

# ESTUDO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE MAMONA EM COOPERATIVAS DO PÓLO SÃO FRANCISCO

*Eugênio dos Santos de Castro Campos<sup>1</sup>  
Vivianni Marques Leite dos Santos<sup>2</sup>*

**Resumo:** As oleaginosas vêm sendo uma importante alternativa ao uso do petróleo como matéria-prima para combustíveis. A extração de óleo de mamona é um elo de fundamental importância sobre a cadeia produtiva do biodiesel, principalmente no Nordeste do Brasil. A mamoneira é uma oleaginosa de alto valor econômico, cujas aplicações são muitas, dando origem a produtos variados, que vão desde a fabricação de graxas e lubrificantes, tintas, vernizes, espumas e materiais plásticos para diversos fins, até a produção de cosméticos, produtos alimentares, farmacêuticos e o biodiesel. Além disso, o processamento desta oleaginosa vem gerando impactos sociais significativos, por ser produzida dentro do conceito de agricultura familiar. O objetivo principal deste estudo foi fornecer subsídios aos agricultores familiares de cooperativas do Pólo São Francisco para avaliação dos custos e benefícios da comercialização do óleo e torta em lugar do grão de mamona. Para isto, foi realizada a otimização do processo de extração do óleo por solvente a partir do grão de mamona produzido pelas Cooperativas e também uma análise econômica comparativa entre a comercialização do grão e do óleo extraído. Os resultados obtidos permitem concluir que a qualidade do óleo do grão de mamona do tipo BRS Paraguaçu, cultivada pelas cooperativas, tem qualidade satisfatória relativa à sua estabilidade à oxidação e índice de acidez, além de prever vantagem em comercializar o óleo de mamona em relação à comercialização do grão, com aumento da margem de lucro de 67 para 81%. A margem aumenta para 126% quando leva-se em consideração a comercialização da torta.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento de Processos, Otimização, Agricultura familiar.

**Abstract:** Oilseeds have been an important alternative to the use of oil as a feedstock for fuel. The extraction of castor oil is a substantial nexus on the biodiesel production chain, especially in the Northeastern Brazil. Castor is an oilseed crop of high economic value, whose applications are quite different, giving rise to various products, ranging from the manufacture of greases and lubricants, paints, varnishes, foams and plastics for various purposes, to the production of cosmetics, food, pharmaceutical and biodiesel. Moreover, this oilseed processing has generated significant social impacts to be produced within the concept of family farming. The main objective of this study was to provide subsidies to Pole San Francisco family farmer cooperative to analyse the costs and benefits of commercialization of oil and castor seeds. To this end, we realized the optimization of the oil extraction process by solvent from castor seeds produced by cooperatives and also a comparative economic analysis of the commercialization of castor seeds and oil extracted was performed. The results indicated that the quality of the seed oil of castor-type BRS Paraguassu cultivated by cooperatives has satisfactory quality relative to its oxidation stability and acidity, in addition to providing market advantage in castor oil in relation to commercialization of grain, with increased profit margin of 67 to 81%. The margin increases to 126% when the commercialization of the castor cake is considered.

**Key words:** Process Development, Optimization, Family Farming.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Vale do São Francisco. genounivasf@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Vale do São Francisco. vivianni.santos@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

A mamona, denominada cientificamente como *Ricinus Communis* L., pertence à família da *Euforbiaceae*, sendo conhecidas, aproximadamente, 90 tipos diferentes de sementes empregadas no seu cultivo (Almeida *et al.*, 2002). De acordo com Oliveira (2008), nas últimas décadas, a mamona vem se destacando como uma das culturas mais versáteis, rentáveis e promissoras, do ponto de vista da indústria e da agroenergia, apresentando potencial para gerar milhares de empregos no campo e tem sido adotada em programas governamentais.

As variedades comerciais mais comuns de sementes/grãos de mamona possuem 40 a 60% de óleo, com cerca de, aproximadamente, 90% de ácido ricinoléico, que se caracteriza por uma alta massa molecular (298 g/mol) e baixo ponto de fusão (5°C) (Azevedo & Lima, 2001). Além disso, segundo a EMBRAPA (2010), cada hectare cultivado com mamona absorve 8 a 10 toneladas de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), o que corresponde ao quádruplo da média das outras oleaginosas. Isto contribui de forma relevante para o combate ao efeito estufa, podendo-se utilizar receitas, devido ao sequestro de CO<sub>2</sub>, preconizadas pelo Protocolo de Kyoto (Praça *et al.*, 2004).

Existem centenas de aplicações do óleo da mamona na indústria química dando origem a produtos variados, que vão desde a fabricação de lubrificantes, tintas, vernizes, espumas e materiais plásticos, até a produção de cosméticos, produtos alimentares, farmacêuticos e produtos para a indústria automotiva. Além disso, a mamoneira também é uma planta resistente, pois necessita utilização de pequena quantidade de agrotóxico e se adapta perfeitamente as zonas semiáridas do Nordeste, tornando-se uma cultura atrativa para esta região (Fernandes Neto *et al.*, 2008).

Para utilização em motores, o óleo de mamona tem a vantagem de possuir 30% a mais de lubricidade do que os demais óleos, podendo eliminar a

necessidade de adição de enxofre ao diesel mineral. Sendo assim, tem mercado promissor no mundo moderno (Beltrão, 2004).

Para estruturação da cadeia do biodiesel no Brasil, a Petrobrás desempenha papel fundamental, uma vez que é a única compradora atual do biodiesel comercializado por meio de leilões. Outro motivo, que eleva a importância da Petrobrás para a cadeia do biodiesel, é o fato de que a empresa adotou a estratégia de também ser uma produtora de biodiesel.

Apesar da tecnologia de produção ser relativamente simples, ainda são necessários estudos e inovações para tornarem o processo de extração do óleo ainda mais eficaz, com a máxima quantidade de óleo extraído, tornando os processos de produção mais eficientes, além de garantir sua qualidade para adequada utilização em motores (Costa Neto & Rossi, 2000). Ribeiro e Caten (1996) destacaram que a otimização de produtos e processos é uma tarefa frequente no meio industrial, pois visa contribuir com a redução de custos ou melhoria da qualidade e da produtividade. Este estudo teve como um dos objetivos a determinação de um ponto operacional eficiente para extração por solvente dessa oleaginosa com relação às variáveis de operação: tempo, solvente e temperatura de extração, sempre na busca pela gestão da qualidade ambiental como abordagem estratégica, com postura proativa no sentido da preocupação voltada para o aumento da competitividade e lucro. Neste sentido, o processo foi otimizado com base na escolha do solvente de menor custo e/ou toxicidade, aliada a rendimentos satisfatórios e, portanto, mais competitivos, sem perder de vista que o mercado já ingressou em um processo de conscientização ecológica e que adota mecanismos limpos, como selos verdes e normas, como a série ISO 14000 (Paoli & Moraes, 2011).

Atualmente, a Petrobrás vem adquirindo os grãos de mamona, produzidos pelas cooperativas do Pólo São Francisco, com o apoio do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). A

proposta deste estudo foi investigar a viabilidade da comercialização do óleo, em lugar do grão, pelas cooperativas. Desta forma, o enfoque é dado à problemática relacionada às condições e métodos de extração dessa oleaginosa com monitoramento de sua qualidade e vantagens econômicas comparativas de sua comercialização.

Para facilitar a compreensão do texto, deve-se ressaltar ainda, que utiliza-se semente, quando se tem como objetivo o cultivo da mamona, e grão, quando há outra destinação (encerrado o cultivo).

## **1.1 CULTIVO, COLHEITA, PRODUTOS E RESÍDUOS**

Durante o cultivo, a mamoneira se adapta muito bem ao clima e as condições de solo do semiárido, além de exigir pequena quantidade de água, que é um recurso escasso na região. Além disso, a lavoura da mamona se presta para a agricultura familiar, podendo apresentar economicidade elevada, além do seu plantio permitir consórcio com o feijão ou outros produtos agrícolas complementares (Leiras, 2006).

A irrigação é uma prática pouco utilizada no caso da mamoneira, exceto para os casos de produção de sementes. No Vale do São Francisco é pouco utilizada, prevalecendo à cultura de sequeiro.

Dentro do conceito de agricultura familiar, para produção da mamona, existiam, em 2009, cerca de 30 mil produtores no estado da Bahia, dos quais 85% eram classificados de pequeno porte. Entretanto, os referidos agricultores têm vivenciado dificuldades e quedas nas safras, como resultado das condições climáticas desfavoráveis, falta de assistência técnica e preço baixo na venda (SEAGRI, 2009).

Durante o andamento deste trabalho, foram realizadas duas visitas as fazendas produtoras de mamona e feijão do Pólo Sertão. Durante uma das visitas, um produtor da região de Morro do Chapéu informou que já reduziu a área que plantava de 350 hectares para 220 hectares: "Tive de reduzir por causa do

prejuízo, que piorou nos últimos dois anos", afirma. O produtor destacou que já chegou a vender 12 caminhões de mamona por semana.

Outro produtor, de Cafarnaum, a 85 km de Irecê, atribuiu parte da redução da área de produção à falta de assistência técnica: "Pulverizamos a plantação, mas nem sempre a gente faz as coisas na hora certa. Se tivesse assistência técnica, seria melhor", comenta. Ele garante que nunca recebeu apoio técnico por parte do governo: "A gente planta por conta. Não temos apoio técnico", reforça o produtor de Morro do Chapéu.

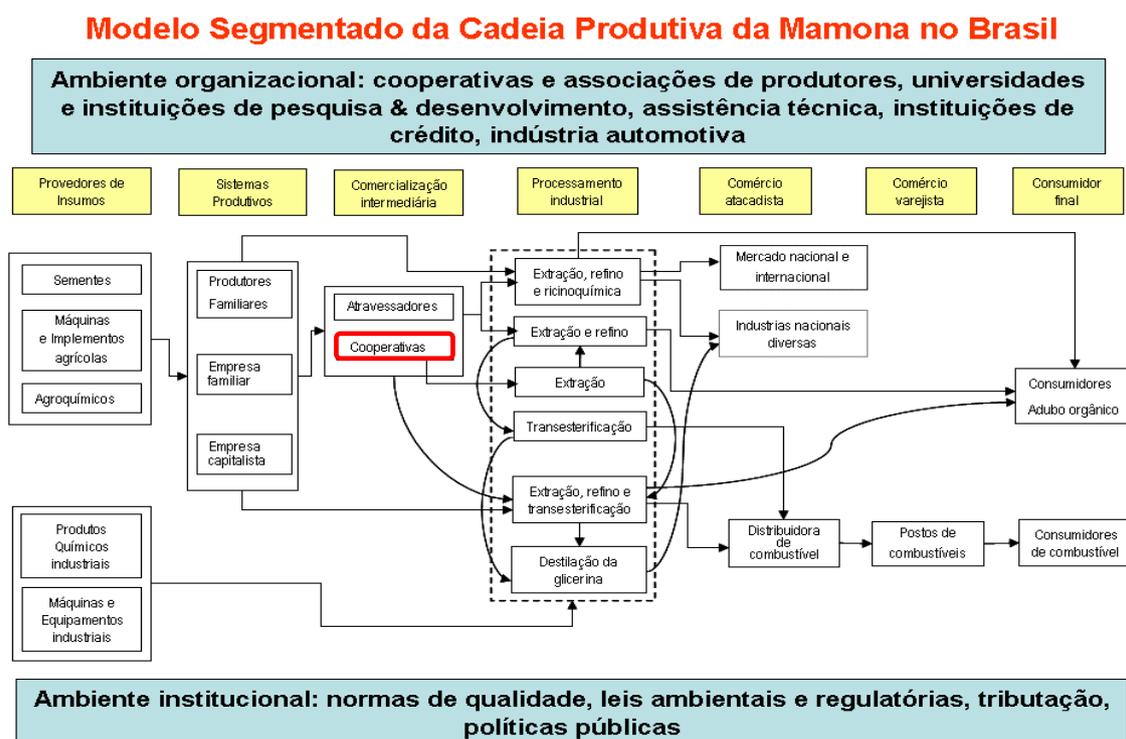
A casca do grão é considerada um dos co-produtos do seu cultivo, a qual é separada quando da colheita dos grãos para a extração do óleo. Deve-se destacar, que em virtude do potencial de produção decorrente do estímulo à fabricação de biodiesel a partir dessa oleaginosa, principalmente na região semiárida do Nordeste brasileiro, haverá aumento na geração da casca, que poderá ser aproveitada para geração de energia elétrica.

A torta, até então considerada um resíduo da extração do óleo da mamona, também será gerada em maior quantidade e poderá ter diversos usos, como por exemplo, fonte de alimento para ruminantes e não ruminantes, e fonte de aminoácidos para os mais variados fins nutricionais, desde que promovida à desintoxicação do subproduto, pois a torta tem um alto grau de toxidade (Bose & Wanderley, 1988). De acordo com Azevedo e Lima (2001) a torta de mamona apresenta elevado teor protéico, e dependendo das condições de cultivo e da semente, para cada tonelada de óleo extraída ocorre a produção de 1,2 toneladas de torta. Outro destino pode ser dado para uso como fertilizante, com capacidade de restauração de terras esgotadas, destacando-se seu emprego na Bahia, na lavoura fumageira (Leiras, 2006).

## 1.2 CADEIA PRODUTIVA DA MAMONA

A cadeia produtiva da mamona no Brasil, englobando desde os provedores de sementes até os consumidores finais, pode ser descrita conforme o modelo segmentado da cadeia proposto por Castro *et al.*, 2008 (Figura 1), com descrição do ambiente organizacional e institucional envolvido. Neste modelo,

pode-se visualizar, entre os agentes que compõem o ambiente organizacional, que as cooperativas atuam na comercialização intermediária, a qual se encontra entre os sistemas produtivos e o processamento industrial. Neste projeto é proposto um novo modelo de cadeia produtiva, no qual as cooperativas atuam também na extração do óleo bruto da mamona.



**Figura 1:** Modelo segmentado da Cadeia Produtiva da Mamona no Brasil.

Fonte: Castro *et al.* (2008).

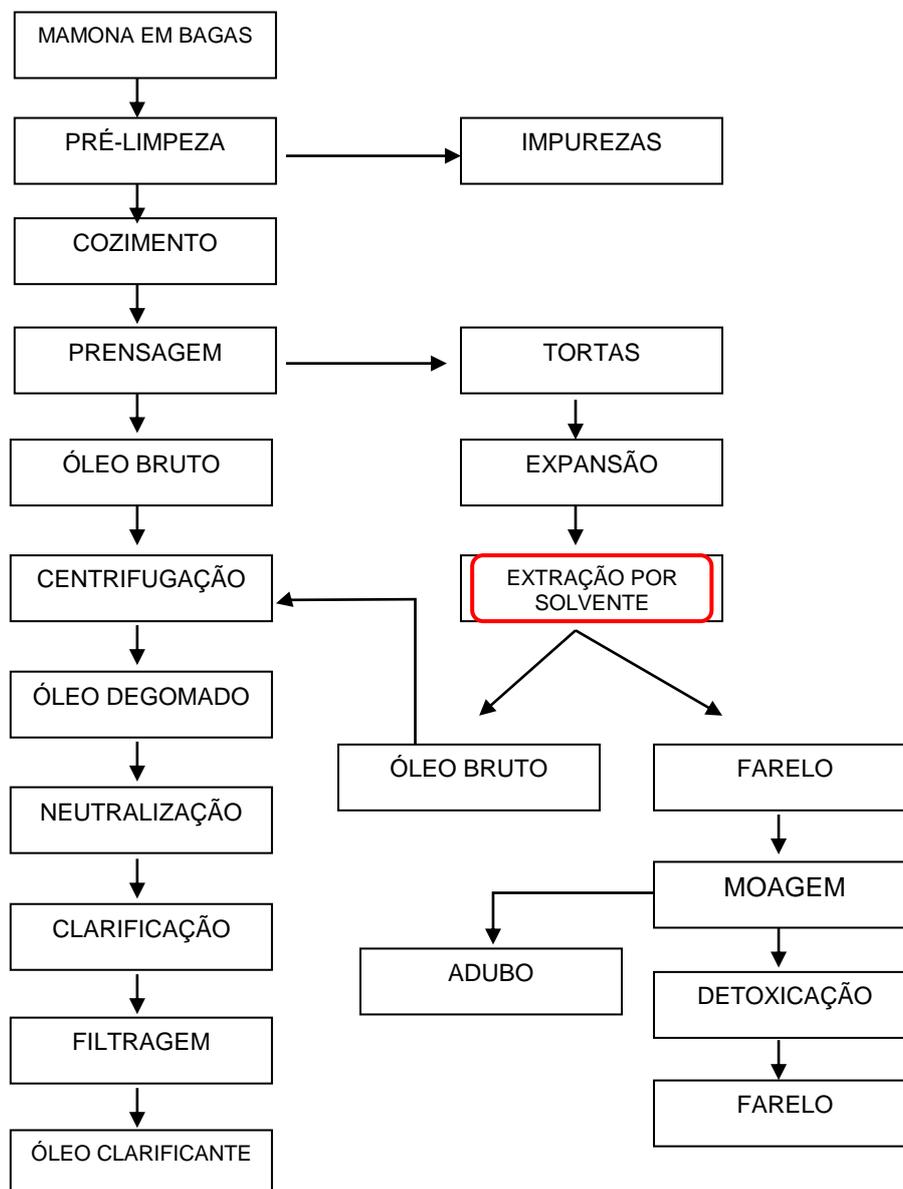
## 1.3 PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE MAMONA

Industrialmente, o óleo da mamona pode ser obtido por três processos diferentes. A prensagem a frio que fornece um óleo de elevada pureza e é muito utilizado para fins medicinais. A prensagem das bagas a quente, que fornece um óleo não tão puro, que geralmente é passado por um processo de purificação para remoção de gomas e substâncias corantes. O terceiro processo trata-se da extração por solvente, o qual é aplicado às tortas residuais de prensagem, em que o solvente mais utilizado é o hexano.

Em todas as rotas é imprescindível a definição das variáveis operacionais levando-se em conta os custos e benefícios. Neste sentido, deve-se observar também as

opções de insumos, rotas e os impactos ambientais resultantes dos processos. A Figura 2 contém o fluxograma do processo de extração de óleo por prensagem a quente, seguida da extração por solvente da torta, que vem sendo utilizado em algumas indústrias, desde a matéria-prima até seu produto final.

O estudo proposto neste trabalho envolveu a otimização univariável do processo de extração por solvente com o objetivo de definir o solvente, a temperatura e o tempo de operação. Adicionalmente, foram realizados cálculos comparativos da margem de Lucro (m) no sentido de obter estimativa da viabilidade da comercialização do óleo da mamona bruto e torta em lugar do grão.



**Figura 2:** Fluxograma da extração do óleo.  
Fonte: Adaptada de Leiras, 2006.

## 2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada coleta de dados referentes às atividades desenvolvidas por cooperativas existentes no Pólo São Francisco, a partir das quais foram obtidos os grãos da variedade BRS Paraguaçu necessários para este estudo. Os grãos foram provenientes, especificamente, dos assentamentos do município de Petrolina – Núcleo de Produção: Lagoa dos Mendes e Rajada, de Orocó – Assentamento Juventude, de Santa Maria da Boa vista – Núcleos de produção Vitória I e II, de Dormentes – Núcleo de produção Casa Nova e de Cabrobó – Núcleo de produção

Eloita Pereira em parceria com Ministério do Desenvolvimento Agrário/Petrobrás.

Atualmente estas cooperativas comercializam o grão em parceria com a Petrobrás com a finalidade de ser utilizado como matéria-prima para extração do óleo e em seguida para produção de biodiesel.

Toda a pesquisa experimental foi realizada no Laboratório de Processos Químicos (LPQ) da UNIVASF. Esta etapa do trabalho consistiu na extração do óleo em escala de bancada ou laboratorial com extrator do tipo soxhlet, o qual utiliza refluxo de solvente em um processo intermitente.

Para a otimização do processo de extração do óleo foi avaliado o rendimento

em função da utilização de solvente etanol anidro, etanol hidratado e o hexano. Este último é o solvente mais comumente utilizado industrialmente. Entretanto seu custo é maior em comparação com os demais solventes escolhidos como foco deste estudo. Foram determinadas ainda a temperatura e o tempo necessários para um maior rendimento do processo para cada solvente.

O monitoramento da qualidade foi feito através da determinação do índice de acidez e estabilidade à oxidação de amostras do óleo extraído dos grãos de mamona. A determinação do índice de acidez foi realizada através de titulação convencional. E a estabilidade à oxidação do óleo de mamona trata-se de uma medida da sua suscetibilidade à oxidação devido a luz ou calor. Esta análise foi realizada utilizando o rancimat 873 - norma EN14112.

Para avaliar a viabilidade do processo de produção de óleo de mamona no Pólo São Francisco foram utilizados os indicadores de custo médio, preço de venda, faturamento, lucro total e a margem de lucro para desenvolvimento de uma análise comparativa na produção e venda do grão de mamona em relação à produção do grão para comercialização do óleo de mamona e torta por processadora de óleo de mamona na região do Vale do São Francisco. A seguir estão descritos os procedimentos/métodos utilizados.

## 2.1 EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE MAMONA

Os materiais avaliados foram grãos de mamona (*Ricinus communis L.*) da cultivar comercial na variedade tipo Paraguaçu produzidos na região do Vale do São Francisco no município de Orocó do projeto Pólo Sertão. Os grãos de mamona secos ao ar foram macerados usando um almofariz e pistilo. Deste material foram recolhidos aproximadamente 13 gramas em cada cartucho de extração, transferido em seguida para o extrator do tipo Soxhlet. O sistema foi então submetido a aquecimento as temperaturas de 80°C, 95°C, 110°C e 125°C, e todos colocados submersos em 100 mL de etanol anidro, etanol hidratado

(etanol de posto de gasolina) e o hexano separadamente além de submetidos a diferentes tempos de extração (5, 6, 7 e 8 horas).

O solvente foi recuperado por destilação utilizando o evaporador rotativo, cuja água de resfriamento foi mantida sob recirculação, eliminando o desperdício de água. A recuperação do solvente reduz perdas e poluição do meio ambiente.

Para otimização foi realizado planejamento univariável no sentido de determinar qual o melhor tempo e temperatura para cada solvente. Sendo a análise do melhor solvente feita em função dos rendimentos em óleo, custo e toxicidade.

## 2.2 TESTE DE ACIDEZ

Para a realização do teste de acidez das amostras foi utilizado o método de titulação convencional (Equação 1). O índice de acidez corresponde à quantidade de base (KOH ou NaOH) necessária para neutralizar os ácidos graxos livres presentes em aproximadamente 1g de óleo de mamona (Araújo *et al.*, 2006).

$$IA = \frac{V \times f \times 5,61}{m} \quad (1)$$

Com IA correspondendo ao índice de acidez (mg de KOH/g de óleo), V ao volume de NaOH gasto na titulação (mL), f ao fator de correção da solução, igual a 5,61 e m trata-se da massa da amostra em gramas.

## 2.3 ESTABILIDADE À OXIDAÇÃO

Neste método, as amostras das misturas de óleo são expostas a um fluxo de ar e uma temperatura constante de 110°C, fazendo com que os produtos da oxidação voláteis sejam transferidos para uma célula de medida que contém uma solução de absorção. Na célula de medida, a condutividade é constantemente registrada por um eletrodo e assim os ácidos orgânicos proveniente da oxidação podem ser detectados pelo aumento da condutividade.

## 2.4 COMPARATIVO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para avaliar a viabilidade do processo de produção de óleo de mamona no Pólo São Francisco foram utilizados os indicadores de custo médio (CM), preço de venda, faturamento (RT), lucro total (LT) e a margem de lucro (m) para desenvolvimento de uma análise comparativa na produção e venda do grão de mamona em relação à produção de grãos e comercialização do óleo de mamona com implementação de uma indústria processadora de óleo de mamona na região do Vale do São Francisco (Equações 2-5).

$$CMe = \frac{P}{Q} \quad (2)$$

$$RT = P \times Q \quad (3)$$

$$LT = RT \times CT \quad (4)$$

$$m = \frac{P}{CMe} - 1 \quad (5)$$

Onde: CMe = custo médio; P= preço de venda; Q= quantidade; RT= faturamento; LT= lucro total; CT= custo total e m= margem de lucro.

Para o cálculo dos indicadores foi realizado levantamento de todos os custos e equipamentos necessários para o funcionamento da unidade de extração de óleo, capacidade de produção, coeficientes técnicos, necessidade de insumos, custos variáveis e mão-de-obra necessária para o processamento do óleo. A capacidade de produção bem como seus custos para funcionamento da máquina processadora de oleaginosa foram adquiridos através do manual da máquina (INTECNIAL, 2012) e de contato com a indústria fabricante da máquina processadora de oleaginosas assim como seus coeficientes técnicos (consumo de energia). Os custos de produção de semente/grãos de mamona foram conseguidos através da EBDA onde já foram feitas pesquisas na área e com relação ao preço de venda dos grãos de

mamona foi feita uma média de janeiro a novembro de 2012 com preços do mercado fornecidos pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2012).

Com a implantação de unidades de extração do óleo, espera-se um aumento da produção no Vale do São Francisco, assim como a economia poderá vir a estabelecer uma estrutura mais rentável proporcionando um maior benefício social envolvendo as comunidades locais.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE MAMONA

Para análise proposta foi analisado todo o processo em escala industrial através da realização de visita a esmagadora de óleo de mamona na cidade de Lapão-BA, que é gerenciada pela cooperativa do território de Irecê. Nesta esmagadora é utilizada a extração por prensagem contínua, sob aquecimento, sem utilização de solvente. Neste processo, a prensagem das bagas a quente fornece um óleo com impurezas, que geralmente é passado por um processo de purificação para remoção de gomas e substâncias corantes. De acordo com Anthonisen *et al.* (2006), devido ao elevado valor dos óleos vegetais, a produção em escala industrial não deve deixar de usar a extração por solvente, pois no processo mecânico de prensagem, mesmo sob alta pressão, resta na torta residual uma fração de cerca de 5% do óleo contido no material extraído. Este percentual reduz a aproximadamente 0,5% quando solventes orgânicos são utilizados.

Devido a simplicidade do método de prensagem, o limitante se restringe a extração por solvente, tornando-se necessário otimizar esta etapa com o objetivo de obter ganho (~5%) pelo uso deste após a etapa de prensagem.

Este estudo permitiu estabelecer o ponto de operação com melhor rendimento em extração de óleo através de testes com pequenas quantidades de matéria-prima, possibilitando um adequado *scale-up*. Os resultados obtidos podem ser utilizados tanto para extração com solvente como

para a extração contínua a quente, seguida da extração com solvente.

O experimento realizado para determinar a percentagem de casca e amêndoa contida no grão de mamona mostrou que 22% do grão corresponde a casca e 78% de amêndoa. O percentual de casca é menor do que aquele obtido por Azevedo e Lima (2001), segundo os quais o grão de mamona, em termos médios, é constituído por 65% de amêndoa e 35% de casca. Os autores argumentam que esta

variação do percentual de casca depende de vários fatores, como condições climáticas, semente do plantio, espaçamento entre as plantas, altitude e outros. Cita ainda que o grão de alto rendimento possui mais de 70% de amêndoa.

Os resultados da otimização do processo com utilização de etanol anidro, hexano e etanol hidratado levaram aos pontos de operação ideais descritos na Tabela 1.

**Tabela 1:** Variáveis operacionais e percentual de óleo extraído com utilização de etanol anidro, hexano e etanol hidratado como solventes.

| Solvente         | Temperatura (°C) | Tempo (h) | Percentual de óleo extraído (%) |
|------------------|------------------|-----------|---------------------------------|
| Etanol Anidro    | 110              | 7         | 52,21                           |
| Hexano           | 110              | 7         | 49,90                           |
| Etanol hidratado | 110              | 7         | 56,61                           |

Deve-se destacar que foi observado ganho insignificante (~1%) quando comparado ao acréscimo nos custos de produção com relação à temperatura de 125°C no caso do hexano. Por esta razão foi escolhida a temperatura de 110°C e desconsiderada realização do processo à 125°C.

Buscando alternativas de redução nos custos foi otimizado o processo com utilização do etanol hidratado. O rendimento em óleo extraído (56,61%), conforme Tabela 1, foi superior aqueles obtidos com o hexano e o etanol anidro.

Dessa forma, os resultados mostraram eficiência maior do processo onde o tempo ideal para extração de óleo de mamona em escala de bancada é de 7 horas, a uma temperatura de 110°C e utilizando etanol hidratado como solvente (Tabela 1). Entre as vantagens na utilização do etanol hidratado, pode-se destacar: maior facilidade para aquisição, menor custo e toxicidade e ainda o seu caráter renovável.

Durante o desenvolvimento deste trabalho não foi encontrado trabalho com utilização do etanol de posto (etanol hidratado) para extração de óleo.

Diante dos resultados, o etanol hidratado foi escolhido como referência para o monitoramento da qualidade do óleo de mamona extraído em laboratório.

### 3.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO ÓLEO

Segundo Feigenbaum (1994), qualidade é a combinação de características de produtos e serviços referentes a *marketing*, engenharia, produção e manutenção, buscando atender as expectativas do cliente. Dessa forma, o comprometimento com a qualidade deve estar em todos os elos de uma cadeia produtiva. Neste sentido, deve-se levar em consideração a necessidade de garantia da qualidade do óleo bruto, visando atender as demandas do setor.

Óleos adulterados, ou fora dos padrões de qualidade, tem influência negativa na qualidade dos produtos a serem obtidos a partir daqueles óleos.

Neste contexto, o trabalho desenvolvido teve como preocupação o estudo da extração do óleo de mamona com monitoramento de sua qualidade, uma vez que a orientação para as cooperativas tem a pretensão de atendimento ao consumidor dentro dos padrões de mercado.

#### 3.2.1 TESTE DE ACIDEZ

Ribeiro e Seravalli (2004) afirmaram que o estado de conservação do óleo está intimamente relacionado com a

natureza e qualidade da matéria-prima, com a qualidade e o grau de pureza do óleo, com o processamento e, principalmente, com as condições de conservação, pois a decomposição dos glicerídeos é acelerada por aquecimento e pela luz, enquanto a rancidez é quase sempre acompanhada da formação de ácido graxo livre.

Além disso, a acidez de um óleo é uma de seus principais parâmetros de qualidade e tem importante impacto sobre seu preço e aproveitamento na indústria química. Vários fatores podem influenciar a acidez do óleo, mas o principal é o tratamento dado ao produto durante a colheita e o armazenamento (Araújo *et al.*, 2006).

Sendo assim, no caso do óleo de mamona, o índice de acidez é um dos

indicadores do estado do seu estado de conservação.

As especificações, europeia e americana, adotaram recentemente o limite de 0,8 mg KOH/g de óleo, cujo valor também é aceito pela norma brasileira (Melo, 2009).

Além disso, de acordo com Azevedo e Lima (2001), os óleos com acidez inferior a 1% são classificados como do tipo 1 e que óleo com acidez superior a este limite implica em produto de menor qualidade e com maiores dificuldades de comercialização. A Tabela 2 contem os valores médios de acidez dos óleos obtidos por extração com solvente etanol hidratado ou de posto em função do tempo e temperatura de extração.

**Tabela 2:** Valores médios da acidez do óleo de mamona (mg KOH/g de amostra), variando o tempo e temperatura de extração.

| Temperatura (°C) | 5 Horas | 6 Horas | 7 Horas | 8 Horas |
|------------------|---------|---------|---------|---------|
| 95               | 0,16    | 0,15    | 0,13    | 0,13    |
| 110              | 0,14    | 0,17    | 0,17    | 0,11    |
| 125              | 0,16    | 0,17    | 0,11    | 0,14    |

Os resultados dos índices de acidez para todas as amostras de óleo analisadas mostraram que o óleo extraído apresenta índice de acidez abaixo de 0,2 mg KOH/ g. Estes valores estão de acordo com os resultados obtidos por Sousa Junior *et al.*(2010), que obteve índices de acidez do óleo de mamona entre 0,31 e 0,47 mg KOH/ g de amostra, quando extraído a frio e obteve índices de acidez entre 0,14 e 1,64 mg KOH/ g de amostra, quando extraído a quente. Segundo os autores, este último índice de acidez maior (1,64) pode ser explicado em função da proveniência do grão cultivado em maior altitude.

No Brasil as especificações para utilização do biodiesel B100 – Resolução ANP N°42, de 24/11/2004. DOU 9.12.2004 estabelece que o mesmo deve possuir acidez menor que 0,8 mg KOH g<sup>-1</sup>. Neste caso, os grãos produzidos pelas cooperativas permitiram obter qualidade bastante satisfatória com relação a este parâmetro.

Como o índice de acidez do óleo tem efeito na acidez do biodiesel, o

monitoramento desta propriedade é de interesse para determinação da qualidade do óleo destinado à produção do biodiesel. Os baixos índices de acidez ratificam a viabilidade de utilização do óleo de mamona, extraído da variedade tipo BRS Paraguaçu, como matéria-prima para produção do biodiesel.

Notou-se também que estes óleos contem aproximadamente a mesma acidez, de modo que pode-se concluir que o índice de acidez não sofre efeito, significativo, em função da temperatura e tempo adotados na extração com etanol hidratado.

### 3.2.2 ESTABILIDADE À OXIDAÇÃO

A ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis utiliza a Norma Europeia (EN 14112) para monitoramento da estabilidade à oxidação dos componentes do biodiesel, sendo expressa como o período de tempo requerido para alcançar o ponto em que o grau de oxidação aumenta rapidamente. O limite adotado para estabilidade oxidativa é

no mínimo 6 horas de ensaio. De acordo com Prankl (2003), estudos demonstram que o período de indução determinado por esse método se correlaciona bem com a evolução de parâmetros de qualidade resultantes da degradação do óleo como índice de acidez.

Melo (2009) destaca que o monitoramento deste parâmetro é de fundamental importância para o controle de qualidade do biodiesel, principalmente no que diz respeito a seu armazenamento.

Santos *et al.* (2009, 2011) realizaram modelagem molecular e obtiveram que os ésteres (biodiesel) provenientes do ácido ricinoléico presentes no óleo de mamona são menos susceptíveis a oxidação. De modo que do ponto de vista dos problemas com longos períodos de armazenamento, tem-se evidências de que o óleo de mamona para produção do biodiesel pode ser uma alternativa promissora. Neste sentido, foram monitorados os tempos de indução dos óleos de mamona extraídos, os quais

constituem a medida da estabilidade à oxidação.

Analisando a Tabela 3 e comparando com o limite mínimo de 6 horas estabelecido, os tempos de indução altos (acima de 150 horas) revelaram que o óleo de mamona apresenta uma ótima estabilidade oxidativa, com destaque para o processo realizado a 110°C durante 7 horas de extração. Estes resultados ratificam aqueles obtidos através de modelagem molecular.

Para comparação, foi realizado o mesmo teste para o óleo de soja comercial, sendo obtidos tempos de indução entre 4,0 e 14,0 horas, para óleos de seis fabricantes diferentes.

Portanto, o óleo de mamona extraído da variedade do grão da mamona do tipo BRS Paraguaçu, comercializado pelas cooperativas do Pólo Sertão, estão dentro dos padrões de qualidade com relação ao índice de acidez e tempo de indução.

**Tabela 3:** Estabilidade Oxidação (em horas) do óleo extraído com solvente Etanol hidratado a 110°C durante 5, 6, 7 e 8 horas.

| Temperatura (°C) | 5 Horas | 6 Horas  | 7 Horas  | 8 Horas  |
|------------------|---------|----------|----------|----------|
| 110              | -       | 153,00 h | 168,67 h | 173,45 h |

Não foi pretensão deste estudo, esgotar os resultados relativos à qualidade do óleo, mas apenas investigar dois importantes parâmetros, o índice de acidez e a estabilidade à oxidação (tempo de indução), no sentido de prever sua viabilidade e estimular o desenvolvimento de trabalhos futuros.

### 3.3 ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS PARA BENEFICIAMENTO DO GRÃO

Para análise econômica comparativa foram avaliados os custos para se produzir um hectare (1 ha) de grão de mamona, a partir de dados da EBDA (Matos, 2012) e em seguida, todos os custos necessários para o funcionamento de uma unidade de extração de óleo, com capacidade de produção, coeficientes técnicos, necessidade de insumos, custos

variáveis e mão-de-obra necessária para o processamento do óleo.

Os custos para produção de 1 hectare de mamona *in natura*, apresentados na Tabela 4, variam de acordo com o nível de tecnologia empregado. O maior uso de tecnologia pode incidir em maior produtividade, porém deve ser avaliado o custo/benefício de inserção de uma tecnologia no sistema, principalmente em função do preço de venda esperado.

Na tabela também são registrados os custos de produção por hectare para a cultura da mamona em agricultura familiar da região Nordeste. Para facilitar a compreensão da tabela deve-se ler: kg= quilo; L= litros; h/T= horas de trabalho; d=dias e SC= saca.

**Tabela 3:** Custo de produção de 1hectare de mamona *in natura*.

Fonte: Matos, 2012.

| DISCRIMINAÇÃO                          | UNID. | QUANT. | VALOR UNIT.<br>(R\$) | VALOR TOTAL<br>(R\$) |
|--|-------|--------|----------------------|----------------------|
| <b>1. INSUMOS:</b>                     |       |        |                      | <b>100,00</b>        |
| Semente - Mamona                       | kg    | 5      | 8,00                 | 40,00                |
| Inseticida                             | L     | 2      | 30,00                | 60,00                |
| <b>2. PREPARO DE SOLO:</b>             |       |        |                      | <b>112,50</b>        |
| Aração                                 | h/T   | 3      | 25,00                | 75,00                |
| Gradagem                               | h/T   | 1,5    | 25,00                | 37,50                |
| <b>3. PLANTIO:</b>                     |       |        |                      | <b>20,00</b>         |
| Plantio manual (matraca)               | d     | 1      | 20,00                | 20,00                |
| <b>4. TRATOS CULTURAIS/FITOSSANIT.</b> |       |        |                      | <b>290,00</b>        |
| Capina                                 | d     | 4      | 20,00                | 80,00                |
| Repasso manual (02)                    | d     | 10     | 15,00                | 150,00               |
| Aplicação de inseticida                | d     | 3      | 20,00                | 60,00                |
| <b>5. COLHEITA E BENEFICIAMENTO</b>    |       |        |                      | <b>337,50</b>        |
| Colheita manual                        | d     | 15     | 15,00                | 225,00               |
| Beneficiamento                         | SC    | 25     | 3,00                 | 75,00                |
| Transporte                             | SC    | 25     | 0,60                 | 15,00                |
| Sacaria                                | SC    | 30     | 0,75                 | 22,50                |
| <b>TOTAL</b>                           |       |        |                      | <b>860,00</b>        |

Com relação aos equipamentos de extração de oleaginosas, foi realizada pesquisa, onde foi obtida uma maior relação custo/benefício com a máquina da INTECNIAL S.A. Segundo o manual (INTECNIAL, 2012), a referida máquina funciona com energia elétrica e possui um baixo consumo, aproximadamente 28 kw/h por tonelada processada. Além disso, a máquina é de fácil operação, baixo custo de produção, alta desempenho, baixo custo de manutenção e, como principal fator, mobilidade do equipamento. Neste caso, a cooperativa pode deslocar o equipamento

por todos os assentamentos cadastrados no projeto Pólo Sertão, facilitando assim as condições de logística e armazenamento da mamona.

Com esse quantitativo de produção por hectare e custo de produção dos grãos, adicionado aos dados de custos para extrair o óleo do grão de mamona e os preços de venda tanto do grão quanto do óleo (CONAB, 2012), foram calculados os custos de produção, custo médio, faturamento, lucro total e sua margem de lucro, como mostra a Tabela 4.

**Tabela 4:** Análise econômica com relação à venda/comercialização do grão de mamona e a venda/comercialização do óleo de mamona.

|   | <b>Custo produção (R\$/ha.ano)</b> | <b>Custo médio (R\$/kg)</b> | <b>Faturamento (R\$/ha.ano)</b> | <b>Lucro total (R\$/ha.ano)</b> | <b>Margem de lucro/ha</b> |
|---|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| <b>Produção/venda do grão</b>             | 860,00                             | 0,72                        | 1438,60                         | 578,60                          | 0,67                      |
| <b>Produção/venda do óleo bruto</b>       | 1056,19                            | 1,77                        | 1920,00                         | 863,81                          | 0,81                      |
| <b>Produção/venda do óleo bruto+torta</b> | 1056,19                            | 1,77                        | 2320,00                         | 1263,81                         | 1,26                      |

Como pode-se observar, comercializar o óleo de mamona bruto pode ser viável em relação à comercialização do grão, visto que a margem de lucro aumenta de 67% para 81%. Isto significa um aumento de 14% no lucro do agricultor. Além disso, adicionando o ganho oriundo da comercialização da torta, cujo valor de venda praticado no ano de referência está sendo de oitenta centavos o quilo (R\$0,80/kg) (Segundo entrevista com funcionário da COAFTI - Cooperativa da agricultura familiar do território de Irecê, em dezembro de 2012), conduz ao total de faturamento proveniente da comercialização do óleo e da torta da mamona igual a dois mil trezentos e vinte reais por hectare (R\$2320,00/ha) e um lucro de um mil duzentos e sessenta e três reais e oitenta e um centavos por hectare (R\$1263,81/ha).

Portanto, com a comercialização do óleo e torta obtém-se um ganho de seiscentos e oitenta e cinco reais e vinte e um centavos por hectare (R\$685,21/ha), que corresponde à diferença entre o lucro com a comercialização do grão e o lucro com a comercialização do óleo e torta extraídos do grão, concluindo que é vantajoso comercializar o óleo extraído junto com seu co-produto (torta) em substituição a comercialização do grão.

#### 4. CONCLUSÃO

A grande diversidade de oleaginosas no Brasil tem um diferencial produtivo, apoiado nos fatores geográficos que favorecem o cultivo em várias regiões brasileiras. Os resultados obtidos neste

estudo permitiram otimização do processo de extração de óleo de mamona, determinação do teor de óleo no grão da variedade BRS Paraguaçu, determinação da viabilidade da utilização de etanol hidratado ou de posto como solvente para extração, análise da viabilidade econômica da comercialização do óleo e torta em lugar do grão, bem como o monitoramento da qualidade do óleo de mamona extraído quanto a sua acidez e estabilidade à oxidação.

Os resultados dos experimentos mostraram que a variedade da semente/grão BRS Paraguaçu contém, em média, 22% de casca e 78% de amêndoa e que o teor de óleo no grão chega à 56,61%.

A extração com etanol hidratado mostrou-se viável do ponto de vista de rendimento da extração, custo, toxicidade e disponibilidade no mercado. Importante salientar que durante o andamento deste trabalho não foi encontrada literatura sobre utilização do etanol hidratado para extração de óleo.

Os resultados obtidos a partir da análise econômica mostraram que é vantajoso comercializar o óleo bruto de mamona em relação à comercialização do grão visto que a margem de lucro aumenta de 67% para 81%. Esta margem pode ser ainda maior se fosse levado em consideração a comercialização da torta (co-produto da extração do óleo), uma vez que a margem de lucro passa para 126%.

Desse modo, a partir da produção e consequente comercialização do óleo bruto da mamona pelos cooperados do Vale do São Francisco, poderão ocorrer ganhos significativos na renda familiar, aumentando o valor agregado do produto

comercializado. Para este fim as instituições de pesquisa podem atuar na capacitação para os membros das cooperativas no sentido de orientá-los para gerenciamento do processo de extração do óleo.

O monitoramento da qualidade mostrou que o óleo de mamona extraído da variedade do tipo BRS Paraguaçu tem acidez dentro do padrão de qualidade, indicativo de que poderá ser classificado como óleo tipo 1, e também elevada estabilidade à oxidação, de modo que é promissor como matéria-prima para produção de biodiesel.

## AGRADECIMENTO

Ao Prof. José Cordeiro Neto, por ter partilhado seus conhecimentos na análise econômica.

## REFERÊNCIAS

ANTHONISEN, D.; SCHIRMER, M.; SILVA, S. D. dos A. & FREIRE, E. K. Teor de óleo em sementes de mamona de variedades introduzidas na zona sul do rio grande do sul. II Congresso brasileiro de mamona. 2006. Aracaju-SE, Brasil.

ALMEIDA, F. de A. C., MORAIS, A. M. de, CARVALHO, J. M. F. C., GOUVEIA, J. P. G. de. 2002. Crioconservação de sementes de mamona das variedades nordestina e pernambucana. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.2, p.295-302.

ARAÚJO, J. B., SEVERINO, L. S., LUCENA A. M. A. de, Freire, M. A. de O., GUIMARÃES, M. M. B. & BELTRÃO, N. E. de M. Índice de acidez do óleo de quatro cultivares de mamona extraído por mini-prensa laboratorial. II Congresso brasileiro de mamona. 2006. Aracajú-SE, Brasil.

AZEVEDO, D. M. P. & LIMA, E. F. (Ed.) 2001. *O Agronegócio da Mamona no Brasil*. Campina Grande. Embrapa Informação Tecnológica. 350p.

BELTRÃO, N. E. Segmentos do agronegócio da mamona – diagnóstico da ricinocultura da região de Irecê, estado da Bahia. I Congresso Brasileiro de Mamona. 2004. Campina Grande-PB, Brasil.

BOSE, M. L. V. & WANDERLEY, R. C. 1988. Digestibilidade e balanço metabólico da fração nitrogenada do farelo de mamona desintoxicado e de feno de alfafa em ovinos. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. v.17, n.5, 456-464.

CASTRO, A. M. G. de, LIMA, S. M. V., KOURI, J., SILVA, M. de F. M. M. da & CARTAXO, W. V. Viabilidade, competitividade e sustentabilidade da cadeia produtiva de mamona. III Congresso Brasileiro de Mamona. 2008. Salvador-BA, Brasil.

CONAB. **Conjuntura Mensal**. Disponível em: [www.conab.gov.br/conabweb](http://www.conab.gov.br/conabweb), 2012 <Acesso em: 06/04/12>.

COSTA NETO, P. R. & ROSSI, L. F. S. 2000. Produção de Biocombustível Alternativo ao Óleo Diesel Através da Transesterificação de Óleo de Soja Usado em Frituras. *Revista Química Nova*, Curitiba – PR, 23, 531.

EMBRAPA, 2010; **Cultivo da mamona**. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona\\_2ed/coeftecnicos.html](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona_2ed/coeftecnicos.html)>. Acesso em: 16 de novembro de 2012.

FEIGENBAUM, A. V. 1994. Controle da Qualidade Total. v. 4. São Paulo: Makron Books.

SOUSA JUNIOR, F. S.; SOUZA, L. di; DIAS, A. G.; EVANGELISTA, J. C. & DIAS, N. S. 2010. Qualidade do óleo da mamona cultivada em diferentes altitudes no rio grande do norte – brasil. *Revista verde*. Mossoró – RN, v.5, n.5, 12 – 17.

LEIRAS, A. 2006. *A Cadeia Produtiva do Biodiesel: uma avaliação econômica para o caso da Bahia*. Dissertação de Mestrado.

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

MATOS, J. V. B. de. Orçamento para custeio de 01 há mamona solteira. [mensagem pessoal]. Gerente Regional da EBDA / Irecê. Mensagem recebida por <naldinhocampos@hotmail.com > em 2 de dezembro de 2012.

MELO, M. A. R. de. 2009. *Monitoramento da Estabilidade Oxidativa no Armazenamento de Biodiesel Metílico de Soja/Mamona e Blendas em Recipientes de Vidro*. Dissertação de Mestrado. Universidade federal da Paraíba.

FERNANDES NETO, S., ABREU, B. S., BARACUHY NETO, MOURA, G. de, ARAÚJO, P. S., BARACUHY & J. G. V. 2008. Impacto ambiental – agroindústria processadora de óleo de mamona/PB. *Ciência e Natura*, Campina Grande, PB, v. 30, p. 141-154.

INTECNIAL, Intecnial S.A. 2012. Disponível em: <http://www.intecnial.com.br/index.php?m=6&ss=1&se=4>; acesso em 10/03/2012.

OLIVEIRA, D. III Congresso Brasileiro de Mamona. 2008. Disponível em: <[http://www.cnpa.embrapa.br/noticias/2008/noticia\\_20080318.html](http://www.cnpa.embrapa.br/noticias/2008/noticia_20080318.html) >; acesso em 17/11/2012.

PAOLI, D. & MORAES, L. A. F. de. 2011. Apoio multicritério à decisão como subsídio à gestão ambiental: o caso da Aggreko Brasil. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 18, n. 2, 379-390.

PRAÇA, E.R., COUTINHO, E.J.R., JÚNIOR, E.F.N., ARRUDA, J.B.F. & SILVA, J. L. de C. Determinação da

localização otimizada de plantas de esmagamento da mamona e de plantas de produção do biodiesel: o caso do estado do ceará. V Congresso Internacional de Pesquisa em Logística, 2004, Ceará, Brasil.

PRANKL, H. Stability of Biodiesel used as a fuel for diesel engines and heating systems. *Presentation of the Biostab Project Results*. Austria: BLT Wieselbur, 2003.

RIBEIRO, J. L. D. & CATEN, C. S. T. 1996. Custos da Qualidade e da Manufatura: Um Estudo de Caso na Indústria Química. *Gestão & Produção*. v. 3, n.3, 274-290.

RIBEIRO, E.P. & SERAVALLI, E.A.G. 2004. *Química de Alimentos*, São Paulo. Edgard Blücher.

SANTOS, V. M. L. dos, SILVA, J. A. B. da, STRAGEVITCH, L & LONGO R. L. 2011. Thermochemistry of biodiesel oxidation reactions: A DFT study. *Fuel*, 90, 811 - 817.

SANTOS, V. M. L., SILVA, J. A. B., GUIMARÃES, C. C & STRAGEVITCH, L. 2009. Estudo Teórico da Degradabilidade Oxidativa do Biodiesel para Previsão de sua Qualidade. In: ALBERTIN, M.R. (ORG). *Desafios da Cadeia Produtiva do Biodiesel para o Nordeste*. Fortaleza.

SEAGRI. **Secretaria da agricultura, desenvolvimento e reforma agrária**, 2009. Disponível em: <<http://www.seagri.ba.gov.br/noticias.asp?prt=true&qact=view&notid=11581>>. Acesso em 21/05/2012.