

PRODUÇÃO DE ETANOL À PARTIR DO SORGO SACARINO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

Jefferson Flávio Reis¹; Monique Virões Barbosa dos Santos²; Ronaldo da Silva Maciel³; Cristian Jacques Bolner de Lima⁵.

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso / Campus Cáceres - Prof. Olegário Baldo - jeff.reis@hotmail.com

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso / Campus Cáceres - Prof. Olegário Baldo - monique.viraes@cas.ifmt.edu.br

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso / Campus Cáceres - Prof. Olegário Baldo - ronaldo.silva.maciel@hotmail.com

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso / Campus Cáceres - Prof. Olegário Baldo - cristian.lima@cas.ifmt.edu.br

RESUMO

No Brasil o sistema sucroenergético é fundamentado na utilização da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção do bioetanol. Assim, avaliando-se as perspectivas de expansão, verifica-se que a produção prevista na safra 2020/2021 deverá ser ampliada em 10%. Portanto, acreditasse que somente a cana-de-açúcar não será suficiente para suportar esta demanda. Assim, faz-se necessária a implantação de novas culturas para complementar esta produção. Neste contexto, o destaque vai para a cultura do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Este possui em sua constituição açúcares indispensáveis para o processo fermentativo. Dessa forma, o presente trabalho estudou o processo de produção de etanol, a partir do sorgo sacarino, utilizando um reator fermentador com controle de pH, temperatura e agitação. O vinho obtido foi destilado em um protótipo construído com materiais recicláveis. Após a fermentação, avaliou-se a cinética do processo, bem como, a produtividade, o rendimento e a eficiência da fermentação. Os experimentos foram realizados em fermentador de 6 L de capacidade, contendo 5 L do meio de produção, a 15 rpm, pH 5,0, temperatura de 30 ± 1 °C durante 24 horas de fermentação, com uma concentração de açúcar inicial de 12° Brix. A concentração máxima de etanol produzido foi de 54 g/L, consumindo 100% do substrato e uma máxima produtividade volumétrica 2,8 g/L.h durante 16 horas de processo, cujo rendimento final ($Y_{P/S}$) atingiu 0,45 g_{etanol}/g_{glicose}. Do destilador artesanal, utilizado para este experimento, obteve-se um produto com teor alcoólico de 83 °GL.

Palavras-chave: Fermentação, Etanol, Destilação.

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de bioenergia voltada à questão da sustentabilidade busca alternativas para diversificação de matérias primas. O álcool produzido no Brasil, a partir da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é o carro chefe no que tange essa nova matriz energética. Porém, essa cultura apresenta exigências edafoclimáticas e questões relacionadas à falta de matéria-prima na entressafra, restringindo assim seu cultivo em diversas regiões do país [EMYGDIO, 2010]. De um total de 9.004,5 mil hectares plantados em todo território nacional no ano de 2014, o estado de Mato Grosso contribuiu apenas com aproximadamente 2,5% desse total [CONAB, 2014].

Na busca voraz por outras fontes alternativas, o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) surgiu na década de 80, após o lançamento do Proálcool (Programa Nacional do Álcool) em 1975, juntamente com a cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), como alternativa para a substituição dos combustíveis derivados de petróleo. Porém, com a escassez de recursos para as pesquisas, a cultura praticamente desapareceu, ressurgindo 30 anos depois e sendo agora uma das principais alternativas para entressafra na cana-de-açúcar [PURCINO, 2011].

Segundo Parrela [2011], o sorgo é uma gramínea tropical nativa de países africanos, da

região do Sudão e Etiópia. Foi domesticado há mais de mil anos e é usado, principalmente, na produção de grãos, forragem e tem o caldo açucarado capaz de ser transformado em etanol. Segundo Emygdio [2011], outra vantagem do sorgo sacarino, além do etanol é que todo o bagaço que sobra na moenda é fonte de nutrientes e alimento para o gado. Esse bagaço, ainda rico em açúcares, garante ao sorgo uma palatabilidade melhor, quando comparado com o bagaço de cana, gerando assim a sustentabilidade do processo, com o reaproveitamento total da matéria-prima.

Tendo em vista que o plantio do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) pode também ser abrangido pelos pequenos agricultores para produção de álcool em microdestilarias, levando em conta o favorecimento do clima e a cultura agropecuarista regional, bem como, todas as suas vantagens econômicas, volta-se esse estudo para a produção de etanol, em biofermentador, a partir dessa cultura, analisando o consumo de substrato, crescimento celular e produção de etanol, bem como a destilação do vinho em um protótipo construído a partir de materiais recicláveis.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Microrganismos

O microrganismo utilizado foi a levedura desidratada *Saccharomyces*

cerevisiae (Fleischmann Royal), adquirida em supermercados da cidade de Cáceres - MT.

2.2. Sorgo sacarino

A matéria prima utilizada no trabalho foi o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) obtido na Embrapa Agrossilvipastoril, situada na MT 220, no Município de Sinop em Mato Grosso.

2.3. Moagem

A extração do caldo foi realizado em moenda, localizada no IFMT/Campus Cáceres.

2.4. Diluição do caldo fermentativo

O caldo do sorgo sacarino apresentou, inicialmente, uma concentração de 20 °Brix, sendo, diluído a 12 °Brix.

2.5. Fermentação

As fermentações foram realizadas em um fermentador SL 137 (SOLAB, BR), de 6 litros de capacidade contendo 5 litros de caldo de sorgo (Figura 1). As fermentações ocorreram em um período de 24 horas, a 15 rpm, 31 °C (+/- 1 °C) e controle de pH com adição automática de NaOH (1 N). Utilizou-se, no início do processo fermentativo, 4 g/L de levedura desidratada e 400 mg/L de antibiótico. As alíquotas foram retiradas, a cada 4 horas, e centrifugadas a 12.000 g para

separação das células, e o sobrenadante obtido foi analisado quanto à concentração do produto formado e consumo de substrato. Visando uma maior confiabilidade nos resultados obtidos, foi realizada uma réplica do experimento.



Figura 1: Fermentador utilizado para os experimentos em batelada.

2.6. Protótipo

A base do destilador artesanal, foi confeccionada utilizando 2 latas de 18 L. As mesmas foram demarcadas, recortadas, dobradas, sendo posteriormente realizado o procedimento de solda.

Foram acoplados à base do destilador, vedando todas as possíveis saídas de vapor com solda, 1 cotovelo e 1 luva para carga e descarga dos resíduos utilizados no processo de destilação, 1 lata de 315 mm de

circunferência, sem o fundo, servindo como suporte guia da torre para saída do vapor.

Na construção da torre de destilação do etanol, as latas de 400 mL foram perfuradas no fundo para passagem do vapor, abastecidas com esferas de vidro e acopladas com solda.

Foram utilizadas 22 latas, nomeadas alfabeticamente em ordem crescente, incluindo a que foi soldada à base do destilador, sendo as demais soldadas a partir da mesma. A distribuição das esferas de vidro nas latas totalizaram 290.

No final do processo, foi utilizada massa plástica para acabamento, vedando todas as saídas sobressalentes após o término da solda, sendo realizada a pintura da mesma com tinta spray para alta temperatura, no intuito de reduzir a perda de calor da mesma para o meio externo.

Na construção do condensador, o cano de cobre foi aquecido e retorcido em forma de espiral no diâmetro da parte inferior do tubo de PVC, aumentando sua área de contato com a água gelada.

2.7. Destilação

Adicionaram-se, 4 litros do vinho na base do destilador (protótipo), a qual foi aquecida, mantendo uma temperatura no topo da torre de aproximadamente 79 °C. Em seguida, o vapor contido na parte superior da

torre foi desviado para o condensador de PVC, obtendo-se o etanol.

2.8. Metodologia analítica

2.8.1. Quantificação de microrganismos

O meio contendo a massa celular, após centrifugação em microcentrífuga a 3.000g/min, foi separado do sobrenadante. O sedimentado foi posteriormente ressuspensionado em água destilada e as células quantificadas pela medida da absorbância em espectrofotômetro a 600 nm.

2.8.2. Determinação de etanol e açúcares

A análise do etanol formado foi realizada, utilizando-se o método espectrofotométrico baseado na oxidação do etanol a ácido acético através da reação com dicromato de potássio em meio ácido [STECKELBERG, 2001]. A determinação de glicose, a partir do meio hidrolisado, foi através do método do ácido dinitrosalicílico [MILLER 1959].

2.8.3. Determinação da acidez

A acidez total dos mostos foi determinada pelo método da titulação volumétrica com solução de NaOH 0,1 N [ADOLF LUTZ, 1985].

2.8.4. Produtividade



A produtividade do processo de obtenção do etanol, durante os experimentos de hidrólise e fermentação, foi calculada pela Equação 1.

$$Q_P = \frac{P_f - P_0}{t_f} \quad [1]$$

Sendo, Q_P : Taxa de produtividade [g/(L.h)]; P_f : Concentração do produto (g/L) no tempo t_f de reação; P_0 : Concentração do produto (g/L) no início da reação; t_f : Tempo de fermentação em (horas).

2.8.5. Rendimento

O cálculo do rendimento de substrato em produto foi efetuado, utilizando-se a Equação 2.

$$Y_{P/S} = \frac{P_f - P_0}{S_0 - S_f} \quad [2]$$

Sendo, $Y_{P/S}$: Fator de rendimento do produto (g/g); P_f : Concentração de produto ao final da reação (g/L); P_0 : Concentração de produto no início da reação (g/L); S_f : Concentração de substrato ao final da reação (g/L); S_0 : Concentração de substrato no início da reação (g/L).

2.8.6. Eficiência de Fermentação

A eficiência de fermentação alcoólica (E_f) pode ser obtida pelo rendimento de glicose em etanol sobre o rendimento máximo (0,511), conforme mostrado pela Equação 3.

$$E_f(\%) = \frac{\left[\left(\frac{Etanol_{final} - Etanol_{inicial}}{Glicose_{final} - Glicose_{inicial}} \right) * 100 \right]}{0,511} \quad [3]$$

A eficiência de fermentação alcoólica pode ser obtida pelo rendimento de glicose em etanol sobre o rendimento máximo (0,511).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Qualidade do caldo fermentado

Para a produção de etanol foi utilizado como único meio de produção o caldo sacarino obtido da extração da espécie *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Durante as análises de °Brix do caldo inicial foi observado uma concentração de 20 °Brix, valor muito superior a 12 °Brix, o qual é considerado como valor mínimo para que o sorgo sacarino seja processado [SCHAFFERT; PARRELLA, 2012].

Parrella [2010], explica que a concentração do mosto é determinada de acordo com a produção pretendida, a capacidade de produção e o modelo de fermentação utilizado. Mas, geralmente, esta concentração é entre 12 e 25 °Brix. Mostos

com altos níveis de concentração ocasionam perdas de açúcares, que não são fermentados devido ao estresse osmótico, causados nas leveduras. Nesta situação ocorre inibição pelo substrato, que extrapola a região de saturação. Valores entre 350 a 500g/L de açúcar redutor (AR) tornam o crescimento impossível devido à desidratação das células. Outro inconveniente é que mostos com elevada concentração sujam mais os aparelhos de destilação e trocadores de calor. Apesar de sujam menos os equipamentos, mostos muito diluídos gastam mais água na diluição, sendo necessárias dornas maiores, gastando assim mais vapor na destilação e gerando mais vinhaça. Além disso, a fermentação fica mais sujeita a infecção.

Verificou-se que o pH do meio inicialmente era 4,5. Este valor é inferior ao relatado em alguns trabalhos, como por exemplo, pH 4,8 encontrado por Masson [2013]. Ribeiro Filho et al. [2008] caracterizando o caldo de sorgo relatou valores de pH superiores aos obtidos nesta pesquisa, sendo 5,3. Tais resultados são muito importantes, pois estão dentro dos teores indicados ao processamento industrial [RIPOLI; RIPOLI, 2009]. Conforme Amorim [2005], pH entre 4,5 a 6,5 favorecem o crescimento e desenvolvimento das leveduras.

Outro fator importante verificado foi a acidez total presente no caldo, pois é um dos

indicativos do estado de maturação do vegetal, sendo que valores menores que $0,8 \text{ gL}^{-1}$ de H_2SO_4 , representam teores ideais para a cana ser processada [RIPOLI; RIPOLI, 2009].

Considerando o resultado obtido para o sorgo, verificou-se que a acidez total foi de $1,3 \text{ gL}^{-1}$. Este aumento de acidez pode ter ocorrido devido ao fato do sorgo ter sido colhido dia 28/04/2016 (EMBRAPA / Sinop) e seu caldo extraído, somente, no dia 31/04/2016 (IFMT / Campus Cáceres), ou seja, três dias depois, e sabe-se que o tempo ideal entre a colheita e a extração do caldo não deve ser superior a 24 horas, uma vez que, a demora pode causar alterações (deterioração) nas propriedades físico-químicas do caldo inicial [ACQUARONE et al., 2001].

De acordo com Mutton [2008], a deterioração microbiológica, consequência da atividade metabólica de microrganismos, resulta na formação de compostos nocivos à planta e em substâncias prejudiciais aos processos industriais como: ácidos orgânicos, gomas e polissacarídeos.

4.2. Resultados do processo fermentativo

Durante o processo fermentativo foram acompanhadas a concentração de

açúcar redutor (AR), concentração celular e produção de etanol.

A fermentação no biorreator foi adequadamente conduzida à temperatura ambiente que variou entre 30 a 31 °C, de acordo com o ideal sugerido pela literatura que especifica valores entre 25 e 35 °C [DELANOE et al., 1989; REGULY, 1998; AQUARONE et al., 2001].

Neste estudo foram realizados duas fermentações (duplicata) em batelada, utilizando para ambas, a levedura *Saccharomyces cerevisiae* desidratada, na concentração de 4 g/L, a exemplo da Adams & Twiddy [1987], a qual mostrou-se ser adequada para a obtenção do teor alcoólico desejado.

A cultura do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) utilizada, apresentou uma concentração de açúcares em torno de 20 °Brix. Como o objetivo do processo fermentativo era produzir etanol e não biomassa, realizou-se uma diluição do caldo a 12 °brix.

Neste trabalho, o valor do pH inicial foi mantido em 5,0. Esta faixa de pH utilizada, durante o processo fermentativo, permitiu uma rápida fermentação alcoólica. Ao longo do processo fermentativo, foi verificada uma pequena queda, própria da produção de ácidos orgânicos (ácido láctico, cítrico, succínico, entre outros), reduzindo o valor do pH inicial

para um valor de 4,4, o qual foi corrigido com a adição de hidróxido de sódio 1 N.

O pH, como dito anteriormente, é um dos principais fatores que influenciam na produção de etanol nos processos fermentativos, pois a atividade catalítica das enzimas e a atividade metabólica dos microrganismos dependem do pH extra celular [SILVA et al., 1991]. De acordo com Acquarone [2001], o pH ótimo para a produção de etanol pelas leveduras *Sacharomyces cerevisiae* varia entre 4,5 e 5,5, o que vai ao encontro do que diz Lima [2001], que, afirma que nos mostos industriais, os valores de pH geralmente se encontram na faixa de 4,5 a 5,5 [LIMA et al., 2001].

Além disso, segundo Amorim [1996], o pH é um fator que possui grande importância no controle da contaminação bacteriana na fermentação alcoólica. O tratamento ácido na indústria é utilizado de forma a controlar a contaminação bacteriana, por isso a correção do pH do meio durante a fermentação é uma etapa importante do processo de multiplicação e fermentação [MUTTON, 2008].

Sabe-se que vários fatores podem afetar a fermentação ao longo do processo, além dos fatores físicos e fatores químicos também existe os fatores microbiológicos (contaminação do meio por bactérias), assim, adicionou-se ao meio de produção, no início da fermentação, 2000 mg de antibiótico, pois

sua ação esterilizante decorre de suas propriedades bacteriostáticas.

Os resultados obtidos do perfil cinético da concentração de açúcar redutor (AR), concentração celular e produção de etanol, estão apresentados na Figura 1.

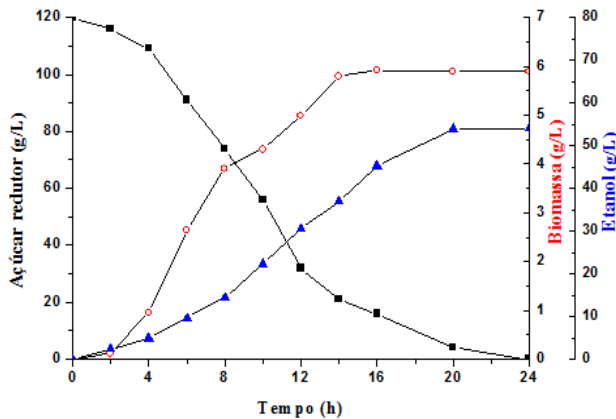


Figura 2: Perfil cinético das concentrações de substrato, produto e biomassa, em função do tempo de fermentação, realizado em fermentador a 30 °C, com controle de pH 5,0 a 15 rpm. g/L: (■) açúcar redutor; (▲) Etanol; (○) Biomassa.

A Figura 2 mostra que a produção de etanol aumentou com o aumento da biomassa, porém, ocorreu uma lenta produção do produto nas primeiras 6 horas de processo, provavelmente devido à adaptação do microrganismo ao meio de cultivo, pois, de acordo com Roukas [1998], existem alguns compostos inibitórios no caldo como, ácidos orgânicos, aldeídos, compostos fenólicos e alguns metais pesados.

Após 8 horas, a concentração de etanol aumentou rapidamente, produzindo 54 g/L em 24 horas de fermentação com uma produtividade de 2,25 g/Lh e máxima produtividade volumétrica de 2,8 g/Lh durante 16 horas de processo, consumindo 102 g/L de substrato, ou seja, 86,6 % do açúcar redutor constituído no meio.

Com o consumo de todo o substrato do meio fermentativo, em 24 horas de processo, obteve-se rendimento ($Y_{P/S}$) de 0,45 g_{etanol}/g_{glicose}. Vale ressaltar que o rendimento teórico de etanol por grama de glicose consumida é 0,511 gramas, sendo este valor considerado 100% quando o substrato for glicose. Como na condição de fermentação industrial brasileira, o rendimento alcançado é em média 91%, isto corresponde a 0,465 gramas de etanol por grama de açúcar redutor consumido [RIBEIRO, 2010].

Com relação à eficiência do processo, obteve-se o valor de 88,1%, ou seja, um grande resultado, visto que no processo industrial, verifica-se que a eficiência fermentativa atinge de 90 a 92% do rendimento estequiométrico, havendo o consumo de açúcar para formação de biomassa celular e subprodutos [LIMA et al., 2001]. Davila-Gomez et al. [2011], em estudo de fermentação com caldo de cinco genótipos de sorgo sacarino, obtiveram eficiência fermentativa variando de 79,99 a 89,75%,

enquanto que Ratnavathi et al. [2010], obtiveram valores de eficiência fermentativa na faixa de 86,5 a 94,7% para sorgo sacarino utilizando leveduras *Saccharomyces cerevisiae* CFTR 01.

4.3. Resultados da destilação

A destilação do vinho de sorgo foi realizada em um destilador (protótipo) construído artesanalmente utilizando materiais recicláveis (Figura 3), com capacidade de 25 litros. Inicialmente, foram adicionados 4 litros do vinho ao protótipo, sendo, este, aquecido e mantido em temperatura variável no topo da torre de aproximadamente 79 °C. O destilado findou em 1 hora e 30 minutos e após esse período, feita as análises, obteve-se um de teor alcoólico de 83 °GL, sem a separação da cabeça, coração e cauda.

De acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP) através do Regulamento Técnico ANP nº 3/2011, anexo da Resolução ANP Nº 7 de 09 de fevereiro de 2011, o teor alcoólico do etanol hidratado precisa ser entre 95,1 e 96 ° INPM (unidade de medida equivalente à porcentagem de álcool na mistura). Em relação à massa alcoólica, ela precisa ter entre 92,5 e 93,8% da massa total do etanol hidratado.

Portanto, com o valor encontrado neste trabalho ao final da destilação não foi possível obter álcool carburante. Contudo, é preciso ressaltar que nas destilarias alcoólicas, utilizam-se entre duas a três colunas para se atingir a graduação desejada.

Com relação ao pH 6,8 encontrado no final da destilação está dentro do padrão, pois precisa estar entre 6 ou 8, não sendo nem muito básico nem muito ácido, permanecendo



neutro.

Figura 4: Torre de destilação em funcionamento

5. CONCLUSÕES

O destilador artesanal construído e utilizado para este experimento obteve um produto com teor alcoólico de 83 °GL;

O sorgo sacarino, da espécie *Sorghum bicolor* (L.) Moench, demonstrou ter um grande potencial para a produção de etanol,

pois apresentou um excelente teor inicial de sacarose de 20 °Brix;

A concentração de etanol máxima produzido foi de 54 g/L em 24 horas de fermentação, consumindo 100% do substrato;

A máxima produtividade volumétrica alcançada foi de 2,8 g/Lh durante 16 horas de processo, com um rendimento final de (YP/S) de 0,45 g_{etanol}/g_{glicose};

O álcool destilado no protótipo, pode ser utilizado para esterilização de instrumentos (pré-castramento do gado), na assepsia de seringas (vacinação do gado) e locais de trabalho que necessitam de limpeza mais eficaz, além do uso cotidiano doméstico;

6. REFERÊNCIAS

ADAMS, M.R.; TWIDDY, D.R. *Performance parameters in the quick vinegar process*. Enzyme Microbiology and Technology, v.9, p.369-373, 1987.

AMORIM, H.V.; BASSO, L.C.; ALVES, D.G. *Processos de produção de álcool – controle e monitoramento*. Piracicaba: FERMENTEC/FEALQ/ESALQ-USP, p. 93, 1996.

AMORIM, H. V. *Fermentação alcoólica, ciência e tecnologia*. Piracicaba: Fermentec, p.448, 2005.

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHIMIDELL, W.; LIMA, U.A. *Biotecnologia na produção de alimentos*. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. 523p.

CONAB. *Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar*, v. 1 - Safra 2014/15, n. 3 - Terceiro Levantamento, Brasília, P. 16, dez. 2014.

DAVILA-GOMEZ, F. J.; CHUCK-HERNANDEZ, C.; PEREZ-CARRILLO, E.; ROONEY, W. L.; SERNA-SALDIVAR, S. O. *Evaluation of bioethanol production from five different varieties of sweet and forage sorghums (Sorghum bicolor (L) Moench)*. Industrial Crops and Products, Amsterdam, v. 33, n. 3, p. 611-616, 2011.

DELANOE, D.; MAILLARD, C.; MAISONDIEU, D. *O vinho da análise à elaboração*. Portugal: Europa-América, 1989. 230p. (Coleção EUROAGRO).

EMYGDIO, B. M. *Sorgo sacarino pode reforçar produção de etanol no Brasil*. Entrevista ao Programa Globo Rural em 19 de junho de 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2011/06/sorgo-sacarino-pode-reforcar-producao-de-etanol-no-brasil.html>>. Acessado em: 10/05/2015.

EMYGDIO, B. M. *Produção do etanol a partir do sorgo sacarino*, EMBRAPA, 2010.

LIMA, U. A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. *Produção de etanol*. In: LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. *Biotecnologia Industrial*. (Ed.) São Paulo. v. 3, p. 1-43, 2001.

MASSON, I. dos S. *Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar*. 2013. 49f. Dissertação de Mestrado na Universidade Estadual Paulista, Programa de Pós Graduação em Microbiologia. Jaboticabal-SP.

MILLER, G. L. *Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar*. *Analytical Chemistry*, v. 31, n. 3, 1959.

MUTTON, M. J. R. *Reflexos da qualidade da matéria prima sobre a fermentação etanólica*. In: Workshop sobre “Produção de etanol: qualidade da matéria-prima”. Lorena - SP, maio/2008.

PARRELA, R. A. C. *Melhoramento genético do Sorgo sacarino*. *AGROENERGIA* em revista, Ano II, nº 3, p.8, 2011.

PURCINO, A. A. C. *Sorgo sacarino na Embrapa: histórico, importância e usos*. *AGROENERGIA* em revista, Ano II, nº 3, agosto de 2011. p.7.

RATNAVATHI, C. V.; SURESH, K.; VIJAY K., B. S.; PALLAVI, M.; KOMALA, V. V.; SEETHARAMA, N. *Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice*. *Biomass and Bioenergy*, Kidlington, v. 34, n. 7, p. 947-952, 2010.

REGULY, J.C. *Biotecnologia dos processos fermentativos*. Pelotas: Editora UFPel, 1998. 222p. v. 2.

RIBEIRO, E. J. *Fermentação Alcoólica*. Apostila - Módulo II. Processamento na Indústria Sucroalcooleira. Uberaba, FAZU, 2010.

RIBEIRO FILHO, N. M.; FLORÊNCIO, I. M.; ROCHA, A. S.; DANTAS, J. P.; FLORENTINO, E. R.; SILVA, F. L. H. *Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente*. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.10, n.1, p.9-16. 2008.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. *Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente*. Piracicaba, p.333, 2009.

ROUKAS, T. *Pretreatment of beet molasses to increase pullulan production*. Proc. Biochemistry, v.33, p. 805–810, 1998.

SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. C. *Planejamento Industrial*. In: MAY, A. (ed.) Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de sorgo sacarino para bioethanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas, Embrapa milho e sorgo, p.85-92, 2012.

SILVA, M. T.; TURATTI, J. M. *Extração de óleo de soja com etanol*. Coletânea ITAL, Campinas, v.21, n.1, p.73-89, 1991.

STECKELBERG, C. *Caracterização de Leveduras de processos de fermentação alcoólica utilizando atributos de composição celular e características cinéticas*. 2001, 215p. Tese de Doutorado Universidades Estadual de Campinas. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Campinas – SP.

