



**EFEITO DO PROCESSAMENTO NAS
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO ÓLEO
DA CASTANHA DE MACAÚBA (*Acrocomia
aculeata*)**

**Fernanda de Freitas Moreira
Luísa Mathias Leite**

Projeto Final de Curso

**Orientadoras:
Suely Pereira Freitas, D. Sc.
Renata Gomes de Brito Mariano, M. Sc.**

Outubro de 2010

EFEITO DO PROCESSAMENTO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO ÓLEO DA CASTANHA DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)

Fernanda de Freitas Moreira
Luísa Mathias Leite

Projeto Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários a obtenção do grau de Engenheiro de Alimentos.

Aprovado por:

Sonia Couri, D. Sc.

Carla Reis, D. Sc.

Carla Pereira, D. Sc.

Orientado por:

Suely Pereira Freitas, D. Sc.

Renata Gomes de Brito Mariano, M. Sc.

Rio de Janeiro – RJ – Brasil
Outubro de 2010

Ficha Catalográfica

MOREIRA, Fernanda de Freitas; LEITE, Luisa Mathias.

Efeito do Processamento nas propriedades físicas e químicas do óleo da castanha de macaúba (*Acrocomia aculeata*), Fernanda de Freitas Moreira; Luisa Mathias Leite. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2010

6, p.77; (Projeto Final) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2010.

Orientadores: Suely Pereira Freitas; Renata Gomes de Brito Mariano.

1. Processamento. 2. Propriedades físicas e químicas. 3. Óleo da castanha de macaúba. 4. Projeto Final. (Graduação UFRJ/EQ) 6. Suely Pereira Freitas, D.Sc; Renata Mariano, M.Sc.

DEDICATÓRIA

Dedicamos à nossa família por ser o que temos de mais importante.
Aos nossos amigos pelo apoio e por todos os momentos que convivemos.
Aos professores da Escola de Química que nos prepararam para sermos bons profissionais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por sempre nos guiar pelos caminhos certos, abençoando-nos e protegendo-nos. Agradecemos à nossa família, pelo companheirismo, força, compreensão e carinho, durante todo o curso, principalmente durante a realização deste trabalho. Agradecemos também às nossas orientadoras, Suely Pereira Freitas e Renata Gomes de Brito Mariano, pela excelente orientação, e a todos os nossos amigos por terem nos acompanhado nesses anos de faculdade, ajudando-nos sempre que possível e torcendo por nós a todo o momento. Agradecemos ainda aos nossos namorados, Fabien e Pedro, por todo o amor dedicado a nós.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado a Escola de Química como parte dos requisitos necessários para conclusão do curso de Engenharia de Alimentos.

EFEITO DO PROCESSAMENTO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO ÓLEO DA CASTANHA DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)

Fernanda de Freitas Moreira
Luísa Mathias Leite

Outubro de 2010

Orientadoras: Suely Pereira Freitas, D. Sc.
Renata Gomes de Brito Mariano, M. Sc.

Atualmente, a matéria-prima para produção de óleo no Brasil concentra-se na cultura da soja. Cerca de 90 % dos atuais seis milhões de toneladas de óleo vegetal produzidos anualmente originam-se dessa leguminosa. Diante da expectativa de uma demanda cada vez maior provocada pelas crescentes dificuldades de exploração dos combustíveis fósseis e também por sua utilização como estratégia política, um programa para os biocombustíveis e alimentos terá, cada vez mais, que levar em conta a utilização de plantas oleaginosas de alta produtividade como matéria-prima. A macaúba atende essas condições com vantagens sobre outras culturas que ocupam hoje posição de destaque no Brasil, como a soja e o dendê. Embora com uma capacidade instalada para produção de óleo muito inferior a da soja, a macaúba ganha pela produtividade que pode ultrapassar 30 toneladas de biomassa por hectare, enquanto no caso da soja é de apenas 4% deste valor. Além disso, a macaúba, uma palmeira rústica, necessita de pouca água, concorrendo, nesse caso, também com a palma ou dendê.

A castanha da macaúba é um co-produto do processamento da polpa para a produção de óleo e biodiesel e seu óleo é estável, claro, de baixa acidez e pode ter diversas aplicações de alto valor agregado. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do processamento nas propriedades físicas e químicas do óleo da castanha da macaúba. Foram avaliados três diferentes processos de extração: prensagem a frio, prensagem a quente e extração com etanol. A etapa de prensagem foi conduzida em prensa

contínua tipo parafuso sem fim, à temperatura ambiente e com aplicação de calor. Para a extração com etanol as condições foram selecionadas com base em dados da literatura (proporção etanol/substrato de 4:1, 65°C, 200 rpm por 1 hora). A extração com éter de petróleo foi conduzida em aparelho de *Soxhlet* por 6 horas para determinação do teor de lipídeos totais. Foram comparados os rendimentos e eficiências dos diferentes processos de extração e avaliadas as seguintes propriedades físicas e químicas das amostras obtidas: viscosidade, índice de acidez, e composição em ácidos graxos. O teor de óleo da castanha da macaúba foi de 44,6 %, valor similar aos dados já reportados por outros autores. Comparando-se os resultados dos diferentes processos de extração conclui-se que a prensagem a frio, é o mais recomendado pois alcançou rendimento de 37 g de óleo por 100 g de amostra, similar ao processo de prensagem a quente (38 g/100 g) sem uso de calor ou de solventes. Além disso, o índice de acidez do óleo obtido por prensagem a frio foi muito baixo (0,29 % em ácido oléico) o que elimina a necessidade de neutralização (etapa de refino que promove um elevado impacto ambiental). A composição em ácidos graxos do óleo apresentou uma alta concentração de ácidos graxos saturados (73 %), em especial de ácido láurico (49 %), o que favorece a estabilidade oxidativa deste óleo e seu uso para diversas aplicações industriais. Foi realizado também um estudo de caso que consistiu na mistura de diesel ao óleo da castanha da macaúba, em diferentes proporções, seguida de análise da variação da viscosidade. Este bio-óleo mostrou-se viável para aplicação em máquinas usadas na agroindústria, como em tratores por exemplo, visando um menor uso de diesel.

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	3
3. Macaúba.....	4
3.1. A Palmeira Macaúba.....	4
3.1.1. Introdução.....	4
3.1.2. Distribuição Geográfica.....	5
3.1.3. Características da Palmeira e do Fruto.....	6
3.2. Óleo da Macaúba.....	9
3.2.1. Óleos e Gorduras.....	9
3.2.2. Características Químicas e Físicas do Óleo da Macaúba.....	13
3.3. Importância Econômica.....	15
4. Processos de Extração de Óleos Vegetais.....	17
4.1. Introdução.....	17
4.2. Processos de Extração.....	17
4.2.1. Prensagem Hidráulica.....	17
4.2.2. Prensagem Contínua.....	18
4.2.3. Extração com Solvente.....	19
4.2.4. Extração Enzimática.....	21
4.3. Extração do Óleo da Macaúba.....	21
4.4. Refino do Óleo Bruto.....	22
5. Estudo Mercadológico.....	24
5.1. Introdução.....	24
5.2. Oleoquímica.....	25
5.2.1. Potencial para Produção de Biodiesel.....	27
5.2.2. Potencial para Produção de Biolubrificantes.....	28
5.2.3. Potencial para Produção de Biopolímeros.....	29

5.3. Ácido Láurico.....	29
5.3.1. Utilização em Cosméticos.....	30
5.3.2. Produção de Gordura Vegetal Sólida.....	30
5.4. Ácido Oléico.....	30
5.4.1. Utilização em Cosméticos.....	31
5.4.2. Benefícios para a Saúde.....	31
6. Materiais e Métodos.....	32
6.1. Introdução.....	32
6.2. Matéria-Prima.....	32
6.3. Pré-Tratamento.....	33
6.4. Caracterização da Matéria-Prima.....	34
6.4.1. Umidade da Castanha.....	34
6.4.2. Determinação de Lipídeos Totais.....	35
6.5. Processos de Extração do Óleo.....	36
6.5.1. Prensagem a Frio.....	36
6.5.2. Prensagem a Quente.....	38
6.5.3. Extração com Etanol.....	38
6.6. Características Físicas e Químicas do Óleo.....	40
6.6.1. Determinação da Viscosidade.....	40
6.6.2. Determinação do Índice de Acidez.....	41
6.6.3. Determinação da Composição em Ácidos Graxos.....	42
6.7. Análise Estatística dos Dados.....	43
7. Resultados.....	44
7.1. Umidade da Castanha.....	44
7.2. Lipídeos Totais.....	44
7.3. Rendimento e Eficiência dos Processos de Extração.....	45
7.4. Características Físicas e Químicas do Óleo.....	46
7.4.1. Viscosidade.....	46
7.4.2. Índice de Acidez.....	48
7.4.3. Composição em Ácidos Graxos.....	49

8. Estudo de Caso - Proposta de Aplicação de Bio-óleo no Setor de Agroenergia..	52
9. Conclusões.....	55
10. Referências Bibliográficas.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - Distribuição geográfica da espécie <i>Acrocomia aculeata</i>	5
Figura 3.2 - A Palmeira <i>Acrocomia aculeata</i> (A) e o cacho com os frutos da macaubeira (B)...	7
Figura 3.3 - Fruto da macaúba inteiro (A), endocarpo (B) e castanha (C).....	8
Figura 3.4 - Composição química dos triglicerídeos.....	10
Figura 3.5 - Moléculas de ácidos graxos saturados e insaturados.....	13
Figura 4.1 - Prensa Hidráulica.....	17
Figura 4.2 - Prensa contínua tipo parafuso.....	19
Figura 4.3 - Fluxograma industrial e balanço de massa do processamento da macaúba.....	22
Figura 5.1 - Produtos da indústria oleoquímica.....	26
Figura 6.1 - Cachos na palmeira.....	32
Figura 6.2 - Castanha da Macaúba.....	32
Figura 6.3 - Diagrama de blocos do pré-tratamento da castanha da macaúba.....	33
Figura 6.4 - Autoclave.....	34
Figura 6.5 – Estufa de secagem por convecção forçada.....	35
Figura 6.6 - Aparelho de <i>Soxhlet</i>	36
Figura 6.7 - Diagrama de blocos representativo do processo de obtenção do óleo da castanha da macaúba por prensagem contínua.....	37
Figura 6.8 - Prensa Contínua.....	37
Figura 6.9 - Prensa contínua com uso de resistência para aquecimento.....	38
Figura 6.10 - Diagrama de blocos contendo as principais etapas de obtenção do óleo da castanha da macaúba com etanol.....	39
Figura 6.11 - Amostras no banho termostático com sistema de agitação.....	39
Figura 6.12 - Sistema para filtração a vácuo.....	39
Figura 6.13 - Reômetro de placas utilizado na análise de viscosidade.....	41
Figura 6.14 - Cromatógrafo a gás.....	43
Figura 7.1 - Rendimento e eficiência dos processos de extração do óleo da castanha de macaúba.....	45
Figura 7.2 - Óleo bruto obtido por prensagem a frio (A), após decantação (B) e as tortas das prensagens a frio e a quente (C).....	45

Figura 7.3 - Variação da viscosidade com a temperatura.....	47
Figura 7.4 - Variação da viscosidade com a temperatura para os óleos de soja e da castanha da macaúba prensada a frio.....	48
Figura 7.5 - Gráficos comparativos dos teores de ácido láurico (A) e ácido oléico (B) para os diferentes tipos de extração.....	50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Características da palmeira e dos cachos da macaúba.....	7
Tabela 3.2 - Distribuição das partes do fruto, <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd.....	8
Tabela 3.3 - Valor energético total (kcal 100g ⁻¹), características físico-químicas (g 100g ⁻¹) e composição em minerais (mg 100g ⁻¹) da polpa e da castanha da macaúba (em base úmida) analisada em Goiânia/GO, 2005.....	9
Tabela 3.4 - Características de alguns dos ácidos graxos mais comuns.....	12
Tabela 3.5 - Teor de óleo da macaúba por fruto na base seca.....	13
Tabela 3.6 - Composição aproximada em ácidos graxos da polpa e da castanha da macaúba.....	14
Tabela 3.7 - Características físico-químicas dos óleos da macaúba.....	15
Tabela 7.1 - Viscosidades dos óleos obtidos pelos três processos de extração.....	47
Tabela 7.2 - Índice de acidez das amostras analisadas.....	49
Tabela 7.3 - Composição em ácidos graxos do óleo da castanha da macaúba.....	49
Tabela 8.1 - Viscosidades das amostras analisadas.....	54

1. Introdução

A flora do cerrado possui diversas espécies frutíferas com grande potencial agrícola, que são tradicionalmente utilizadas pela população local. Os frutos, em geral, são consumidos *in natura* ou na forma de sucos, licores, sorvetes, geléias e doces diversos (ALMEIDA, 1998; SILVA *et al.*, 2001). Os frutos do cerrado apresentam sabores peculiares e elevados teores de açúcares, proteínas, sais minerais e ácidos graxos (SILVA *et al.*, 2001).

Além do clima propício, o Brasil é um dos países de maior área agricultável do mundo, com disponibilidade e potencial para expandir fortemente o cultivo de grãos e oleaginosas, de forma que a oferta possa atender simultaneamente a crescente demanda nas áreas de alimentos e biocombustíveis (PORTAL BIODIESEL BR, 2008).

“Segundo dados da Embrapa e do IBGE de 2007, a área total do território brasileiro é de 851 milhões de hectares, dos quais 402 milhões são agricultáveis, sendo que apenas 62 milhões são utilizados para o cultivo de lavouras. As áreas ocupadas por florestas nativas e biomas são de 440 milhões de hectares, sendo 350 milhões dentro da Amazônia Legal. Estes dados mostram existir 340 milhões de hectares de áreas agricultáveis, que podem ser utilizadas causando um baixo impacto ambiental, sendo que cerca de 90 milhões de hectares estão disponíveis para o plantio imediato” (PORTAL BIODIESEL BR, 2008).

Os óleos vegetais são consumidos diretamente ou usados como ingrediente na formulação de alimentos, cosméticos, fármacos e lubrificantes. O contexto histórico do uso de óleos vegetais como fonte de combustível no Brasil data da década de 20. Após este período, pesquisas foram desenvolvidas principalmente no Instituto Nacional de Tecnologia e Instituto de Óleos do Ministério da Agricultura, bem como no Instituto de Tecnologia Industrial de Minas Gerais (MIC, 1985).

Na década de 70 com a crise do petróleo, pesquisas sobre fontes alternativas colocaram os óleos vegetais em destaque, sendo que na década de 80 instituiu-se o Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos – PROÓLEO (ITURRA, 2003). Na mesma década, a Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e Comércio, desenvolveu e lançou o Programa Nacional de Alternativas Energéticas Renováveis de Origem Vegetal (MIC, 1985).

Nos últimos anos, o crescimento da demanda mundial por óleos vegetais e subprodutos tem sido um fator considerável para o interesse cada vez maior pelo cultivo de plantas oleaginosas.

O uso de óleos vegetais como alternativa ao petróleo modificou o mercado internacional de oleaginosas, que passou a incorporar um importante segmento da economia mundial: o energético. Nesse sentido, o crescimento da demanda por óleos vegetais para fins carburantes acirrou a competição entre potenciais exportadores como Brasil, Argentina, Estados Unidos, Malásia e Indonésia, contribuindo para a redução no nível de estoques e para a menor disponibilidade de óleos vegetais, bem como para a sustentação da alta nos preços (IEA, 2008).

Políticas públicas como o *Programa Nacional de Biodiesel*, têm trazido incentivos para a produção de plantas oleaginosas. Dentre as espécies exploradas comercialmente, destacam-se o nabo-forrageiro, a soja, mamona e algumas palmáceas como a macaúba e dendê.

Não se pode deixar de considerar os impactos sociais que a inserção desta nova cadeia proporcionará, a qual pode levar à geração de emprego e renda. Estimativas iniciais apontam para a inclusão de 250.000 famílias com emprego no meio rural, por meio tanto da agricultura familiar, quanto pelo desenvolvimento da indústria nacional de pesquisa e equipamentos. Essa inserção social, através de empregos, realizar-se-á basicamente nas regiões com maior potencial para produção de oleaginosas, especialmente as regiões Norte e Nordeste (MDA, 2005).

De acordo com estudo feito por SZPIZ *et al.* (1989), a macaúba pode ser considerada uma matéria prima promissora para a obtenção de óleos vegetais, já que possui alto teor de óleo na polpa (60 a 70%, em base seca) e na castanha (40 a 50%, em base seca), além de sua alta produtividade em relação ao óleos comercializados como a soja. O óleo da castanha da macaúba apresenta alto teor de ácidos saturados principalmente o ácido láurico (40 a 45%) e palmítico (10 a 15%). Sua coloração é translúcida podendo ser comercializado como lubrificante ou ainda como substituto das gorduras hidrogenadas geradoras de gorduras trans (NOVAES, 1952; HIANE, 2005).

O aproveitamento tecnológico de espécies frutíferas nativas pode constituir uma preciosa fonte de alimentos e riqueza para o país. Com o objetivo de incentivar o consumo e o aproveitamento de alimentos que são encontrados em abundância no Cerrado brasileiro, foi feito um estudo sobre o óleo da castanha da macaúba que é considerada um rejeito quando se utiliza a polpa do fruto para enriquecimento de alimentos e o óleo extraído da polpa para produção de biodiesel. Além disso, existem poucos trabalhos na literatura sobre o óleo da castanha de macaúba.

2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o efeito do processamento nas propriedades físicas e químicas do óleo da castanha da macaúba.

Os objetivos específicos foram:

- Caracterizar a matéria-prima quanto a teor de umidade e lipídeos;
- Obter o óleo da castanha de macaúba por diferentes processos de extração;
- Avaliar o efeito do processamento nas propriedades físicas e químicas do produto;
- Formulação e caracterização reológica de um bio-produto à base do óleo da castanha de macaúba.

3. Macaúba

3.1.A Palmeira Macaúba

3.1.1. Introdução

O Brasil é considerado um país de excelência no que se referem os aspectos da biodiversidade. Em meio às diferentes fontes vegetais, encontram-se as palmeiras, fontes ricas em compostos fundamentais, tais como vitaminas, sais minerais, carboidratos, lipídios e proteínas, as quais são fontes de energia promissora para o desenvolvimento e fornecimento dos vários setores racionais de produção de uma sociedade. O território brasileiro ainda possui um grande número de variedades distintas de palmeiras que, devidamente exploradas, pelo valor e multiplicidade de seus produtos, podem desempenhar um papel de importância na economia brasileira.

Dentre as palmeiras espalhadas pelas extensões territoriais brasileiras, destacam-se: o dendezeiro (*Elais guineensis*), o assaieiro (*Euterope oleracea*), o coqueiro da Bahia (*Cocus nucifera*), a carnaubeira (*Copernicia vinífera*), o licuriseiro (*Cocus Syagnus coronata*) e o macaubeiro (*Acrocomia aculeata*), à qual pertence à família Palmae assim como o tucumã, o açai, o buriti, a pupunha, o coco-da-bahia, a carnaúba, o bacuri e o buri.

O gênero *Acrocomia* compreende duas espécies: *aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. E *A. hassleri* (B. Rodr.) W. J. Hahn, as quais diferem no tamanho e porte dos indivíduos. A espécie *A. aculeata* (de maior porte) encontra-se distribuída em regiões secas da América Tropical e a espécie *A. hassleri* é comum em regiões de cerrado no Brasil e Paraguai. O termo *Acrocomia* deriva do grego "Akron" (uma) e "Kome" (cabeleira) sugerindo que as folhas estão dispostas no formato de uma coroa.

O nome vulgar ou popular varia de acordo com a região de distribuição desta espécie: Mbocayá (Argentina); totaí (Bolívia); corozo (Colômbia, Venezuela); tamaco (Colômbia); coyol (Costa Rica, Honduras, México); corosse (Haiti). Também se registram como nomes populares desta espécie: macaw palm, macaya, groo groo, grugru palm, corosse, mbocayá, cobrush, coquito, mocayá, catey, cayara, cayiete, ocori, palma de vino, gri-gri, mucajá, grou grou. No Brasil, é conhecida por bocaiúva, chiclete-de-baiano, coco baboso, coco-de-catarro, coco-de-espinho, macacauba, macaiba, macaibeira, macajuba, macaúba, macaúva, mucaia, mucaja e mucajaba (RODRIGUES, 2007).

3.1.2. Distribuição Geográfica

Com ampla distribuição geográfica (Figura 3.1), ocorre em todo o Trópico Americano, do México a Argentina, Bolívia, Paraguai, Antilhas, exceto Equador e Peru. Preferencialmente, em regiões com estação chuvosa bem definida e de baixas altitudes. No entanto, há registros de sua ocorrência nos Andes Colombianos cuja altitude é de 1200 m. Sua área de distribuição tem sido fortemente influenciada pelas atividades humanas. Na Costa Rica, foi introduzida pelos índios na época pré-colombiana, no México e América Central pelos maias (RODRIGUES, 2007).

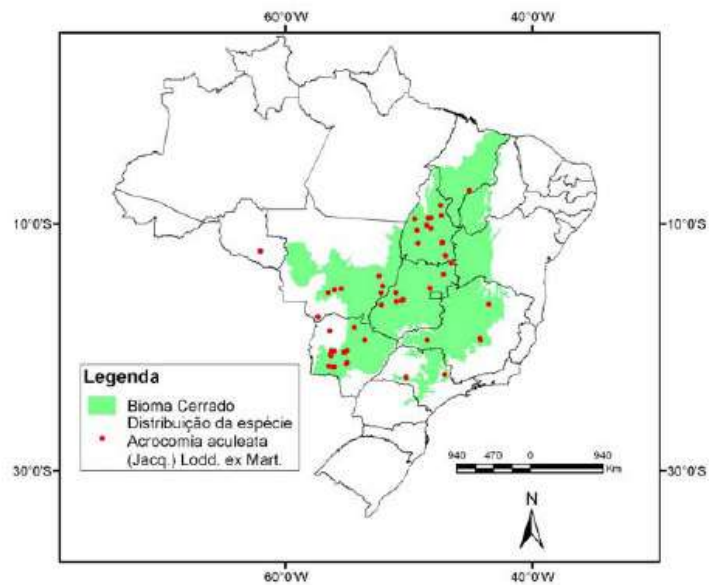


Figura 3.1 - Distribuição geográfica da espécie *Acrocomia aculeata*.

Fonte: AQUINO *et al*, 2008

No Brasil, é considerada como a palmeira de maior dispersão, com ocorrência de povoamentos naturais desta espécie em quase todo território. Entretanto, as maiores concentrações estão localizadas em Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo amplamente espalhada pelas áreas de Cerrado. No passado, ela ocorria em abundância também em São Paulo, mas as populações naturais foram sistematicamente substituídas pelo cultivo do café (NOVAES, 1952).

3.1.3. Características da Palmeira e do Fruto

Acrocomia aculeata é uma palmeira nativa das florestas tropicais cujo estipe atinge de 10 a 15 m de altura e 20 a 30 cm de diâmetro. A região dos nós é coberta de espinhos escuros, pontiagudos com cerca de 10 cm de comprimento. As folhas verdes, ordenadas em diferentes planos dando um aspecto plumoso à copa, são pinadas com comprimento variando de 4 a 5 m, apresentando aproximadamente 130 folíolos de cada lado e espinhos na região central. Entre as folhas destacam-se a espata, uma forma de proteção das flores, de até 2 m de comprimento, as inflorescências amarelas e os cachos de frutos de tom marrom-amarelado. A inflorescência é em forma de espiga, com 50 a 80 cm de comprimento e protegida por espata de acúleos castanhos. As flores possuem coloração amarelo - claro, são unissexuais e ambos os sexos aparecem numa mesma inflorescência. As flores femininas nascem na base da inflorescência e as masculinas no topo. Os frutos são esféricos ou ligeiramente achatados, em forma de drupa globosa com diâmetro variando de 2,5 a 5,0 cm. O epicarpo rompe-se facilmente quando maduro. O mesocarpo é fibroso, mucilaginoso, de sabor adocicado, rico em glicerídeos, de coloração amarelo ou esbranquiçado, comestível. O endocarpo é fortemente aderido à polpa (mesocarpo), com parede óssea enegrecida e a amêndoa oleaginosa, comestível e revestida de uma fina camada de tegumento. Cada fruto contém, geralmente, uma semente envolvida por endocarpo duro e escuro com aproximadamente 3 mm de espessura (RODRIGUES, 2007). Seu cacho possui em média de 70 a 80 centímetros de comprimento e pode chegar a pesar 60 kg. Sua madeira é moderadamente pesada, dura e de longa durabilidade. Em algumas regiões sua presença significa padrão de terra boa. Floresce durante quase o ano inteiro, porém com maior intensidade nos meses de outubro até janeiro. A produção do fruto começa de 4 a 5 anos pós plantio. A palmeira macaúba e o cacho com frutos são mostrados na Figura 3.2.



(A)



(B)

Figura 3.2 - A Palmeira *Acrocomia aculeata* (A) e o cacho com os frutos da macaubeira (B).

A frutificação ocorre durante todo o ano e os frutos amadurecem, principalmente, entre setembro e janeiro. Os principais polinizadores são insetos das famílias *Curculionidae*, *Nitidulidae* e *Escarabaeidae*. A inflorescência é visitada pelas abelhas do grupo *Trigonia*, que coletam o pólen das flores masculinas e polinizam as flores femininas. Em condições naturais, as sementes podem levar de um a dois anos para germinar. No entanto, quando submetidas à incisões e acondicionadas à temperatura superior a 35°C podem germinar entre quatro e seis meses. As plantas apresentam crescimento lento (LORENZI, 2006; AMARAL, 2007). A Tabela 3.1 mostra algumas características da palmeira e dos cachos, sendo observada uma significativa variação com relação à quantidade de frutos por cacho.

Tabela 3.1 - Características da palmeira e dos cachos da macaúba.

Característica	Média ± Desvio Padrão
Altura (m)	9 ± 1,8
Número de Cachos	6 ± 2,2
Tamanho do Cacho (cm)	69 ± 5,9
Massa do Cacho (Kg)	14 ± 0,9
Nº de Frutos por Cacho	554 ± 122
Massa de Frutos por Cacho (Kg)	12 ± 1,3
Massa do Fruto (g)	23 ± 1,3

Fonte: EMBRAPA (Dourados) – Renato Roscoe, 2008.

Esta palmeira tem forte interação com a fauna, seus frutos apresentam elevado teor de polpa (Tabela 3.2) e integram a dieta de araras, capivaras, antas, emas entre outros animais, os quais são os dispersores das sementes. A espécie *Acrocomia aculeata* habita áreas abertas e com alta incidência solar, adapta-se a solos arenosos e com baixo índice hídrico. Porém, desenvolve-se melhor em locais onde há solos férteis (GRAY, 2005; MISSOURI, 2005).

Tabela 3.2 – Distribuição das partes do fruto, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd.

Medidas Físicas	Massa (g) ± DP*	%
Fruto Inteiro	21,83 ± 2,48	
Casca (epicarpo)	4,68 ± 1,07	21,44
Polpa (mesocarpo)	9,61 ± 1,17	44,22
Semente (endocarpo e castanha)	7,55 ± 1,23	34,58
Castanha	0,83 ± 0,23	3,8

*Resultado médio e desvio padrão de 20 frutos. Fonte: RAMOS *et al*, 2008.

O fruto da macaúba (Figura 3.3) pode apresentar composição discrepante e alguns fatores contribuem para isso. O primeiro deles está ligado à colheita do fruto que, ao amadurecer, se solta do cacho e cai. No chão, a polpa é atacada por microrganismos e sofre deterioração, o que altera as relações de massa entre as diversas partes do fruto. Outro fator é o tempo que decorre entre a colheita do fruto e sua chegada ao laboratório para análise, além do efeito que poderá ser causado por diferença de variedades e de grau de maturação (AMARAL, 2007).



Figura 3.3 - Fruto da macaúba inteiro (A), endocarpo (B) e castanha (C).

A polpa e a castanha da macaúba possuem altos teores de lipídeos (Tabela 3.3), fazendo desta planta uma importante matéria-prima para fornecimento de óleos e gorduras vegetais.

Tabela 3.3 - Valor energético total (kcal 100g⁻¹), características físico-químicas (g 100g⁻¹) e composição em minerais (mg 100g⁻¹) da polpa e da castanha da macaúba (em base úmida).

	Polpa	Castanha
Valor Energético Total	285,65	243,0 ⁵
Umidade	34,32 ± 0,13 ¹	11,9 ⁴
Proteínas	2,76 ± 0,21 ¹	17,6 ²
Lipídeos	14,93 ± 0,21 ¹	55,6 ³
Carboidratos	35,06 ± 0,40 ¹	2,52 ²
Fibra Alimentar	11,14 ± 0,33 ¹	15,8 ⁶
Resíduo Mineral Fixo	1,78 ± 0,02 ¹	4,78±0,02 ²
Cálcio	130,0 ± 17,32 ¹	94,3 ²
Zinco	2,15 ± 0,00 ¹	30,93 ²
Ferro	0,88 ± 0,40 ¹	32,91 ²

1 Dados apresentados como média ± desvio padrão de três replicatas/amostra, com exceção da fibra alimentar com quatro replicatas/amostra. Fonte: SILVA *et al*, 2008.

2 Fonte: HIANE *et al* (2006).

3 Fonte: CETEC (1983).

4 Fonte: RODRIGUES (2007).

5 Fonte: OLIVEIRA (2008).

3.2. Óleo da Macaúba

3.2.1. Óleos e Gorduras

Os óleos e gorduras são substâncias insolúveis em água (hidrofóbicas), originados de vegetais (plantas oleaginosas) e animais, formados pelos triacilglicerídios. Estruturalmente a sua formação se dá pela reação de uma molécula de glicerol com três de ácidos graxos (Figura 3.4), resultando em três moléculas de água e uma de triacilglicerol (HARTMAN & ESTEVES, 1982).

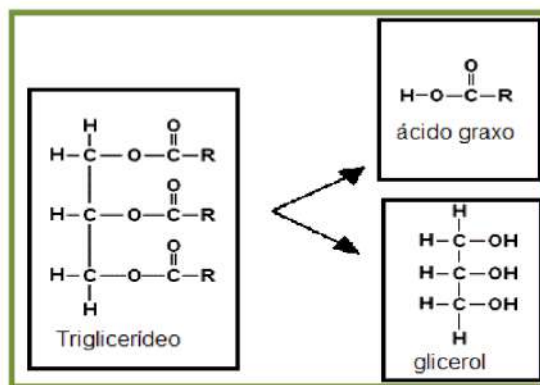


Figura 3.4 - Composição química dos triglicerídeos

Os triacilgliceróis representam de 95 a 98% do peso do óleo, sendo que o restante é constituído de ácidos graxos livres, mono e diacilgliceróis, fosfolípidios, ceras, hidrocarbonetos, pigmentos, esteróis, tocoferóis e outros constituintes menores. Os ácidos graxos podem ser insaturados ou saturados, isto é, com ou sem ligações duplas nas respectivas estruturas, sendo encontrados em diversas formas isoméricas. O termo “óleo” é reservado para aqueles que se apresentam líquidos à temperatura de 20°C e o termo “gordura” para aqueles que se apresentam sólidos ou semi-sólidos à temperatura de 20°C. Os óleos são constituídos principalmente de ácidos graxos insaturados e as gorduras de ácidos graxos saturados.

Ácidos graxos são compostos formados por uma cadeia de carbonos, de onde se deriva a propriedade lipossolúvel, e um grupo carboxila terminal, proporcionando características ácidas. São conhecidos ácidos graxos com comprimento de cadeia de carbonos variando entre 2 e 30, porém os mais comuns são aqueles que variam entre 12 e 22 átomos de carbono (Turatti *et al*, 2002). A presença ou não de insaturações (duplas ligações na cadeia hidrocarbônica) classifica-os como: saturados, apenas ligações simples, e insaturados aqueles que possuem uma (monoinsaturados) ou mais de uma (poliinsaturados) insaturações na molécula (Graziola *et al*, 2002).

Os ácidos graxos saturados possuem unicamente isômeros resultantes de ramificações na cadeia. Esse tipo de isomeria é pouco comum em óleos e gorduras, enquanto que nos insaturados encontram-se dois tipos de isomeria: de posição e geométrica. A isomeria posicional refere-se à posição da ligação dupla, enquanto que a geométrica refere-se à conformação espacial das ligações duplas, cujos segmentos na cadeia podem estar situados no mesmo lado (isômeros cis) ou em lados opostos (isômeros trans). Em ácidos graxos com mais de uma dupla ligação podem existir várias configurações.

Os ácidos graxos diferem, basicamente, no comprimento da cadeia hidrocarbonada e número, posição e geometria das duplas ligações. Estas características são responsáveis pelas diferentes propriedades físicas e químicas que apresentam. Os ácidos graxos são, geralmente, representados por símbolos numéricos (por exemplo, C18:2 n6); onde o número justaposto ao C indica o número de átomos de carbono; o segundo número, após os dois pontos, o número de duplas ligações e o número após o “n” expressa a posição da última dupla ligação a partir do grupamento metil terminal.

Os ácidos graxos com 2-4 átomos de carbono são considerados ácidos graxos de cadeia curta ou voláteis; entre C6-C12, os de cadeia média, que formam os triacilgliceróis de cadeia média e entre C14-C24, constituem cadeia longa. Os ácidos graxos poliinsaturados podem ser classificados em n-6 e n-3.

Assim, as propriedades físicas dos ácidos graxos e dos compostos que os contêm são largamente determinadas pelo comprimento e pelo grau de insaturação da cadeia hidrocarbônica dos mesmos. A cadeia hidrocarbônica apolar é a responsável pela insolubilidade dos ácidos graxos na água. Logo, quanto maior a cadeia do ácido graxo e menor o número de duplas ligações, menor a solubilidade em água. De outro modo, o ponto de fusão aumenta com o número de átomos de carbono e diminui com o número de insaturações de ácidos graxos que compõem o óleo ou gordura.

Os ácidos graxos presentes em maior quantidade na natureza são: ácido butírico, cáprico, láurico, mirístico, palmítico, esteárico, araquídico e behênico entre os saturados e ácido oléico, linoléico, araquidônico e erúico entre os insaturados (RODRIGUES, 2007). Na Tabela 3.4 podemos verificar a estrutura química, a fórmula e o nome de alguns tipos de ácidos graxos mais comuns.

Tabela 3.4 - Características de alguns dos ácidos graxos mais comuns.

Ácido graxo	Nº de Carbonos e Ligações Duplas	Estrutura (=denota duplas ligações)
Butírico	C 4:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
Capróico	C 6:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$
Caprílico	C 8:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
Cáprico	C 10:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
Láurico	C 12:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
Mirístico	C 14:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
Palmítico	C 16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
Esteárico	C 18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
Araquídico	C 20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
Behênico	C 22:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$
Oléico	C 18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Linoléico	C 18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Linolênico	C 18:3	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Erúico	C 22:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$

Fonte: Srivastava & Prasad, 2000

Na Figura 3.5 é possível observar as moléculas de alguns ácidos graxos saturados e insaturados presentes nos óleos ou gorduras vegetais.

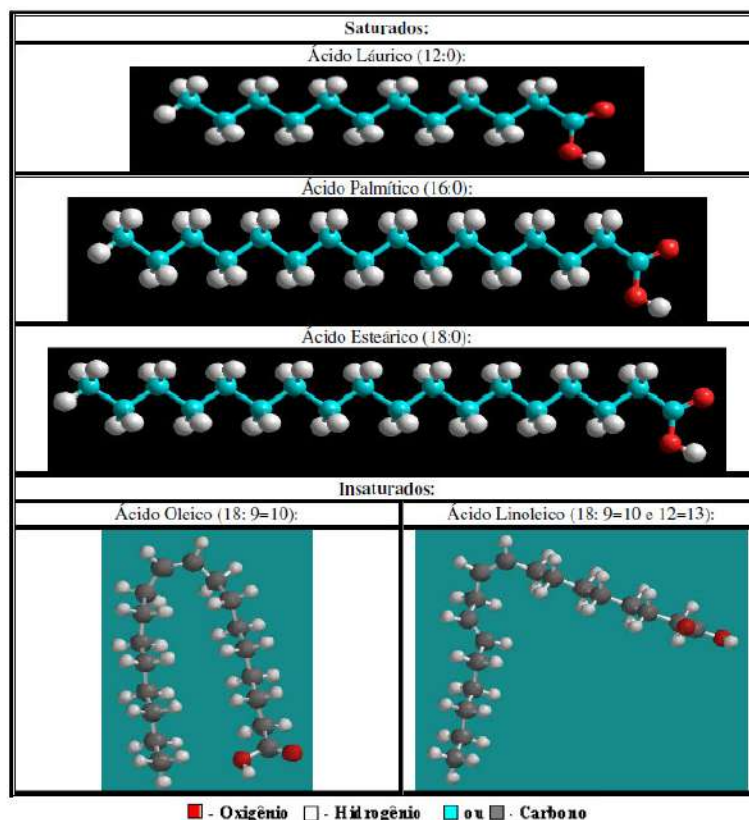


Figura 3.5 - Moléculas de ácidos graxos saturados e insaturados

Fonte: Gonçalves, 2007

A composição química de ácidos graxos do triglicerídeo é bastante importante visto que influencia nas propriedades físicas essenciais do óleo, como a viscosidade, o ponto de fusão e a estabilidade térmica, permitindo assim prever, o comportamento de cada óleo ou gordura e de seus derivados.

3.2.2. Características Químicas e Físicas do Óleo da Macaúba

A macaúba apresenta alto teor de óleo (Tabela 3.5). Os frutos da macaúba fornecem dois tipos de óleo economicamente importantes: o óleo da polpa e o óleo da amêndoa.

Tabela 3.5 - Teor de óleo da macaúba por fruto na base seca.

Componente	Teor de óleo em %
Casca (epicarpo)	6,5
Polpa (mesocarpo)	59,8
Castanha (endocarpo)	-
Amêndoa	55,6

* (CETEC, 1983)

O óleo da castanha da macaúba é composto principalmente por ácidos graxos saturados (aproximadamente 71,2% do total), em especial o ácido láurico, que conferem ao óleo um maior ponto de fusão e uma maior estabilidade. O segundo ácido graxo mais abundante no óleo da castanha da macaúba é o ácido oléico. Quando cuidadosamente extraído, o óleo da castanha pode apresentar qualidades e características de acidez e transparência semelhantes às dos óleos refinados industrialmente (LORENZI, 2006). Já a polpa da macaúba é composta em sua maior parte por ácidos graxos insaturados, sendo o ácido oléico encontrado em maior proporção, correspondendo a cerca de 53 % do total de ácidos graxos (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 - Composição aproximada em ácidos graxos da polpa e da castanha da macaúba.

Ácido Graxo	Composição Aproximada (%)	
	Polpa	Castanha
Ácido Oléico	53,4	25,5
Ácido Palmítico	18,7	5,3
Ácido Láurico	-	43,6
Ácido Mirístico	-	8,5
Ácido Esteárico	2,8	2,4
Ácido Cáprico	-	5,3
Ácido Caprílico	-	6,2
Ácido Palmitoléico	4,0	-
Ácido Linoléico	17,7	3,3
Ácido Linolênico	1,5	-
Ácidos Saturados	21,5	71,2
Ácidos Insaturados	78,5	28,8

*Fonte: CETEC, 1983.

Os ácidos graxos saturados apresentam alto ponto de fusão. O ácido láurico, que é o ácido graxo em maior quantidade no óleo da castanha da macaúba, apresenta ponto de fusão em torno de 44,8 °C. Alguns pontos de fusão de outros ácidos graxos presentes no óleo da castanha da macaúba são: palmítico, 62,9 °C; esteárico, 70,1 °C; mirístico, 54,4 °C; oléico, 16,3 °C; cáprico, 31,6 °C; e caprílico, 16,5 °C (RODRIGUES, 2007).

O óleo da castanha da macaúba apresenta baixo teor de ácidos graxos livres e baixo índice de peróxido (Tabela 3.7), que são fatores positivos para a qualidade de óleos e gorduras. Entretanto, a acidez do óleo da polpa pode chegar a 30% se o óleo for extraído a partir de frutos armazenados de forma imprópria (Nascimento *et al.*, 2010). De acordo com a ANVISA, o índice de peróxido máximo admitido para os óleos vegetais é de 10000 meq g⁻¹.

Tabela 3.7 - Características físico-químicas dos óleos da macaúba.

Características Físico-Químicas	Castanha	Polpa
Teor de ácidos graxos livres (oléico, %)	0,2 – 0,7	0,3 – 1,0
Densidade 25°C g (cm ³) ⁻¹	0,9176	0,9256
Índice de refração 25°C	-	1,4662
Índice de saponificação	221	192
Índice de iodo	20	84
Viscosidade a 37.8°C (cSt)	35,2	46,4
Índice de peróxido (meq g ⁻¹)	9,4	8,0

*Fonte: CETEC, 1983.

3.3. Importância Econômica

Apesar de sua abundante frutificação e tantas outras qualidades, as palmeiras brasileiras do gênero *Acrocomia* são selvagens e encontradas em maciços nativos. Em quase todo o território nacional, esta espécie têm sido explorada de forma rudimentar e doméstica, bem aquém de sua potencialidade econômica. Alternativas para o seu melhor aproveitamento vêm sendo apontadas em experimentos realizados no Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado da EMBRAPA do Distrito Federal (AMARAL, 2007).

Os usos dos recursos da macaúba são muito diversificados. O estipe, por exemplo, é utilizado como madeira para mourão, tábuas, ripas, calhas para água, etc. A medula do estipe e o meristema apical podem ser aproveitados como alimento. As folhas servem de matéria prima para artesanato e forragem animal. O mesocarpo é geralmente empregado como goma de mascar, para fabricação de licores, sorvetes, doces e óleo de cozinha. O Endocarpo duro pode facilmente substituir a brita de concreto ou para material de artesanato. O palmiste pode ser utilizado para produção de óleo de cozinha, ingrediente para sabão (possui alta concentração de ácido láurico, componente de cosméticos), ou consumo “in natura” (AMARAL, 2007).

A sua madeira pode ser empregada em construções rurais e na confecção de calhas para água. Do miolo do tronco obtém-se uma fécula nutritiva. As folhas, além de forrageiras, fornecem fibras têxteis para a confecção de redes e linhas de pescar. Após a maturação, a polpa oleosa e semi-fibrosa da macaúba, é comestível e tem um sabor doce característico (POTT & POTT, 1994; ALMEIDA, 1998). O fruto é considerado a parte mais importante da planta, cuja polpa é consumida in natura ou usada para extração de gordura comestível. O óleo da polpa de cor amarelo avermelhado é atualmente usado para biocombustíveis (Biodiesel) e fábricas de sabão, além de poder ser usado para produzir óleo de cozinha. A semente do fruto pode ser ingerida crua ou cozida na forma de paçoca e cocada (SILVA et al.,1994; ALMEIDA, 1998). A sua castanha fornece óleo claro e pode ser utilizada na indústria de cosméticos e para a alimentação humana, por ser considerado um óleo nobre, devido ao seu alto teor de proteínas e vitaminas.

Como co-produtos gerados no processo de extração de óleo é possível obter a partir do endocarpo carvão de alta qualidade e alto poder calorífico para siderurgia, a torta da polpa pode ser destinada à alimentação animal ou ser queimada para gerar energia elétrica, além da torta da amêndoa, rica em proteína, que pode ser usada como complemento na ração para animais, tais como bovinos, suínos e aves.

4. Processos de Extração de Óleos Vegetais

4.1. Introdução

São três os principais métodos de extração de óleos vegetais, podendo sofrer algumas modificações ou mesmo serem combinados entre si: prensa hidráulica; prensa contínua (*expeller*); e extração por solventes. Existem ainda alguns meios de aumentar o rendimento da extração, como o uso de enzimas.

4.2. Processos de Extração

4.2.1. Prensagem Hidráulica

A prensa descontínua, chamada prensa hidráulica (Figura 4.1), é formada por um cesto de compressão contendo aberturas definidas de acordo com o material a ser processado. Dentro deste compartimento é colocada a matéria-prima a ser prensada. O sistema de compressão é formado por um pistão acionado por unidade hidráulica. A prensa descontínua pode ser fornecida unidade hidráulica manual ou motorizada, dependendo da capacidade de produção e da matéria-prima a ser utilizada no processamento. Para operação com sementes à temperatura ambiente (extração a frio), em pequena escala, a prensa descontínua é mais indicada por não haver aquecimento devido ao atrito entre matéria-prima e cesto de compressão.



Figura 4.1 - Prensa Hidráulica.

As prensas hidráulicas apresentam a desvantagem de necessitarem de mão de obra, pois exigem força da realização da prensagem.

As prensas hidráulicas estão sendo substituídas por prensas contínuas, mais eficientes na extração do óleo, com funcionamento simples e baixo custo de aquisição e manutenção, sendo recomendadas para pequenas cooperativas (WEISS, 1983).

4.2.2. Prensagem Contínua

A prensagem contínua é o método mais popular para extrair o óleo das sementes oleaginosas (MREMA & MCNULTY, 1985 citados por SINGH & BARGALE, 2000). A operação em uma prensa contínua é simples, não exigindo mão-de-obra qualificada para seu manuseio, por isso é um sistema facilmente adaptável a diversos tipos de oleaginosas, bastando para isso alguns simples ajustes mecânicos, e todo o processo de extração do óleo é contínuo e feito em um curto espaço de tempo.

O processo contínuo é conduzido sem uso de produtos químicos, portanto é seguro para o meio ambiente. Neste caso, o subproduto da extração mecânica, torta, é rica em proteína, isenta de solventes tóxicos e pode ser usada como alimento ou ração animal (SINGH & BARGALE, 2000).

À prensa contínua pode ser acoplado um sistema de aquecimento. Os principais benefícios do aquecimento estão relacionados ao aumento da capacidade de extração e do rendimento, além de eliminar compostos tóxicos ou constituintes não desejados no óleo ou na torta (FITCH-HAUMANN, 1997 citado por WIESENBORN *et al.*, 2002). O aumento no rendimento pode ser explicado pela quebra ocorrida nas células de óleo, pela coagulação de proteínas e pela diminuição da viscosidade do óleo, o que torna seu escoamento mais fácil (WARD, 1976).

Na prensagem contínua do tipo parafuso (Figura 4.2), o eixo helicoidal gira num cesto composto por barras de aço perfuradas, por onde o óleo escoar. A pressão inicial é de 300-400 kg/cm², aumentando gradativamente até a pressão final de 1000-1400 kg/cm². A capacidade das prensas em operações de pré-prensagem varia de 100 a 400 toneladas/dia (GUSTONE & NORRIS, 1983).



Figura 4.2 - Prensa contínua tipo parafuso.

O rendimento em óleo é afetado por parâmetros construtivos da prensa, como dimensionamentos do eixo sem fim e do canhão, pela pressão aplicada sobre a matéria-prima e também pelo preparo prévio do material a ser processado, como temperatura de prensagem e teor de umidade das amostras (WIESENBORN et al., 2001). Para melhorar a eficiência das prensas de pequena capacidade, estão sendo feitos estudos de otimização das principais variáveis envolvidas no processo (OHLSON, 1992 apud SINGH; BARGALE, 2000).

Este tipo de prensagem apresenta alto rendimento que, associado ao baixo custo, facilidade no manuseio, reduzido teor de resíduos e, principalmente, a não utilização de solventes, tornam este método o mais promissor e ecologicamente correto.

4.2.3. Extração de Óleo por Solvente

Atualmente, a extração de óleo por solvente é utilizada em plantas para extração de sementes oleaginosas, em especial as commodities. Em escala laboratorial, a extração por solvente é utilizada para determinação dos lipídeos totais, através de aparelho de Soxhlet.

Em geral é utilizado como solvente o n-hexano com ponto de ebulição ao redor de 70° C. A penetração do solvente no interior dos grãos triturados é facilitada pela exposição de uma superfície maior. O óleo presente na superfície do material triturado é removido por simples dissolução enquanto o óleo presente no interior de células intactas é removido por difusão. Assim, a velocidade de extração do óleo decresce com o decurso do processo. A extração não é completa, pois o farelo apresenta um teor de 0,5 a 0,6% de óleo. A solução de óleo no solvente é chamada de micela e o equilíbrio no sistema óleo-micela-solvente é o fator que determina a velocidade de extração. A difusão do solvente será mais rápida quanto mais finos forem os flocos laminados, e quanto maior for a temperatura (próximo à temperatura de ebulição do solvente).

Apesar dos processos que utilizam solventes apolares como o hexano apresentarem rendimento superior a 95%, a probabilidade de explosão e incêndio em plantas comerciais de extração de óleos com solventes orgânicos requer cuidados especiais na sua manipulação uma vez que, em sua maioria, são líquidos de alta volatilidade e inflamabilidade (ROSENTHAL et al., 1996). Atualmente, não é mais permitida a construção de novas plantas de extração de óleos com uso de n-hexano.

A busca de novas tecnologias para substituir o hexano envolve o estudo de viabilidade técnica e econômica. O álcool etílico é derivado de uma fonte renovável e considerado um solvente mais limpo para o meio ambiente podendo representar uma alternativa economicamente praticável em países onde sua disponibilidade o torna menos caro que o hexano. O uso do álcool etílico como auxiliar na extração de óleo foi estudado para os óleos de café e girassol em escala de laboratório e para o óleo de soja em escala piloto. Estes estudos mostraram, no entanto, que a baixa solubilidade do óleo vegetal no álcool etílico comercial representa um fator limitante para sua utilização (FREITAS & LAGO, 2007).

4.2.4. Extração Enzimática

Uma tecnologia mais moderna para a extração de óleos vegetais propõe o uso de enzimas para auxiliar no rompimento da parede celular que envolve o óleo. Este processo é utilizado em combinação com outros processos de extração. Os processos industriais de extração de óleo que utilizam enzimas, em geral, causam baixo impacto ambiental, reduzem o consumo de energia e aumentam a qualidade do produto final. O uso de enzimas na extração de óleos vegetais foi pesquisado intensamente nas últimas décadas e foi aplicado para todas as oleaginosas de interesse comercial. O tratamento enzimático tem se mostrado eficiente na degradação das paredes dos tecidos vegetais, propiciando maior rendimento na extração de óleos, melhoria na qualidade nutricional da torta e aumento na estabilidade do produto final (FREITAS *et al.*, 1996; SANTOS & FERRARI, 2005).

O custo das enzimas é um fator negativo associado aos processos de extração enzimática. O uso de enzimas hidrolíticas na extração de óleos vegetais em escala comercial está restrito à obtenção do óleo de oliva visto que o valor comercial deste produto justifica os custos operacionais com catalisadores enzimáticos. O custo elevado das enzimas se deve ao monopólio exercido na sua comercialização. Várias pesquisas estão sendo desenvolvidas e aperfeiçoadas no Brasil com o objetivo de viabilizar o uso da tecnologia enzimática em diversos setores da indústria (COURI & FREITAS, 2003).

4.3. Extração do Óleo da Macaúba

O fruto da macaúba é despolpado industrialmente e separado em polpa e castanha para posterior prensagem. O diagrama simplificado do processo está apresentado na Figura 4.3. Ainda são poucas e pequenas as indústrias que realizam este procedimento.

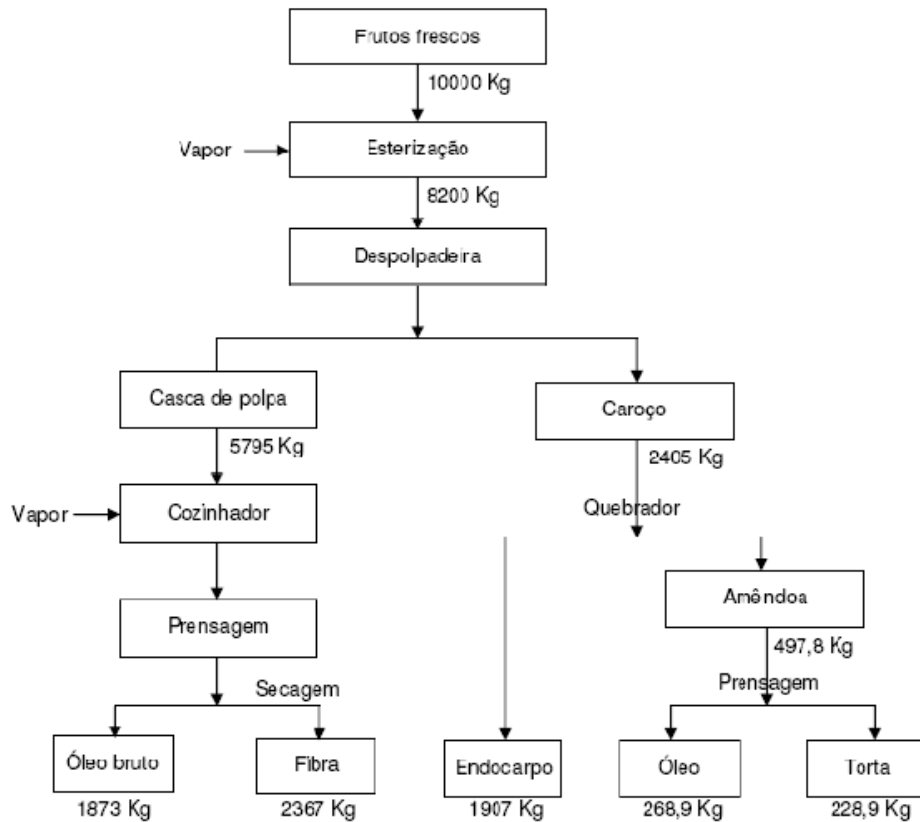


Figura 4.3 – Diagrama simplificado e balanço de massa do processamento da macaúba em escala industrial. Fonte: CETEC (1983).

4.4. Refino do Óleo Bruto

O óleo vegetal bruto em geral contém impurezas como ácidos graxos livres e outros compostos de degradação prejudiciais à qualidade e estabilidade do produto. Para comercialização é necessário remover estas impurezas, pelos processos de refino que envolve as seguintes etapas principais: degomagem, branqueamento, desacidificação e desodorização (REDA, 2004).

O refino do óleo pode ser químico ou físico, sendo este último mais simples por não consumir água com as lavagens. A degomagem deve ser feita imediatamente após a extração. Esta etapa tem o objetivo de remover do óleo bruto fosfatídeos (gomas) e substâncias coloidais e produzir óleos crus capazes de serem refinados, por via química ou física.

A desacidificação tem como objetivo a retirada dos ácidos graxos livres. Se o refino for químico, a retirada dos ácidos graxos livres é feita através da neutralização do óleo em solução alcalina (soda cáustica), seguida de lavagem e secagem. Se for refino físico, a retirada dos mesmos será feita através da destilação ou desodorização. A adição da solução aquosa de álcalis elimina não somente os ácidos graxos livres como também outros componentes indesejáveis, tais como: ácidos oxidados, fosfolipídios, produtos da decomposição de glicídios na forma de sais de sódio, ou simplesmente sabões (borra de refino).

A finalidade do processo de clarificação é diminuir a quantidade de impurezas e substâncias que conferem cor ao óleo. Através desta etapa espera-se manter o padrão de qualidade do produto exigido pelo próprio consumidor. Atualmente, o consumidor prefere óleos vegetais mais claros, e tem a opção de escolha, quando o compara através da sua forma exposta nas embalagens transparentes.

A etapa desodorização é muitas vezes definida como processo de destilação a vapor a alta temperatura e alto vácuo e é responsável por remover compostos com sabor e odor indesejáveis com intuito de se produzir óleos mais brandos, reduzir o conteúdo de ácidos graxos livres a valores mínimos, eliminar compostos resultantes da oxidação lipídica, melhorar a cor pela destruição de certos pigmentos termosensíveis e, finalmente aumentar a estabilidade do óleo.

5. Estudo Mercadológico

5.1. Introdução

Nos últimos anos, o mercado mundial de óleos vegetais tem se caracterizado pelo crescimento mais acentuado na demanda que na oferta. Os óleos de palma, soja e colza representam cerca de 77% da produção mundial de óleos vegetais. Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2008) a produção mundial destes óleos aumentou cerca de 36% no período de 2002 a 2007. O maior crescimento foi registrado para o óleo de palma (41%). Em 2008 o consumo de óleos vegetais registrou uma expansão de 4,2%, alcançando cerca 127 milhões de toneladas, contrastando com um acréscimo de apenas 2,8% na oferta, de aproximadamente 136 milhões de toneladas (OIL WORLD, 2008).

Segundo USDA (2008) o consumo mundial de óleos vegetais, derivados da soja e de outras plantas, registrará expansão recorde de 27% até 2010 devido à demanda por parte dos setores de alimentos e biocombustíveis. A produção de alimentos responderá por 13 milhões de toneladas desse aumento enquanto os biocombustíveis gerarão um acréscimo de 12 milhões de toneladas. O perfil atual do mercado de óleos vegetais é pouco conhecido no Brasil. Existem centenas de plantas oleaginosas/oleíferas como a macaúba disponíveis para plantio, entretanto a produção comercial para uso alimentício e industrial está concentrada nas seguintes culturas: soja, algodão, amendoim, girassol, colza (canola), gergelim, milho, oliva dendê + palmiste e copra (coco) (FURLAN, 2006). O único óleo vegetal produzido em larga escala no Brasil é o óleo de soja, entretanto a produção deste é praticamente toda absorvida no mercado interno.

O Brasil é um país rico em oleaginosas, porém restringe as suas culturas para fins alimentícios. Existe um grande potencial a ser explorado, tanto em relação ao aproveitamento das culturas temporárias e perenes como também a utilização de subprodutos, tais como o óleo residual usado na fritura de alimentos.

Por se tratar de fonte de energia renovável, os óleos vegetais têm sido largamente investigados como candidatos a programas de energia renovável, pois proporcionam uma geração descentralizada de energia e um apoio à agricultura familiar, criando melhores condições de vida (infra-estrutura) em regiões carentes, valorizando potencialidades regionais e oferecendo alternativas a problemas econômicos e sócio-ambientais de difícil solução.

O governo federal também vem propondo que seja explorada a peculiaridade de cada região do país, a fim de diversificar as fontes de óleos vegetais, para o Brasil não ficar dependente dos cultivos mais comuns como o de soja e o de mamona. Neste contexto se insere a exploração da polpa de macaúba para fins energéticos e conseqüentemente dispõe a castanha de macaúba para outros fins, tais como cosmético, alimentício, para biopolímeros e biocombustíveis. Ainda recentemente, o governo autorizou a produção de biodiesel a partir do óleo obtido da polpa de macaúba. Com isso, a quantidade de castanha disponível para outros usos aumentará ainda mais (PORTAL DO BIODIESEL, 2010).

Além disso, a macaúba é considerada a nova aposta de especialistas e pesquisadores do setor de energia para alavancar a produção de biodiesel no país. Investimentos em pesquisas, conquistas científicas e plantações comerciais patrocinadas por capital estrangeiro começam a se instalar no Brasil. Em Lima Duarte, na Zona da Mata mineira, foi feita uma parceria entre investidores europeus e a Universidade Federal de Viçosa (UFV), com o objetivo de criar um complexo agroindustrial para a produção de óleo vegetal e coprodutos, tendo como matéria-prima principal a macaúba, com capacidade de processar 700 mil toneladas de óleo por ano. A grande vantagem da macaúba é que a mesma tem o potencial de produzir pelo menos outros cinco produtos, entre eles dois tipos de óleo, dois tipos de torta utilizada para ração animal e o carvão do endocarpo (PORTAL DO BIODIESEL, 2010).

Vale ressaltar que, diferentemente da soja e do milho, a macaúba não é utilizada para fins alimentícios, assim não há competição ou aumento de preços.

5.2. Oleoquímica

Atualmente, as crescentes demandas para o setor químico são frutos do aumento da população mundial e do crescimento econômico de países em desenvolvimento, como China, Índia e Brasil. Neste cenário, marcado pelo inevitável declínio da disponibilidade de matérias-primas fósseis e pelas preocupações ambientais relacionadas com os processos produtivos baseados em recursos tradicionais, há um interesse marcante na pesquisa e desenvolvimento de alternativas sustentáveis (TEIXEIRA, 2006).

A utilização de matérias-primas renováveis constitui uma das muitas abordagens para promover a sustentabilidade. A produção anual de biomassa é estimada em 170 bilhões de toneladas e, desse total, apenas 6 bilhões de toneladas (3,5%) são utilizados na forma de madeira, grãos e alimentos. O restante compõe um enorme estoque de origem renovável, que pode ser utilizado na produção de combustíveis e insumos para a indústria química (TEIXEIRA, 2006).

Os óleos e as gorduras de origem vegetal representam uma considerável fração da biomassa que é utilizada atualmente pelas indústrias químicas. Estes insumos fornecem um grande número de possibilidades de aplicações e fazem parte da composição de muitos produtos com alto valor agregado (TEIXEIRA, 2006).

Apesar do amplo uso, ainda há muito espaço para a exploração do potencial destes insumos renováveis. Colaborações interdisciplinares, envolvendo química, bioquímica, biotecnologia e engenharia, bem como a aplicação dos princípios da química sustentável, levarão os óleos, gorduras e outros derivados da biomassa à posição de substituir satisfatoriamente os similares petroquímicos (TEIXEIRA, 2006).

A maior aplicação dos oleoquímicos sintéticos, provenientes de matérias-primas fósseis, é na obtenção de combustíveis (gasolina, óleo diesel, etc), entretanto, cerca de 10% são utilizados como matéria-prima para inúmeros processos industriais. A Figura 5.1 apresenta alguns dos diversos produtos da indústria oleoquímica. Observa-se que produtos obtidos tradicionalmente a partir de fontes não renováveis também podem ser obtidos a partir de fontes renováveis.

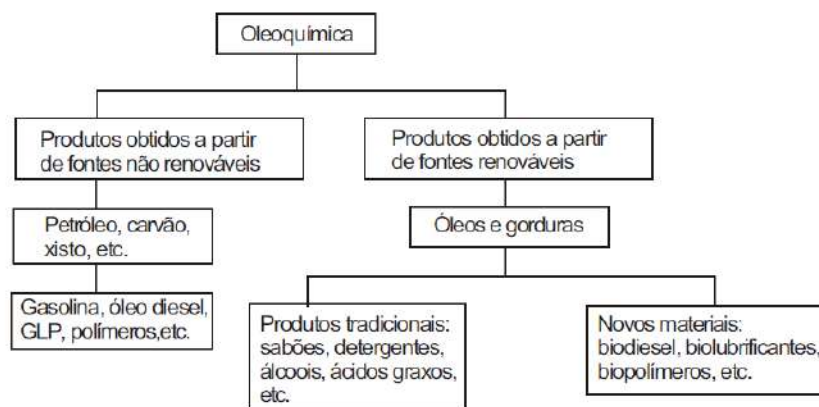


Figura 5.1 - Produtos da indústria oleoquímica.

Fonte: METZER (2001).

Do ponto de vista químico, os óleos e gorduras, triglicerídeos de ácidos graxos ou triésteres do glicerol, podem ser convertidos em produtos de elevado valor agregado tais como combustíveis (biodiesel), lubrificantes, solventes, adesivos, surfactantes, agroquímicos, entre outros produtos (METZGER, 2001).

5.2.1. Potencial para Produção de Biodiesel

Segundo o estudo de COSTA NETO *et al.* (2000), o biodiesel constitui um excelente combustível alternativo e sucedâneo do óleo diesel, cujo ingresso no mercado é considerado um fato irreversível na Europa, nos Estados Unidos e Austrália; os incentivos propiciados pela taxa de emissão de gás carbônico, prática já considerada como definitiva, deverão favorecer a implementação de programas de produção de energias limpas, como o biodiesel; a tendência de alta nos preços do petróleo é uma preocupação permanente, especialmente quando se leva em conta a escassez, fato que deverá favorecer o crescimento da produção mundial de biodiesel e de outras modalidades energéticas alternativas; a questão do efeito estufa, provocado pelas emissões atmosféricas de gás carbono, deverá moderar o uso dos combustíveis de petróleo, favorecendo o uso dos combustíveis e biomassa, onde se contempla, em condições de excelência, o biodiesel.

O biodiesel é um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto, constituído da mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos. O biodiesel pode ser obtido a partir da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo comum com álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, respectivamente, na presença de um catalisador. A reação de transesterificação é a etapa da conversão, propriamente do óleo, em ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, que constitui o biodiesel (PARENTE, 2003).

Alguns trabalhos na literatura evidenciam que o óleo extraído da macaúba tem potencial para a produção de biodiesel. A partir do resultado da análise dos frutos de macaúba realizado por Hiane *et al.* (2005) e Miyagusku & Hiane (1993) obteve-se que as concentrações de lipídeos totais da polpa e da amêndoa foram de 16,50 e 42,10 %, respectivamente.

O rendimento por hectare de biodiesel para a macaúba é bastante elevado, comparado a outros cultivos tradicionais, como o da soja, mamona, abacate, amendoim e girassol, conforme citação de Astúrias (2004). O potencial da macaúba é de 4200 L/Ha, o qual só é superado pelo dendê que é de 5550 L/Ha.

Contudo, mesmo tendo potencial para produção de biodiesel, o óleo da castanha de macaúba é considerado muito nobre para este fim, pois possui baixa acidez, sendo assim estável, podendo, portanto, ser utilizado para fins de maior valor agregado, como biolubrificantes por exemplo.

5.2.2. Potencial para Produção de Biolubrificantes

O potencial poluidor do óleo mineral é preocupante. Apenas 1 litro de óleo mineral é capaz de tornar impróprio para o consumo 1 milhão de litros de água. Ainda, cerca de 50% dos lubrificantes utilizados no mercado mundial são reciclados, o restante, que representa milhões de toneladas, é irreversivelmente liberado no meio ambiente. Uma das soluções para modificar esta situação é a substituição dos óleos minerais por lubrificantes biodegradáveis. Desse modo a matriz energética verde vem se difundindo a passos largos, diversificando seu leque de alternativas de uso de lubrificantes não poluentes. Os biolubrificantes são desenvolvidos tendo como base óleos vegetais ou ésteres sintéticos. As vantagens do uso desses biolubrificantes são muitas: elevada biodegradabilidade; reduzida toxicidade (não sendo tóxico para o ser humano, nem para o ambiente); boas propriedades de lubrificação; prevenção do risco de poluição do ambiente; baixa volatilidade; alto ponto de fulgor; alto poder de solvência para aditivos; propriedades anti-corrosivas. O uso desses produtos lubrificantes biodegradáveis ainda se encontra restrito a algumas aplicações devido ao custo mais elevado, porém a tendência é ampliar esse mercado. Um biolubrificante significa um lubrificante que é biodegradável. Por sua vez, uma substância ser biodegradável significa que a mesma tem a capacidade comprovada de ser decomposta, em um intervalo de até 1 ano, através de processos biológicos naturais em terra carbonácea, água ou dióxido de carbono. Em termos gerais, biodegradabilidade significa a tendência de um lubrificante ser metabolizado por microorganismos em até 1 ano. Quando ela é completa, significa que o lubrificante retornou essencialmente à natureza e quando é dita parcial, indica que um ou mais componentes do lubrificante não é degradável (SILVA, 2006).

Alguns dos lubrificantes rapidamente biodegradáveis são baseados em óleos vegetais puros, não modificados que apresentam uma biodegradabilidade em torno de 99%. Na Europa predominam os óleos de girassol e de canola que são ésteres de glicerina e ácidos graxos de cadeia longa. Triglicerídeos naturais são rapidamente biodegradáveis e bastante eficientes como lubrificantes. Uma vantagem do óleo da castanha da macaúba é sua estabilidade térmica, hidrolítica e oxidativa, o que não é frequente entre os óleos vegetais. A razão da estabilidade térmica e oxidativa deste óleo é sua alta concentração de ácidos graxos saturados, principalmente de ácido láurico. A menor quantidade de insaturações nos ácidos graxos do óleo da castanha da macaúba confere uma maior estabilidade.

Embora apenas cerca de 1% de todo o petróleo consumido seja usado na formulação de lubrificantes, grande parte desses produtos é jogada ao meio ambiente sem nenhum tratamento e essa preocupação tem motivado o desenvolvimento de lubrificantes biodegradáveis. Dominar essa tecnologia é de grande importância para o país, especialmente para a conquista de mercados externos, cada vez mais exigindo produtos compatíveis com o meio ambiente.

5.2.3. Potencial para Produção de Biopolímeros

Os biopolímeros são materiais poliméricos classificados estruturalmente como polissacarídeos, poliésteres ou poliamidas. A matéria-prima principal para sua manufatura é uma fonte de carbono renovável, geralmente um carboidrato derivado de plantas comerciais de larga escala como cana-de-açúcar, milho, batata, trigo e beterraba ou um óleo vegetal extraído de uma planta oleaginosa. Dentre as classes de biopolímeros os de maior importância são os seguintes: polilactato (PLA), polihidroxialcanoato (PHA), polímeros de amido (PA) e xantana (Xan) (BORGES, 2004).

O polihidroxialcanoato constitui uma ampla família de poliésteres produzidos por bactérias através de biossíntese direta de carboidratos de cana-de-açúcar ou de milho, ou de óleos vegetais. O peso molecular dos PHAs produzidos industrialmente por culturas puras varia entre 1.7×10^5 e 4.5×10^6 . Os PHAs mais comuns são polímeros semicristalinos e seu grau de cristalinidade depende da composição do polímero. Dependendo da composição monomérica, podem ser utilizados na produção de embalagens, itens de descarte rápido, filmes flexíveis e plásticos convencionais. Como os PHAs são biocompatíveis, podem ser usados em aplicações médicas e farmacêuticas (fios de sutura cirúrgica, implantes ósseos, fármacos de liberação lenta, etc.). Na agricultura, os PHAs são usados em produtos de liberação de reguladores de crescimento de plantas ou de pesticidas (BORGES, 2004).

5.3. Ácido Láurico

O ácido láurico constitui de 40 a 50% da composição de ácidos graxos dos triacilgliceróis de certas palmeiras como a macaúba, babaçu e coco. Embora estes lipídeos provenham de espécies diferentes, os seus triglicerídeos são conhecidos indistintivamente por óleos ou gorduras de coco do grupo que fornecem ácido láurico (RODRIGUES, 2007).

O ácido láurico possui estrutura que favorece um equilíbrio de ação hidrofílica-lipofílica apropriado para o uso na indústria de detergentes. Os óleos ou gorduras do grupo contendo acila do ácido láurico se caracterizam também por apresentarem índice de saponificação superior de 240 a 250, já que os valores destes índices são inversamente proporcionais, médias das massas dos seus triglicerídeos (RODRIGUES, 2007).

5.3.1. Utilização em Cosméticos

A reação do ácido láurico com o óxido de etileno forma o éter etoxilado, o qual é seguidamente sulfatado formando assim o lauril éter sulfato de sódio. O lauril éter sulfato de sódio é considerado um tensoativo aniônico dos mais empregados na Indústria Cosmética e Farmacêutica pelas suas propriedades e versatilidade. Possui alto poder de detergência, espuma e limpeza, sendo amplamente utilizado nas formulações cosméticas de shampoos de todos os tipos e formas, sabonetes líquidos, creme de barbear e etc.

5.3.2. Produção de Gordura Vegetal Sólida

O óleo da castanha da macaúba, assim como o óleo de coco, é rico em ácidos graxos saturados, ácidos de cadeia média, portanto de fácil metabolização e baixa capacidade de oxidação, tanto no ambiente quanto no organismo. O óleo tem a propriedade de aumentar a fração HDL do colesterol. Além disso, leva à normalização dos lipídeos corporais, protege o fígado dos efeitos do álcool e aumenta a resposta imunológica contra diversos microrganismos (BONTEMPO, 2008). Portanto, pode vir a ser um substituto da gordura hidrogenada na indústria alimentícia. Com isso, passa a ser um ingrediente para a produção de inúmeros alimentos, como margarinas, biscoitos, sorvetes, etc (BAILEY, 1995).

5.4. Ácido Oléico

O ácido oléico é um dos ácidos graxos mais amplamente distribuídos na natureza, sendo encontrado praticamente em todos os óleos e gorduras. Por possuir um grupo funcional COOH, é considerado um ácido carboxílico. O ácido oléico é um ácido graxo de cadeia longa possuindo 18 carbonos na sua estrutura. O ácido oléico, quando purificado e bi-destilado, apresenta-se na forma líquida a temperatura ambiente, sendo um líquido de cor incolor a levemente amarelado. Se solidifica com o abaixamento da temperatura, se tornando sólido na temperatura de 14° - 16° C (REDA, 2004).

5.4.1 Utilização em Cosméticos

O ácido oléico pelas suas propriedades emolientes é muito utilizado como aditivo em base de sabões e sabonetes, para dar lubricidade e emoliência. É muito empregado em cremes e emulsões cosméticas para recompor a oleosidade em peles ressecadas.

5.4.2. Benefícios para a Saúde

O ácido oléico é um ácido graxo essencial (Ômega 9), o qual participa do nosso metabolismo, desempenhando um papel fundamental na síntese dos hormônios. Estudos mostram que o consumo de dietas ricas em gorduras monoinsaturadas (ácido oléico), em substituição de gorduras saturadas, exerce seletivos efeitos fisiológicos sobre humanos, reduzindo os níveis de colesterol total, de triglicérides e de LDL-colesterol, sem alterar a fração HDL-colesterol do plasma (REBOLLO *et al.*, 1998; TURATTI *et al.*, 2002). Outra informação importante, observada com o consumo de dietas ricas em ácido oléico, foi a redução dos níveis de fibrinogênio do plasma, visto que essa fração reconhecidamente atua no desenvolvimento de lesões das artérias, servindo como prognóstico de doenças coronárias (REBOLLO *et al.*, 1998).

6. Materiais e Métodos

6.1. Introdução

Este capítulo descreve a metodologia experimental dos processos de extração do óleo da castanha da macaúba e os métodos analíticos utilizados para sua caracterização.

6.2. Matéria-Prima

Para a realização do estudo utilizou-se como matéria-prima a castanha de macaúba procedente de Jaboticatubas, Minas Gerais, cuja latitude é $-19^{\circ} 30' 49''$ e longitude é $43^{\circ} 44' 42''$ (Fonte: CPTEC – INPE). Os cachos foram tirados inteiros do pé. Os frutos foram colhidos nos dias 25 e 26 de janeiro de 2010. A foto da palmeira pode ser visualizada na Figura 6.1 e a foto da castanha da macaúba na Figura 6.2.



Figura 6.1 - Cachos na palmeira.



Figura 6.2 - Castanha da Macaúba.

6.3. Pré-Tratamento

Os cachos foram retirados inteiros da palmeira e levados para a fábrica de Jaboticatubas, onde foram cortados. Os frutos passaram por tratamento térmico com vapor d'água por 30 minutos e em seguida foram despulpados. Após o despulpamento as castanhas foram quebradas e separadas por densidade tendo como auxiliar argila branca. Para inativar qualquer tipo de crescimento microbiológico, a castanha foi autoclavada por 15 minutos a 1 atm, resfriada, embalada em sacos plásticos e mantida em geladeira. A Figura 6.3 ilustra o processo de pré-tratamento realizado, e a Figura 6.4 mostra a autoclave utilizada na esterilização das castanhas.



Figura 6.3 - Diagrama de blocos do pré-tratamento da castanha da macaúba.



Figura 6.4 - Autoclave.

6.4. Caracterização da Matéria-Prima

6.4.1. Umidade da Castanha

A umidade corresponde à perda em peso do produto quando aquecido em condições nas quais a água é completamente removida. É uma das análises mais importantes em alimentos e tem relação direta com a qualidade.

A determinação da umidade das amostras da castanha de macaúba foi realizada com a amêndoa triturada, utilizando porções de 3g de amostra em triplicata, segundo as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (ADOLFO LUTZ, 1985) à temperatura de 105°C por três horas em estufa com circulação forçada de ar (Figura 6.5).

Cálculo:

$$X = \frac{(Mi - Mf)}{Mi} * 100$$

onde:

X é umidade em %

Mi é a massa inicial, em g

Mf é a massa final, em g



Figura 6.5 - Estufa de secagem por convecção forçada.

6.4.2. Determinação de Lipídeos Totais:

A determinação de lipídeos em alimentos é feita, na maioria dos casos, pela extração com solvente (éter de petróleo ou n-hexano) seguida da remoção, por evaporação ou destilação, do solvente empregado. A técnica baseia-se na extração pelo contato solvente-amostra, com posterior evaporação do solvente utilizado. O produto obtido, constituído por todos os compostos que nas condições da determinação possam ser extraídos pelo solvente, é também denominado extrato etéreo.

A extração, utilizando éter de petróleo, foi feita em aparelho extrator de gordura (*Soxhlet*, Figura 6.6) de acordo com metodologia padrão da AOCS descrita pelo Instituto ADOLFO LUTZ (1985). A castanha de macaúba foi triturada e seca a 60 °C até peso constante. Foram utilizadas 3g de amostra em cada filtro de celulose, em extração contínua por 6 horas. O excesso de éter de petróleo foi evaporado a frio em capela de exaustão e seco em dessecador com sílica gel. O teor de óleo foi quantificado pelo método gravimétrico.



Figura 6.6 - Aparelho de Soxhlet.

Cálculo:

$$L = \frac{100 \times N}{M}$$

onde:

L = Lipídios totais (% p/p)

N = massa de lipídios (g)

M = massa da amostra (g)

6.5. Processos de Extração do Óleo

O procedimento para extração do óleo de macaúba foi realizado por três métodos distintos: prensagem a quente, prensagem a frio e extração com etanol.

6.5.1. Prensagem a Frio

Uma massa de 500g de castanha de macaúba foi esmagada em prensa hidráulica contínua do tipo rosca sem fim (expeller), da marca IBG Monforts, modelo CA 59 O, utilizando o parafuso de número 6, à temperatura ambiente ($23 \pm 2^\circ\text{C}$). A prensagem resultou no óleo bruto e na torta, como mostra a Figura 6.7.

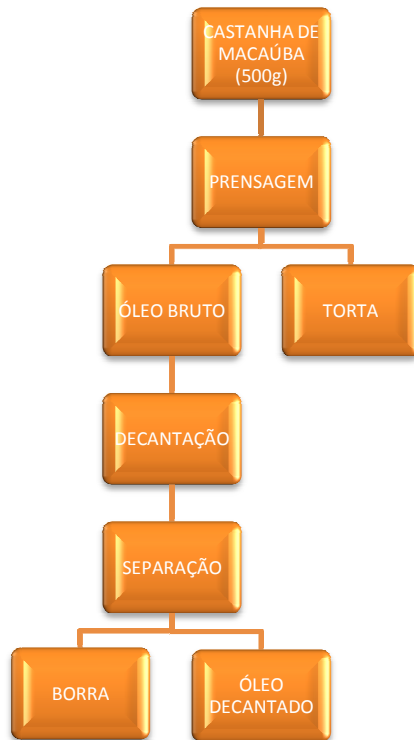


Figura 6.7 - Diagrama de blocos representativo do processo de obtenção do óleo da castanha da macaúba por prensagem contínua.

O óleo obtido foi decantado e separado para remoção da borra, pesado, para cálculo de rendimento, e armazenado em vidro âmbar sob refrigeração para as análises posteriores. A torta foi armazenada sob refrigeração para posterior quantificação de óleo residual. Uma foto com a prensa utilizada encontra-se na Figura 6.8.



Figura 6.8 - Prensa Contínua.

6.5.2. Prensagem a Quente

Foi realizado o mesmo procedimento descrito acima com aplicação de calor ($50 \pm 2^\circ\text{C}$) através do uso de uma resistência elétrica externa. Uma foto da resistência utilizada encontra-se na Figura 6.9.



Figura 6.9 - Prensa contínua com uso de resistência para aquecimento.

6.5.3. Extração com Etanol

Visando aumentar o transporte de massa, a castanha foi moída em um triturador antes da etapa de extração com solvente. O processo de extração com álcool etílico absoluto P.A. ACS (Etanol) foi conduzido na proporção 4:1 solvente/carga (v/p) em banho termostaticado, sob agitação de 200 rpm, a 65°C por 1 hora. A mistura foi filtrada a vácuo, através de papel de filtro, com auxílio de um funil de Buchner e um kitassato de modo a separar a micela (mistura de etanol e óleo) da torta desengordurada. O óleo foi separado por decantação a frio e o etanol foi retirado através de evaporação à temperatura ambiente. Todas as correntes foram pesadas em balança analítica com quatro casas decimais. Um diagrama simplificado descrevendo o procedimento realizado encontra-se na Figura 6.10.



Figura 6.10 - Diagrama de blocos contendo as principais etapas de obtenção do óleo da castanha da macaúba com etanol.

As Figuras 6.11 e 6.12 ilustram os procedimentos experimentais adotados para a extração com etanol.



Figura 6.11 - Amostras no banho termostático com sistema de agitação.



Figura 6.12 - Sistema para filtração a vácuo.

Rendimento dos Processos de Extração

O rendimento foi calculado pela relação entre a massa de óleo extraída e a massa de amostra utilizada no processo:

$$R (\%) = \frac{M_0}{M_i} \times 100$$

onde:

R (%) = rendimento da extração (p/p)

M₀ = massa de óleo obtido (g)

M_i = massa inicial de castanha (g)

Este cálculo é importante para a determinação da quantidade de óleo obtido em relação à massa inicial de amostra.

Eficiência dos Processos

A eficiência foi definida pela relação entre o rendimento alcançado por um determinado método e o teor de lipídeos totais obtidos no extrator de gordura (*soxhlet*), assumindo-se que este procedimento remove 100% dos lipídeos da amostra. Portanto, a eficiência de cada método foi avaliada segundo a equação:

$$Y (\%) = \frac{M}{M_0} \times 100$$

onde:

Y (%) = eficiência da extração

M = rendimento de um determinado método de extração

M₀ = rendimento da extração por aparelho de soxhlet.

6.6. Características Físicas e Químicas do Óleo

6.6.1. Determinação da Viscosidade

A viscosidade é a propriedade dos fluidos que mede a resistência ao transporte microscópico de quantidade de movimento por difusão molecular. Quanto maior a viscosidade menor a velocidade em que o fluido escoar, se mantida a mesma força de cisalhamento. Na indústria, o conhecimento da viscosidade se faz necessário para o projeto e dimensionamento de equipamentos e processos que envolvam transferência de massa e calor (INCROPERA, 2006).

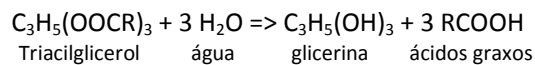
A viscosidade do óleo de macaúba foi avaliada a 20, 30, 40 e 50°C em reômetro de placas, da marca Brookfield, modelo DV-III ULTRA, segundo a metodologia descrita no manual do aparelho. Uma foto do reômetro utilizado está apresentada na Figura 6.13.



Figura 6.13 - Reômetro de placas utilizado na análise de viscosidade.

6.6.2. Determinação do Índice de Acidez

Os óleos e gorduras são constituídos, principalmente, de triacilgliceróis que são produtos de reação de esterificação de um mol de glicerina com três moles de ácidos graxos. A presença de ácidos graxos livres (AGL) nos óleos e gorduras pode ocorrer, entre outros mecanismos, devido à hidrólise de alguns triacilgliceróis e se obtém pela seguinte reação (SOLOMONS, 2009):



O maior ou menor grau de acidez de um óleo ou gordura está relacionado com diversos fatores tais como: grau de maturidade do fruto, tratamento pós-colheita e condições de processamento. O índice de acidez revela o estado de conservação do óleo. No caso de óleos ou gorduras refinados a acidez aceitável pela legislação brasileira é no máximo 0,3% (expresso em ácido oléico).

O índice de acidez é definido como o número de mg de hidróxido de potássio necessário para neutralizar os ácidos graxos livres presentes em 1g de amostra. A acidez pode ser expressa também em mL de solução normal por cento (v/p) ou em porcentagem de ácido oléico (p/p).

Para determinação do índice de acidez foi seguida a metodologia padrão da AOCS (2004), utilizando-se 2 g de amostra.

O índice de acidez expresso em mg KOH/g é calculado por:

$$I.A. \left(\frac{mgKOH}{mg} \right) = \frac{(V_A - V_B) \times f \times 0,561}{P (g)}$$

O índice de acidez expresso em % ácido oléico é calculado pela equação:

$$I.A. (\% \text{ ácido oléico}) = \frac{(V_A - V_B) \times f \times 2,82}{P (g)}$$

onde:

V_A = Volume de NaOH utilizado na titulação da amostra, mL

V_B = Volume de NaOH utilizado na titulação do branco, mL

f = fator de correção da solução de NaOH

P = massa de amostra, em g

6.6.3. Determinação da Composição em Ácidos Graxos

Através da Cromatografia Gasosa pode-se identificar e quantificar os ácidos graxos presentes nos óleos e gorduras. O perfil em ácidos de um óleo ou gordura fornece, com boa margem de segurança, a sua identidade. Tendo em vista que os óleos não são voláteis nas condições de operação do cromatógrafo, faz-se necessário a sua derivatização. A metodologia de derivatização converte os triglicerídeos em ésteres metílicos. Através da comparação dos tempos de retenção, obtidos no cromatograma, de ácidos graxos padrões com àqueles encontrados nos ésteres metílicos, pode-se identificar, com boa precisão, cada ácido graxo presente na amostra (CECCHI, 2009).

A composição em ácidos graxos do óleo de macaúba foi determinada por cromatografia gasosa. Nesta análise, os ésteres metílicos foram preparados de acordo com a metodologia de HARTMAN e LAGO (1973) e analisados em cromatógrafo a gás Varian (CP 3800) equipado com injetor do tipo split/splitless e detector de ionização em chama (CG – FID). Os ésteres foram identificados por comparação com os tempos de retenção dos padrões (Sigma-Aldrich). Uma foto do cromatógrafo utilizado encontra-se na Figura 6.14.



Figura 6.14 - Cromatógrafo a gás.

Condições de análise: temperatura do injetor em 22°C, split 1:20, rampa de temperatura 150°C por um minuto, seguindo para 180°C a 10 °C por minuto, elevando-se finalmente para 230°C a 3°C por minuto, sendo mantida por 15 minutos. Vazão dos gases: 2,5 mL por minuto. Coluna Carbowax Quadrex 30V (30m x 0,53mm x 1.0µm).

6.7. Análise Estatística dos Dados

Todos os ensaios foram realizados em triplicata. Cada tratamento teve seu valor médio calculado. Para comparação de médias foi aplicado o teste de Fisher ($p < 0,05$) usando o software STATISTICA (v. 7.0). A análise estatística dos resultados possibilita uma comparação entre os diversos tipos de processos estudados.

7. Resultados

Neste item serão apresentados e discutidos os resultados experimentais obtidos para extração e caracterização do óleo da castanha da macaúba.

7.1. Umidade da Castanha

A umidade média da amostra da castanha da macaúba foi cerca de 11 %, valor próximo ao encontrado por RODRIGUES (2007) (11,9 %). Este baixo teor de umidade, característico das castanhas e amêndoas, é importante para a maior conservação das mesmas, inibindo crescimento microbiano e diversas reações de degradação. Conforme MIYAHIRA *et al* (2010) a umidade da amêndoa do bacuri foi de 12,0% e no estudo feito por TEIXEIRA (2002) a umidade da amêndoa do babaçu foi de 13,2% , valores próximos ao encontrado neste trabalho (11,0%).

7.2. Lipídeos Totais

O teor de lipídeos totais presente na castanha de macaúba foi de 44,6%, inferior ao valor encontrado no trabalho de HIANE (2005) e CETEC (1983), respectivamente 52,9% e 55,6%. Estas diferenças ocorrem naturalmente entre matérias-primas de origem vegetal e podem ser explicadas por fatores climáticos, tipo de solo, cultivo, etc. Ainda assim, é alto o teor de óleo encontrado nesta castanha, tornando a macaúba um fruto com muito potencial para uso em diversos setores industriais.

De maneira geral as palmáceas apresentam amêndoas com elevados teores de lipídeo como a amêndoa do bacuri (53,7%) e a do babaçu (60%) (MACHADO *et al*, 2006), valores um pouco superiores ao encontrado para a castanha da macaúba. Entretanto, a castanha da macaúba possui um teor de lipídeos superior ao de outras matérias-primas convencionais cujo óleo é explorado em diversos setores da indústria de transformação como a soja, com 17 a 20% de óleo.

7.3. Rendimento e Eficiência dos Processos de Extração

A Figura 7.1 apresenta um gráfico comparativo dos rendimentos máximos alcançados a partir dos diferentes métodos de extração conduzidos neste trabalho, bem como suas eficiências.

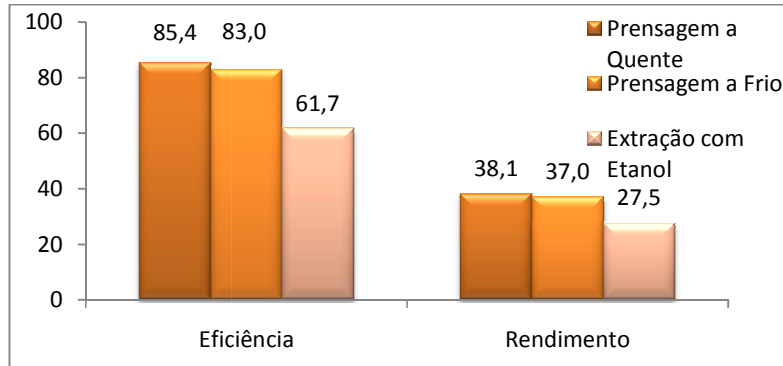


Figura 7.1 - Rendimento e eficiência dos processos de extração do óleo da castanha de macaúba.

Os rendimentos máximos alcançados para extração do óleo de macaúba foram 37,0%, 38,1% e 27,5%, respectivamente para os processos de prensagem a frio, prensagem a quente e extração com etanol. Os rendimentos por prensagem foram expressos em teor de óleo decantado, após separação da borra. A diferença na quantidade de óleo extraído quando se elevou a temperatura de prensagem de 23 para 50 °C não foi significativa estatisticamente de acordo com teste de Fisher ($p < 0,05$).

Na Figura 7.2 encontram-se as fotos dos óleos e das tortas das prensagens.



(A)



(B)



(C)

Figura 7.2 - Óleo bruto obtido por prensagem a frio (A), após decantação (B) e as tortas das prensagens a frio e a quente (C).

O rendimento da extração usando etanol como solvente foi inferior ao rendimento obtido por prensagem. Isto ocorre devido à baixa solubilidade do óleo de macaúba (no qual predominam os ácidos graxos saturados) nas condições selecionadas.

Os teores de óleo residual nas tortas obtidas por prensagens a frio e a quente foram de 37,6% e 24,6% (p/p), respectivamente. Como esperado, a torta obtida por prensagem a quente apresentou menor teor de óleo do que a torta obtida por prensagem a frio.

O trabalho de PEREIRA (2009) comparou o rendimento de diferentes tipos de extração do óleo do pinhão-mansão. O rendimento da prensagem foi de 16,7%, inferior aos rendimentos dos processos de extração com hexano (37,5%) e etanol (41,6%). No caso do pinhão-mansão, pode-se observar que a extração por solventes foi mais eficiente do que a extração por prensagem. Isto ocorre devido a sua composição na qual predominam os ácidos graxos insaturados

7.4. Características Físicas e Químicas do Óleo

7.4.1. Viscosidade

A viscosidade dos óleos variou sensivelmente com a temperatura (Figura 7.3). As amostras, em geral, apresentaram uma redução de 70% na sua viscosidade com o aumento da temperatura de 20 para 50°C.

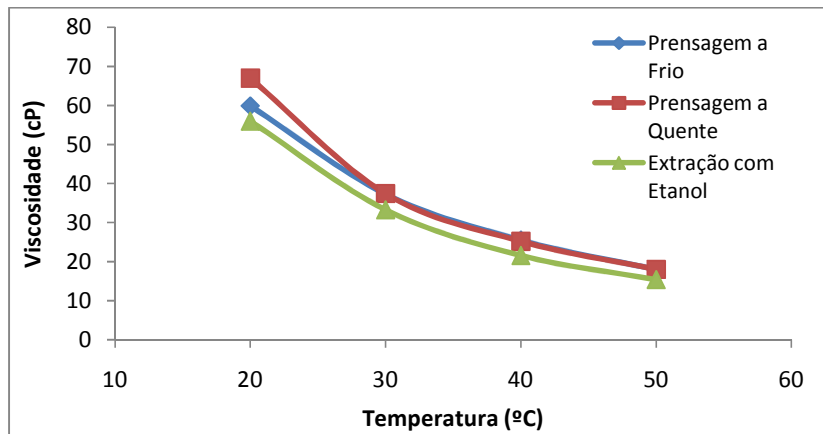


Figura 7.3 - Variação da viscosidade com a temperatura.

A viscosidade do óleo obtido por prensagem a quente apresentou maior viscosidade a 20°C que o óleo obtido por prensagem a frio (Tabela 7.1). Porém, com o aumento da temperatura as viscosidades apresentaram valores semelhantes. Isto ocorre, provavelmente, devido a uma maior quantidade de ceras extraída por prensagem a quente. Com o aumento da temperatura, estas ceras se fundem reduzindo sua influência na viscosidade da amostra.

Tabela 7.1 - Viscosidades dos óleos obtidos pelos três processos de extração.

T(°C)	Viscosidade (cP)		
	Prensagem a Frio	Prensagem a Quente	Extração com Etanol
20	59,9 ^a	67,0 ^b	56,0 ^c
30	37,3 ^a	37,4 ^a	33,3 ^b
40	25,5 ^a	25,2 ^a	21,6 ^c
50	18,0 ^a	18,0 ^a	15,4 ^b

Desvio padrão: $0 \leq \sigma \leq 0,65$.

Letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste de Fischer com $p < 0,05$.

O óleo obtido com etanol apresentou menor viscosidade, em todas as temperaturas, quando comparado às outras amostras. Isto se deve ao fato de que o óleo obtido através de extração com etanol apresenta maior proporção de ácidos graxos insaturados que as demais, o que pode diminuir a viscosidade do mesmo.

Dados do CETEC (1983) mostram que a viscosidade do óleo da castanha da macaúba a 37,8°C é de 32,3 cP, valor um pouco acima da viscosidade encontrada no presente estudo, para uma temperatura semelhante (25,5 cP para a prensagem a frio a 40°C). Os valores de viscosidade reportados por URIOSTE (2004) para óleos vegetais de composição química similar como babaçu e palmiste foram 27,7 cP e 33,6 cP (a 37,8°C), respectivamente. Estes resultados indicam que o óleo da castanha da macaúba tem fluidez muito próxima do óleo de babaçu.

A Figura 7.4 compara o efeito da temperatura na viscosidade dos óleos da castanha da macaúba prensada a frio e óleo de soja. A curva obtida apresenta comportamento similar com viscosidade descrita pela equação de Arrhenius. Segundo BROCK (2008), a viscosidade do óleo de soja a 40°C é de 29,5 cP, valor ligeiramente superior ao resultado encontrado para o óleo da castanha da macaúba na mesma temperatura (25,5 cP).

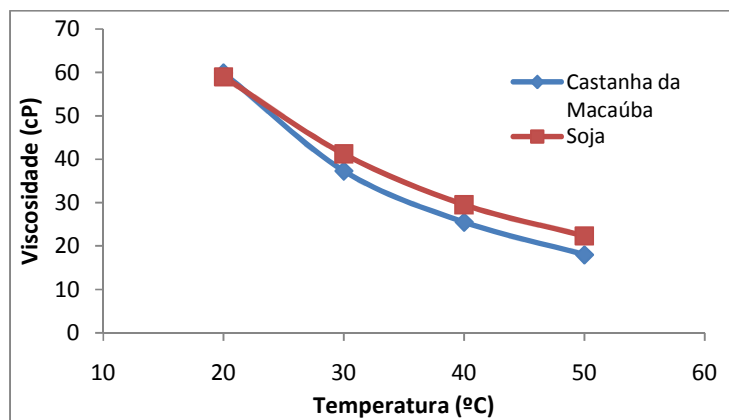


Figura 7.4 – Efeito da temperatura na viscosidade dos óleos de soja e da castanha da macaúba prensada a frio.

Com o aumento da temperatura para 50°C, o óleo da castanha da macaúba (18 cP) apresentou consistência mais fluida que o óleo de soja (22,3 cP).

A viscosidade do óleo ou gordura é muito importante para a logística de transporte e projeto de tubulações. O óleo da castanha da macaúba apresentou baixa viscosidade nas temperaturas próximas a temperatura ambiente, fazendo dela uma matéria-prima de fácil manuseio, transporte e aplicação.

7.4.2. Índice de Acidez

O óleo da castanha de macaúba apresentou um baixo índice de acidez (0,29 – 0,49 % em ácido oléico), independente do tipo de extração (Tabela 7.2). Como esperado, os óleos obtidos por prensagem a quente e extração com etanol apresentaram maior índice de acidez quando comparadas ao óleo obtido por prensagem a frio. Portanto, pode-se afirmar que o índice de acidez varia com o tipo de extração.

Tabela 7.2 - Índice de acidez das amostras analisadas.

Índice de Acidez	Prensagem a Frio	Prensagem a Quente	Extração com Etanol
IA(mgKOH/g)	0,57 ^a	0,85 ^b	0,97 ^c
IA(% ácido oléico)	0,29 ^a	0,43 ^b	0,49 ^c

Desvio padrão: $0,004 \leq \sigma \leq 0,064$.

Letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste de Fischer com $p < 0,05$.

Os resultados encontrados são semelhantes aos descritos em CETEC (1983), onde o índice de acidez, em % de ácido oléico, para o óleo da castanha da macaúba foi de 0,2 a 0,7. De acordo com URIOSTE (2004), o índice de acidez do óleo de babaçu também é baixo (0,95 mgKOH/g), assim como o óleo da castanha da macaúba (0,57 – 0,97 mgKOH/g).

Este baixo índice de acidez pode ser explicado pelo fato da castanha ficar protegida dentro do fruto, o que não acontece com a polpa, que com a queda do fruto no chão, fica exposta a microrganismos e sofre diversas reações de degradação, que acabam por aumentar seu índice de acidez e limitam seu uso. Estes dados da qualidade do óleo da castanha da macaúba mostram que ele é estável, podendo ter aplicações em produtos de alto valor agregado.

7.4.3. Composição em Ácidos Graxos

Os resultados da análise da composição em ácidos graxos do óleo da castanha da macaúba para os diferentes métodos de extração encontram-se na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 - Composição em ácidos graxos do óleo da castanha da macaúba.

Ácidos Graxos	Ácidos Graxos	Prensagem a Frio	Prensagem a Quente	Extração com Etanol	Extração com Éter de Petróleo
Saturados	Saturados				
Ácido Caprílico	C8:0	2,13	0,77	9,24	0,87
Ácido Cáprico	C10:0	3,93	3,45	4,51	3,14
Ácido Láurico	C12:0	49,00	49,83	31,76	46,28
Ácido Mirístico	C14:0	9,54	9,58	9,07	10,36
Ácido Palmítico	C16:0	5,99	6,28	7,00	4,87
Ácido Esteárico	C18:0	2,40	2,46	3,53	2,83
Ácido Araquídico	C20:0	0,15	0,32	1,24	1,12
	Total:	73,13^a	72,69^a	66,35^b	69,46^{ab}
Insaturados	Insaturados				
Ácido Oléico	C18:1	24,25	24,67	30,49	27,62
Ácido Linoléico	C18:2	2,61	2,64	3,16	2,92
	Total	26,87^a	27,31^a	33,65^b	30,54^{ab}

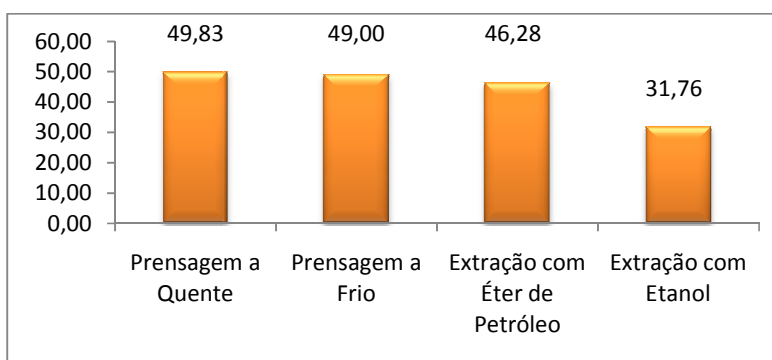
Desvio padrão: $0,003 \leq \sigma \leq 9,305$.

Letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste de Fischer com $p < 0,05$.

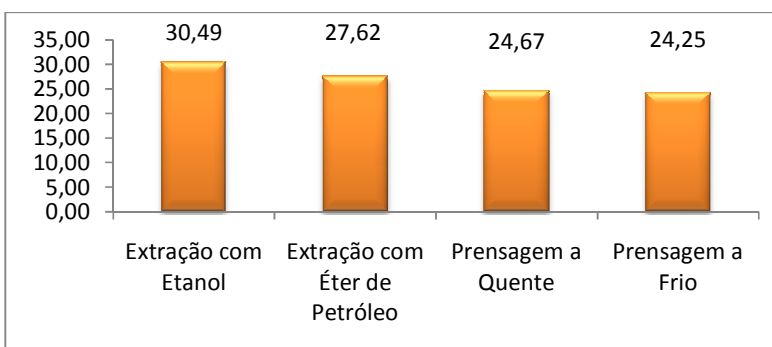
O teor de ácidos graxos saturados do óleo obtido com etanol diferiu estatisticamente dos resultados para ambas as prensagens, não diferindo da amostra obtida com éter de petróleo. Não houve diferença estatística, segundo o teste de Fisher ($p < 0,05$), entre as amostras obtidas por prensagem. O mesmo pode ser afirmado em relação ao teor de ácidos graxos insaturados.

O óleo da castanha da macaúba apresentou cerca de 70% de ácidos graxos saturados, e 30% de ácidos graxos insaturados. Isto confere ao óleo uma alta estabilidade e um alto ponto de fusão.

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que a extração com etanol não foi completa. O teor de ácidos graxos saturados do óleo obtido por este tipo de extração, em especial de ácido láurico (Figura 7.5), foi inferior quando comparado aos demais processos. Pode-se afirmar que nem todo o ácido láurico presente na matéria-prima foi solubilizado pelo etanol.



(A)



(B)

Figura 7.5 - Gráficos comparativos dos teores de ácido láurico (A) e ácido oléico (B) para os diferentes tipos de processo.

Os resultados encontrados são semelhantes aos dados da CETEC (1983). Como citado anteriormente, a proporção de ácidos graxos saturados para o óleo da castanha da macaúba, segundo esta fonte, é de 71,2%, valor próximo ao encontrado em ambos os tipos de extração. Os teores de ácido láurico (43,6%) e oléico (25,5%), também estão semelhantes aos valores encontrado no presente trabalho.

A composição em ácidos graxos do óleo da castanha da macaúba pode ser comparada à composição de outras palmáceas, como a amêndoa de dendê e de babaçu. Segundo CETEC (1983), a proporção de ácidos graxos saturados é de 80,8% para a amêndoa de dendê e 83,3% para o babaçu, correspondendo então à maior parte dos ácidos graxos presentes nestas palmáceas, como na castanha da macaúba (66,35 – 73,13 %). Os teores de ácido láurico também se encontram acima dos 40% para estas palmáceas (46,9% para a amêndoa de dendê e 41,0% para o babaçu), confirmando assim uma característica de óleo láurico, como acontece com a castanha da macaúba (49% para a prensagem a frio). O teor de ácido oléico nestas mesmas palmáceas é um pouco inferior ao valor encontrado para a castanha da macaúba (24,25% para a prensagem a frio), ficando abaixo dos 20% para ambas (18,5% para a amêndoa de dendê e 14,2% para o babaçu).

8. Estudo de Caso - Proposta de Aplicação de Bio-óleo no Setor de Agroenergia

O uso de óleos vegetais em motores de combustão interna remonta ao início da operação satisfatória do próprio motor diesel, em fins do século XIX. Rudolf Diesel projetou em 1896 seu primeiro motor, com eficiência da ordem de 26%; testou-o com petróleo, álcool e, em 1900, com óleos vegetais. Razões de natureza econômica, principalmente o maior custo e menor disponibilidade frente aos derivados de petróleo, levaram ao completo abandono dos óleos vegetais como combustíveis (SCHUCHARDT *et al.*, 1998; COSTA NETO, 2002).

Embora os custos de obtenção dos óleos vegetais tenham desaconselhado o emprego desses combustíveis em motores de combustão interna no Brasil em 1980 (PETROBRÁS/CENPES, 1980), alguns trabalhos demonstraram a viabilidade de se explorar a utilização desses óleos para produção de eletricidade em regiões distantes dos grandes centros populacionais (MOLION, 1994; DI LASCIO *et al.*, 1994).

A diferença de propriedades entre o diesel e os óleos vegetais resulta principalmente da diversidade química entre essas duas substâncias. O diesel é constituído de hidrocarbonetos com número médio de carbonos em torno de 14. Os óleos vegetais são triésteres de glicerina, ou seja, produtos naturais da condensação da glicerina com ácidos graxos, cujas cadeias laterais têm números de carbonos variando entre 10 e 18, com valor médio de 14, para os tipos de óleos mais abundantes. Além da presença do grupamento funcional do tipo éster, os óleos vegetais possuem massa molecular cerca de três vezes maior que o diesel, dependendo da espécie de oleaginosa (COSTA NETO, 2002).

A utilização de óleos vegetais *in natura* como combustível alternativo tem sido alvo de diversos estudos na última década (NAG *et al.*, 1995; PIYAPORN *et al.*, 1996). No Brasil, já foram realizadas pesquisas empregando óleos virgens de polpa de macaúba, pinhão-manso, dendê, indaiá, buriti, pequi, mamona, babaçu, cotieira, tungue e pupunha. No entanto, esses estudos demonstraram a existência de algumas desvantagens no uso direto de óleos virgens: i) ocorrência de excessivos depósitos de carbono no motor; ii) obstrução nos filtros de óleo e bicos injetores; iii) diluição parcial do combustível no lubrificante; iv) durabilidade do motor e v) aumento considerável dos custos de manutenção.

Outros autores KOBMEHL e HEINRICH (1998) e GRASSAN *et al.* (2003) demonstraram que a alta viscosidade e a baixa volatilidade dos óleos vegetais *in natura* podem provocar sérios problemas ao bom funcionamento do motor. Dentre os problemas que aparecem após longos períodos de utilização, destacam-se a formação de depósito de carbono por combustão incompleta, a diminuição da eficiência de lubrificação do óleo pela ocorrência de polimerização (no caso de óleos poli-insaturados) e a atomização ineficiente e/ou entupimento dos sistemas de injeção URIOSTE (2004).

Com o propósito de viabilizar o emprego de óleos vegetais como combustível e reduzir o uso do diesel foi proposto neste trabalho um estudo de uma mistura de diesel e óleo vegetal não refinado da castanha de macaúba. A caracterização reológica do bio-óleo, utilizando diferentes proporções de óleo vegetal/diesel em diferentes temperaturas, foi conduzida de forma análoga ao estudo de ABOLLÉ *et al* (2009).

O estudo de ABOLLÉ *et al* (2009) reporta que para a utilização de óleos vegetais brutos como combustível em motores à diesel é necessário que hajam diversos ajustes das propriedades físicas, principalmente da viscosidade. Dessa forma um modelo empírico é apresentado nesse estudo, a fim de interpolar a viscosidade para as diversas misturas propostas de óleo diesel com óleo vegetal. Esse modelo é ajustado a partir de dados experimentais de viscosidade das misturas, variando a concentração de óleo vegetal na mistura, a temperatura da mistura entre o ponto de turvação e 353 K e a composição em ácidos graxos do óleo. Para isto foram utilizados 6 óleos vegetais diferentes.

A mistura obtida forma um bio-óleo que pode ser usado no setor de agroenergia. É uma proposta simples, voltada para o campo, para uso em máquinas, tratores, etc. As vantagens desse bio-óleo são a redução do uso do diesel, que é um combustível de fonte não renovável, além de ser uma alternativa para formulação de um biocombustível sem o uso de reações nem de catalisadores, como é o caso do biodiesel.

Foram preparadas duas misturas, uma com 50% em massa de óleo vegetal não refinado da castanha de macaúba e 50% em massa de diesel e a outra com 50% em massa do diesel e 25% em massa de óleo da castanha. Essas misturas foram homogenizadas e, a seguir, determinou-se a viscosidade à 20°C, 25°C, 30°C, 35°C e 40°C.

Os resultados das análises de viscosidade das amostras encontram-se na Tabela 8.1:

Tabela 8.1 - Viscosidades das amostras analisadas.

T(°C)	Viscosidade (cP)		
	100% óleo da castanha da macaúba	Óleo : Diesel 1 : 1	Óleo : Diesel 1 : 3
20	59,9	16,1	7,2
25	45,8	13,7	6,4
30	37,3	11,3	5,3
35	29,6	9,6	4,6
40	25,5	8,3	4,0

Desvio padrão: $0 \leq \sigma \leq 0,6$.

A viscosidade do óleo da castanha da macaúba caiu consideravelmente ao serem acrescentadas proporções de diesel (Figura 8.1). Com 50% de diesel, a viscosidade reduziu 73% a 20°C e 67% a 40°C. Já com 75% de diesel, a viscosidade caiu 88% a 20°C e 84% a 40°C.

A viscosidade desejável para o bio-óleo é uma viscosidade próxima a do diesel puro, que é de aproximadamente 1,7 a 3,7 cP a 40°C. Então, pode-se concluir que a produção de bio-óleo a partir de 25% de óleo da castanha da macaúba e 75% de diesel é viável, pois a viscosidade encontrada a 40°C (4,0 cP) é próxima à viscosidade do diesel puro (3,7 cP).

9. Conclusões

Os resultados alcançados permitem concluir que:

- i. Os processos de prensagem a quente e a frio foram eficientes para extração do óleo da castanha da macaúba sendo uma solução potencial para os problemas ambientais causados principalmente pelos solventes tóxicos usados no processamento convencional;
- ii. A prensagem a frio além de reduzir consumo de energia permitiu obter um óleo com qualidade superior (menor índice de acidez) se comparado com os demais processos;
- iii. Os óleos obtidos por prensagem são mais estáveis devido ao maior teor de ácidos graxos saturados se comparados com os óleos obtidos com etanol e éter de petróleo;
- iv. O óleo de macaúba apresentou características físicas e químicas similares a outros óleos largamente utilizadas na oleoquímica o que confirma seu potencial para uso industrial.
- v. A produção de bio-óleo com uma proporção diesel:óleo da castanha da macaúba de 3:1 mostrou-se viável para substituição do diesel convencional, visto que houve uma redução de 84% na viscosidade a 40°C, chegando à uma viscosidade próxima a do diesel puro. Este é mais um meio de economizar combustível de fonte não renovável, através da adição de um percentual de óleo vegetal.

10. Referências Bibliográficas

ABOLLÉ, A. *et al.* **The viscosity of diesel oil and mixtures with straight vegetable oils: Palm, cabbage palm, cotton, groundnut, copra and sunflower.** Biomass and Bioenergy 33, 2009.

ALMEIDA, S.P. **Cerrado: Aproveitamento alimentar.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 188 p., 1998.

AMARAL, F. **Estudo das Características Físico-Químicas dos Óleos da Amêndoa e Polpa da Macaúba [*Acrocomia Aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart].** 52p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Botucatu, SP, 2007.

AQUINO, F. *et al.* **Distribuição Geográfica das Espécies *Acrocomia aculeata* (JACQ.) LODD. EX MART. e *Caryocar brasiliense* CAMBESS. no Bioma Cerrado.** IX Simpósio Nacional Cerrado, 6p., Brasília, DF, 2008.

ASTURIAS, R. **Bioenergía en Centroamérica.** Anais. In: FORO REGIONAL ALIANZA EN ENERGÍA Y AMBIENTE, 3, Antigua, Guatemala, 2004.

BAILEY, A.E.; **Industrial oil and fat products.** New York: Interscience Publisher, INC. 1ª Ed, 735 p. 1995.

BONTEMPO, M. **O poder medicinal do coco e do óleo de coco extravirgem.** Alaúde, 150p. , 2008.

BORGES, C. D. *et al.* **Caracterização de biopolímeros produzidos por *Beijerinckia* sp. 7070 em diferentes tempos de cultivo.** Ciência e Tecnologia de Alimentos vol.24 no.3. Campinas, Julho/Setembro 2004.

BROCK, J. *et al.* **Determinação Experimental da Viscosidade e Condutividade Térmica de Óleos Vegetais.** Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, 28 (3): 564-570, jul.-set. 2008.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos – 2ª Edição,** Editora Unicamp: 105 p., 2009.

CETEC. **Produção de Combustíveis Líquidos a Partir de Óleos Vegetais**: Relatório final do Convênio STI- MIC / CETEC. Vol. 1 e 2. CETEC. Belo Horizont, v. 1/2, 1983.

COSTA NETO, P. R. **Obtenção de ésteres alquílicos (biodiesel) por via enzimática a partir do óleo de soja**. 152p. (Tese de Doutorado) Departamento de Química; Centro de Ciências Físicas e Matemáticas- UFSC, Santa Catarina, 2002.

COURI, C. & FREITAS, S.P. **Aplicação de Enzimas na Extração Aquosa de Óleos Vegetais**. Ciência de Alimentos: Avanços e Perspectivas, Ed. UNICAMP, cap. 10 p. 28 - 32, 2001.

DI LASCIO, M. A.; PINGUELLI, L. R.; MOLION, L. C. B. **Projeto de atendimento energético para comunidades isoladas da Amazônia**. COPPE/ UFRJ,UNB, UFAL, 1994.

DRUMMOND, A. R., *et al.* **Metanol e Etanol como Solventes na Extração de Óleo de Mamona**. I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. Vol.1, 2006.

FREITAS, S. P. e LAGO, R. C. A., **Equilibrium Data for the Extraction of Coffee and Sunflower Oils with Ethanol**, Braz. J. Food Technol., Campinas, v. 10, n. 3, p. 220-224, jul./set. 2007.

FREITAS, S. P.; CABRAL, L. C. ; HARTMAN, Leopold . **Economic Evaluation of Soymilk Production: Comparative Study of two Processes**. Alimentaria (Madrid), Madrid - Espanha, v. 281, p. 97-107, 1996.

GONÇALVES, J. A. **Esterificação de Compostos Modelos sobre Ácido Nióbico para Produção de Biodiesel**. 87p. Dissertação de Mestrado – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

GRASSAN, T. A.; MAHAMAD, I.; AL-WIDYAN, B.; ALI, O. A. **Combustion performance and emissions of ester of a waste vegetable oil in a water-cooled furnace**. Applied Thermal Engineering, v. 23, p. 285-293, 2003.

HARRI LORENZI. Árvores Brasileiras – **Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**, Volume 01. Instituto Plantarum de Estudos de Flora, Nova Odessa, 2000.

HARTMAN, L.; ESTEVES, W. **Tecnologia de Óleos e Gorduras Vegetais**. São Paulo: Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982.

HIANE, P. A. *et al.* **Bocaiúva, *Acrocomia Aculeata* (Jacq.) Lodd., Pulp and Kernel Oils: Characterization and Fatty Acid Composition**. Brazilian Journal of Food Technology. Campo Grande, v.8, n.3, p. 256-259, 2005.

HIANE, P. A. *et al.* **Chemical And Nutritional Evaluation Of Kernels Of Bocaiuva, *Acrocomia Aculeata* (Jacacq.) Lodd.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 26(3), 683-689, 2006.

HIANE, P. A. *et al.* **Estudo Nutricional, com Ênfase em Proteínas Antinutricionais e Tóxicas, de Amêndoas da Bocaiúva, Espécie *Acrocomia Aculeata* (Jacq) Lodd., do Estado de Mato Grosso do Sul**. 8p., Tese de Doutorado, Ciências da Saúde, UFMS, Campo Grande, MS, 2006.

HIANE, P. A. *et al.* **Avaliação Nutricional da Proteína de Amêndoas de Bocaiúva, *Acrocomia Aculeata* (Jacq.) Lodd., em Ratos Wistar em Crescimento**. B, CEPPA, v. 24, n. 1, p. 191-206, 2006.

INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P. ; **Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa** , LTC: p.494, 1996.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. V.1.: **Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**, 3. Ed. São Paulo: IMESP, p.245-246, 1985.

ITURRA, A. R., **Análise Histórica do Biodiesel no Brasil**. Relatório apresentado ao Grupo de Trabalho Interministerial sobre Biodiesel, Casa Civil da Presidência da República. Brasília, 2003.

KOBMEHL, S. O.; HEINRICH, H. **Assesment of the use os biofuels in passenger vehicles**. Sustainable Agricultural for Food, Energy and Industry, p. 867-875, 1998.

LORENZI G. M. A. C.; ***Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. – Aracacea: Bases para o Extrativismo Sustentável**, 156p. Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

LORENZI, C., NEGRELLE, B. **Acrocomia Aculeata (JACQ.) Lodd. Ex Mart.: Aspectos Ecológicos, Usos e Potencialidades.** Visão Acadêmica , v.7,n.1, 2006.

MACHADO, GC; CHAVES, JB; ANTONIASSI, R. **Composição em Ácidos Graxos e Caracterização Física e Química de óleos de babaçu.** Revista Ceres, v. 53, n. 308, p.463-470, 2006.

MARIANO, R. **Extração do Óleo da Polpa de Pequi (*Caryocar brasiliense*) por Processos Convencionais Combinados com Tecnologia Enzimática.** 70p. Dissertação de Mestrado, Ciência e Tecnologia de Alimentos, UFRRJ, Seropédica, RJ, 2008.

MELO, M. L. P. *et al.* **Caracterização Físico-Química da Amêndoa da Castanha de Caju (*Anacardium Occidentale L.*) Crua e Tostada.** Ciência e Tecnologia de Alimentos vol. 18 n. 2 Campinas Maio/Julho 1998.

METZGER, O. J. **Organic reactions without organic and oils and fats as renewable raw materials for the chemists industry.** *Chemosphere*, v. 43, p. 83-87, 2001.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO. **Produção de Combustíveis Líquidos a Partir de Óleos Vegetais.** Brasília: Secretaria de Tecnologia Industrial, Coordenadoria de Informações Tecnológicas, 1985.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA). **Seminário Biodiesel no Rio Grande do Sul. Anais...** In: SEMINÁRIO BIODIESEL NO RIO GRANDE DO SUL, 2005, Canoas: Refap, 30, mai. Anais. v.1, p. 13-22, 2002.

MIYAGUSKU, L.; HIANE, P. A. **Composição Centesimal e Perfil de Ácidos Graxos de Alguns Frutos Nativos do Estado de Mato Grosso do Sul.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ANALISTAS DE ALIMENTOS, 8, 1993. Porto Alegre. Resumos. Porto Alegre, 1993.

MIYAHARA, M. *et al.* **Caracterização do Óleo de Amêndoa do Bacuri (*Scheelea Phalerata Mart.*).** Simpósio internacional de oleaginosas energéticas, João Pessoa, PB, p. 1827-1831, 2010.

MOLION, L. C. B. **Projeto-piloto: Auto-suficiência energética para um núcleo populacional do município de Cruzeiro do Sul.** Acre, Alagoas, Proplan – UFAL, 1994.

NAG, A.; BHATTACHARYA, S.; DE, K. B. **New utilization of vegetable oils**. Journal of American Oil Chemists' Society, v. 72, p. 1591-1593, 1995.

NOVAES, R.J. **Contribuição para o Estudo do Coco Macaúba**. Tese de Doutorado em Ciências Agrárias. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, 1952.

OLIVEIRA, C. **Proposta de Modelagem Transiente para a Clarificação de Óleos Vegetais – Experimentos Cinéticos e Simulação do Processo Industrial**. 144p. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSC, Florianópolis, SC, 2001.

OLIVEIRA *et al.* **Alternativas Sustentáveis para a Merenda Escolar com o Uso de Plantas do Cerrado, Promovendo Educação Ambiental**. Rev. eletrônica Mestr. Educ. Ambient., v. 21, 2008.

PARENTE, E. J. S.; SANTOS JUNIOR, J. N.; BASTOS, J. A.; PARENTE JUNIOR., E. J. S. **Biodiesel: uma Aventura Tecnológica num País Engraçado**. Fortaleza: Tecbio, 66p, 2003.

PEREIRA, C. **Avaliação de Diferentes Tecnologias na Extração do Óleo do Pinhão-manso (*Jatropha curcas L*)**. 78p. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Química, UFRRJ, Seropédica, Rio de Janeiro, 2009.

PIGHINELLI, A. *et al.* **Otimização da Prensagem a Frio de Grãos de Amendoim em Prensa Contínua Tipo *Expeller***. Ciênc. Technol. Aliment., vol.28, p.66-71, Dez 2008.

PIYAPORN, K.; JEYASHOKE, N.; KANIT, K. **Survey of seed oils for use as diesel fuels**. Journal of American Oil Chemists' Society, v. 73, n. 4, p. 471-474, 1996.

Pott, A. & Pott, V.J. **Plantas do Pantanal**. Empresa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal. Embrapa. Corumbá/MS. 320 p, 1994.

RAMOS, L. P.; DOMINGOS A. K.; WILHELM H. M. **Biodiesel: Um Projeto de Sustentabilidade Econômica e Sócio Ambiental para o Brasil**. Rev Biotecnol Desenvolv. 31, p. 28-37, 2003.

REBOLLO, A. J.G.; BOTEJA, E, M.; CANSADO, A. O.; BLANCO, P.J.M.; BELLIDO, M.M.; SÁNCHEZ, A.F.; ARIAS, P.M; ALVAREZ, J.E.C. **Effects of Consumption of Meat Product Rich in Monounsaturated Fatty Acids (The Ham From The Iberian Pig) on Plasma Lipids.** Nutrition Research, Tarrytown, v.18, p. 743-750, 1998.

REDA, S. W. **Estudo Comparativo de Óleos Vegetais Submetidos a Estresse Térmico.** 111 p. Dissertação de Mestrado, Avaliação Tecnológica de Matérias-Primas, Universidade de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2004.

RODRIGUES, H. **Obtenção de Ésteres Etilícos e Metílicos, por Reações de Transesterificação, a Partir do Óleo da Palmeira Latino Americana Macaúba - *Acrocomia aculeata*.** 236p. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto-SP, 2007.

ROSENTHAL, A.; PYLE, D.L.; NIRANJAN, K. **Aqueous and Enzymatic Process For Edible Oil Extraction.** Enzyme and Microbial Technology. v. 19, p. 402-420, novembro 1996.

RURAL SEMENTES. **Macaúba - Alternativa Econômica para Produção de Óleos e Tortas.** Eldorado, MS, 2008.

SANTOS, R. D.; FERRARI, R. A.; **Extração Aquosa Enzimática de Óleo de Soja.** Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas v. 25, p.132-138, março 2005.

SCHUCHARDT, U.; SERCHEL, R.; VARGAS, R. M. **Transesterification of vegetable oils: A review.** *Journal of Brazilian Chemical Society*, v. 9, n. 3, p. 199-210, 1998.

SILVA *et al.* **Caracterização Química de Frutos Nativos do Cerrado.** Ciência Rural. Santa Maria, v.38, n.6, p. 1790-1793, 2008.

SILVA, I. **Uso De Processos Combinados para Aumento do Rendimento da Extração e da Qualidade do Óleo de Macaúba.** 99p. Dissertação de Mestrado, Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, J. A. C. **Desenvolvimento de um Lubrificante Biodegradável a partir de Ésteres do Biodiesel da Mamona.** 66p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SINGH, J., BARGALE, P.C. **Development of a Small Capacity Double Stage Compression Screw Press For Oil Expression**. Journal of food engineering, v. 43, p. 75-82, 2000.

SOLOMONS, T.W.G.; FRYHLE, C. **Química Orgânica - vol. 1**. LTC, 545 p., 2V., 2009.

SRIVASTAVA, A., PRASSAD, R. **Triglycerides-based Diesel Fuel**. Renewable & Sustainable Energy Reviews, v.4, 111-113p., 2000.

SZPIZ, R.R., LAGO, R.C.A., JABLONKA, F.H.; PEREIRA, D.A. **Óleos de Macaúba: uma Alternativa para a Oleoquímica**. Comunicado Técnico, Embrapa CTA, v. 14, pg. 1-10, 1989.

TEIXEIRA, S. **Modificações Catalíticas de Óleos Vegetais para a Produção de Insumos Químicos**. 217p., Tese de Doutorado, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2006.

TEIXEIRA, M.A. **Biomassa de Babaçu no Brasil**. AGRENER 2002: 4º Encontro de Energia no Meio Rural. Campinas, 2002.

TURATTI, J. M.; GOMES, R.A.R.; ATHIÉ, I. **Lipídeos: Aspectos Funcionais e Novas Tendências**. Campinas: ITAL, 78p, 2002.

URIOSTE, D. **Produção de Biodiesel por Catálise Enzimática do Óleo de Babaçu com Alcoóis de Cadeia Curta**. 107p., Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Química de Lorena, Lorena, SP, 2004.

VALENTINI, S.R.; CASTRO, M.F.P.M.; ALMEIDA, F. H. **Determinação do Teor de Umidade de Milho Utilizando Aparelho de Microondas**. Ciênc. Tecnol. Alimentos. Campinas, v. 18, n. 2, Maio, 1998 .

WARD, J. A. **Processing High Oil Content Seeds In Continuous Screw Presses**. Journal of the American Oil Chemists' Society, v. 53, p. 261-264, 1976.

WEISS, E. A. **Oilseed Processing and Products**. In: Oilseed crops. 1 ed. London: Longman. p. 528-596, 1983.

WIESENBORN, D., DODDAPANENI, R., TOSTENSON, K., KANGAS, N. **Cooking Indices to Predict Screw-Press Performance for Crambe Seed.** Journal of the American Oil Chemists Society, v. 78, p. 467-471, 2001.

WIESENBORN, D., DODDAPANENI, R., TOSTENSON, K., KANGAS, N. **Kinetic Characterization Of Cooking-Induced Changes In Crambe Seed Prepared For Expelling.** Journal of Food Engineering, v. 55, p. 157-163, 2002.

Sites consultados:

IEA. Instituto de Economia Agrícola. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br>, acessado em 15 de julho de 2010.

Portal do Biodiesel - www.biodieselbr.com.br, acessado em 4 de agosto de 2010.

Portal do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - <http://www.cptec.inpe.br>, acessado em 12 de abril de 2010.

Portal do Programa Nacional de Produção e Uso do *Biodiesel* - <http://www.biodiesel.gov.br>, acessado em 4 de agosto de 2010.

Portal do Sthampa Datch Petróleo - <http://www.sthampadatch.com.br>, acessado em 5 de agosto de 2010.