

Aproveitamento da farinha do mesocarpo do babaçu (*Orbignya martiana*) para obtenção de etanol

Marta Cristina de Menezes Pavlak*
Abraham Damian Zuniga**
Thiago L. Abreu Lima***
Aroldo Arévalo-Pinedo****
Solange Cristina Carreiro*****
Caroline Santana Fleury*****
Diana Lopes Silva*****

Resumo

O babaçu (*Orbignya martiana*) faz parte da família das palmeiras (*Palmae*) e é composto de epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoas; o mesocarpo representa 20% do fruto inteiro e é composto de até 60% de amido, que poderia ser utilizado na produção de etanol. Neste trabalho teve-se por objetivo desenvolver e aperfeiçoar o processo de produção de álcool a partir do mesocarpo do babaçu, bem como calcular os rendimentos do processo. Durante a fermentação, o mosto foi analisado quanto ao teor de açúcares residuais, pH, acidez e densidade relativa. As variáveis otimizadas foram pH e temperatura, por meio da análise da conversão do amido em glicose. As condições otimizadas para a α -amilase foram 100°C a pH 6, e para amiloglucosidase foram 60°C, pH 4. A hidrólise enzimática apresentou, nessas condições, um rendimento de 93%. O tempo de fermentação foi estipulado em 12h, conforme os parâmetros fermentativos analisados. A quantidade de álcool produzida, aproximadamente 3°GL, não foi afetada pela agitação. Essa concentração mostra que a fermentação apresentou um rendimento de 98%.

Palavras-chave: *Orbignya martiana*. Babaçu. Amido. Fermentação Alcoólica. Etanol.

* Mestranda em Agroenergia, Universidade Federal de Tocantins. Faculdade de Engenharia de Alimentos – Laboratório de Separação de Biomoléculas e Desidratação de Alimentos; Av. NS 15, ALCNO 14, Bloco II, 109 Norte, CEP 77001-090, Palmas, TO; martapavlak@uft.edu.br

** Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos; professor do Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Tocantins, Palmas, TO.

*** Mestre em Engenharia de Alimentos; professor do Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Tocantins, Palmas, TO.

**** Doutor em Engenharia de Alimentos; professor do Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Tocantins, Palmas, TO.

***** Doutor em Microbiologia Aplicada; professor do Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Tocantins, Palmas, TO.

***** Graduanda do Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Tocantins, Palmas, TO.

***** Graduanda do Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Tocantins, Palmas, TO.

1 INTRODUÇÃO

Assim como na época da crise do petróleo dos anos 70, o mundo está empenhado em encontrar uma solução duradoura para seu problema energético. A preocupação ambiental somou-se à redução dos estoques e à alta dos preços dos combustíveis fósseis para valorizar as fontes de energia renováveis e menos poluentes.

O etanol é o mais adequado substituto para combustíveis derivados do petróleo. Diversas são as fontes para a obtenção de etanol; entre elas, encontra-se o babaçu (*Orbignya martiana*), cuja farinha do mesocarpo, apresenta cerca de 60% de amido.

Dentro desse contexto, e valorizando a obtenção de etanol a partir de matérias-primas alternativas, neste trabalho objetivou-se desenvolver e aperfeiçoar o processo de obtenção de etanol a partir do mesocarpo do babaçu.

1.1 A PALMEIRA DO COCO BABAÇU

Entre as espécies de palmeiras utilizadas na indústria extrativista brasileira está o babaçu, a palmeira mais rica do ponto de vista econômico, uma vez que é aproveitada integralmente. Palmeira oleaginosa, encontrada na Floresta Amazônica, cientificamente chamada de *Orbignya martiana*, o babaçu possui grande valor industrial e comercial e é encontrado em extensas formações naturais em estados como Maranhão, Piauí e Tocantins (BRASIL, 2006).

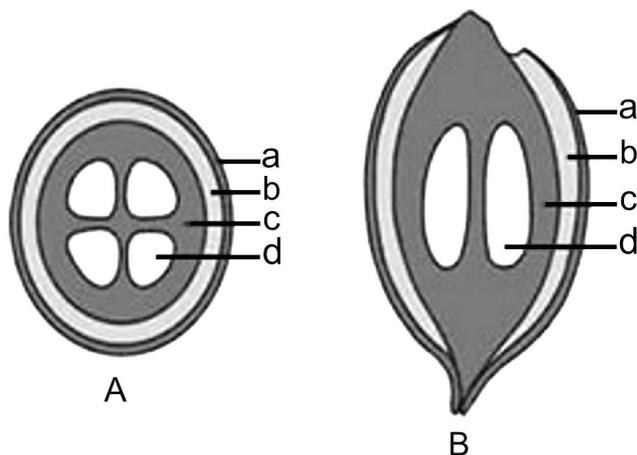
A palmeira de babaçu chega a alcançar 20 metros de altura, aproveitados da raiz às folhas. Dela se extrai a matéria-prima utilizada na fabricação de margarinas, sabão e cosméticos. O broto dessa palmeira fornece palmito de boa qualidade e o fruto, enquanto verde, serve para defumar a borracha, quando maduro, sua parte externa é comestível.

O caule da palmeira de babaçu é empregado em construções rurais e as folhas para a fabricação doméstica de cestos, sendo ainda utilizadas como cobertura de casas. Pode, também, servir na fabricação de celulose e papel. A exemplo de outros tipos de palmeiras, do pedúnculo cortado é extraído um líquido que, fermentado, resulta em bebida alcoólica apreciada por índios daquela região (BRASIL, 2006).

Entretanto, apesar do potencial atrativo dessa linha de produtos, há conhecimento de apenas uma indústria que utiliza o babaçu de maneira integral. A empresa Tobasa S. A. é detentora da primeira destilaria de álcool de babaçu em escala industrial, produzindo óleo, sabão de coco, farinhas amiláceas, álcool, subprodutos protéicos, carvão ecológico e carvão ativado.

1.2 O COCO BABAÇU

O coco babaçu é constituído por três camadas, a externa fibrosa (epicarpo); a intermediária, fibrosa-amilácea (mesocarpo); e a interna, lenhosa (endocarpo), na qual estão inseridas as amêndoas (Desenho 1). Chama-se, usualmente, de casca o conjunto das três camadas – epicarpo, mesocarpo e endocarpo – correspondendo a aproximadamente 93% do total do coco (ALMEIDA et al., 1975).



Desenho 1: Corte transversal (a) e longitudinal (b) e componentes do babaçu: a – epicarpo; b – mesocarpo; c – endocarpo; d – amêndoa

Fonte: Teixeira (2005).

O mesocarpo, quando fresco, apresenta cor creme clara e pode ser facilmente reduzido a pó. À medida que envelhece, vai adquirindo rigidez lenhosa e cor castanho-avermelhada. Quando seco, ao ser embebido em água, apresenta textura semelhante ao látex, sendo dificilmente moído ou triturado (ALMEIDA et al., 1975). A Tabela 1 mostra a composição típica dos cocos da cidade de Tocantinópolis (TO).

Tabela 1: Composição típica dos cocos de Tocantinópolis (TO)

Peso médio do coco	230g
Epicarpo fibroso	12
Mesocarpo amiláceo fibroso	23
Endocarpo	58
Amêndoas	7

Fonte: Tobasa – Tocantins Óleos de babaçu S/A (2006).

O peso médio do coco de babaçu é de 230 gramas; a composição média do coco, assim como de outras matérias primas agropecuárias, varia de acordo com a região, solo, clima, fatores genéticos, etc. No trabalho de Peixoto (1973), é possível encontrar referência à composição da farinha de mesocarpo, que varia em virtude da origem, cujos dados estão reproduzidos na Tabela 2.

Tabela 2: Composição da farinha de babaçu (g/100g)

Componente	Tocantins	Maranhão
Água	17,00	16,30
Amido	63,75	71,29
Material nitrogenado	3,12	3,19
Matérias graxas	1,05	4,87
Açúcares e dextrinas	0,00	0,80
Celulose	2,05	0,03
Cinzas	1,20	1,20
Indeterminados	11,83	2,32

Fonte: Peixoto (1973).

1.3 HIDRÓLISE DO AMIDO

Para que ocorra a conversão do amido em álcool é necessário que este seja transformado em açúcares mediante o processo de hidrólise.

Os amidos podem ser hidrolisados por via química ou por via enzimática. Os hidrolisados por enzimas são os mais importantes amidos modificados comerciais. A hidrólise enzimática vem sendo mais privilegiada nos estudos atuais, em razão do caráter fortemente poluidor da hidrólise ácida. Porém, além do investimento inicial, a tecnologia enzimática exige mão-de-obra mais especializada, assim como laboratórios e análises mais sofisticados (SUMERLY et al., 2002).

Com a evolução da microbiologia e da química orgânica, tornou-se possível a obtenção de enzimas, principalmente de origem fúngica, as quais atuam sobre os amidos com a propriedade de convertê-los em glicose. Os processos enzimáticos são mais eficientes e não-poluentes, sendo amplamente empregados nos países mais desenvolvidos (MACEDO, 1993).

As enzimas amilolíticas podem ser classificadas de acordo com sua ação, sendo as mais utilizadas a α -amilase e amiloglucosidase.

Segundo Cereda e Vilpoux (2003) para que as enzimas possam ser empregadas com o máximo de desempenho, devem existir algumas condições, tais como: especificidade, pH adequado e temperatura controlada.

1.4 FERMENTAÇÃO

A fermentação alcoólica é o processo bioquímico que ocorre no citoplasma da levedura alcoólica, responsável pela transformação de açúcar em álcool etílico (CEREDA; VILPOUX, 2003) em condições de anaerobiose, ou seja, em ausência de oxigênio livre (MARAFANTE, 1993).

O desempenho do processo fermentativo é muito afetado pelo tipo de levedura que o executa. Grande parte do etanol produzido no Brasil é obtido da fermentação por *Saccharomyces cerevisiae*, uma levedura eficiente na fermentação, mas que metaboliza apenas sacarose, glicose e frutose (FREITAS, 1999), o que justifica a necessidade das etapas de hidrólise e sacarificação, quando a matéria-prima é rica em amido.

A temperatura ótima para a produção industrial de etanol situa-se na faixa de 26°C a 35°C. As fermentações se desenvolvem em uma ampla faixa de valores de pH, sendo adequadas as entre 4 e 5.

O controle da fermentação é realizado mediante a observação de diversos parâmetros, como o tempo e temperatura de fermentação, o odor da fermentação, o aspecto da espuma, densidade, açúcares no mosto e acidez no substrato em fermentação.

1.5 ETANOL

Também conhecido como álcool etílico, álcool de biomassa ou simplesmente álcool, o etanol é produzido de biomassa contendo açúcares, amido ou material celulósico.

A justificativa para a utilização de etanol como combustível é em virtude do potencial promissor que este vem alcançando no mundo inteiro, sendo um mercado que cresce aceleradamente em razão da sua enorme contribuição ao meio ambiente, com a redução qualitativa e quantitativa dos níveis de polui-

ção ambiental, principalmente nos grandes centros urbanos e como fonte estratégica de energia renovável em substituição ao óleo diesel e outros derivados do petróleo (FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005).

Conhecendo todos esses benefícios, o governo brasileiro, na década de 70, apoiou a produção de etanol por meio da criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool).

Trinta anos depois do início do Proálcool, o Brasil vive agora uma nova expansão do mercado de álcool, com o objetivo de oferecer, em grande escala, o combustível alternativo. A tecnologia dos motores *flex fuel* estimula novamente o consumo interno de álcool (BIODIESEL BR, 2007).

Para separar o álcool do meio fermentado é necessário o emprego da destilação, que é um processo de separação de componentes de uma mistura que está baseada na diferença de volatilidade de cada um desses componentes, em uma determinada temperatura e pressão. Na destilação, a mistura é aquecida até a ebulição; os vapores são resfriados até sua condensação (CEREDA; VILPOUX, 2003).

2 MATERIAL E MÉTODOS

A matéria-prima utilizada foi a farinha do mesocarpo do babaçu, obtida na empresa Tobasa S.A. O amido não apresenta ação redutora. Para determiná-lo, uma hidrólise enérgica em meio fortemente ácido que produza exclusivamente glicose foi necessária. Essa metodologia é descrita por Carvalho e outros (2002). A glicose foi quantificada por espectrofotometria pelo método do ácido dinitro-3,5 salicílico (DNS), segundo Miller (1959).

2.1 HIDRÓLISE DO AMIDO

A hidrólise enzimática foi conduzida pela utilização das enzimas α -amilase (Termamyl 120L) e amiloglucosidase (AMG 300L). A concentração de enzimas α -amilase adicionada foi constante e igual a 3ml/kg de amido. As amostras, em triplicata, foram estocadas em banho-maria nas temperaturas de estudo por 1h.

Decorrido o tempo de hidrólise, e com os parâmetros ótimos já definidos, o pH foi novamente ajustado, segundo as variáveis estudadas. Acrescentou-se à mistura a enzima amiloglucosidase na concentração de 2ml/kg de amido. As amostras foram estocadas nas temperaturas de estudo. O tempo de sacarificação foi estipulado em 1h, momento em que novamente foram realizadas análises de açúcares redutores. Todos os experimentos foram realizados com três repetições.

Na hidrólise enzimática, foi necessário investigar um grande número de variáveis, tais como, temperatura de sacarificação e liquefação e pH do meio para as duas etapas da hidrólise.

Os limites das variáveis experimentais investigadas neste estudo estão na Tabela 3.

Tabela 3: Variáveis e limites do projeto experimental

Variáveis	Limites		
	-1	0	1
Temperatura de liquefação (°C)	80	90	100
pH do meio para enzima α -amilase	6	7	8
Temperatura de sacarificação (°C)	50	60	70
pH do meio para enzima amiloglucosidase	3	4	5

Fonte: os autores.

Foram pesados 10g de farinha de babaçu. Depois disso, água destilada foi adicionada para produzir uma mistura inicial de 10%, com pH inicial de 5,7. As amostras tiveram seu pH regulado com solução de HCl e NaOH, ambos a 0,1 N, conforme os limites do projeto experimental. Os frascos foram submetidos a aquecimento para gelatinização do amido (60°C a 70°C), por cerca de 30 minutos.

Os açúcares redutores foram quantificados por espectrofotometria pelo método do ácido dinitro-3,5 salicílico (DNS), segundo Miller (1959), e expressos em % de glicose.

O rendimento da hidrólise pode ser calculado por intermédio da seguinte equação:

$$\text{Rendimento} = \frac{\text{Quantidade de glicose obtida na hidrólise} \times 100}{\text{Quantidade máxima de glicose possível}} \quad (1)$$

2.2 FERMENTAÇÃO

Após a sacarificação, o mosto foi resfriado e inoculado com levedura de panificação *Saccharomyces cerevisiae* na concentração de 10g/l. O pH não precisou ser corrigido, pois já se encontrava na faixa ótima de atuação da levedura, entre 4 e 5. A fermentação foi realizada em incubadora refrigerada com agitação, Modelo TE – 421, Marca Tecnal, sob agitação de 100rpm em temperatura controlada de 28°C. Outras amostras foram fermentadas sem agitação, a fim de perceber o real efeito da agitação sob a fermentação. O tempo de fermentação foi controlado conforme a evolução do pH, acidez total titulável, densidade e açúcares redutores, durante o processo.

A metodologia utilizada foi a picnometria por ser o método mais comum de determinação de densidade. O método utilizado é descrito por Cecchi (1999). A densidade relativa pode ser obtida por meio da equação:

$$\rho_{\text{mosto}} = \frac{M_{\text{mosto}}}{M_{\text{água}}} \quad (2)$$

onde:

$$m_{\text{mosto}} = m_2 - m_1$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m_3 - m_1$$

sendo:

m_1 = massa do picnômetro vazio;

m_2 = massa do picnômetro com a amostra;

m_3 = massa do picnômetro com água.

Para determinar a curva de acidez durante a fermentação, utilizou-se a metodologia descrita por Cecchi (1999). Em virtude da amostra ser colorida, a acidez foi determinada pela medida do pH em pHmetro eletrônico digital, marca Bioprecisa, modelo FA2410N. Titulou-se uma alíquota de amostra com NaOH padronizado, até pH 8,1. O pH de viragem é 8,1 em vez de 7,0, porque foram titulados ácidos fracos como acético, cítrico.

A concentração de açúcares redutores foi determinada seguindo a mesma metodologia utilizada para a quantificação do teor de amido, descrita por Miller (1959), por meio do método do ácido dinitro-3,5 salicílico (DNS). As amostras foram previamente submetidas à clarificação com ferrocianeto de potássio e sulfato de zinco.

Depois de concluída a fermentação, a amostra foi filtrada em filtro de papel. Foram recolhidos 25ml para destilação, que foi realizada em microdestilador de álcool, Mod. TE-012, Marca Tecnal. O resíduo sólido foi pesado e seco em estufa a 105°C para determinação da umidade. O resíduo líquido foi quantificado e descartado.

Para quantificar o etanol produzido durante a fermentação, utilizou-se o método de Nicloux citado por Guymon e Crowell (1959).

O rendimento da fermentação foi calculado por intermédio da seguinte equação:

$$\text{Rendimento} = \frac{\text{Quantidade de etanol obtida na fermentação} \times 100}{\text{Quantidade máxima de etanol possível}} \quad (3)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

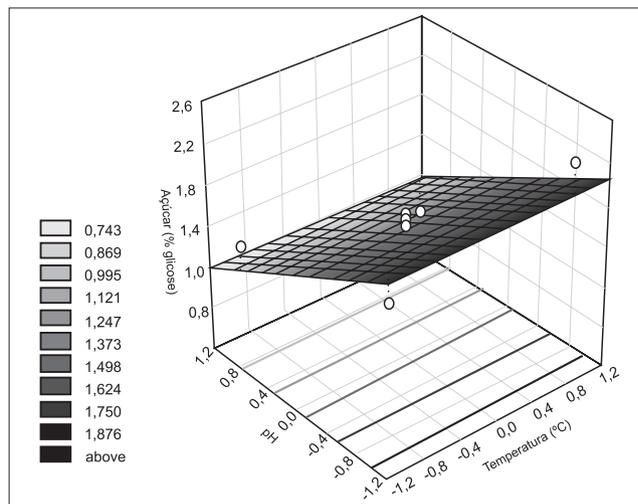
3.1 TEOR DE AMIDO

A análise do teor de amido foi realizada em triplicata. O teor de amido encontrado na farinha do mesocarpo de babaçu foi de aproximadamente 52%. Cunha, Neves e Soares (1980) analisaram os teores de amido de mandioca e babaçu. Para o babaçu, quantificou-se o amido proveniente de mesocarpo e epicarpo, sendo o valor médio encontrado de 63,5% de amido.

Mudanças na composição físico-química da farinha de babaçu podem ocorrer em razão de alterações no clima, no solo, na região, ou variação nos fatores genéticos, entre outras variáveis.

3.2 HIDRÓLISE ENZIMÁTICA – LIQUEFAÇÃO

Após a análise dos açúcares redutores, os resultados foram dispostos no Esquema 1. Pode-se perceber tendência a maior rendimento conforme o aumento de temperatura.



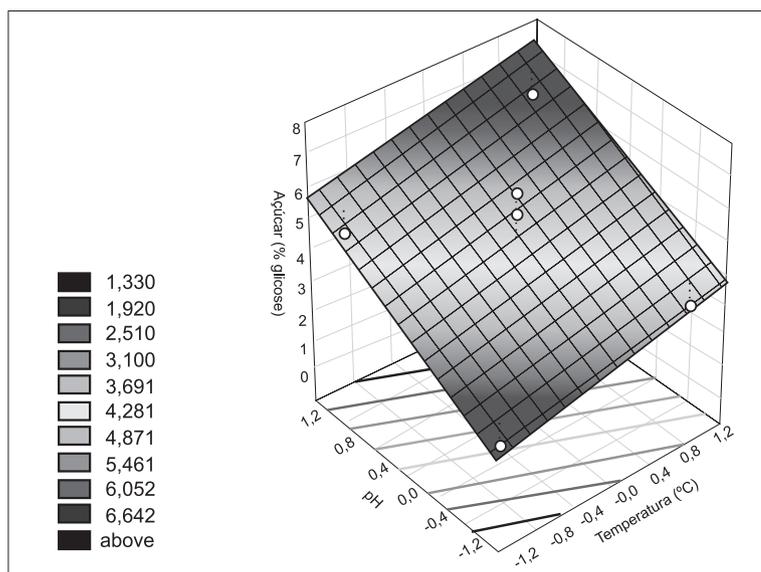
Esquema 1: Influência da temperatura e pH na liquefação
Fonte: os autores.

Observa-se que as variáveis pH e temperatura influenciam diretamente o processo de liquefação; as condições que melhor possibilitaram a hidrólise foram 100°C e pH 6.

Venturini Filho e Cereda (1998), hidrolisando fécula de mandioca, utilizaram 95°C por 45m.; Kunamnesi e Singh (2005) incubaram amostras de amido de milho a 105°C por 30 minutos.

3.3 HIDRÓLISE ENZIMÁTICA – SACARIFICAÇÃO

O Esquema 2 mostra que as condições ótimas de sacarificação com amiloglicosidase foram a 60°C e pH 4. Há uma tendência de aumento de conversão conforme aumento de temperatura. Novos estudos devem ser desenvolvidos para estudar a temperatura máxima de atuação dessa enzima.



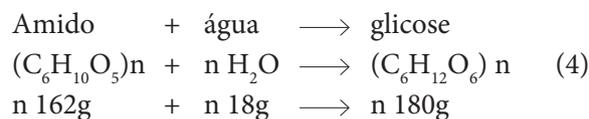
Esquema 2: Influência da temperatura e pH na sacarificação

Fonte: os autores.

Guandalini (2007) encontrou estabilidade para amiloglicosidase na temperatura de 60°C, na fermentação de farelo de arroz. Gomes e outros (2005), em seu estudo, produziram amiloglicosidase, também chamado de glucoamilase a partir de dois fungos *Aspergillus flavus* e *Thermomyces lanuginosus*, que apresentaram temperaturas ótimas de atividade em torno de 65 e 70°C, respectivamente. Moreira e outros (1999) demonstraram que a enzima amiloglicosidase, parcialmente purificada, apresenta grande estabilidade em condições ácidas (pH 4 a 7), com atividade máxima na faixa entre 4,5 e 6; esses autores também observaram a influência dessas variáveis na sacarificação.

3.4 RENDIMENTO DA HIDRÓLISE

Quando se hidrolisa uma ligação glicosídica, ocorre a incorporação do grupo hidroxílico e do cátion hidrogênio e, estequiometricamente, cada mol de glicose produzida, incorpora um mol de água (SILVA; CABELLO, 2006). Desse modo, 1 mol de amido mais 1 mol de água é igual a 1 mol de glicose:



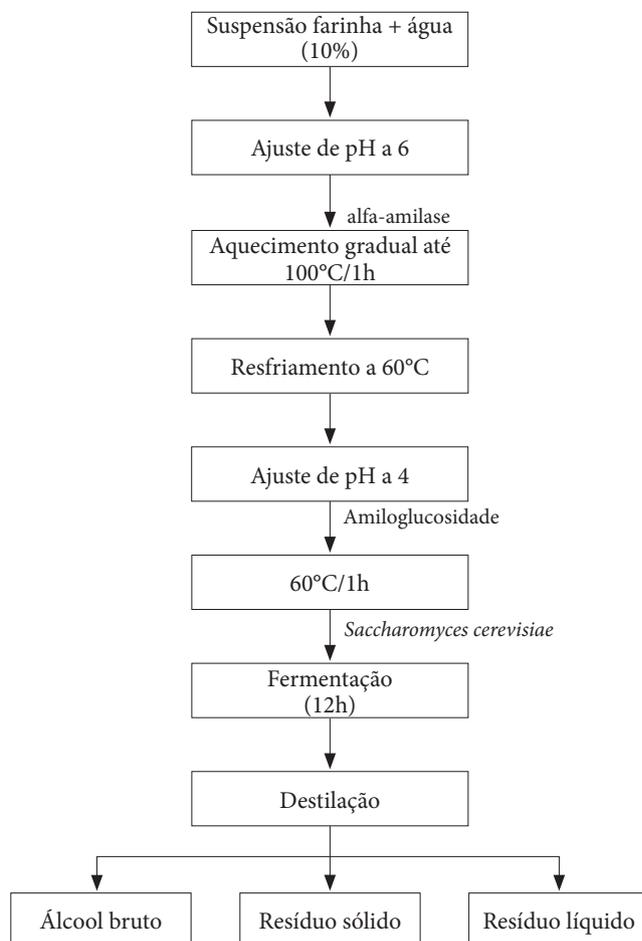
O rendimento do processo é calculado sobre a quantidade usada de matéria-prima, mais comumente considerando a quantidade de amido que entrou no processo (CEREDA; VILPOUX, 2003).

Seguindo esses cálculos, 100g de farinha de mesocarpo de babaçu darão origem a 57,8 g glicose. Como após a sacarificação foram obtidos 5,38 g de glicose a partir de um mosto contendo 10% de farinha, o rendimento do processo de hidrólise ficou em torno de 93%.

Cereda e Leonel (1999) encontraram um rendimento de 97% para hidrólise enzimática de farelo de mandioca utilizando enzimas complementares; Kunamnesi e Singh (2005) encontraram um fator de conversão de 96,5% na produção de glicose derivada de amido de milho.

3.5 FLUXOGRAMA DO PROCESSO

O Fluxograma 1 mostra a produção do etanol a partir da farinha do mesocarpo do babaçu, depois de otimizados os parâmetros de atuação da enzima (pH e temperatura).



Fluxograma 1: A produção de etanol

Fonte: os autores.

3.6 FERMENTAÇÃO

Os gráficos 1 a 4 mostram, respectivamente, os dados para as variações de pH, acidez total, açúcares redutores e densidade relativa ocorridas durante a fermentação da farinha do mesocarpo de babaçu. Observou-se o decréscimo na concentração de açúcares redutores e na densidade durante a fermentação. A acidez total elevou-se bruscamente no início, permanecendo praticamente constante durante a fermentação.

Pode-se perceber no Gráfico 1, que o pH da fermentação do mosto diminuiu de 4,28 para 3,87 após as primeiras 12 horas de incubação e, em seguida, permaneceu estável em torno desse valor até ao fim da fermentação. Bortolini, Sant'anna e Torres (2001) explicam que essa queda é própria da produção de ácidos orgânicos.

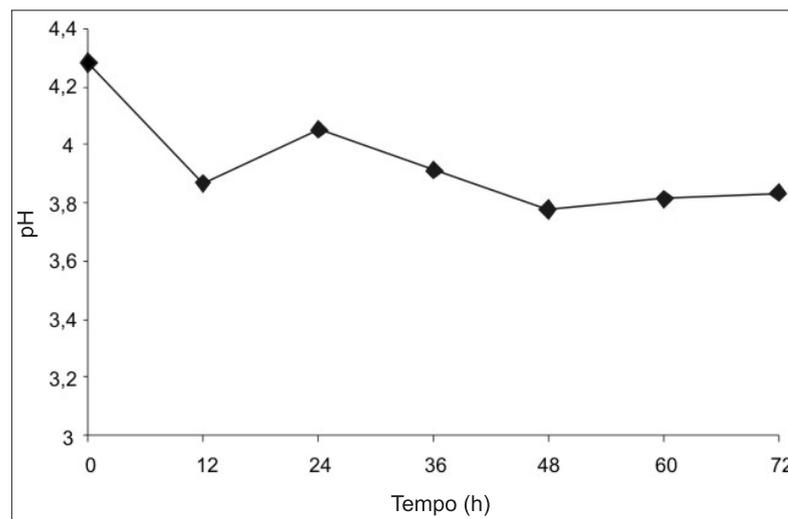


Gráfico 1: Variação do pH x Tempo de fermentação

Fonte: os autores.

Dung, Rombouts e Nout (2007), estudando o pH durante a fermentação para produzir vinho de arroz notaram que este diminuiu de 5,6 para o intervalo de 3, 8-4, 6 após os primeiros três dias de incubação e, em seguida, permaneceu bastante estável em torno de 3, 5-4, 3 até ao fim da fermentação.

A elevação da acidez total titulável foi muito rápida nas primeiras 24 horas de fermentação, permanecendo então constante, após esse período, até ao final da fermentação, conforme se observa no Gráfico 2.

Ao final da fermentação, houve um acréscimo da acidez, que pode ter ocorrido em virtude da oxidação do etanol presente no mosto a ácido acético.

Corazza, Rodrigues e Nozaki (2001) notaram em seu estudo que a elevação da acidez total foi muito rápida nas primeiras 24 horas de fermentação, permanecendo então constante após esse período até ao final da fermentação.

No Gráfico 3, pode ser observada a variação de açúcares redutores ao longo do tempo de fermentação. O consumo de açúcar foi maior nas primeiras 12 horas de fermentação, decrescendo lentamente ao longo do restante do tempo. Cerca de 87% de todo o açúcar presente no mosto foi consumido. O açúcar residual no mosto provavelmente seja de açúcares como maltose, seja de outros açúcares não-fermentáveis pela levedura.

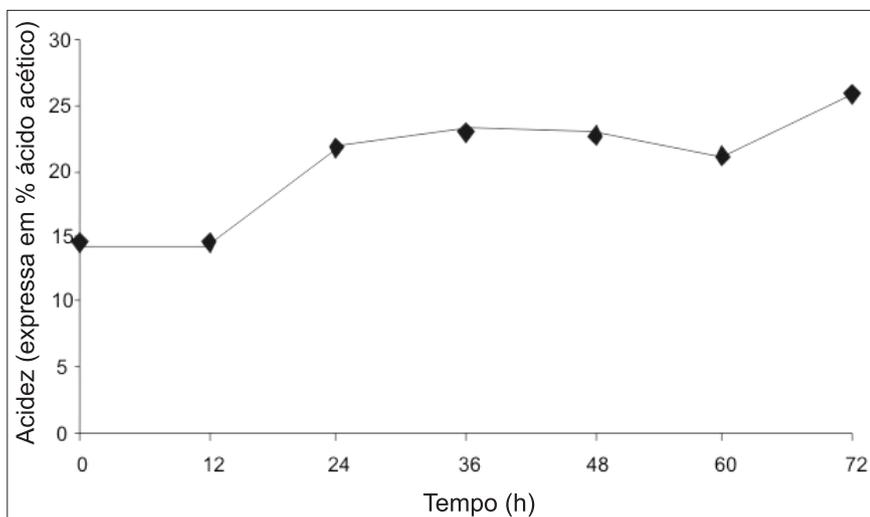


Gráfico 2: Evolução da acidez total titulável x Tempo de fermentação

Fonte: os autores.

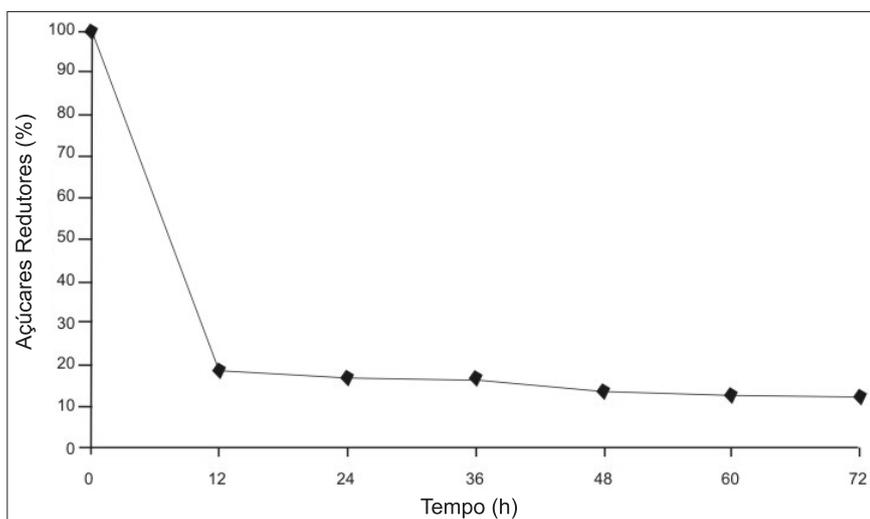


Gráfico 3: Consumo de açúcares redutores x Tempo de fermentação

Fonte: os autores.

Durante o processo de fermentação, os índices de glicose foram medidos, notando-se uma queda brusca nos valores após as 12 primeiras horas de fermentação, mas foram esgotados no final da fermentação. As concentrações de açúcares residuais encontradas foram de 0,40% (p/v), indicando a eficiência da fermentação realizada. Bortolini, Sant'anna e Torres (2001) na fermentação alcoólica de suco de kiwi encontraram valores próximos a 0,33% de açúcares residuais, bem como Leonel e Cereda (1998), cerca de 12% dos açúcares ficaram retidos no resíduo final. Dung, Rombouts e Nout (2007), estudando os parâmetros de fermentação de vinho de arroz notaram, que ao longo do processo, os índices de glicose foram sendo esgotados, na maioria dos casos, até ao final da fermentação.

De acordo com o Gráfico 4, a densidade do mosto pouco decresceu durante a fermentação, de acordo com o consumo de açúcar e a produção de etanol no processo fermentativo.

Corazza, Rodrigues e Nozaki (2001), estudaram a densidade do fermentado de laranja e perceberam um decréscimo na densidade do suco nas primeiras 24 horas de processo.

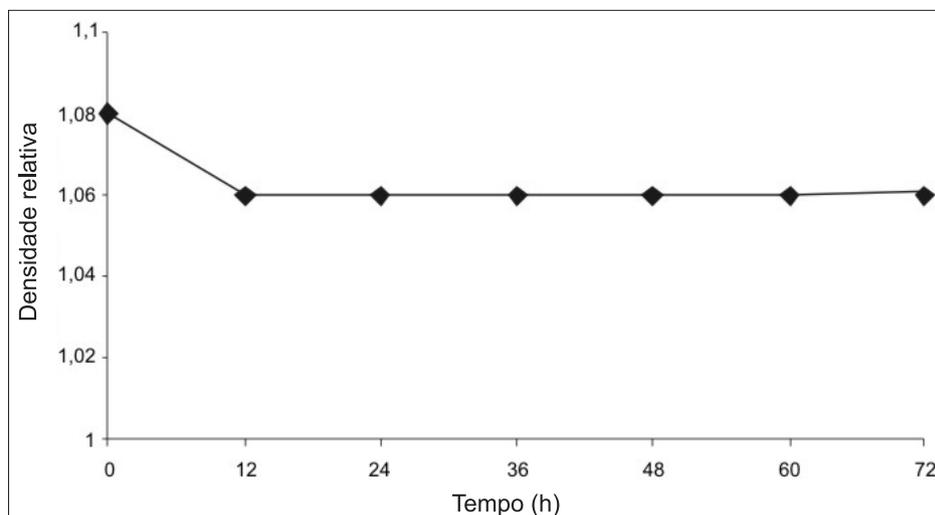


Gráfico 4: Densidade relativa x Tempo de fermentação

Fonte: os autores.

3.7 QUANTIFICAÇÃO DO ETANOL

A Tabela 4 apresenta os valores para a quantidade de álcool produzido após 12 horas de fermentação para os meios com e sem agitação.

Tabela 4: Quantidade de álcool produzido na fermentação

Amostras	Conc. Etanol na amostra (°GL)
Com agitação	2,37
Sem agitação	2,91

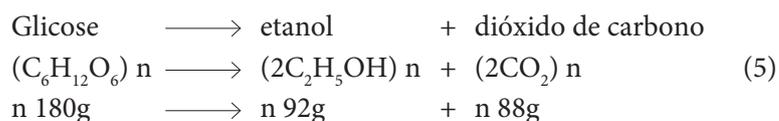
Fonte: os autores.

Na tentativa de diminuir os custos do processo em consequência da agitação, o efeito desta variável foi estudado no processo de fermentação. Pode-se observar que a agitação exerceu influência negativa na fermentação. O que pode ter ocorrido é a volatilização do álcool no meio agitado. Outra hipótese é de que a glicose pode ter sido consumida para reprodução da levedura alcoólica.

Souza, Andrade e Araújo (2005) estudaram a fermentação simultânea à hidrólise, de soro de queijo, utilizando lactase e *S. cerevisiae*; porém os autores observaram que o aumento da agitação não influenciou nos resultados obtidos.

3.8 RENDIMENTO DA FERMENTAÇÃO

É da autoria de Gay-Lussac a equação que descreve a fermentação alcoólica:



Essa reação, apesar de representar a parte fundamental do processo não é, porém, completa, pois outras substâncias se formam além do álcool etílico e CO₂. E dessa equação, obtém-se o cálculo do rendimento teórico da fermentação.

Pode-se explicar o rendimento da seguinte forma: 100g de farinha dariam origem à 29,5g de etanol. Considerando a densidade do etanol igual à 0,789 g/cm³, o rendimento máximo que se poderia obter em etanol dessa quantidade de farinha seria cerca de 73ml de etanol.

Como foram obtidos 29,144g/l de etanol de 100g de farinha (correspondente a 2,91°GL), o rendimento foi de 98,8%. Para o meio com agitação, o rendimento obtido foi de 80,4%.

Costa e outros (2003), visando favorecer a produção de etanol a partir do amido de farinha de mandioca, obtiveram um rendimento em torno de 54% em relação ao teórico. Anciães e outros (1981) e Pereira (1986) ressaltam que a viabilidade da utilização do mesocarpo do babaçu para obtenção de etanol depende do processamento do coco como um todo, para geração de vários produtos, como: formas primárias de combustível, fibras, etanol e/ou outras formas de amido processado, carvão, gases combustíveis, ácido acético, óleos, glicerina e farelo. Esse grupo de produtos o torna potencialmente atrativo para investir na industrialização integral do babaçu.

3.9 ANÁLISE DOS RESÍDUOS

O resíduo sólido gerado foi de 153g/l, apresentando cerca de 36% de umidade. O resíduo líquido gerado foi de cerca de 530ml/l.

Sabe-se que a farinha do mesocarpo de babaçu é rica em fibras e possui propriedades terapêuticas (AMORIM et al., 2006); logo, o resíduo sólido poderia ser, depois de desenvolvidos os estudos necessários, utilizado como fonte de fibras dietéticas, assim como fizeram Leonel, Cereda e Roaux (1999) com resíduo de farelo de mandioca e Paganini e outros (2005) com bagaço de maçã.

Nesse contexto, é importante que se desenvolvam estudos para avaliação físico-química do resíduo da fermentação alcoólica do mesocarpo de babaçu (*Orbignya martiana*), como forma de se avaliar a viabilidade de seu aproveitamento como fonte de fibras dietéticas para alimentação animal.

Importante, também, é o estudo sobre a otimização da fermentação alcoólica do mesocarpo de babaçu (*Orbignya martiana*).

4 CONCLUSÃO

O estudo da otimização foi realizado para analisar o efeito de diversas variáveis, tanto na hidrólise ácida quanto na hidrólise enzimática.

A farinha do mesocarpo do babaçu apresentou cerca de 52% de amido em sua composição.

A hidrólise ácida não foi recomendada para o processo por resultar em baixa quantidade de açúcares redutores; portanto, o tratamento que apresentou melhor rendimento foi por via enzimática, com taxa de conversão de 93%. As condições ótimas para a liquefação foram pH 6 a 100°C, já para a sacarificação, o mosto deve ser submetido a pH 4 a 60°C.

O monitoramento diário permitiu observar as mudanças na constituição química do mosto, indicativas do processo fermentativo. Observaram-se aumento da acidez total titulável e decréscimo dos

demais parâmetros (pH, açúcares redutores e densidade). Esses dados, quando analisados em conjunto, permitiram recomendar o tempo de fermentação em 12h.

O maior teor de álcool encontrado foi de 2,9° GL no meio fermentado mantido sem agitação. O rendimento da fermentação foi calculado em 98,8%. Desse modo, o etanol do mesocarpo do babaçu pode ter alguma projeção se todos os elementos do coco forem industrializados.

Use the flour of the mesocarp of babassu (*Orbignya martiana*) for obtaining ethanol

Abstract

*The babassu (*Orbignya martiana*) is part of the family of palms (*Arecaceae*), and is composed of epicarpo, mesocarp, endocarp and almonds, and the mesocarp represents 20% of the fruit whole and is composed of up to 60% starch, which could be used in the production of ethanol. This study aimed to develop and improve the production of alcohol from the babassu mesocarp, and calculate the income of the process. During the fermentation, the grape was examined on the content of residual sugar, pH, acidity and relative density. The variables were optimized pH and temperature through analysis of the conversion of starch into glucose. The conditions optimized for α -amylase were 100 °C at pH 6, and for amiloglucosidase were 60 °C, pH 4. The enzymatic hydrolysis presented, in these conditions, a yield of 93%. The time of fermentation was set at 12 h, as the parameters fermentativos analyzed. The amount of alcohol produced, approximately 3 °GL, was not affected by the unrest. This concentration shows that the fermentation showed a yield of 98%. The ethanol mesocarp of the babassu may have some projection if all elements of coconut are industrialized.*

*Keywords: *Orbignya martiana*. Babassu. Starch. Alcoholic fermentation. Ethanol.*

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. P. de. et al. O amido de coco babaçu: nova agroindústria. **Informativo INT**, Rio de Janeiro: v. 8, n. 7, p. 2-7, abr./jun. 1975.

AMORIM, E. et al. Efeito do uso tópico do extrato aquoso de *Orbignya phalerata* (Babaçu) na cicatrização de feridas cutâneas - estudo controlado em ratos. **Acta Cir Bras**, [periódico na Internet] v. 2. p. 66-67, 2006. Suplemento. Disponível em: <<http://www.scielo.br/acb>>. Acesso em: 1 nov. 2007.

ANCIÃES, A. et al. **Avaliação tecnológica do álcool etílico**. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Brasília, DF, 1981.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. Disponível em: <<http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/divpol/nordeste/ma/babacu/index.htm>>. Acesso em: 19 out. 2006.

BIODIESEL BR. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool.htm>>. Acesso em: 1 nov. 2007.

BORTOLINI, F.; SANT'ANNA, E. S.; TORRES, R. C. Behaviour of alcoholic and acetic fermentations of kiwi mashes (*Actinidia deliciosa*); composition of mashes and production methods. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 2, 2001.

CARVALHO, L. J. C. B. et al. Introdução. p. 13-21. In: **Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas**. Propriedades gerais do amido. Fundação Cargill, jan. 2002. v. 1.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. **Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas**. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. Fundação Cargill, set. 2003. v. 3.

CEREDA, M. P.; LEONEL, M. Melhoria do rendimento de hidrólise enzimática para produção de etanol a partir de farelo de mandioca. **Brazilian Journal Food Technology**, Botucatu, v. 2, p. 111-118. 1998.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Campinas: Ed. Unicamp, 1999.

CORAZZA, M. L.; RODRIGUES, D. G.; NOZAKI, J. Preparation and characterization of orange wine. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 4, 2001.

COSTA, P. H. R. C. et al. Estratégias de Processo para obtenção de Etanol a partir do Amido pela Levedura Recombinante L36w4. **XIV Simpósio Nacional de Fermentação – SINAFERM 2003**. Florianópolis, 2003.

CUNHA, M. C. da.; NEVES, M. F. S.; SOARES, J. B. Fontes amiláceas para a produção de álcool. **Ciências Agrônomicas**, Fortaleza, v. 10, p. 23-25, 1980.

DUNG, N. T. P.; ROMBOUTS, F. M.; NOUT, M. J. R. Characteristics of some traditional Vietnamese starch-based rice wine fermentation starters (*men*). **Food Science and Technology**, v. 40, n. 1. p. 130-135, 2007.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel from soybean: characterization and consumption in an energy generator. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, 2005.

FREITAS, G. C. de. **Fermentação de diferentes fontes de amido por *Klebsiella oxytoca* etanológica**. 1999. Dissertação (Mestrado)–Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1999.

GOMES, E. et al. Production of thermostable glucoamylase by newly isolated *Aspergillus flavus* A 1.1 and *Thermomyces lanuginosus* A 13.37. **Brazilian Journal Microbiology**, São Paulo, v. 36, n. 1, 2005.

GUYMON, J. F.; CROWELL, E. A. The chemical determination of alcohol in wines and stillage by dichromate. **Journal of the A.O.A.C.**, v. 42, n. 2, p. 393-398, 1959.

GUANDALINI, N. C. **Estudo da produção de enzimas amilolíticas pelo fungo *Metarhizium ansioptiae* utilizando resíduos amiláceos como substrato**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)–Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

KUNAMNESI, A.; SINGH, S. Response surface optimization of enzymatic hydrolysis of maize starch for higher glucose production. **Biochemical Engineering Journal**, v. 27, p. 179-190, 2005.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; ROAU, X. Aproveitamento do resíduo da produção de etanol a partir de farelo de mandioca, como fonte de fibras dietéticas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 2, p. 241-245, 1999.

MACEDO, L. C. H. **Álcool etílico**. Da cachaça ao cereal. São Paulo: Ícone Editora, 1993. (Coleção Brasil Agrícola).

MARAFANTE, L. J. **Tecnologia da fabricação do álcool e do açúcar**. 1993. 2 ex.

MOREIRA, F. G. et al. Produção de amilases por *Aspergillus tamaritii*. **Revista de Microbiologia**, São Paulo, v. 30, n. 2, 1999.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Anal Chemistry**, v. 31, p. 426-428, 1959.

PAGANINI, C. et al. Aproveitamento de bagaço de maçã para a produção de etanol e obtenção de fibras alimentares. **Ciências agrotecnológicas**, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1.231-1.238, nov./dez. 2005.

PEREIRA, A. **Ethanol, Employment and development: lessons from Brazil**. Geneva: International Labour Office, 1986.

PEIXOTO, A. R. Plantas Oleaginosas Arbóreas. Biblioteca Rural. Ed. Nobel S.A. In: TEIXEIRA, Marcos Alexandre. **Biomassa de babaçu no Brasil**. Departamento de Energia – FEM – São Paulo: Unicamp, 1973.

SILVA, F. I.; CABELLO, C. Caracterização das estruturas moleculares de amido de mandioca utilizando metodologia de permeação em gel. **Energia Agrícola**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 50-68, 2006.

SOUZA, K. M.; ANDRADE, A. C.; ARAÚJO, E. H. Estudo da fermentação simultânea à hidrólise, de soro de queijo, utilizando lactase e *Saccharomyces cerevisiae*. **VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. Uberlândia, 2005.

SUMERLY, R. et al. Hidrólise do amido. p. 377- 448. In: **Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas**. Tecnologia, uso e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. Fundação Cargill, jan. 2002. v. 3.

TEIXEIRA, M. A. Heat and power demands in babassu palm oil extraction industry in Brazil. **Energy Conversion and Management**. p. 2.068-2.074. Campinas, 2005.

TOBASA. Tocantins Óleos de babaçu S/A. Disponível em: <<http://www.tobasa.com.br>>. Acesso em: 19 out. 2006.

VENTURINI FILHO, W. G.; CEREDA, M. P. Hidrolisado de fécula de mandioca como adjunto de malte na fabricação de cerveja: avaliação química e sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 2, 1998.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Tocantins/CNPq, Programa Primeiros Projetos, pelo apoio financeiro ao projeto.

Recebido em 28 de março de 2008
Aceito em 25 de julho de 2008

