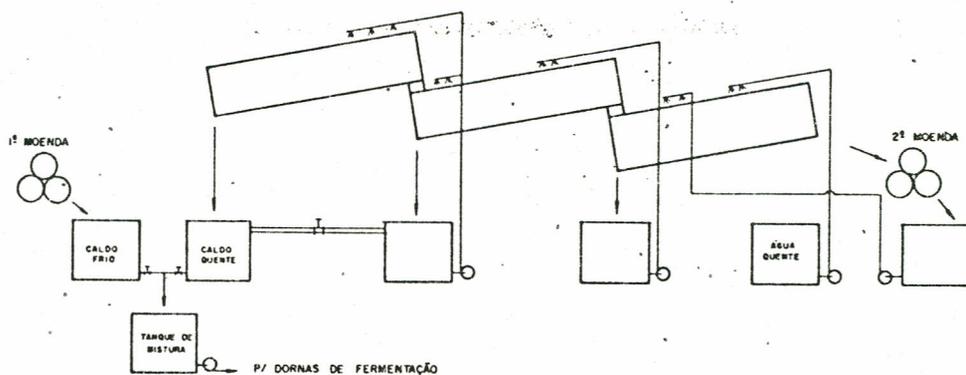


FIG. 8 – Esquema do difusor inclinado de três corpos

Para determinar a curva de maturação dos grãos foram retiradas amostras semanais dos colmos, quando a maior parte das plantas já apresentavam panícula (acima de 80%). Foram cortadas 4 plantas ao acaso e separadas as panículas ao nível do primeiro nó. As amostras de colmos, sem folhas, foram desintegradas e secas em estufa de ar forçado, regulada para 65°C. Antes de ser feita a secagem foram retiradas amostras para determinação do teor inicial de umidade dos colmos. Para extração de açúcares utilizou-se o método 3.112 da A.O.A.C. (Horwitz 1984) e, a classificação pelo método 3.114 (a). As determinações de açúcares redutores e de açúcares redutores totais foram feitas pelo método de Lane-Eynon (31.036) da A.O.A.C. (Horwitz 1984). O teor de sacarose foi calculado pela diferença entre açúcares redutores totais e açúcares redutores multiplicada pelo fator 0,95. Todas as análises foram procedidas no Departamento de Ciência de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP.

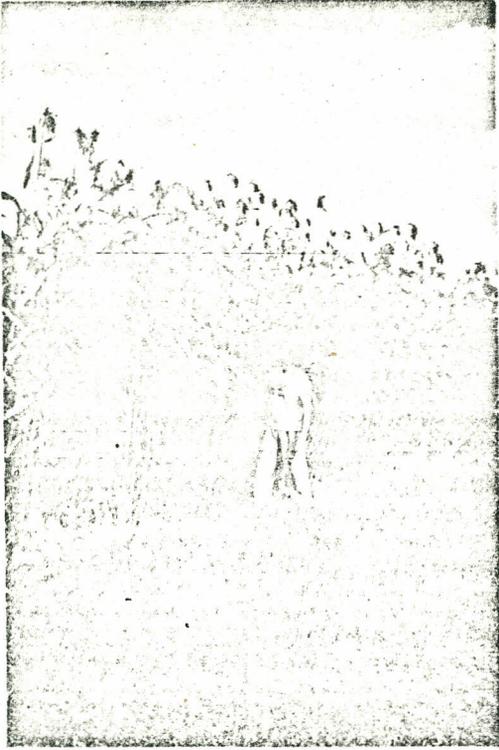


FIG. 9 — Cultura de sorgo sacarino BR 505 no ponto de corte no ano agrícola 1985/86

RESULTADOS

No ano agrícola 1984/85 houve um início de ataque do pulgão verde (*Schizaphis graminum*) 60 dias após o plantio. O controle pôde ser feito de maneira eficiente com uma única aplicação de Pirimor. As primeiras panículas apareceram 75 dias após o plantio e, aos 87 dias, cerca de 80% das plantas já haviam soltado a panícula. O corte ocorreu aos 127 dias após o plantio, quando os grãos já haviam atingido o estágio firme. A fim de verificar a variação do teor de açúcares fermentescíveis dos colmos durante a maturação das panículas, foram retiradas amostras a partir de 93 dias após o plantio. Os resultados das análises semanais, com duas repetições, constam das Tabelas 2 e 3. Por não ter sido determinada a umidade dos colmos retirados aos 93 dias após o plantio, não puderam ser determinados os teores de açúcares na base úmida, conforme Tabela 4.

No ano agrícola 1985/86 ocorreu um início de ataque de pulgão verde, que pôde ser controlado apenas pela queda pluviométrica observada na ocasião, não exigindo aplicação do Pirimor. As amostras para determinação de açúcares fermentescíveis foram retiradas a partir de 84 dias após o plantio. Os dados obtidos relativos a teores de açúcares e de umidade dos colmos constam das Tabelas 5 e 7.

Nos anos agrícolas 1984/85 e 1985/86 o corte das plantas foi feito 127 dias após o plantio, com a separação dos colmos e dos grãos. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 8.

Para determinar as taxas de extração de açúcares fermentescíveis no processo industrial, foram retiradas amostras dos colmos desintegrados e dos bagaços da primeira e segunda moendas. Os resultados obtidos constam da Tabela 9.

Pelo teor de açúcares fermentescíveis encontrado nos colmos do sorgo sacarino da cultivar BR 505, no ano agrícola 1984/85, considerando uma eficiência de fermentação

TABELA 2 – Variação na composição de açúcares fermentescíveis dos colmos do sorgo sacarino da cultivar BR 505 durante a maturação das panículas, em base seca (%), no ano agrícola 1984/85.

Amostras	Componentes	Dias após plantio								
		93	100	107	114	121	127	136	142	148
1	Açúcares redutores	11,70	11,40	7,40	5,60	4,80	2,90	2,70	2,20	1,50
2	Açúcares redutores	7,50	11,10	8,00	4,10	6,70	2,90	2,60	1,90	1,30
Média		9,60	11,25	7,70	4,85	5,75	2,90	2,65	2,05	1,40
1	Açúcares red. totais	36,40	38,90	37,00	38,80	39,80	37,10	36,40	37,30	39,20
2	Açúcares red. totais	30,30	38,00	36,60	35,00	41,90	38,30	39,00	34,60	35,10
Média		33,35	38,45	36,80	36,90	40,85	37,70	37,70	35,95	37,15
1	Sacarose	23,50	26,20	28,10	31,50	33,20	32,60	32,10	33,40	35,80
2	Sacarose	21,60	25,50	27,10	29,30	34,30	33,70	34,50	31,00	32,10
Média		22,55	25,85	27,60	30,40	33,75	33,15	33,30	32,20	33,95

Os valores tabelados são médias aritméticas de duas determinações.

TABELA 3 — Variação na composição de açúcares fermentescíveis dos colmos de sorgo sacarino da cultivar BR 505 durante a maturação das panículas, em base úmida (%), no ano agrícola 1984/85.

Amostras	Componentes	Dias após plantio							
		100	107	114	121	127	136	142	148
1	Açúcares redutores	2,30	1,50	1,40	1,20	0,80	0,70	0,60	0,40
2	Açúcares redutores	2,20	1,70	1,00	1,40	0,80	0,70	0,50	0,20
Média		2,25	1,60	1,20	1,30	0,80	0,70	0,55	0,30
1	Açúcares redutores totais	7,90	7,70	10,00	10,00	10,90	10,30	10,00	12,00
2	Açúcares redutores totais	7,50	7,70	8,80	9,00	10,90	10,80	9,70	10,80
Média		7,70	7,70	9,40	9,50	10,90	10,55	9,85	11,40
1	Sacarose	5,30	5,90	8,10	8,50	9,50	9,10	8,90	10,90
2	Sacarose	5,10	5,70	7,30	7,40	9,60	9,60	8,70	9,90
Média		5,20	5,80	7,70	7,95	9,55	9,35	8,80	10,40

Os valores tabelados são médias aritméticas de duas determinações.

TABELA 4 — Variação do teor de umidade dos colmos de sorgo sacarino da cultivar BR 505, durante a maturação das panículas (%), no ano agrícola 1984/85.

Amostras	Dias após plantio							
	100	197	114	121	127	136	142	148
1	79,60	79,10	74,30	74,50	70,70	71,70	73,30	69,50
2	80,20	78,90	74,90	78,50	71,50	72,20	71,80	69,10
Média	79,90	79,00	74,60	76,50	71,10	71,95	72,55	69,30

Os valores tabelados são médias aritméticas de duas determinações.

TABELA 5 — Variação na composição de açúcares fermentescíveis dos colmos do sorgo sacarino da cultivar BR 505 durante a maturação das panículas, em base seca (%), no ano agrícola 1985/86.

Amostras	Componentes	Dias após plantio							
		84	91	98	105	112	119	126	133
1	Açúcares redutores	6,46	8,06	7,63	5,01	5,42	2,69	3,12	2,88
2	Açúcares redutores	5,62	7,92	7,81	5,24	5,73	2,74	3,42	3,18
Média		6,04	7,99	7,72	5,12	5,57	2,71	3,27	3,03
1	Açúcares redutores totais	23,39	25,38	25,98	21,06	26,95	33,81	27,26	32,49
2	Açúcares redutores totais	20,61	24,74	25,47	22,28	31,19	36,42	28,95	29,32
Média		22,00	25,06	25,72	21,67	29,07	35,11	28,10	30,90
1	Sacarose	16,08	16,45	17,43	15,25	20,03	31,12	22,93	28,13
2	Sacarose	14,24	15,78	16,78	16,19	24,19	32,00	24,25	24,83
Média		15,16	16,11	17,10	15,72	22,11	31,56	23,59	26,48

Os valores tabelados são médias aritméticas de duas determinações.

TABELA 6 – Variação da composição de açúcares fermentescíveis dos colmos do sorgo sacarino da cultivar BR 505, durante a maturação das panículas, em base úmida (%), no ano agrícola 1985/86.

Amostras	Componentes	Dias após o plantio							
		84	91	98	105	112	119	126	133
1	Açúcares redutores	1,23	1,89	1,78	1,15	1,19	0,68	0,92	0,83
2	Açúcares redutores	1,12	1,77	1,72	1,16	1,23	0,64	0,99	0,91
Média		1,17	1,83	1,75	1,15	1,21	0,66	0,95	0,87
1	Açúcares redutores totais	4,47	5,95	6,07	4,85	5,94	8,56	8,02	9,37
2	Açúcares redutores totais	4,12	5,47	5,60	4,92	6,69	8,56	8,36	8,43
Média		4,29	5,71	5,83	4,88	6,31	8,56	8,19	8,90
1	Sacarose	3,08	3,85	4,07	3,51	4,41	7,88	6,75	8,11
2	Sacarose	2,84	3,52	3,69	3,58	5,17	7,52	7,01	7,14
Média		2,96	3,68	3,88	3,54	4,79	7,70	6,88	7,62

Os valores tabelados são médias aritméticas de duas determinações.

TABELA 7 -- Variação do teor de umidade dos colmos do sorgo sacarino da cultivar BR 505, durante a maturação das panículas (%), no ano agrícola 1985/86.

Amostras	Dias após o plantio							
	84	91	98	105	112	119	126	133
1	80,87	76,57	76,63	76,98	77,97	74,69	70,26	71,15
2	80,02	77,72	78,02	77,90	78,54	76,49	71,11	71,25
Média	80,44	77,14	77,32	77,44	78,25	75,59	70,68	71,20

Os valores tabelados são médias aritméticas de duas determinações.

TABELA 8 — Características das plantas dos anos agrícolas 1984/85 e 1985/86 cujo corte ocorreu 127 dias após o plantio.

Características	Safras	
	1984/85	1985/86
Densidade de plantio	124.995/ha	122.413/ha
Primeiras panículas	77 dias	68 dias
Cerca de 80% das panículas	87 dias	85 dias
Produção de colmos e folhas	38,9 t/ha	52,7 t/ha
Produção de grãos	2,6 t/ha	3,5 t/ha
Açúcares redutores totais nos colmos	109 kg/t	81,9 kg/t
Açúcares redutores totais nos colmos	4.240 kg/ha	4.316 kg/ha
Sacarose nos colmos	95,5 kg/t	68,8 kg/t
Sacarose nos colmos	3714,9 kg/ha	3625,7 kg/ha

de 85%, e um rendimento de destilação de 95%, obter-se-ia um rendimento em álcool etílico anidro ao redor de 50 litros por tonelada de colmos. No processamento industrial dos colmos do sorgo sacarino na microdestilaria da Fazenda Ermida, conseguiu-se rendimentos de 50,3 a 50,8 litros de álcool a 96° GL por tonelada, uma vez que a fermentação foi muito boa, semelhante à do caldo de cana-de-açúcar. Deste modo, a produção de álcool etílico por hectare de cultura de sorgo sacarino poderá atingir ao redor de 2.000 litros de álcool etílico a 96° GL. Em razão da colheita das plantas ser feita quando os grãos estão firmes, os colmos já estão um pouco seco. Deste modo, a taxa de extração de açúcares fermentescíveis totais, apenas com moenda, é baixa. Entretanto, complementada a extração dos açúcares no difusor obteve-se taxas de extração total altas, como pode ser visto na Tabela 9, permitindo que se obtivesse bom rendimento na produção de álcool etílico na microdestilaria.

DISCUSSÃO

Durante alguns anos as pesquisas com sorgo sacarino têm sido conduzidas na Fazenda Ermida, Jundiá, Estado de São Paulo, onde foi instalada uma microdestilaria com o difusor inclinado desenvolvido pelo Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos. Nos diversos anos têm sido avaliadas algumas cultivares desenvolvidas pelo Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, com a participação de seus técnicos no acompanhamento de natureza agrônômica. Das cultivares liberadas recentemente, a BR 505, originária da cultivar norte-americana Wray, tem revelado ser muito promissora para a produção de colmos destinados à obtenção de álcool etílico. Além de apresentar um rendimento significativo de biomassa rica em açúcares fermentescíveis, produz quantidade razoável de grãos. O seu comportamento tem sido semelhante à da cultivar Wray. Como a cultivar Wray foi criada com o objetivo de constituir matéria-prima para a produção de açúcar na entressafra da cana-de-açúcar nos estados do sul dos Estados Unidos da América do Norte, ela se caracteriza por apresentar alto teor de sacarose nos colmos.

Ao se considerar que a filosofia da EMBRAPA na instalação de microdestilaria visa a sua integração com as demais atividades da propriedade rural, permitindo um melhor

TABELA 9 – Taxas de extração de açúcares fermentescíveis de colmos de sorgo sacarino da cultivar BR 505, no processo de extração combinado de moenda e difusor em microdestilaria.

Amostras	Umidade (%)	Açúcares red. totais (%) (base seca)	Açúcares red. totais (%) (base úmida)	Taxa de extração (%) (base seca)
01. Colmos	68,4	29,6	9,7	—
Bagaço 1ª moenda	66,6	19,6	6,5	33,8
Bagaço 2ª moenda	76,2	2,1	0,5	92,9 (1)
02. Colmos	67,2	29,6	9,7	—
Bagaço 1ª moenda	59,3	21,7	8,8	26,7
Bagaço 2ª moenda	59,8	1,8	0,7	93,9 (1)
03. Colmos	65,7	27,2	9,5	—
Bagaço 1ª moenda	53,6	13,7	6,4	49,6
Bagaço 2ª moenda	67,1	1,1	0,4	95,9 (1)

Os valores tabelados são médias aritméticas de duas determinações.

(1) Taxa de extração total

aproveitamento dos resíduos e sub-produtos do processamento industrial, o sorgo sacarino tem mostrado ser uma alternativa promissora e economicamente viável na entressafra da cana-de-açúcar.

Um dos objetivos almejados nessa integração é a implantação de um sistema de confinamento de bovinos usando os sub-produtos da microdestilaria, tais como o fermento e parte do bagaço não utilizado na geração de vapor para operá-la. Dentro deste conceito, o cultivo do sorgo sacarino se enquadra muito bem em uma propriedade rural com as finalidades de ser auto-suficiente em energia e produzir alimentos diversos.

Nos Estados Unidos da América do Norte, as pesquisas em melhoramento do sorgo sacarino têm também sido voltadas para a obtenção de máximos rendimentos em grãos e biomassa rica em açúcares objetivando múltiplo uso desta gramínea (Creelman et al. 1982). O sorgo apresenta uma série distinta de características fisiológicas e agrônômicas, que aumentam o seu potencial de exploração em um programa de melhoramento visando obter cultivares com as qualidades desejadas (Lipinsky & Kresovich (1980). Trata-se de uma planta que se adapta a ambientais variáveis, devendo merecer maior atenção em programas, objetivando introduzir novas fontes de energia e de alimentos. Ao se comparar com a cana-de-açúcar, essas pesquisas ainda são incipientes e em pequena intensidade. Deveria, portanto, ser melhor investigada como uma cultura de alto potencial econômico principalmente para as regiões tropicais e sub-tropicais.

No Brasil, a EMBRAPA tem dado especial atenção para as pesquisas com sorgo, centralizadas no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Este Centro tem procurado trabalhar com vários grupos de pesquisadores nas diversas regiões do País, em um trabalho para avaliar o real potencial desta cultura em nosso País. Estes resultados têm sido animadores motivando a expansão da cultura com a introdução de cultivares de alta eficiência. Como parte deste programa, foram realizadas algumas experiências com a cultivar BR 505 nos anos agrícolas de 1984/85 e 1985/86, principalmente para avaliar a possibilidade econômica da cultura do sorgo sacarino no Estado de São Paulo. Esta exploração seria voltada, primordialmente, para a utilização dos colmos para produção de álcool etílico na entressafra da cana-de-açúcar em microdestilaria, em um programa associado com o confinamento de bovinos. Deste modo os grãos, parte do bagaço e demais resíduos poderiam ser destinados ao arração animal.

Pela interpretação dos valores da Tabela 1, observa-se que nos anos agrícolas de 1984/85 e 1985/86 houve uma mudança drástica dos índices pluviométricos verificados na Fazenda Ermida referentes ao mês de outubro, revelando um período de seca pronunciada. Deste modo, o plantio foi tardio. Entretanto, em razão de condições pluviométricas favoráveis observadas na região de Jundiá, no período de dezembro a fevereiro, o cultivo do sorgo sacarino pode ser realizado com sucesso. A baixa queda pluviométrica observada em dezembro de 1984 se deveu a um período de seca no início do mês. Entretanto, no final do mês, quando foi feito o plantio do sorgo sacarino, as condições pluviométricas já eram favoráveis. Ao se analisar as condições pluviométricas prevalentes na região do Jundiá, obteve-se a indicação de que o plantio do sorgo sacarino deveria ser feito nos meses de novembro e/ou dezembro.

A produção de biomassa e de grãos foi menor no ano agrícola 1984/85, provavelmente em razão dos baixos índices pluviométricos, referentes aos meses de fevereiro e março de 1984, que devem ter interferido no desenvolvimento das plantas. De fato, no ano agrícola 1985/86, com índices pluviométricos mais altos nesse período, as plantas se desenvolveram muito bem, com elevada produção de biomassa como pode ser visto na Fig. 9. As panículas também se desenvolveram bem, com produção elevada de grãos.

Durante a maturação das panículas verificou-se uma redução no teor de açúcares reductores dos colmos, atingindo valores mais baixos quando os grãos se apresentam no estágio firme, como pode ser observado nas Tabelas 2 e 5. Este fenômeno foi observado por McBee & Miller (1982) em um experimento com duas cultivares de sorgo sacarino. Atribuíram essa variação ao fato da glicose provavelmente ser assimilada na forma de outros

metabólicos. Como neste período também observamos a emissão de algumas panículas laterais, é possível que parte da glicose dos colmos seja assimilada.

As cultivares Rio e Wray desenvolvidas nos Estados Unidos da América do Norte foram selecionadas para serem utilizadas como matéria-prima para a produção de açúcar, possuindo teor elevado de sacarose (Smith & Reeves Jr. 1981). Deste modo, a cultivar BR 505, originária da Wray, mostrou um teor elevado de sacarose nos colmos. Os teores mais elevados de sacarose foram atingidos quando os grãos estavam completamente maduros, após 120 dias do plantio, como pode ser visto nas Tabelas 2 e 5. O teor de sacarose tende a se manter mais ou menos constante por um certo período após a maturação completa dos grãos, de modo que as plantas podem permanecer no campo por algum tempo, permitindo que se prolongue o tempo de utilização na microdestilaria. Nos experimentos conduzidos por Smith & Reeves Jr. (1981) também foi observado o mesmo fenômeno. Para a cultivar Wray, os experimentos foram conduzidos com uma densidade de 122.750 plantas/ha, tendo sido obtido rendimento de colmos e folhas de 57,8 t/ha e 3,3 t/ha de panículas.

Nos experimentos citados por Borgonovi et al (1982) com o plantio da cultivar CMSXS 616 (Wray), que deu origem à BR 505, obtiveram os seguintes resultados:

Colmos	65,9 t/ha
Folhas	10,4 t/ha
Panículas	2,1 t/ha
Açúcares redutores totais	168 kg/t

Assim, os valores alcançados em nossos experimentos no ano agrícola de 1985/86 foram muito bons, revelando o alto potencial da cultivar BR 505 como matéria-prima alternativa para produção de álcool etílico. Os rendimentos obtidos para grãos foram animadores. Baseados nos resultados do nosso experimento do ano agrícola 1984/85 com a cultivar BR 505, Almeida et al. (1985) mostraram que o aproveitamento dos grãos, como uma das fontes de receita do cultivo do sorgo sacarino, permite que o custo de produção dos colmos na esteira seja 72% inferior ao preço da cana estipulado pelo Instituto do Açúcar e do Alcool para a safra de 1985. Ademais, não foi considerado no estudo a possibilidade do aproveitamento do segundo corte, com fornecimento apreciável de biomassa para alimentação de bovinos, bem como de uma segunda produção de grãos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária s.d.), quando se efetua o plantio de cultivares de baixa sensibilidade ao fotoperiodismo (Borgonovi et al. 1982). Portanto, os resultados dos estudos agrônomicos e de processamento industrial dos colmos do sorgo sacarino, estão revelando um alto potencial desta gramínea como planta energética destinada à produção de álcool etílico. Estas pesquisas devem ser intensificadas, de modo a torná-la, muito breve, uma cultura comercial de alto valor econômico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, L.A.S.B.; BICUDO NETO, L.C.; MORETTI, V.A. & GASPARINO FILHO, J. Sorgo sacarino: custo de produção em pequenas propriedades agrícolas. **Bol. SBCTA**, Campinas, **19** (4) : 264-91, out./dez. 1985.
- BORGONIVI, R.A.; GIACOMINI, S.F.; SANTOS, H.L.; FERREIRA, A.S.; WAQUIL, J. M.; SILVA, J.B. & CRUZ, I. **Recomendações para o plantio do sorgo sacarino**. Sete Lagoas, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, EMBRAPA, 1982. 16p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 8).
- COWLEY, W.R. & SMITH, B.A. Sweet sorghum as potential sugar crop in south Texas. In: CONGRESS ISSCT, 14. 1972. Proceedings. p. 628-33.
- CREELMAN, R.A.; ROONEY, L.W. & MILLER, F.R. **Sorghum**. Texas, Agricultural Experiment Station Report, 1982. 32 p.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Brasília, DF. **Produção e utilização de álcool no meio rural**. Brasília, EMBRAPA, s/d. 11p.
- FIGUEIREDO, I.B.; TEIXEIRA, C.G. & SHIROSE, I. Modificações físicas e químicas do sorgo sacarino durante o amadurecimento. **Col. ITAL**, Campinas, 12:111-22, 1981/1982.
- FIGUEIREDO, I.B.; TEIXEIRA, C.G. & PAPINI, R.S. Características agrônômicas e uso do sorgo sacarino da cultivar BR 505 na produção de álcool etílico. **Bol. SBCTA**, Campinas, 18 (3) : 195-205, jul./set. 1984.
- FEEMAN, K.C.; BROADHEAD, D.M. & ZUMMO, N. **Culture of sweet sorghum for sirup production**. USDA Agriculture Research Service, maio 1973. 30 p. (Agriculture Handbook, 441).
- GORGATTI NETTO, A. & SOUZA DIAS, J.M.C. **Sistemas de produção de álcool em microdestilarias**. Brasília, EMBRAPA, 1983. 38 p.
- HORWITZ, W. ed. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 14 ed. Washington, D.C., A.O.A.C., 1984. 1141 p.
- LIPINSKY, E.S. & KRESOVICH, S. Sugar stalk crops for fuels and chemicals. In: **Progress in biomass conversion**. New York, Academic Press, 1980. p. 89-125.
- LIPINSKY, E.S. & KRESOVICH, S. Sugar crops as a solar energy converters. **Experientia**, 38 : 13-7, 1982.
- McBEE, G.C. & MILLER, F.R. Carbohydrates in sorghum culms as influenced by cultivars, spacing, and maturity over a diurnal period. **Crop Sci.** 22 : 381-35, 1982.
- MENEZES, T.J.B.; LAMO, P.R. de; TEIXEIRA, C.G. & PURCHIO, M. Possibilidades de produção de álcool etílico a partir de sorgo sacarino. In: **SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO DE ÁLCOOL NO NORDESTE**, 1. Fortaleza, 10-12 agosto, 1977. 24 p.
- REEVES JR., S.A. **Sweet sorghum research report**. Texas, Agricultural Experiment Station, 1975, junho 1976. 22p. (Research Center Technical Report, 76-3).
- REEVES, JR., S.A.; HIPPEL, B.W. & SMITH, B.A. **Sweet sorghum biomass — a renewable energy source**. Texas, Agricultural Experiment Station, jun. 1978. 103 p. (Research Center Technical Report, 78-1).
- REEVES JR., S.A. **Sweet sorghum variety yield and sugar performance**. Texas, Agricultural Experiment Station, Jan. 1980. 7p. (Texas A & M University System PR 3646).
- SMITH, B.A. & REEVES JR., S.A. Sweet sorghum biomass. Part. III. Cultivars and plant constituents. **Sugar Azucar**, 76 : 35-50, 1981.
- TEIXEIRA, C.G. Fermentação alcoólica do sorgo sacarino. **Relatório Anual do Laboratório de Microbiologia do Instituto Agrônômico**, Campinas, 1953. 5-6, 1953.
- TEIXEIRA, C.G. Fermentação alcoólica do sorgo sacarino. **Relatório Anual do Laboratório de Microbiologia do Instituto Agrônômico**, Campinas: 12-5, 1954.
- TEIXEIRA, C.G.; PURCHIO, M.; MENEZES, T.J.B.; SALES, A.M.; LAMO, P.R. de & ARAKAKI, T. Produção de álcool etílico de sorgo sacarino. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SORGO**, 1. Brasília, março 1977. 6 p.