



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Helder do Nascimento Paiva

**ESTRATÉGIA DE LOCALIZAÇÃO PARA USINAS DE  
BIODIESEL DE MAMONA NO ESTADO DE PERNAMBUCO:  
UM ENFOQUE NA MINIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE  
TRANSPORTE**

Juazeiro - BA  
2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Helder do Nascimento Paiva

**ESTRATÉGIA DE LOCALIZAÇÃO PARA USINAS DE  
BIODIESEL DE MAMONA NO ESTADO DE PERNAMBUCO:  
UM ENFOQUE NA MINIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE  
TRANSPORTE**

Trabalho apresentado à Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro – BA, como requisito da obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Rodrigues de Lima Júnior

Juazeiro - BA  
2012

	Paiva, Helder do Nascimento
P142e	Estratégia de localização para usinas de biodiesel de mamona no estado de Pernambuco: um enfoque na minimização dos custos de transporte / Helder do Nascimento Paiva. - Juazeiro, 2012.
	73 f. : il ; 29 cm.
	Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2012.
	Orientador: Prof. Dr. Paulo César Rodrigues de Lima Júnior.
	1. Logística. 2. Transporte. 3. Biodiesel. 4. Mamona I. Título. II. Lima Junior, Paulo César Rodrigues de. III Universidade Federal do Vale do São Francisco
CDD 658.78	

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca  
SIBI/UNIVASF  
Bibliotecário: Renato Marques Alves

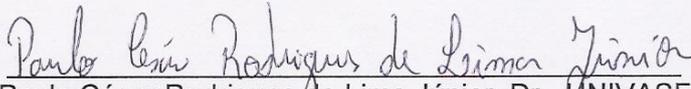
UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

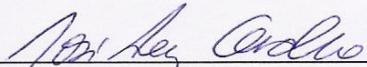
FOLHA DE APROVAÇÃO  
Para TFC

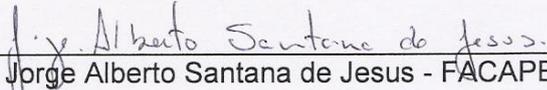
Helder do Nascimento Paiva

ESTRATÉGIA DE LOCALIZAÇÃO PARA USINAS DE  
BIODIESEL DE MAMONÁ NO ESTADO DE  
PERNAMBUCO: UM ENFOQUE NA MINIMIZAÇÃO DOS  
CUSTOS DE TRANSPORTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro de Produção, pela Universidade Federal do  
Vale do São Francisco.

  
Paulo César Rodrigues de Lima Júnior, Dr - UNIVASF

  
José Luiz Moreira de Carvalho, Dr -UNIVASF

  
Jorge Alberto Santana de Jesus - FACAPE

Aprovado pelo Colegiado de Engenharia de Produção em 18/10/2012

Dedico este trabalho à minha família e também a minha noiva, que me deram todo o apoio necessário.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer todas as pessoas que me ajudaram nessa importante etapa da minha vida, que foi a graduação. É muito difícil conquistar algo sozinho, portanto devemos sempre lembrar daqueles que nos apoiaram.

Primeiramente agradeço aos professores, técnicos e demais funcionários que trabalham na Univasf, especialmente ao meu orientador Prof. Paulo César, que, além de ótimo professor, foi um amigo que pude contar em diversos momentos.

Aos meus amigos, inclusive os de outros cursos, que sempre estiveram disponíveis para ajudar, eu agradeço muito.

Aos meus pais, Heber e Nocy, que sempre foram minha base, que me ensinaram os valores da vida, muito obrigado.

E minha noiva, Mary, que é e sempre será minha companheira, eu serei eternamente grato.

## RESUMO

Procurar meios para reduzir os impactos ambientais vem se tornando uma rotina em praticamente todos os setores da economia, principalmente quando se trata de energia. Fontes alternativas e renováveis passam a receber maior importância, uma vez que reduzem as emissões de gases à atmosfera, e em alguns casos podem gerar emprego e renda para faixas da população antes esquecidas, como por exemplo, a produção de biodiesel utilizando a mamona como matéria-prima. Incentivos e pesquisas propiciaram um aumento da confiança por parte dos agricultores a voltarem a plantar mamona, principalmente no nordeste brasileiro. Atualmente no estado de Pernambuco, grande parte dos municípios possui produção de mamona, sendo que toda a produção que recebe apoio da Petrobrás é enviada para o estado do Ceará, onde é extraído o óleo e produzido o biodiesel. Todo esse deslocamento motivou esse estudo, com o intuito de verificar os custos de se instalar plantas de produção de biodiesel no próprio estado de Pernambuco. Para isso utilizou-se dos conceitos da logística, mais especificamente das estratégias de localização de facilidades, para auxiliar na elaboração de possíveis cenários, propondo diferentes quantidades de usinas com capacidades distintas, a fim de obter o menor custo total. Foi realizado um levantamento de informações em variadas fontes com o intuito de esclarecer os detalhes acerca da oferta de matéria-prima, da localização das cidades e dos custos e capacidades produtivas das usinas de biodiesel. Posteriormente, foram executadas as simulações com o auxílio do *software* Matlab<sup>®</sup>, utilizando o método p-mediana. Somados os custos de transporte obtidos nas simulações com os custos de instalação e custos fixos das usinas selecionadas a partir de sua capacidade produtiva, verificou-se que a opção de menor custo total era instalar apenas duas plantas de produção de biodiesel.

*Palavras – chave: Logística. Estratégia de Localização. Biodiesel. Mamona. Pernambuco.*

## ABSTRACT

Finding ways to reduce environmental impacts has become a routine practically in all sectors of economy, especially when the subject is energy. Alternative and renewable sources are becoming notable, as they reduce emission of gases in the atmosphere, and in some cases, they can create jobs and generate income for people from lower classes, such as the production of biodiesel using castor-oil plant as raw material. Incentives and researches propitiated an increase in confidence by farmers to return to grow castor-oil plant, especially in northeastern region, in Brazil. Nowadays, in Pernambuco state, most cities have castor- oil plant culture. All the production which receives support from Petrobrás is sent to Ceara state, where the oil is extracted and the biodiesel is produced. All of this transference motivated this study in order to verify the costs of installing biodiesel production mills within Pernambuco state. To do that, it was used the concepts of logistics, specifically the location strategies of facilities to help the elaboration of possible scenarios, proposing different amounts of mills with different extents, with the purpose of obtaining the lowest total cost. Was made a survey of information from various sources in order to clarify the details about the supply of raw material, location of the cities, cost and extent of the crushers and biodiesel mills. Subsequently, simulations were performed with the support of the software Matlab®, using the p-median problem. Summing up the values obtained in the simulations with the installation costs and fixed expenses of the selected mills from their productive capacity, it was found that the lowest total cost option was to install only two biodiesel production mills.

*Keywords: Logistics. Location Strategy. Biodiesel. Mammon. Pernambuco.*

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Ranking da produção mundial de mamona.....	24
<b>Tabela 2</b> – Características das oleaginosas. ....	25
<b>Tabela 3</b> – Custos para uma única planta.....	55
<b>Tabela 4</b> – Custos para duas plantas.....	56
<b>Tabela 5</b> – Custos para três plantas. ....	58
<b>Tabela 6</b> – Custos para quatro plantas. ....	59

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Fluxograma da produção agrícola da mamona. ....	26
<b>Figura 2</b> – Fluxograma do processo de produção de biodiesel. ....	28
<b>Figura 3</b> – Introdução do biodiesel no mercado brasileiro de combustíveis. ....	29
<b>Figura 4</b> – Cadeia Produtiva do Biodiesel.....	30
<b>Figura 5</b> – Exemplo real de localização de três medianas.....	40
<b>Figura 6</b> – Esquematização do problema. ....	43
<b>Figura 7</b> – Malha rodoviária de Pernambuco. ....	44
<b>Figura 8</b> – Cidades produtoras e não produtoras de mamona em Pernambuco. ....	45
<b>Figura 9</b> – Malha rodoviária e municípios do estado de Pernambuco. ....	45
<b>Figura 10</b> – Estruturação dos custos totais de transporte.....	49
<b>Figura 11</b> – Dentro do Matlab®. ....	52
<b>Figura 12</b> – Localização da planta e cidades fornecedoras.....	55
<b>Figura 13</b> – Localização das plantas e cidades fornecedoras. ....	57
<b>Figura 14</b> – Localização das plantas e cidades fornecedoras. ....	58
<b>Figura 15</b> – Localização das plantas e cidades fornecedoras. ....	60
<b>Figura 16</b> – Custo total. ....	62

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Estabelecimentos familiares e não familiares no Nordeste em 2006.....	20
<b>Quadro 2</b> – Série histórica da produção de mamona no Brasil. ....	24
<b>Quadro 3</b> – Recorte da matriz O.D. ....	46
<b>Quadro 4</b> – Potencial produtivo de mamona dos municípios pernambucanos. ....	46
<b>Quadro 5</b> – Recorte da matriz de custos. ....	48
<b>Quadro 6</b> – Nova matriz de custos. ....	49
<b>Quadro 7</b> – Custos e capacidade produtiva das usinas.....	50
<b>Quadro 8</b> – Custos fixos das usinas e esmagadoras. ....	50
<b>Quadro 9</b> – Comparativo de custos de transporte. ....	61

## **LISTA DE SIGLAS**

**ANP** – Agência Nacional do Petróleo

**CNPE** - Conselho Nacional de Política Energética

**EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**PLIC** - Programação Linear Inteira Combinada

**PNPB** – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

**PROCERA** - Programa de Crédito Especial para a Reforma Agrária

**PRONAF** – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	vi
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE QUADROS.....	xi
LISTA DE SIGLAS.....	xii
SUMÁRIO .....	xiii
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1. Definição do Problema .....	15
1.2. Objetivos.....	16
1.2.1. Geral.....	16
1.2.2. Específicos .....	16
1.3. Justificativa .....	17
1.4. Estrutura do Trabalho.....	18
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1. Agricultura Familiar .....	19
2.2. Programas de apoio do Governo Federal .....	21
2.2.1. PRONAF.....	21
2.2.2. PNPB.....	21
2.3. A Mamona .....	23
2.4. A Produção Agrícola da Mamona.....	25
2.5. O Biodiesel .....	27
2.6. Cadeia Produtiva do Biodiesel.....	29
2.7. Logística .....	30
2.7.1. Localização de Instalações .....	32
2.7.2. Estratégias de Localização .....	33
2.7.2.1. Programação Linear Inteira Combinada .....	35
2.7.2.2. P-medianas.....	39
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>41</b>
3.1. Finalidade da Pesquisa .....	41
3.2. Tipologia da Pesquisa .....	41

3.3. Delineamento da pesquisa.....	42
3.4. Variáveis da pesquisa.....	42
3.5. Esquematização do problema.....	42
3.6. Obtenção dos dados.....	44
3.7. Modelo e resolução (cenários).....	50
3.7.1. Modelo matemático (p-medianas) .....	50
3.7.2. Aplicação do modelo .....	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
4.1. Cenários.....	54
4.2. Avaliação dos cenários .....	60
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	63
5.1. Conclusões.....	63
5.2. Recomendações.....	64
REFERÊNCIAS.....	65
ANEXO 1 – Série histórica de produção de mamona nas cidades pernambucanas (valores em toneladas) .....	69
ANEXO 2 – Cidades fornecedoras de mamona (duas usinas) .....	70
ANEXO 3 - Cidades fornecedoras de mamona (três usinas).....	71
ANEXO 4 - Cidades fornecedoras de mamona (quatro usinas) .....	72

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização do petróleo como fonte de energia foi, sem dúvida, um dos fatores que mais propiciaram a rápida evolução tecnológica do século XX. Por outro lado, o uso demasiado desse recurso tem agravado as mudanças climáticas, já que, em sua queima, é liberada grande quantidade de CO<sub>2</sub>. Além disso, são vários os estudos que apontam o esgotamento das fontes de energia fósseis para os próximos 40 ou 50 anos (BUAINAIN; BATALHA, 2007).

São essas e outras as razões que têm levado muitos países a investir em fontes de energia renováveis, com destaque para o biodiesel. Segundo Abreu *et al* (2010), a utilização desse combustível apresenta várias características ambientais positivas, tendo em vista que uma tonelada de biodiesel evita a emissão de 2,5 toneladas de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Por isso, é incentivado e comercializado em vários países, alguns destes por mais de vinte anos.

Seguindo essa tendência, houve em 2004, no Brasil, o lançamento oficial do PNPB (Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel). De acordo com Sepúlveda *et al* (2008), o Congresso Nacional estabeleceu que, a partir de janeiro de 2008, todo o óleo diesel comercializado no país deveria conter, necessariamente, 2% de biodiesel. Em janeiro de 2013 este percentual passará para 5%, aumentando a demanda pelo combustível.

Existem diversas opções de oleaginosas que podem ser adotadas para a produção de biodiesel, sendo que cada uma apresenta melhores resultados a depender da região a ser plantada. Especificamente no nordeste brasileiro, um dos cultivos escolhidos para a produção do biodiesel é a mamona, uma vez que essa oleaginosa é conhecida dos agricultores familiares, destacando-se como uma das opções mais acertadas, segundo a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), por existir uma plataforma tecnológica confiável, com destaque para variedades, sementes fiscalizadas e sistema de produção compatível com a agricultura familiar. Tem como fatores favoráveis ao seu cultivo a estrutura e aptidão edafo-climática e a oferta de linhas de crédito para a atividade, através do PRONAF (Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar). Azevedo (2001) afirma que o cultivo da mamona, além de gerar matéria-prima para mais de quatrocentos subprodutos, é um fator fixador de mão-de-obra e gerador de emprego.

Falando em nordeste, mais especificamente em Pernambuco, consegue-se notar, a partir dos encontros regionais de fortalecimento do programa do biodiesel, o aumento no interesse por parte dos agricultores em plantar a mamona, tendo em vista os bons resultados de quem tem cultivado a oleaginosa. A Petrobrás tem sido uma grande impulsionadora do programa, oferecendo aos produtores de mamona desde as sementes, assistência técnica até a compra garantida de toda a produção, com preço mínimo superior ao pago em média pelo mercado (PETROBRAS, 2011).

Ainda segundo a Petrobrás, atualmente, toda a produção de mamona dos agricultores do estado de Pernambuco, que são apoiados pela Petrobrás, é transportada até a usina de Quixadá, no Ceará. Será que essa é a melhor alternativa? Uma outra configuração da cadeia poderia gerar melhores resultados?

### **1.1. Definição do Problema**

Toda a potencialidade do meio rural do nordeste brasileiro foi sempre subestimada pelas agências nacionais e se faz necessário compreender a heterogeneidade de cada região do país para que as políticas públicas possam se adequar às diferentes realidades, permitindo o desenvolvimento dessas áreas e conseqüentemente melhorando o nível de vida dos moradores (SEPÚLVEDA *et al*, 2008).

Atualmente, tendo em vista a crescente preocupação com o desenvolvimento sustentável, a agricultura familiar vem recebendo muitos incentivos, com a criação de programas nacionais, como o PRONAF. No que se refere aos biocombustíveis, Secreto *et al* (2008) lembra da criação do “Selo Combustível Social”, que é a isenção de impostos para aqueles produtores de biodiesel que comprarem sua matéria-prima de agricultores familiares, em percentuais mínimos estabelecidos.

Além das políticas públicas, para o sucesso do programa do biodiesel, é extremamente importante que haja participação da comunidade acadêmica, no que se refere principalmente a pesquisas e treinamentos. Exemplificando, nota-se que a ausência de metodologia científica nas decisões de localização de instalações dão margem a processos de escolhas baseados no empirismo ou até mesmo nos

interesses individuais, podendo acarretar em custos elevados e conseqüentemente a inviabilidade do setor (PRAÇA, 2003).

Pode ser esse um dos motivos que dificultam a competitividade do biodiesel. Segundo Abreu *et al* (2010), o custo do biodiesel da mamona é cerca 50% mais alto que o óleo diesel. Ainda segundo os autores, um dos motivos que influenciam nesse alto custo são os os problemas de ordem logística.

Diante do que foi explicado anteriormente, define-se como proposta de temática a seguinte questão: Um estudo voltado para a localização de usinas de biodiesel de mamona no estado de Pernambuco poderia gerar uma redução dos custos totais de produção?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Geral**

Propor uma estratégia para localização de usinas de biodiesel de mamona no Estado de Pernambuco, visando a redução dos custos de transporte, de instalação e manutenção.

### **1.2.2. Específicos**

O objetivo geral desdobra-se nos seguintes objetivos específicos:

1. Levantar informações referentes à produção, distribuição e consumo da mamona e do biodiesel derivado da mesma no Estado de Pernambuco;
2. Desenvolver ou adaptar um modelo matemático que auxilie na definição da localização de usinas em Pernambuco;
3. Elaborar cenários distintos para análise;
4. Aplicar o modelo aos cenários;
5. Avaliar os resultados.

### 1.3. Justificativa

Comparando com o diesel derivado do petróleo, além de não emitir substâncias tóxicas causadoras de diversas doenças, a produção e uso do biodiesel resultam numa redução de 78% na emissão de dióxido de carbono (PAHL, 2008).

Além das vantagens ambientais, o biodiesel aparece como uma importante ferramenta na diminuição de um grave problema brasileiro, o êxodo rural. Isso porque a agricultura familiar vêm recebendo incentivos na produção da mamona e de outras oleaginosas, principalmente por parte do Governo Federal, consolidados pelo PNPB, reduzindo impostos para aquelas indústrias que compram a matéria-prima de pequenos agricultores. Segundo Holanda (2004), enquanto a agricultura empresarial emprega em média um trabalhador para cada 100 hectares, na familiar essa relação cai para 10 hectares por trabalhador.

Outra entidade que fomenta a produção do biodiesel, apoiando também a agricultura familiar, é a Petrobrás. Em 2009 ela passou apoiar a produção de mamona no estado de Pernambuco. Esse convênio faz parte de uma estratégia da Petrobrás para ampliar a oferta de matéria prima destinada à produção de biodiesel. (IPA, 2011). Um aumento de pesquisas na região ligadas a essa cadeia produtiva poderia melhorar a competitividade do setor e apoiar a redução dos custos, melhorando a margem de lucro dos agricultores.

Pesquisas dessa natureza têm a sua importância confirmada pela afirmação de Ballou (2006), pois, para o autor, os custos com transporte representam de um a dois terços dos custos logísticos totais, o que torna relevante qualquer esforço que venha a reduzir tanto os deslocamentos de insumos como de produtos acabados.

Uma das vertentes dos estudos logísticos é a estratégia de localização, que resumidamente busca achar pontos ótimos para instalações físicas que possibilitem os menores custos de transporte. No caso do biodiesel, o alvo dessas pesquisas podem ser as usinas de produção do biodiesel.

Atualmente existem algumas opções de usinas, de pequeno, médio e grande porte, com capacidades de produção e custos diferentes. Conseqüentemente, são várias possibilidades de configuração da cadeia logística do biodiesel, e estudos envolvendo a estratégia de localização dessas usinas podem vir a contribuir na redução de custos do setor.

A temática utilizada por este trabalho envolveu a aplicação de conhecimentos na área de logística, como também pesquisa operacional e análise de custos. Sendo assim, comprova-se sua adequação com o curso de Engenharia de Produção.

#### **1.4. Estrutura do Trabalho**

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo introduz o trabalho, fazendo uma contextualização geral do estudo, da definição do problema, justificativa e os objetivos do mesmo.

No segundo capítulo é feita uma revisão teórica que norteia a pesquisa, fundamentada nos principais conceitos relacionados aos objetivos do trabalho.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada para execução do trabalho, a partir da descrição das características da pesquisa, bem como, a forma que a mesma foi delineada.

No quarto capítulo são expostos os resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho, além das análises e implicações complementares a este.

Por fim, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões da pesquisa, além de recomendações para futuros trabalho na área.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

No presente tópico são contemplados os principais conceitos que fundamentam ou se relacionam com o tema deste trabalho, onde, entre estes, pode-se destacar a Agricultura Familiar, a Mamona, o Biodiesel, Logística, Estratégia de Localização e a Programação Linear Inteira Combinada.

### **2.1. Agricultura Familiar**

O conceito de agricultura familiar caracteriza um modo de produção onde predomina a interação entre a gestão e o trabalho. Os agricultores familiares são responsáveis pela gestão do processo produtivo, enfatizando a diversificação e utilizando o trabalho familiar, eventualmente complementado pelo trabalho assalariado (PRONAF, 2007).

Uma característica em comum encontrada na maioria dos países desenvolvidos é a forte presença desse tipo de agricultura. Essa modalidade ajudou a construir nesses países uma forte estrutura econômica e uma sociedade mais democrática e dinâmica (GUANZIROLI *et al*, 2001).

Segundo o mesmo autor, os países como o Brasil, onde historicamente houve uma priorização das grandes propriedades rurais, seja pela estrutura política e social, seja pelo erro de subestimar a eficiência da agricultura familiar, hoje sofrem com graves problemas sociais dos quais se destacam as propriedades rurais ociosas e improdutivas, o êxodo rural e o inchaço das áreas urbanas.

As vantagens da agricultura familiar vão além da produção de alimentos básicos, como arroz, feijão, milho e leite, os quais garantem a segurança alimentar de muitas famílias. Temos que 12,3 milhões de trabalhadores no campo estão em estabelecimentos da agricultura familiar, o que representa quase três quartos do total de pessoas ocupadas no meio rural. Percebe-se que a atividade deste setor é uma importante forma de fixar o homem no campo, evitando sua migração para os grandes centros urbanos e todas as suas consequências, justificando os recentes investimentos feitos pelo Governo Federal (IBGE, 2011).

Nesse contexto, pode-se destacar dois principais programas de apoio à agricultura familiar, sendo um deles o PRONAF, que visa financiar as atividades agropecuárias e não agropecuárias exploradas mediante emprego direto do produtor rural e sua família, e o outro é o Seguro Safra, criado para tentar proteger o agricultor familiar da perda de produção movida por fatores climáticos (MDA, 2011).

Esses programas são comuns na região nordeste do Brasil, pois lá encontra-se metade dos estabelecimentos de agricultura familiar do País (2.187.295) e 35,3% da área total deles (28,3 milhões de hectares). Dentro da região, estes representam 89% do total de estabelecimentos e 37% da área. Cinco dos dez maiores estados brasileiros, no que se refere a número de estabelecimentos de agricultura familiar, segundo a Lei de 2006, são nordestinos, com destaque para Bahia, em primeiro lugar, com 665.831 (ou 15,2% do total nacional) e o Ceará, em quarto (341.510 ou 7,8% do total). Pernambuco, Maranhão e Piauí estão em sexto, sétimo e oitavo lugares, respectivamente (FRANÇA *et al*, 2010).

O Quadro 1 mostra a quantidade de estabelecimentos familiares e não familiares na região nordeste brasileira em 2006.

**Quadro 1** – Estabelecimentos familiares e não familiares no Nordeste em 2006.

Grandes Regiões e Unidades da Federação	Agricultura familiar - Lei nº 11.326		Não familiar	
	Estabelecimentos	Área (ha)	Estabelecimentos	Área (ha)
<b>Brasil</b>	<b>4 367 902</b>	<b>80 250 453</b>	<b>807 587</b>	<b>249 690 940</b>
<b>Nordeste</b>	<b>2 187 295</b>	<b>28 332 599</b>	<b>266 711</b>	<b>47 261 842</b>
Maranhão	262 089	4 519 305	24 948	8 472 143
Piauí	220 757	3 761 306	24 621	5 745 291
Ceará	341 510	3 492 848	39 504	4 429 366
Rio Grande do Norte	71 210	1 046 131	11 842	2 141 771
Paraíba	148 077	1 596 273	19 195	2 186 605
Pernambuco	275 740	2 567 070	29 048	2 866 999
Alagoas	111 751	682 616	11 580	1 425 745
Sergipe	90 330	711 488	10 276	768 925
Bahia	665 831	9 955 563	95 697	19 224 996

Fonte: IBGE (2011).

## **2.2. Programas de apoio do Governo Federal**

### **2.2.1. PRONAF**

O Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) é uma política do Governo Federal, criada no ano de 1995, com o intuito de propiciar um atendimento diferenciado aos pequenos produtores rurais que desenvolvem atividades utilizando emprego direto de sua força de trabalho e de sua família.

O Programa tem como objetivo fortalecer as atividades desenvolvidas pelo produtor familiar, de forma a integrá-lo à cadeia de agronegócios, possibilitando um aumento de renda e reunindo valor ao produto e à propriedade, através da modernização do sistema produtivo, valorização do produtor rural e profissionalização dos produtores familiares (SILVA, 2009).

O PRONAF apresenta as seguintes vantagens para os produtores:

- a) obtenção de financiamento de custeio e investimento com encargos e condições adequadas à realidade da agricultura familiar, de forma ágil e sem custos adicionais;
- b) o aumento de renda, mediante melhoria de produtividade, do uso racional da terra e da propriedade;
- c) melhoria das condições de vida do produtor e de sua família;
- d) atendimento ágil;
- e) para os produtores que cumprirem com seus compromissos, garantia de recursos para próxima safra, com a renovação do crédito até cinco anos, no caso de custeio das atividades.

### **2.2.2. PNPB**

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel é um programa do Governo Federal, criado no ano de 2004, que tem como objetivo implementar de forma sustentável, tanto técnica, como econômica, da produção e uso do biodiesel,

com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda (MDA, 2012).

As principais diretrizes do programa são:

- Implantar um programa sustentável, promovendo inclusão social;
- Garantir preços competitivos, qualidade e suprimento;
- Produzir o biodiesel a partir de diferentes fontes oleaginosas fortalecendo as potencialidades regionais para a produção de matéria prima.

O governo buscou direcionar o programa de forma a contemplar o desenvolvimento regional e a inclusão social, estabelecendo que a produção e consumo deveriam acontecer de forma descentralizada e não excludente no que se refere aos meios técnicos e matérias-primas, utilizando instrumentos de políticas públicas, buscando o aumento da eficiência na produção do biodiesel, de modo a consolidar e dar sustentabilidade à produção, evitando a concessão de subsídios que, ao longo do tempo, tendem a distorcer a alocação de recursos públicos e privados.

Em setembro de 2004, o governo editou a Medida Provisória 214 definindo o biodiesel e delegando competências à Agência Nacional do Petróleo para a sua regulação. A Câmara dos Deputados aprovou projeto de lei que introduziu emendas com a obrigatoriedade da mistura de 2% de biodiesel ao diesel mineral, por um período de três anos, devendo o percentual de mistura obrigatória ser ampliado para 5% em oito anos. No final de 2004, o governo editou um conjunto de medidas que autorizam a produção, comercialização e distribuição do biodiesel a partir de 2005, estabelecendo o modelo tributário incidente sobre o biodiesel, que objetiva conferir benefícios fiscais incidentes sobre a produção de matérias-primas oleaginosas pela agricultura familiar, no Norte e Nordeste (BIODIESEL, 2005).

O governo, com o biodiesel, ao incentivar prioritariamente os agricultores familiares do Norte e Nordeste, pretende gerar condições para que uma atividade econômica permita geração de emprego e renda para uma população que se encontra historicamente excluída dos benefícios do crescimento e do progresso, e que tem no êxodo rural ou na precária atividade de subsistência as únicas alternativas de sobrevivência.

### 2.3. A Mamona

A mamona (*Ricinus communis L.*) é uma oleaginosa que, segundo historiadores, provém do Continente Africano, e por apresentar tolerância à seca se adaptou muito bem ao semiárido brasileiro, tornando seu cultivo rentável na região. Além disso, a mamona serve de matéria-prima para diversas indústrias, como a farmacêutica, química, energética, entre outras (AZEVEDO; LIMA; 2001).

O principal produto da mamoneira é seu óleo, o qual possui propriedades químicas peculiares que lhe fazem único na natureza: trata-se do ácido graxo ricinoleico que tem larga predominância na composição do óleo (cerca de 90%) e possui uma hidroxila (OH) o que lhe confere propriedades como alta viscosidade, estabilidade física e química e solubilidade em álcool a baixa temperatura (EMBRAPA, 2011).

Ainda segundo a Embrapa, a mamona foi escolhida como uma das oleaginosas fornecedoras de matéria prima para fabricação de biodiesel no Brasil. Essa escolha foi feita por ela ser praticamente a única oleaginosa bem adaptada e para a qual se dispunha de tecnologia para cultivo na região semiárida, possibilitando a inclusão social de milhares de pequenos produtores que estavam sem opções agrícolas rentáveis. Embora este aspecto social tenha proporcionado a escolha da mamona, essa cultura também pode ser plantada em várias regiões do país, desde o Sul até o Norte, desde que se obedeçam a suas exigências climáticas e receba manejo adequado.

Segundo Silva (2009), a oferta mundial da mamona tem crescido substancialmente em função da necessidade dos países na produção de energias renováveis, mais precisamente na produção de biocombustíveis, onde a planta surge como uma das matérias-primas mais importantes.

Um resumo do panorama mundial pode ser visto na Tabela 1, que mostra a produção de mamona no período de 2009 a 2011.

**Tabela 1** – Ranking da produção mundial de mamona.

Ord	UF REGIÃO	SAFRA 2009/10		Ord	UF REGIÃO	SAFRA 2010/11 (1)		Var.10/11 s/09/10
		Mil t	Part			Mil t	Part	
1	Índia	1124,4	68,8	1	Índia	1.152,5	69,8	2,5
2	China	180,6	11,1	2	China	171,7	10,4	- 4,9
3	Brasil	100,6	6,2	3	Brasil	141,3	8,6	40,5
4	Outros	228,4	14,0	4	Outros	184,8	11,2	- 19,1
1	Mundo	1.634,0	100,0	1	Mundo	1.650,3	100	1,0

Fonte: CONAB (2011).

Voltando as atenções para o Brasil, o Quadro 2 mostra a evolução da produção de mamona em suas regiões, com destaque para o nordeste.

**Quadro 2** – Série histórica da produção de mamona no Brasil.

REGIÃO/UF	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11
NORTE	-	-	-	-	-	-
NORDESTE	95,7	86,9	113,4	80,5	88,3	129,7
CENTRO-OESTE	-	-	-	-	-	-
SUDESTE	7,5	6,6	9,9	12	10	7,8
SUL	0,7	0,2	-	-	2,3	3,6
<b>BRASIL</b>	103,9	93,7	123,3	92,5	100,6	141,1

Fonte: Adaptado de CONAB (2011).

Analisando o Quadro 2 percebe-se que, após um período de instabilidade, a produção de mamona tem crescido, resultado das políticas de apoio à produção de biodiesel, como também verifica-se a importância da região nordeste na produção da oleaginosa.

Voltando a atenção para o nordeste brasileiro, mais especificamente o estado de Pernambuco, que é a região em questão do presente estudo, o Anexo I mostra a safra da mamona das cidades pernambucanas.

Além da mamona, o Brasil também concentra outras culturas com potencial de inserção no processo de produção do biodiesel, entre elas: a soja, o dendê (palma), o girassol, o amendoim, o algodão e o pinhão-manso (BIODIESEL, 2006). A Tabela 2 apresenta algumas características destas oleaginosas, com correspondente produtividade para aproveitamento na geração de energia:

**Tabela 2 – Características das oleaginosas.**

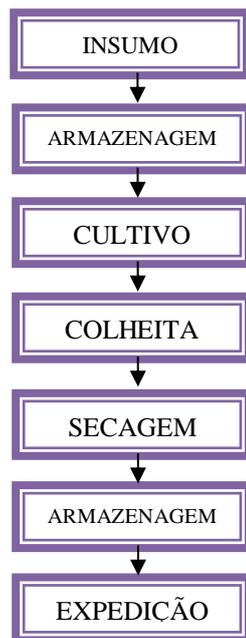
Espécie	Produtividade (ton./ha)	Ciclo de produção	Regiões produtoras	Modo de produção	Percentual de óleo	Rendimento (ton.óleo/ha)
Mamona	0,5 a 1,5	Anual	Nordeste	MO intensiva	43 a 45	0,5 a 0,9
Dendê	15 a 25	Perene	BA e PA	MO intensiva	20	3 a 6
Girassol	1,5 a 2	Anual	GO, MS, SP, RS e PR	Mecanizada	38 a 48	0,5 a 0,9
Amendoim	1,5 a 2	Anual	SP	Mecanizada	40 a 43	0,6 a 0,8
Algodão	0,86 a 1,4	Anual	MT, GO, MS, BA e MA	Mecanizada	15	0,1 a 0,2
Soja	2 a 3	Anual	MT, PR, RS, GO, MS, MG e SP	Mecanizada	17	0,2 a 0,4
Pinhão Manso	2 a 12	Perene	Nordeste e MG	MO intensiva	50 a 52	1 a 6

**Fonte:** Amorim, 2005. Adaptado de Meirelles, F.S. 2003.

Analisando a Tabela 2, a mamona não se mostra como a melhor opção na produção de biodiesel, por apresentar uma produtividade e rendimento menor que outras oleaginosas. Porém existem outras variáveis que influenciam na viabilidade de uma oleaginosa, como por exemplo a sua adaptabilidade a uma região, a necessidade de maquinário no cultivo, o custo de produção, as características do óleo, possíveis subprodutos, entre outros. Portanto é necessário levar em consideração todos esses fatores no momento de decidir qual será a matéria-prima mais vantajosa para a produção de biodiesel (ARAUJO et al, 2008).

#### **2.4. A Produção Agrícola da Mamona**

De acordo com Mendes (2005), os principais insumos utilizados para a produção de mamona são terra, sementes, água, adubos e herbicidas, além de máquinas, equipamentos e implementos agrícolas.



**Figura 1** - Fluxograma da produção agrícola da mamona.

**Fonte:** Adaptado de MENDES (2005).

Como pode ser visto na Figura 1, após o cultivo, vem a etapa da colheita, que pode ser manual ou mecanizada, lembrando que não são fabricadas ainda colheitadeiras exclusivas para a mamona, por isso são usadas máquinas adaptadas. Os cachos colhidos são levados posteriormente para a etapa da secagem. Esse transporte pode ser realizado com o auxílio de carro-de-mão, carroças ou tratores a depender das distâncias e dos recursos disponíveis. Já a secagem é uma etapa onde os cachos devem ser revolvidos várias vezes e dura de dois a três dias e deve ser feita preferencialmente em um terreiro de cimento ou no chão batido com uma lona (EMBRAPA, 2011).

Ainda segundo a Embrapa, existe um procedimento que antecede a armazenagem e a expedição, que é o descascamento. Essa etapa é muito importante para a definição da qualidade da mamona. Após esse processo as sementes são armazenadas em sacos de 60 kg ou em silos. A maior preocupação no armazenamento é com a umidade, que deve ser mantida baixa.

No momento da venda de sua produção a maioria dos agricultores sofre as consequências da desorganização do mercado interno, como a distância dos produtores e a impossibilidade de vender diretamente às indústrias compradoras, influenciando negativamente no preço pago ao produtor. Historicamente esse cenário propiciou a dependência dos atravessadores, porém

várias ações vêm sendo executadas com o intuito de garantir a compra desses agricultores com um preço mínimo estabelecido (MENDES, 2005).

A produção da mamona no Brasil está concentrada em pequenas propriedades, com uso de agricultura familiar e baixa aplicação de tecnologia, resultando na produtividade média nacional de 500 kg/ha. Em sua grande maioria, esses produtores não estão associados, fazendo com que os atravessadores sejam a única opção na hora da venda. Uma melhor organização dos produtores possibilitaria a comercialização direta com as indústrias processadoras, o que aumentaria o rendimento dos mesmos (SAVY FILHO, 2005).

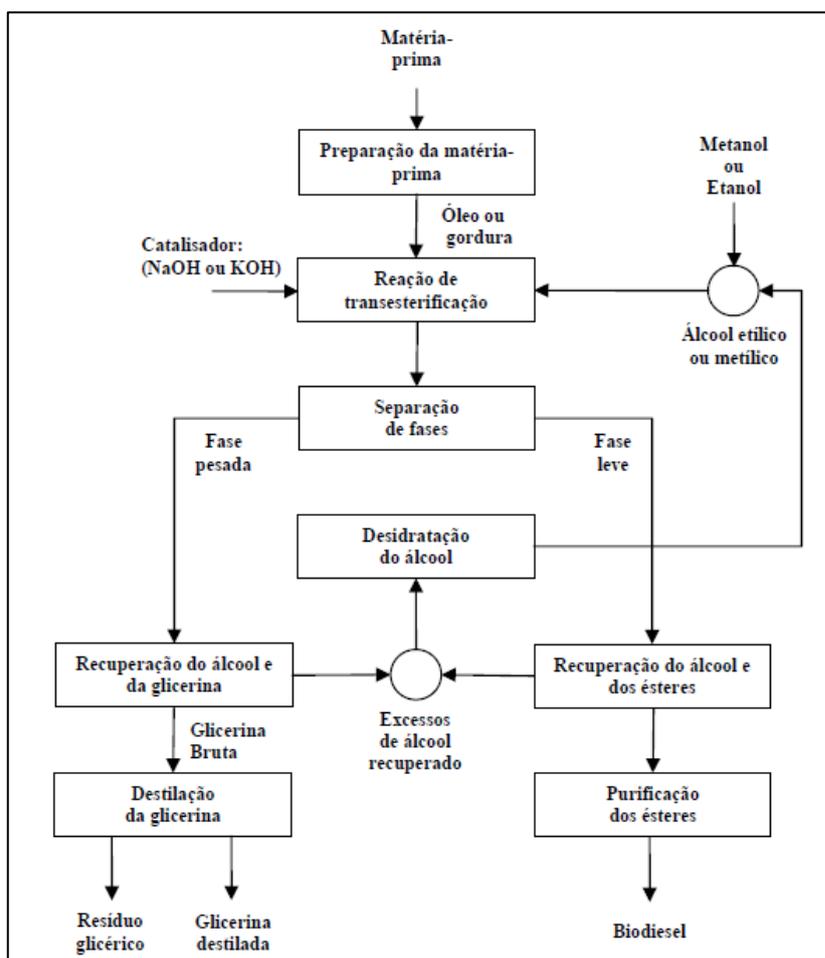
Na produção da mamona, assim como a maioria do setor agrícola brasileiro, o modal de transporte mais utilizado, tanto dos insumos até as plantações como das sementes para a planta de esmagamento, é o rodoviário. Desse modo, o produtor enfrenta sérios problemas nas rodovias, decorrentes utilização das rodovias secundárias, as quais não são pavimentadas, que dão acesso às rodovias principais, as quais são fundamentais para o escoamento da produção agrícola de bagas de mamona, que geralmente não são bem conservadas (MENDES, 2005).

## **2.5. O Biodiesel**

De acordo com Parente (2003), o que é denominado de biodiesel é um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta - metanol ou etanol.

Segundo Amorim (2005), o biodiesel pode ser extraído de fontes diversas, tais como óleos vegetais, gorduras animais, óleos e gorduras residuais, utilizando diversos processos. Além disso, possui a característica de proporcionar a independência, ou pelo menos reduzir a dependência nacional em relação às fontes tradicionais, pois é um combustível alternativo proveniente de fontes naturais renováveis e com grande apelo ambiental, pelo fato de reduzir a emissão de gases como CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre).

A produção do biodiesel envolve uma série de etapas, como exemplificado na Figura 2.



**Figura 2** – Fluxograma do processo de produção de biodiesel.

**Fonte:** Parente (2003).

Quando a mamona é a matéria-prima, a obtenção do biodiesel acontece através do processo de transesterificação. Todo o processo de produção é composto das seguintes etapas: preparação da matéria-prima, reação de transesterificação, separação de fases, recuperação e desidratação do álcool, destilação da glicerina e purificação do biodiesel. A matéria-prima é submetida a um processo de neutralização e de secagem para que ocorra uma máxima taxa de conversão na reação de transesterificação. A acidez é reduzida por uma lavagem com solução alcalina de hidróxido de sódio ou de potássio. A umidade da matéria-prima deve ser muito baixa. Em seguida ocorre a transesterificação, etapa mais importante do processo, porque é nela que ocorre a transformação do óleo vegetal em biodiesel (FAESP,2003).

## 2.6. Cadeia Produtiva do Biodiesel

Em janeiro de 2005 foi sancionada a Lei 11.097, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, estabelecendo percentuais mínimos de mistura de biodiesel ao diesel mineral. Para o período que vai de 2005 a 2007, estipulou-se a adição de 2% de biodiesel em caráter autorizativo.

No entanto, através da Resolução nº 3, de 23 de setembro de 2005, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) antecipou o prazo para o atendimento do percentual mínimo intermediário de 2% ao diesel para o início de 2006, restringindo a obrigatoriedade ao volume produzido pelas empresas detentoras do “Selo Combustível Social”.

De 2008 a 2012, estes 2% tornaram-se obrigatórios, sem restrições, o que gerou uma necessidade de mercado de aproximadamente um bilhão de litros por ano. A partir de 2013, torna-se obrigatório a adição de 5% de biodiesel ao diesel, o que significa um mercado de aproximadamente 2,4 bilhões de litros. A Figura 3 ilustra essa evolução. (CARVALHO, 2006)



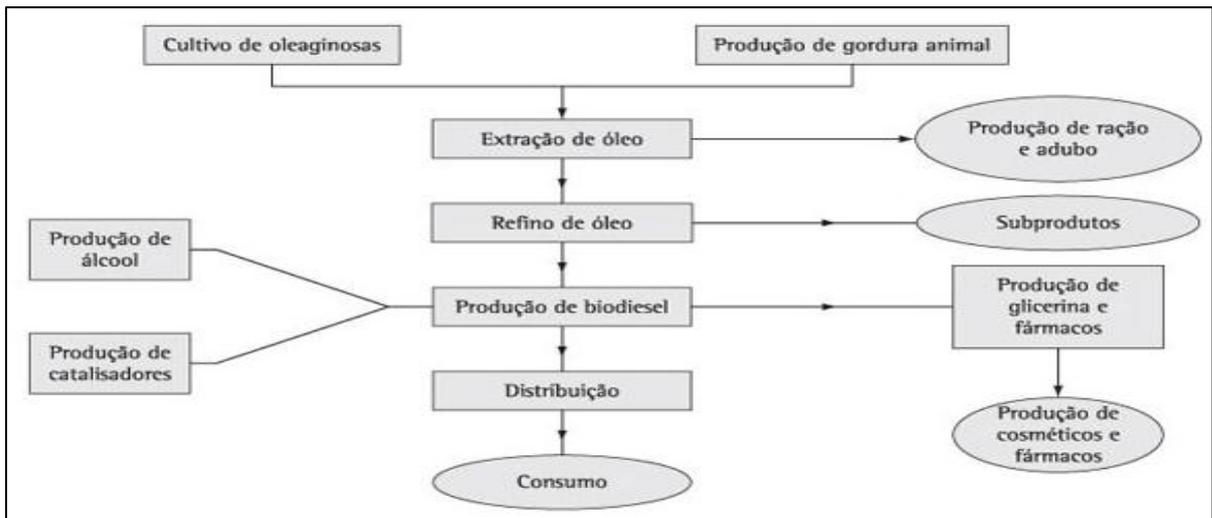
**Figura 3** – Introdução do biodiesel no mercado brasileiro de combustíveis.

**Fonte:** CARVALHO (2006).

Para Carmo (2007), a Cadeia Produtiva do Biodiesel pode ser definida como uma sequência de atividades que culmina em um produto final: o biodiesel. Como subprodutos desta cadeia, têm-se o farelo de oleaginosa e a glicerina, que podem servir de matéria-prima para outras cadeias produtivas de centenas de produtos.

A cadeia agroindustrial do biodiesel de mamona passa atualmente por um processo de fortalecimento e adequação as diversas regiões do país. É importante que sejam firmadas algumas parcerias e estabelecidas regras que venham garantir a sustentabilidade da cadeia.

A Figura 4 exemplifica a cadeia produtiva do biodiesel.



**Figura 4** – Cadeia Produtiva do Biodiesel.

**Fonte:** Carmo (2007).

Ainda segundo o autor, cada caixa ilustra um elo desta rede, na qual é identificada a atividade realizada. Estas atividades são interligadas, formando a cadeia.

Falando em Pernambuco, uma pesquisa realizada pela FACEPE com o apoio da Petrobrás concluiu que, para conseguir melhores resultados e consequentemente ampliar o programa para todo o estado, é preciso direcionar os esforços principalmente no zoneamento da região, identificando áreas que possibilitem uma produção de mamona com alto rendimento de óleo, na integração dos produtores com as indústrias e no apoio a criação das cooperativas. Essas ações possibilitariam um melhor aproveitamento das terras, uma possível redução dos custos de transporte do campo até as indústrias, o fortalecimento dos produtores e principalmente dimensionar a produção de óleo de acordo com a demanda, o que proveria uma maior estabilidade na cadeia produtiva do biodiesel (FACEPE, 2008).

## 2.7. Logística

Antes da década de 50, as empresas percebiam a logística de forma desagregada, onde cada setor era responsável por apenas uma parte do processo. Esse cenário só viria a mudar com o desenvolvimento da tecnologia da informação,

que abriu novos rumos não só para a logística, mas para todos os outros setores de todas as empresas (BOWERSOX et al, 2007).

Para o autor, hoje em dia, a logística é responsável por disponibilizar os insumos, os produtos acabados e semiacabados no local exato e no momento certo, sempre com o menor custo possível.

Já para Novaes (2004) a logística pode ser definida, resumidamente, como o processo de planejar, implementar e controlar da melhor maneira possível o fluxo e a armazenagem de produtos, juntamente com os serviços e informações associados, se responsabilizando desde o ponto de origem até o ponto de consumo, objetivando atender as necessidades do consumidor.

O autor afirma também que a logística é, em uma empresa, o setor que proporciona os meios práticos necessários para atingir as metas estabelecidas pelo marketing, já que é através dela que os clientes terão seus produtos desejados no momento certo, no local certo e na qualidade esperada.

Bowersox *et al* (2007) consideram que o gerenciamento logístico inclui o projeto e o gerenciamento de sistemas que controlem o fluxo de materiais, os estoques em processo e os produtos acabados, objetivando fortalecer a estratégia de negócios de uma empresa.

Ainda segundo os autores, a missão da logística é satisfazer as necessidades dos consumidores, atendendo um nível de serviço predefinido ao mesmo tempo em que tenta equilibrar os custos operacionais, de forma que essas atividades alcancem os objetivos do negócio.

A estratégia da logística das empresas normalmente se desenvolve em torno de três objetivos principais: a redução dos custos globais, a redução de capital imobilizado e a melhoria no nível de serviços. Quanto ao tempo, essas estratégias podem ser de curto ou longo prazo, a depender do tipo de problema envolvido. As áreas fundamentais trabalhadas pelo planejamento estratégico da logística são: serviço ao cliente, localização, estoques e transporte (BALLOU, 2006).

Segundo o mesmo autor, o valor da logística se manifesta necessariamente em termos de tempo e lugar, uma vez que produtos e serviços não têm valor a menos que estejam disponíveis aos consumidores onde e quando desejarem. No momento que a importância da logística é reconhecida pelas empresas, as mesmas

passam a enxergar os custos envolvidos e as possibilidades de melhorias, sendo que uma das vantagens obtidas é a visualização de novos mercados consumidores.

As empresas brasileiras passaram a perceber a importância da logística no momento em que o país começou a sentir os efeitos da globalização, principalmente pela entrada das grandes multinacionais. De um modo geral, a evolução da logística acontece de forma lenta, pois existem diversos fatores que impedem um rápido desenvolvimento do setor. Um fator que pode ser destacado é a falta de integração entre os setores de uma empresa (NOVAES, 2004).

Ainda segundo o autor, não é difícil encontrar empresários que investem em sistemas de informação, *hardware* e *software*, pensando que apenas esse desenvolvimento pontual resolverá todos os problemas. O grande problema aqui é a falta de integração dos diversos sistemas existentes nos setores de uma empresa, que não conseguem mostrar em tempo real o andamento da mesma.

Dentre as várias áreas da logística, existe uma que trata das decisões de localização de instalações.

### **2.7.1. Localização de Instalações**

Decidir onde uma instalação deverá ser localizada é de extrema importância no processo de planejamento estratégico de qualquer empresa, uma vez que escolhas erradas podem trazer sérias desvantagens (MOREIRA, 2008).

Ainda segundo o autor, esse tipo de decisão não se enquadra apenas em novos empreendimentos, mas naqueles que já atuam, como por exemplo uma empresa que pretende expandir sua área de atuação ou até mesmo fechar uma de suas instalações e abrir em outro local.

Para Moreira (2008), existem vários fatores determinantes no processo de decisão de localização, sendo que, a depender do setor em que atua a empresa, alguns desses fatores podem influenciar mais que outros. O autor destaca como principais fatores:

- a) Localização de matérias-primas;
- b) Mão-de-obra;
- c) Água e energia elétrica;

- d) Localização dos mercados consumidores;
- e) Atitudes da comunidade;

No primeiro item pode-se destacar a importância dos custos referentes ao transporte da matéria-prima ou a perecibilidade da mesma. No segundo item a preocupação é com a disponibilidade de mão-de-obra capacitada do local. O terceiro tópico refere-se à disponibilidade de água e energia elétrica. O quarto item refere-se à facilidade de acesso que pretende-se fornecer aos consumidores. Já o último tópico relaciona principalmente a receptividade que a comunidade terá com a instalação da empresa.

Para determinar o número de instalações, localização, capacidades e possíveis clientes, existem algumas metodologias que auxiliam nessa tomada de decisão, conhecidas como estratégias de localização.

### **2.7.2. Estratégias de Localização**

Segundo Bowersox *et al* (2007) a tarefa de localizar uma fábrica ou um centro de distribuição é uma decisão estratégica, pois pode trazer ganhos com economia de escala e redução nos custos de transporte. Geralmente o encarregado de logística é o responsável pelas decisões. Os autores citam como principais questões da estratégia de localização:

- a) a quantidade de instalações e o local onde devem estar localizadas;
- b) os clientes que serão servidos pelas instalações;
- c) os produtos que deverão ser produzidos ou armazenados;
- d) os canais logísticos a serem utilizados;
- e) integrar verticalmente ou terceirizar os serviços de distribuição física.

Já para Chopra e Meindl (2003), as decisões sobre instalações referem-se à localização de indústrias, armazéns ou instalações ligadas ao transporte e à alocação de capacidades e funções para cada instalação. O autor denomina estas questões como decisões de projetos de rede da cadeia de suprimentos e as classifica em quatro etapas interdependentes:

- a) Papel das instalações, na qual são estabelecidos quais processos serão desenvolvidos em cada instalação;

- b) Localização das instalações: Uma boa decisão sobre localização pode ajudar a cadeia a ser mais eficiente, mantendo menores custos. Estas questões exercem um impacto em longo prazo no desempenho da cadeia, já que é muito caro fechar uma instalação ou mudá-la de localidade;
- c) Dimensionamento da capacidade;
- d) Alocação de mercados e suprimentos, onde são determinados quais mercados serão atendidos pela instalação e quais fornecedores irão alimentá-la. À medida que as condições de mercado ou a capacidade das fábricas mudam, esta decisão deve ser reconsiderada.

De acordo com Ballou (2006), a decisão de onde localizar as instalações fixas ao longo da cadeia de suprimentos representa um passo importante na missão de redução de custos logísticos. Para a maioria das empresas é o passo mais importante na construção do planejamento estratégico da logística e da cadeia de suprimentos, pois, tendo em vista a complexidade formada pela grande quantidade de fornecedores, clientes, insumos e produtos finais, a estratégia de localização torna-se cada vez mais importante na busca pela diferenciação e sobrevivência no mercado competitivo atual.

Ainda segundo o autor, existem basicamente duas metodologias nas estratégias de localização:

- Metodologia da localização de instalação única, onde os custos com transporte representam a maior influência nos custos totais. As tarifas de transporte e as demandas dos pontos são as variáveis nesse tipo de problema.
- Metodologia da localização de instalações múltiplas, que é a mais comum de ser utilizada, pois, não se tratando de empreendimentos pequenos, a maioria das empresas precisam de duas ou mais instalações fixas. Dentro dessa metodologia existem vários métodos de localização de instalações, dentre eles:
  - a) métodos exatos;
  - b) métodos de simulação;
  - c) métodos heurísticos.

Os métodos exatos tem condições de apresentar uma resolução ótima, ou no mínimo de precisão aceitável para o problema. A Programação Linear Inteira

Combinada (PLIC), que será explicada no próximo tópico, se enquadra nesse tipo de método. Já os métodos de simulação buscam, através de repetidas aplicações do modelo, o melhor padrão de localização. A eficiência dos resultados nesse método dependem das habilidades do usuário. Por fim, os métodos heurísticos podem ser considerados como otimizadores do tempo de busca e armazenamento na resolução de problemas de localização, alcançando bons resultados com rapidez.

### **2.7.2.1. Programação Linear Inteira Combinada**

Durante muitos anos, matemáticos trabalharam para desenvolver procedimentos que conseguissem lidar com problemas de localização complexos e resultassem numa solução matemática ótima. Dentre as abordagens desenvolvidas, talvez a mais promissora é a programação linear inteira combinada (BALLOU, 2006).

Ainda segundo o autor, a programação linear inteira combinada é utilizada para encontrar o número, capacidade e localização das instalações físicas, objetivando a minimização dos custos fixos e variáveis. Porém existem algumas restrições que limitam as possíveis soluções, dentre elas:

- a) não exceder a capacidade da instalação;
- b) atender toda a demanda;
- c) ter um processamento mínimo;
- d) todos os clientes devem ser atendidos por uma mesma localização.

A decisão de localização de depósitos pode ser tomado como exemplo. Segundo Leal (1995), decisões buscam minimizar os custos totais do sistema. Nessa problemática existem  $n$  pontos possíveis para a localização de depósitos e  $m$  clientes que devem ser atendidos pelos mesmos. As restrições econômicas impõem que o número de depósitos deve ser superior a  $N_{\min}$  e inferior a  $N_{\max}$ . Além disso, cada depósito possui uma capacidade máxima  $q_j$  e cada cliente tem uma demanda  $r_i$ , que deve ser totalmente atendida.

Utiliza-se a variável  $y_j$ , com valor 0 ou 1, para indicar se naquele ponto será instalado um depósito (valor 1) ou não (valor 0). Outra variável utilizada é  $x_{ij}$ , que representa a percentual da demanda do cliente ( $i$ ) que foi atendida pelo depósito ( $j$ ). Em seguida, associa-se um custo fixo de instalação de depósito ( $f_j$ ) a cada um dos  $n$

pontos, que representa o custo de aquisição, aluguel ou construção do depósito e os custos fixos de operação. O custo de transporte de produtos entre o depósito (j) e o cliente(i), os custos variáveis de operação e suprimentos do depósito, são representados pelo custo variável de suprimentos ( $c_{ij}$ ). Portanto, pode-se construir o problema de localização de depósitos através da função-objetivo e do conjunto de restrições a seguir:

$$\text{Função Objetivo: Min.} \quad \sum_{j=1}^n \left[ f_j y_j + \sum_{i=1}^m c_{ij} x_{ij} \right] \quad (1)$$

Tal que:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i=1, \dots, m. \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} r_i \leq q_j \quad j= 1, \dots, n. \quad (3)$$

$$y_j - x_{ij} \geq 0 \quad \forall i,j \quad (4)$$

$$N_{\min} \leq \sum_{j=1}^n y_j \leq N_{\max} \quad (5)$$

$$y_i \in \{0,1\}, \quad j=1, \dots, n. \quad (6)$$

A equação (1) representa a função objetivo, que é composta pelo somatório dos custos fixos de instalação de depósitos e pelo somatório dos custos variáveis e de transporte. A equação (2) garante que a demanda de todos os clientes será totalmente atendida; a equação (3) garante que os depósitos não excederem da sua capacidade máxima; a equação (4) assegura que o suprimento dos clientes será realizado apenas pelos depósitos selecionados; e a equação (5) determina que o número de depósitos instalados esteja limitado ao intervalo ( $N_{\min}$ ,  $N_{\max}$ ).

No artigo publicado por Praça *et al* (2004), é possível encontrar outro exemplo de utilização da Programação Linear Inteira Mista, que no caso foi utilizada na tentativa de determinar a localização ótima de usinas de esmagamento e

processamento de biodiesel. Os autores determinam três etapas no processo produtivo do biodiesel: o cultivo da mamona, que acontece em áreas propícias chamadas de Centros Produtivos de Mamona (CPM), a extração do óleo nas Plantas de Esmagamento (PE) e finalmente a Planta de Produção (PP), que são as usinas.

O objetivo do trabalho foi minimizar os custos de transporte entre as etapas e também os custos de implantação. Para isso criaram o seguinte modelo matemático para o problema de localização:

$$\text{Min} \left[ \left( \sum_{k=1}^P A_k \cdot y_k \right) + \left( \sum_{i=1}^m E_i \cdot O_i \right) + \left( \sum_{j=1}^n F_j \cdot R_j \right) + \left( \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij} \cdot x_{ij} \right) + \left( \sum_{k=1}^P \sum_{i=1}^n D_{ki} \cdot v_{ij} \right) \right] \quad (7)$$

Onde:

$m$  – número de plantas esmagadoras (PE);

$n$  – número de plantas produtoras (PP);

$p$  – número de centros produtores de mamona (CPM);

$A_k$  – custo de instalação do  $CPM_k$ ;

$E_i$  – custo de instalação do  $PE_i$ ;

$F_j$  – custo de instalação do  $PP_j$ ;

$C_{ij}$  – custo de transporte da  $PE_i$  para  $PP_j$ ;

$D_{ki}$  – custo de transporte do  $CPM_k$  para  $PE_i$ ;

$a_i$  – capacidade de consumo de bagas da mamona na  $PE_i$ ;

$w_k$  – capacidade de produção de bagas da mamona no  $CPM_k$ ;

$M$  – demanda de biodiesel da mamona (ano);

$b_j$  – capacidade de produção de biodiesel da mamona (BDM) na  $PP_j$ ;

$v_{ki}$  – quantidade de bagas de mamona (em ton.) a ser transportada do  $CPM_k$ ;

$x_{ij}$  – quant. de óleo de mamona (em ton.) a ser transportada da  $PE_i$  para a  $PP_j$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_{ki} \leq w_k \cdot y_k, \forall k = 1, 2, \dots, p. \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^p v_{ki} \leq a_i \cdot O_i, \forall i = 1, 2, \dots, m. \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = \left( \sum_{k=1}^p \alpha_k v_{ki} \right), \forall i = 1, 2, \dots, m. \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq b_j k_j, \forall j = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} \geq M; x_{ij} \geq 0 \text{ e } v_{ki} \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, m. \quad (12)$$

$Y_k = 1$ , se a *CPM*  $k$  será instalada

0, caso contrário

$O_i = 1$ , se a *PE*  $i$  será instalada

0, caso contrário

$P_j = 1$ , se a *PP*  $j$  será instalada

0, caso contrário

A Equação 7 representa a função objetivo que é composta pelo somatório de 5 parcelas: o custo de fixo de instalação de um Centro de Produção de Mamona  $k$ , o custo de implantação de uma Planta de Esmagamento  $i$ , o custo de implantação de uma Planta de Produção de biodiesel  $j$ , além do custo de transporte do óleo de mamona das Plantas de Esmagamento para a Planta de Produção e do custo de transporte das bagas de mamona para a planta de esmagamento.

A Equação 8 assegura que nenhuma planta de esmagamento seja atendida por um CPM fechado e que o total de demanda não ultrapasse a capacidade do CPM. A Equação 9 assegura que nenhuma planta de produção será atendida por uma planta de esmagamento fechada e que o total de demanda não ultrapasse a capacidade da planta de esmagamento.

Já a Equação 10 garante que a quantidade de óleo de mamona produzido na PE corresponde à quantidade de bagas de mamona recebidas, enquanto que a Equação 11 garante que a capacidade de produção de biodiesel da Planta de Produção será respeitada e que só será produzido biodiesel em PP abertas. Por sua vez, a Equação 12 assegura que a demanda por biodiesel será atendida e que as quantidades de bagas de mamona e de óleo de mamona não sejam negativas.

### 2.7.2.2. P-medianas

Um método que utiliza a programação linear inteira combinada é a abordagem p-mediana. Este tipo de problema consiste em localizar  $p$  instalações em uma região após uma seleção das possíveis localizações candidatas a receberem as facilidades. Utiliza-se o  $p$  para determinar a quantidade de instalações a serem localizadas e busca-se através desta metodologia minimizar o somatório da distância entre os clientes e os fornecedores (JACKSON *et al*, 2005).

Segundo Rosa (1996), o problema de localização de medianas pode ser aplicado em diversas situações práticas, dentre elas:

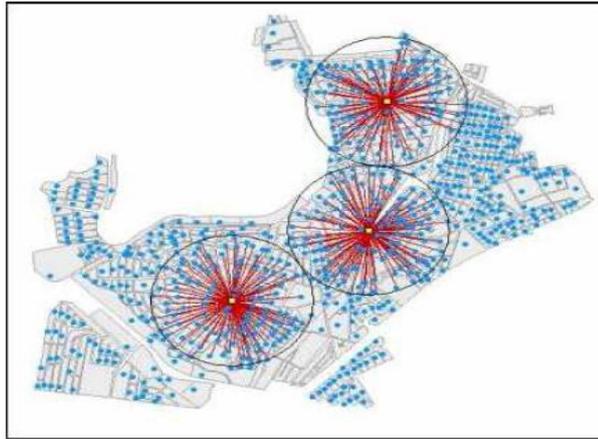
- Localizar depósitos de produtos em uma rede rodoviária para abastecimento dos clientes;
- Localizar escolas em um município;
- Localizar postos operacionais dos correios.

Para Lorena (2003), o modelo p-medianas é um dos modelos de localização mais populares da literatura e que é muito utilizado para localizar centros nos setores públicos e privados.

De acordo com Pereira (2005), o problema de p-medianas possui as seguintes características:

- Um número finito de pontos, com valores conhecidos de demanda;
- Um número finito de locais candidatos para a instalação de facilidades;
- A distância entre cada ponto de demanda e os locais candidatos;
- O número  $p$  de facilidades a serem instaladas.

A Figura 5 mostra um exemplo real de localização de três medianas.



**Figura 5** – Exemplo real de localização de três medianas.

**Fonte:** Lorena (2007).

### **3. METODOLOGIA**

Este tópicó visa descrever todo o procedimento metodológico que foi seguido, classificando o trabalho quanto a sua finalidade, natureza e procedimento. Também serão detalhadas as etapas e as variáveis que serão utilizadas.

#### **3.1. Finalidade da Pesquisa**

Basicamente as várias finalidades da pesquisa podem ser divididas em dois grupos: um motivado por razões de ordem intelectual e o outro por razões de ordem prática (ANDRADE, 2009).

Tendo como base a definição da autora, este trabalho se enquadra como sendo de ordem prática, ou como pesquisa aplicada, já que busca soluções para um problema concreto.

#### **3.2. Tipologia da Pesquisa**

Ainda conforme Andrade (2009), uma pesquisa pode ser classificada quanto a sua natureza, podendo ser um trabalho científico original ou um resumo de assunto. Sendo assim, o presente trabalho se enquadra como um resumo de assunto, pois segundo Cervo (2007), o objetivo dos estudantes universitários é basicamente treinar as técnicas de investigação, ampliando sua aprendizagem.

Já quanto ao procedimento, Cervo (2007) afirma que as pesquisas podem ser classificadas como sendo: bibliográficas, descritivas ou experimentais. O trabalho irá simular diferentes situações, manipulando algumas variáveis a fim de obter uma solução ótima. Esse fato caracteriza uma pesquisa experimental, pois conforme o autor esse tipo de pesquisa busca manipular as variáveis para compreender a relação entre as mesmas.

### **3.3. Delineamento da pesquisa**

Este trabalho foi iniciado com uma revisão bibliográfica, principalmente em livros e artigos científicos, que serviram de base para as etapas seguintes. Simultaneamente foram obtidas informações a respeito da produção e transporte da mamona no estado de Pernambuco, bem como custos de implantação, custo fixo e capacidade produtiva das usinas de biodiesel.

Em seguida foi criado um modelo matemático e possíveis cenários foram elaborados, propondo diferentes quantidades de usinas com capacidades distintas, a fim de obter o menor custo total. Posteriormente, foram executadas as simulações com o auxílio do *software* Matlab<sup>®</sup>, utilizando o método p-mediana. Somaram-se os valores obtidos nas simulações com os custos de instalação e custos fixos das usinas selecionadas a partir de sua capacidade produtiva.

### **3.4. Variáveis da pesquisa**

As variáveis contempladas na presente pesquisa são basicamente os valores dos fretes, os custos de implantação e manutenção de usinas, bem como a localização das cidades produtoras e suas respectivas safras. Estas variáveis são provenientes de pesquisas realizadas com a Petrobrás, bases de dados do IBGE e artigos científicos.

### **3.5. Esquematização do problema**

A problemática tem início na oferta de matéria-prima, no caso a produção de mamona dos municípios pernambucanos. Em seguida acontece o transporte das mamonas até as plantas de produção, onde acontece a extração do óleo e a produção do biodiesel. Decidiu-se apenas trabalhar com as duas unidades juntas, extração e produção, tendo em vista facilitar os cálculos e também seguir o

resultado obtido por Praça (2004), que encontrou um menor custo utilizando essa modelagem.

Após a produção do biodiesel, segundo a ANP, as usinas devem vender por meio de leilões autorizados, toda sua produção destinada à mistura obrigatória de 5% de biodiesel ao diesel comum, para refinarias autorizadas. Esse trabalho se restringiu a esse tipo de demanda a fim de construir um modelo que tivesse um ponto de entrega, bem como se baseou nas informações cedidas pela Petrobrás, que afirmam que toda a produção de mamona do estado de Pernambuco comprada pela Petrobrás é destinada às refinarias para a mistura com o diesel comum.

A Figura 6 representa o esquema a ser seguido no trabalho.



**Figura 6** – Esquematização do problema.

**Fonte:** Produzido pelo autor.

Atualmente, toda a mamona produzida no estado de Pernambuco, que recebe o apoio da Petrobrás, é levada para a usina de Quixadá, no Ceará. A proposta foi produzir o biodiesel em Pernambuco e enviar toda a produção para a cidade de Ipojuca, para que o biodiesel seja misturado ao diesel derivado de petróleo. Em seguida, comparar os custos obtidos com os custos de enviar essa produção para a cidade de Quixadá.

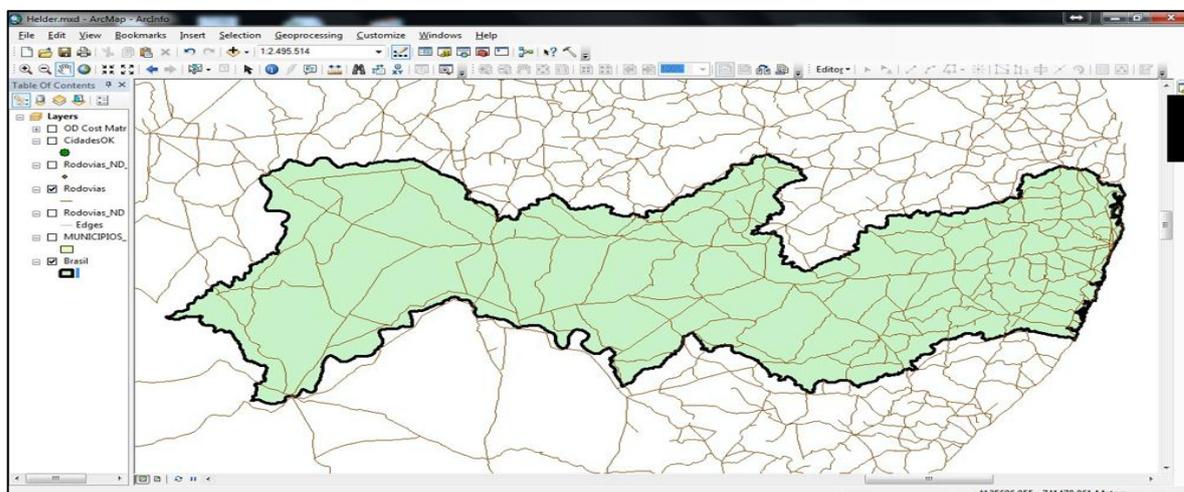
### 3.6. Obtenção dos dados

Os dados necessários para resolver este referido problema utilizando p-medianas são basicamente: as distâncias entre os pontos, as ofertas dos produtos, os valores dos fretes e o custo de instalação das facilidades.

#### a) Matriz Origem – Destino

O primeiro passo foi obter as distâncias entre as cidades produtoras de mamona no estado de Pernambuco para posteriormente criar uma matriz Origem - Destino (O.D.).

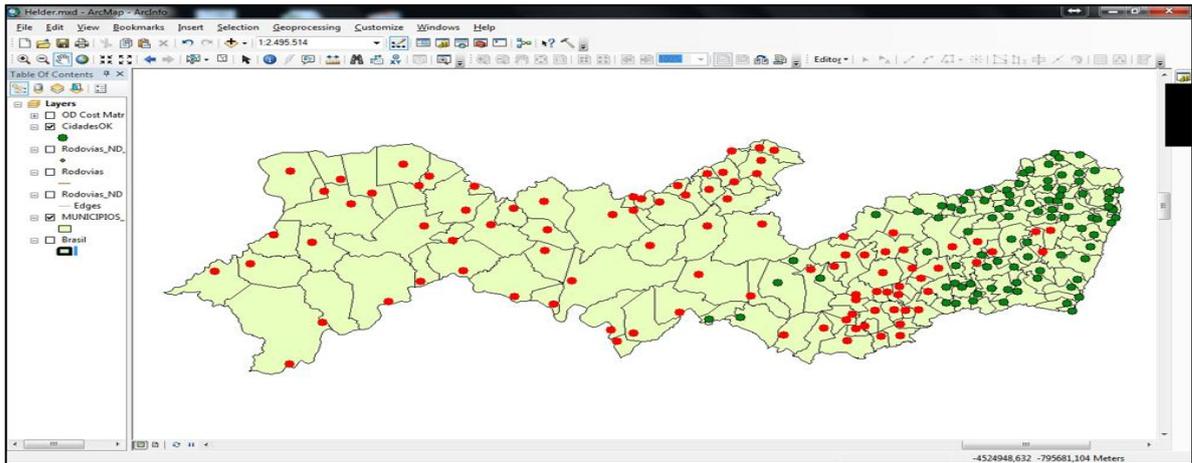
Esses valores foram obtidas com o auxílio do software ArcGIS®. Para tanto foi necessário baixar no site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) uma base de dados com a malha rodoviária brasileira, como mostra a Figura 7, destacando o estado de Pernambuco.



**Figura 7** – Malha rodoviária de Pernambuco.

**Fonte:** Produzido pelo autor (dados do IBGE).

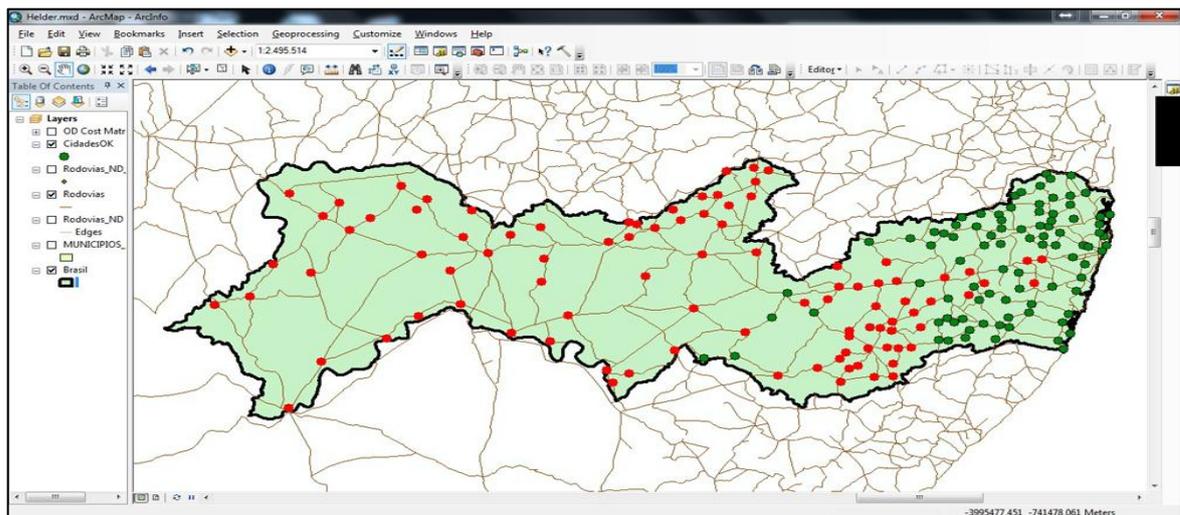
Outro banco de dados foi utilizado, este contendo a localização geográfica dos municípios brasileiros. Foram filtrados somente os municípios pernambucanos e em seguida destacou-se em vermelho as cidades produtoras de mamona, como mostra a Figura 8.



**Figura 8** – Cidades produtoras e não produtoras de mamona em Pernambuco.

**Fonte:** Produzido pelo autor (dados do IBGE).

Por fim, após a instalação dos bancos de dados, o mapa ficou como mostra a Figura 9.



**Figura 9** – Malha rodoviária e municípios do estado de Pernambuco.

**Fonte:** Produzido pelo autor (dados do IBGE).

Em seguida, ainda utilizando os algoritmos de roteirização do ArcGIS®, obteve-se uma lista com a menor distância entre todas as cidades produtoras de mamona utilizando o modal rodoviário. Para organizar no formato de uma matriz, foi lançada essa lista com as distâncias entre as cidades no Microsoft Excel®. Estava pronta a matriz O.D.

O Quadro 3 mostra apenas um recorte da matriz O.D., sendo que os valores estão em metros.

**Quadro 3 – Recorte da matriz O.D.**

	2	3	6	7	9	11	13	18
2	0	448531	228402	167338	271473	235748	354943	208982
3	448531	0	539022	566182	670317	634592	163630	295355
6	228402	539022	0	94274	153913	109984	495539	243668
7	167338	566182	94274	0	122160	101620	474722	270828
9	271473	670317	153913	122160	0	76510	578857	374963
11	235748	634592	109984	101620	76510	0	543132	339237
13	354943	163630	495539	474722	578857	543132	0	251871
18	208982	295355	243668	270828	374963	339237	251871	0

Fonte: Produzido pelo autor.

b) Produção de mamona nos municípios

O Quadro 4, que será explicado a seguir, mostra o potencial produtivo de mamona das cidades pernambucanas.

**Quadro 4 – Potencial produtivo de mamona dos municípios pernambucanos.**

CIDADES	POTENCIAL (ton./ano)	CIDADES	POTENCIAL (ton./ano)	CIDADES	POTENCIAL (ton./ano)
Afogados da Ingazeira	6	Floresta	21	Primavera	120
Afrânio	32	Garanhuns	297	Quixaba	6
Águas Belas	27	Granito	30	Sairé	120
Alagoinha	30	Iati	120	Salgueiro	24
Altinho	24	Ibimirim	200	Saloá	90
Angelim	6	Ibirajuba	30	Sanharó	250
Araripina	200	Iguaraci	3	Santa Cruz	400
Belém de S. Francisco	240	Inajá	80	S. Cruz da Baixa Verde	17
Belo Jardim	8	Ingazeira	12	Santa Filomena	210
Betânia	98	Ipubi	75	S. Maria da Boa Vista	150
Bezerros	8	Itacuruba	405	Santa Terezinha	12
Bodocó	20	Itapetim	6	São João	135
Bom Conselho	24	Jatobá	87	São Joaquim do Monte	120
Brejão	220	Jucati	200	São José do Belmonte	135
Brejinho	11	Jupi	60	São José do Egito	36
Brejo da Madre de Deus	40	Jurema	8	Serra Talhada	255
Cabrobó	36	Lagoa do Ouro	8	Serrita	21
Cachoeirinha	8	Lagoa Grande	60	Sertânia	80
Caetés	104	Lajedo	40	Solidão	2
Calçado	30	Mirandiba	180	SÓo Bento do Una	30
Calumbi	60	Moreilândia	240	Tabira	96
Canhotinho	10	Orocó	35	Tacaimbó	8
Capoeiras	72	Ouricuri	300	Tacaratu	48
Carnaíba	16	Palmeirina	12	Terezinha	8
Carnaubeira da Penha	405	Paranatama	120	Terra Nova	14
Caruaru	28	Parnamirim	180	Trindade	40
Cedro	405	Pedra	40	Triunfo	42
Correntes	8	Pesqueira	75	Tupanatinga	40
Custódia	36	Petrolândia	82	Tuparetama	12
Dormentes	144	Petrolina	360	Verdejante	14
Exu	180	Pombos	120	Vitória de S. Antão	120
Flores	102	Poção	8		

Fonte: Produzido pelo autor (dados do IBGE).

O segundo passo foi descobrir a oferta de matéria-prima das cidades. Primeiramente obteve-se a série histórica anual da produção de mamona dos municípios do estado de Pernambuco, desde o ano 2000 até 2010, que foi obtida também no site do IBGE, na seção da PAM (Produção Agrícola dos Municípios).

De posse da planilha com a série histórica, foram selecionadas apenas as cidades que produziram mamona durante esse período, excluindo as demais cidades. Em seguida foi decidido que a maior produção, já obtida para cada cidade, seria o valor a representar a oferta de matéria-prima da mesma. Essa decisão pretendeu levar em consideração a potencialidade de cada município em produzir matéria-prima, evitar a não seleção de uma cidade que não tenha produzido nos últimos anos por falta de apoio, bem como se basear nas previsões de aumento da oferta de mamona devido à melhor organização dos arranjos produtivos e dos apoios e parcerias estabelecidas no estado de Pernambuco.

Os valores obtidos foram chamados de potenciais produtivos das cidades.

### c) Matriz de Custos

A fim de obter uma matriz única que contemplasse as distâncias, produção e o valor de frete, foi criada uma matriz de custos, multiplicando a matriz de distâncias entre as cidades pelo potencial produtivo de cada município e pelo valor do frete pago para transportar a mamona das plantações até as usinas e o biodiesel até a refinaria. O valor do frete foi obtido no site Sifreca (Sistema de Informações de Fretes), na seção de fretes rodoviários. Para transportar a mamona, ficou definido o valor de R\$ 0,11/(ton\*km), já o transporte do biodiesel das usinas até a refinaria será de R\$ 0,14/(ton\*km).

No primeiro momento, ao invés das distâncias, temos uma matriz que contém os custos de transporte da mamona entre as cidades produtoras até as cidades que irão receber uma planta de produção de biodiesel. O Quadro 5 mostra um recorte da matriz custo, lembrando que a unidade está em reais.

**Quadro 5** – Recorte da matriz de custos.

	2	3	6	7	9	11	13	18
2	0	1579	678	552	717	156	7809	5517
3	296	0	1601	1868	1770	419	3600	7797
6	151	1897	0	311	406	73	10902	6433
7	110	1993	280	0	323	67	10444	7150
9	179	2360	457	403	0	50	12735	9899
11	156	2234	327	335	202	0	11949	8956
13	234	576	1472	1567	1528	358	0	6649
18	138	1040	724	894	990	224	5541	0

**Fonte:** Produzido pelo autor.

Em seguida, com o intuito de criar uma rota que partisse da oferta de matéria-prima até os pontos de consumo, foi definido que todo o biodiesel produzido pelas usinas em Pernambuco será transportado para as refinarias de Ipojuca, tendo em vista que, segundo Moreira (2009), todo o biodiesel puro para a mistura obrigatória deve ser adquirido pelas refinarias (Petrobras e REFAP) por meio de leilões ANP, de acordo com a resolução CNPE 05/07. Essa decisão se baseou em um relatório de movimentação do biodiesel, disponível no site da ANP, onde nota-se que todo o biodiesel a ser misturado ao diesel comum que vai para o estado de Pernambuco, é destinado às refinarias de Ipojuca. Além disso, atualmente toda a produção de mamona em Pernambuco, que é comprada pela Petrobrás, destina-se a usinas e posteriormente a mistura ao diesel nas refinarias, segundo informações obtidas com a própria Petrobrás, o que mostra a relevância da escolha.

Para calcular os custos de transporte do biodiesel das usinas até as refinarias de Ipojuca foi feito o seguinte cálculo: segundo o estudo realizado por Almeida *et al* (2007), 100 kg de mamona produzem 33,75 kg de biodiesel, portanto, tomando como base esse resultado, era preciso multiplicar o potencial produtivo de cada cidade por 0,3375 a fim de transformar numericamente a quantidade de mamona em biodiesel. Vale lembrar que essa é uma suposição onde toda a produção de mamona seria destinada ao biodiesel.

Em seguida multiplicou-se o resultado atual pelo valor do frete pago para transportar o biodiesel pelas rodovias. Posteriormente foram multiplicados os valores obtidos pelas distâncias das cidades até as refinarias, lembrando que nesse modelo todo o biodiesel deverá ser transportado para as refinarias de Ipojuca. Por fim esses novos custos foram somados na matriz de custos anterior, resultando uma matriz que contempla os custos totais de transporte.

A Figura 10 ilustra como ficou a formação do custo total de transporte do problema.



**Figura 10** – Estruturação dos custos totais de transporte.

**Fonte:** Produzido pelo autor.

O Quadro 7 mostra apenas um recorte da nova matriz de custos.

**Quadro 6** – Nova matriz de custos.

	2	3	6	7	9	11	13	18
2	104,3754	2135,669	1147,689	1073,877	1134,502	260,3754	11288,18	9692,018
3	514,7366	1166,595	2585,315	2961,683	2644,946	637,7366	10891,22	16546,46
6	231,3965	2325,781	361,7844	712,9826	727,5861	153,3965	13581,88	9648,861
7	173,3339	2330,781	565,0027	316,6697	576,3358	130,3339	12555,13	9683,358
9	222,3241	2591,062	651,9582	619,6203	173,2962	93,32405	14179,14	11631,96
11	206,1012	2501,207	552,4555	585,5061	402,4049	50,10123	13619,04	10960,05
13	426,8077	1604,308	2339,635	2531,039	2299,231	550,8077	6426,924	14361,31
18	273,0035	1760,019	1331,516	1569,018	1530,014	359,0035	10041,12	5400,142

**Fonte:** Produzido pelo autor.

d) Custos de instalação e custos fixos

Realizaram-se vários contatos via correio eletrônico com indústrias fabricantes de usinas de biodiesel de pequeno a médio porte, sendo que apenas uma delas forneceu informações a respeito dos custos de instalação e capacidade produtiva das usinas e esmagadoras, além dos custos fixos anuais.

As usinas de biodiesel que utilizam mamona como matéria-prima podem ter diferentes capacidades produtivas, ou seja, é possível propor uma configuração de localização de usinas com diferentes tamanhos e custos. Com esse intuito foram obtidos os custos de instalação e operação de usinas em três capacidades diferentes. Além das usinas, foram obtidos também custos de máquinas esmagadoras, que são necessárias para extração do óleo da mamona. O Quadro 7

contém os custos de instalação e a capacidade produtiva das usinas e das esmagadoras.

**Quadro 7** – Custos e capacidade produtiva das usinas.

USINA E PRENSA	CAPACIDADE PRODUTIVA (m <sup>3</sup> /dia)	CUSTO TOTAL
TIPO 1	1,5	R\$ 108.000,00
TIPO 2	6	R\$ 185.000,00
TIPO 3	15	R\$ 400.000,00

**Fonte:** Produzido pelo autor (dados fornecidos por uma indústria).

Cabe aqui destacar que, para transformar m<sup>3</sup>/dia para ton./ano, foi feito o seguinte cálculo: m<sup>3</sup>/dia \* 1000 (litros) \* 300 (dias) / 0,4.

Unidades de diferentes capacidades produtivas possuem custos fixos diferentes. Tais custos das usinas e das esmagadoras são mostrados no Quadro 8.

**Quadro 8** – Custos fixos das usinas e esmagadoras.

	custo fixo (R\$/ano)		custo fixo (R\$/ano)	TOTAL
usina 1	R\$ 35.000,00	esmagadora 1	R\$ 28.600,00	R\$ 63.600,00
usina 2	R\$ 123.880,00	esmagadora 2	R\$ 104.500,00	R\$ 228.380,00
usina 3	R\$ 275.036,00	esmagadora 3	R\$ 231.500,00	R\$ 506.536,00

**Fonte:** Produzido pelo autor (dados fornecidos por uma indústria).

### 3.7. Modelo e resolução (cenários)

Para a identificação das cidades que devem receber as usinas de biodiesel no estado de Pernambuco, foi utilizada a biblioteca de módulos Matlog, baixada no site da Universidade Estadual da Carolina do Norte, implementada no software Matlab<sup>®</sup> 2010. A escolha desse software foi devido à sua capacidade ilimitada de variáveis e restrições, além da fácil interatividade. A biblioteca Matlog por sua vez é gratuita e possui um conjunto de módulos que possibilitou a manipulação do modelo.

#### 3.7.1. Modelo matemático (p-medianas)

O módulo utilizado foi o “p-median”, que se trata de um algoritmo híbrido para problemas de alocação baseada no problema da p-mediana (método exato). O

mesmo é capaz de retornar os locais escolhidos para sediar as instalações, a quantidade de produto a ser enviada para cada ponto e quem serão os clientes ou fornecedores dos mesmos, objetivando a minimização do custo com transporte.

O modelo matemático construído para auxiliar na resolução do problema é composto por uma função objetivo, um conjunto de restrições e variáveis que representam o sistema.

Minimizar

$$CT = \sum_i \sum_j V_i D_{ij} f X_{ij} + \sum_j B_j D_j t \quad (13)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_j X_{ij} = 1, \forall i \quad (14)$$

$$X_{ij} \leq Y_j, \forall i, j \quad (15)$$

$$\sum_j Y_j = p \quad (16)$$

$$X_{ij} = \{0,1\} \quad (17)$$

Onde:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o nó de demanda } i \text{ for atribuído a instalação } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

CT = total dos custos com transporte;

i = cidade produtora de mamona;

j = instalação candidata a receber uma usina;

$V_i$  = quantidade de mamona produzida na cidade “i”;

f = frete cobrado para transportar bagas de mamona;

$D_{ij}$  = distância entre a cidade produtora “i” e a usina “j”;

p = quantidade de cidades a receberem uma usina;

$B_j$  = volume de biodiesel a ser transportado da usina “j” até Ipojuca;

t = frete cobrado para transportar biodiesel;

$D_j$  = distância entre a usina “j” e Ipojuca;

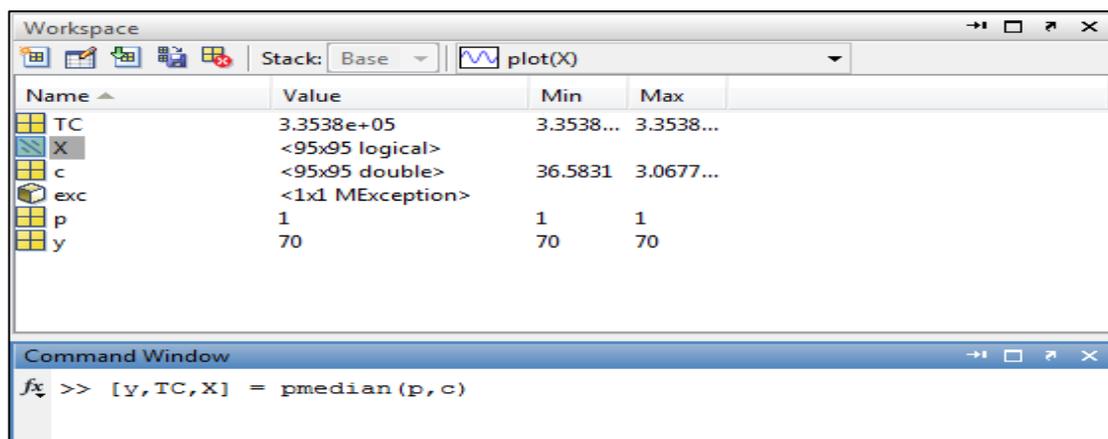
A equação 13 representa a função objetivo, que busca minimizar os custos com deslocamentos de cargas. A restrição 14 garante que a oferta de cada cidade produtora seja totalmente destinada à usina a ser instalada. A restrição 15 objetiva impedir o envio de produtos a cidades em que não haja usina instalada. Quanto à

restrição 16, determina que a quantidade de facilidades a serem instaladas seja fixada em “p”, determinado pelo analista. Já a restrição 17 define que os fluxos nos arcos de ligação sejam obrigatoriamente de 100% ou zero, ou seja, toda a produção de um cidade “i” deve ser enviada a apenas uma usina “j”, ou não haverá fluxo entre esses nós.

### 3.7.2. Aplicação do modelo

Inicialmente, ficou estabelecido que as usinas de biodiesel e as unidades de extração de óleo da mamona deveriam ser instaladas juntas, o que foi nomeado de planta de produção de biodiesel. Foram selecionadas três plantas, uma com capacidade de produzir 1,5 m<sup>3</sup> de biodiesel por dia, outra com capacidade de 6 m<sup>3</sup> por dia e a última podendo produzir até 15 m<sup>3</sup> por dia. Para conhecer a quantidade máxima de mamona suportada pela usina foi estabelecido que as usinas produziram 300 dias por ano, e utilizou-se o índice de 0,3375, obtido por Almeida *et al* (2007) para transformar a matéria-prima em biodiesel.

O modelo criado utilizando p-medianas foi executado para diferentes cenários, variando a quantidade de plantas de produção de biodiesel a serem instaladas. Por se tratar de um problema não capacitado, as quantidades de mamona recebida pelas usinas foram diferentes já que não havia restrições de capacidade.



**Figura 11** – Dentro do Matlab®.

**Fonte:** Produzido pelo autor.

O programa Matlab<sup>®</sup> foi utilizado para obtenção dos resultados. Primeiramente foi instalada uma biblioteca de módulos chamada Matlog. Essa contém alguns módulos que auxiliam na resolução de problemas de ordem logística. No caso foi utilizado o módulo “*pmedian*”. A Figura 11 mostra uma parte da área de trabalho do Matlab<sup>®</sup>.

As informações necessárias para executar o problema eram a matriz de custos, armazenada na variável “c” e a quantidade de instalações, na variável “p”. Como resultado obtém-se uma lista com as cidades fornecedoras, armazenada na variável “X”, e seus respectivos destinos, os locais selecionados para receberem as instalações, armazenada na variável “y”, e também o custo total de transporte, armazenado na variável “TC”.

De acordo com a recepção de matéria-prima foram estabelecidos quais seriam as capacidades de usinas a serem instaladas.

Para cada cenário foram obtidos, com o auxílio do modelo matemático, as cidades selecionadas para instalação das plantas de produção de biodiesel, a quantidade de mamona recebida por cada cidade e o custo anual de transporte da mamona até as plantas e da mesma até a refinaria. De acordo com a quantidade de mamona recebida pôde-se selecionar a menor esmagadora e usina que suportasse o recebimento. Assim, foi possível estabelecer os custos de instalação e os custos fixos anuais. Foi realizada também uma previsão para um horizonte de cinco e dez anos de funcionamento. No cálculo do custo total para cinco anos, o custo de instalação entrou apenas uma vez, já os demais custos, fixos e de transporte, foram multiplicados por 5. O mesmo aconteceu no cálculo do custo total de dez anos, diferenciando apenas o valor que foi multiplicado, no caso 10.

A seguir serão detalhados os resultados obtidos para cada cenário.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O capítulo em questão apresenta os resultados obtidos na pesquisa, acompanhados dos devidos comentários e discussões acerca dos tópicos que seguem.

### 4.1. Cenários

Para cada cenário, já explicados anteriormente, foram obtidos os valores a seguir.

#### a) Cenário I

No primeiro cenário foram simulados os custos no caso de apenas uma cidade receber uma planta de produção de biodiesel. No Matlab<sup>®</sup>, a variável “p” recebeu o valor um, representando a quantidade de instalações. A variável “c” recebeu a matriz de custos totais. Uma observação feita é a de que, para todos os cenários, essa matriz será mantida, alterando apenas a variável “p”.

Lançados os dados, executou-se o problema, obtendo o custo total de transporte. As cidades fornecedoras e a quantidade de matéria-prima transportada, por se tratar de apenas uma usina, foram obtidas automaticamente.

Já no Microsoft Excel<sup>®</sup> foi construída uma planilha especificando a cidade que foi selecionada para que fosse instalada a planta de produção de biodiesel, a quantidade de mamona recebida pela cidade, bem como a capacidade e os custos referentes ao tipo de usina selecionada.

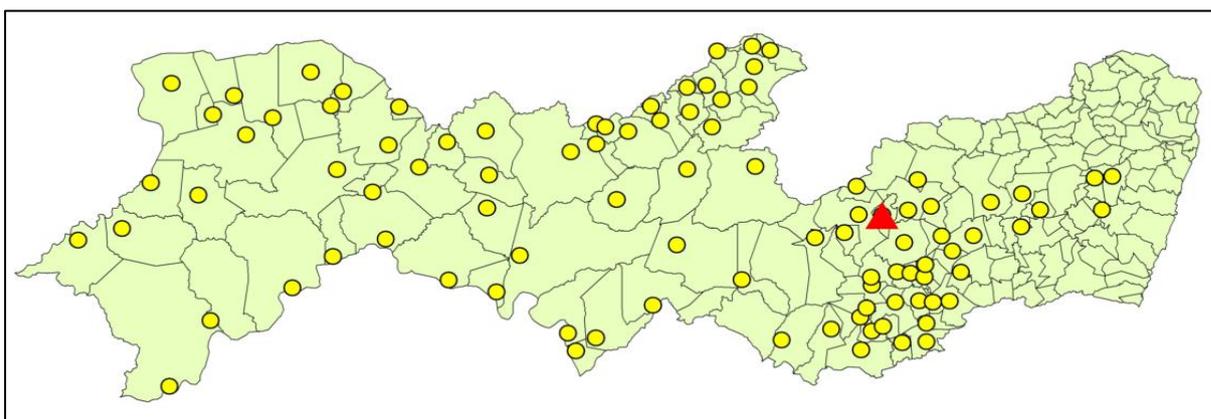
**Tabela 3** – Custos para uma única planta.

UMA PLANTA DE PRODUÇÃO	
Cidade escolhida	Sanharó
Quantidade de mamona recebida (ton/ano)	8787
Capacidade produtiva máxima (litros/dia)	15000
Custo de Instalação da planta	R\$ 400.000,00
Custo de transporte da mamona e do biodiesel (ano)	R\$ 335.380,00
Custo fixo de operação (ano)	R\$ 506.536,00
<b>CUSTO TOTAL (1 ano)</b>	<b>R\$ 1.241.916,00</b>
<b>CUSTO TOTAL (5 anos)</b>	<b>R\$ 4.609.580,00</b>
<b>CUSTO TOTAL (10 anos)</b>	<b>R\$ 8.819.160,00</b>

**Fonte:** Produzido pelo autor.

Todos os custos envolvidos anuais foram somados, obtendo primeiramente o resultado para um ano. Para dar representatividade às simulações, foram criados horizontes de tempo de cinco e dez anos, a fim de perceber a influência dos custos fixos e de transporte. Esses valores são mostrados na Tabela 3.

A Figura 12 mostra o mapa de Pernambuco com a localização das cidades produtoras de mamona, marcadas com pontos amarelos, e a cidade selecionada para instalação da planta de produção de biodiesel, destacada com um triângulo vermelho.



**Figura 12** – Localização da planta e cidades fornecedoras.

**Fonte:** Produzido pelo autor.

Portanto, nesse caso, todas as cidades produtoras serão fornecedoras de matéria-prima de uma única planta de produção de biodiesel localizada na cidade de Sanharó.

## b) Cenário II

No segundo cenário foram simulados os custos no caso de duas cidades receberem plantas de produção de biodiesel. No Matlab<sup>®</sup>, a variável “p” recebeu o valor dois, representando a quantidade de instalações e a variável “c” recebeu a matriz de custos totais.

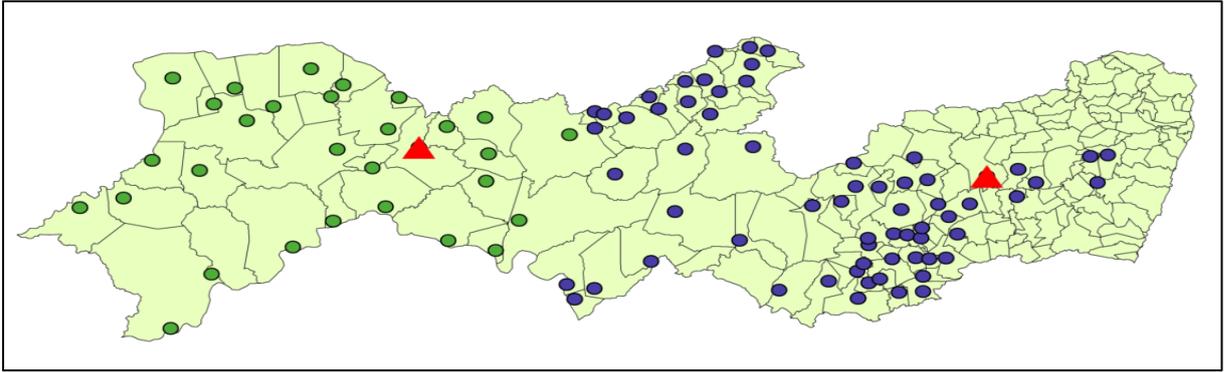
Lançados os dados, executou-se o problema, obtendo o custo total de transporte, as duas cidades selecionadas para instalação das plantas de produção e também a quantidade de mamona a ser enviada a cada uma dessas cidades. Essas informações, bem como os tipos de usinas selecionadas e seus respectivos custos, foram organizadas em uma planilha no Microsoft Excel<sup>®</sup>. Esses valores são mostrados na Tabela 4.

**Tabela 4** – Custos para duas plantas.

DUAS PLANTAS DE PRODUÇÃO			
Cidades escolhidas	Caruaru		Salgueiro
Quantidade de mamona recebida (ton/ano)		3976	4811
Capacidade produtiva máxima (litros/dia)		6000	6000
Custo de instalação da planta	R\$	185.000,00	R\$ 185.000,00
Custo de transporte da mamona e do biodiesel (ano)		R\$	264.220,00
Custo fixo de operação (ano)	R\$	228.380,00	R\$ 228.380,00
<b>CUSTO TOTAL (1 ano)</b>			<b>R\$ 1.090.980,00</b>
<b>CUSTO TOTAL (5 anos)</b>			<b>R\$ 3.974.900,00</b>
<b>CUSTO TOTAL (10 anos)</b>			<b>R\$ 7.579.800,00</b>

**Fonte:** Produzido pelo autor.

A Figura 13 representa com pontos verdes as cidades fornecedoras de matéria-prima da usina de Salgueiro e os pontos azuis representam as fornecedoras da cidade de Salgueiro.



**Figura 13** – Localização das plantas e cidades fornecedoras.

**Fonte:** Produzido pelo autor.

No Anexo I foram descritas quais cidades serão fornecedoras de cada planta de produção.

### c) Cenário III

No terceiro cenário foram simulados os custos no caso de três cidades receberem plantas de produção de biodiesel. No Matlab<sup>®</sup>, a variável “p” recebeu o valor três, representando a quantidade de instalações e a variável “c” recebeu a matriz de custos totais.

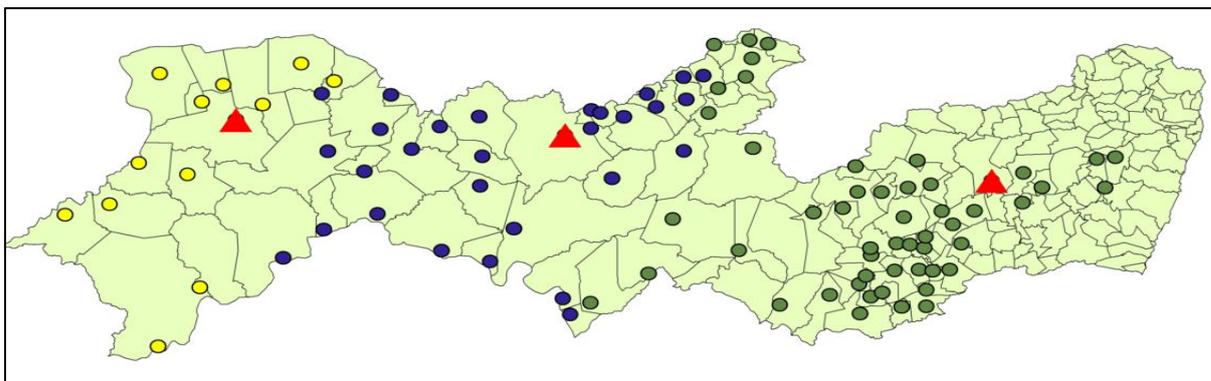
Lançados os dados, executou-se o problema, obtendo o custo total de transporte, as três cidades selecionadas para instalação das plantas de produção e também a quantidade de mamona a ser enviada a cada uma dessas cidades. Essas informações, bem como os tipos de usinas selecionadas e seus respectivos custos, foram organizadas em uma planilha no Microsoft Excel<sup>®</sup>. Esses valores são mostrados na Tabela 5.

**Tabela 5** – Custos para três plantas.

TRÊS PLANTAS DE PRODUÇÃO				
Cidades escolhidas	Serra Talhada	Ouricuri	Caruaru	
Quantidade de mamona recebida (ton/ano)	3200	2261	3326	
Capacidade produtiva máxima (litros/dia)	6000	6000	6000	
Custo de instalação da planta	R\$ 185.000,00	R\$ 185.000,00	R\$ 185.000,00	
Custo de transporte da mamona e do biodiesel (ano)	R\$ 247.580,00			
Custo fixo de operação (ano)	R\$ 228.380,00	R\$ 228.380,00	R\$ 228.380,00	
<b>CUSTO TOTAL (1 ano)</b>				<b>R\$ 1.487.720,00</b>
<b>CUSTO TOTAL (5 anos)</b>				<b>R\$ 5.218.600,00</b>
<b>CUSTO TOTAL (10 anos)</b>				<b>R\$ 9.882.200,00</b>

**Fonte:** Produzido pelo autor.

A Figura 14 representa com pontos verdes as cidades fornecedoras de matéria-prima da usina de Caruaru, os pontos azuis representam as fornecedoras da cidade de Serra Talhada e os pontos amarelos as cidades fornecedoras da usina de Ouricuri.



**Figura 14** – Localização das plantas e cidades fornecedoras.

**Fonte:** Produzido pelo autor.

No Anexo II foram descritos os nomes das cidades fornecedoras de cada planta de produção.

#### d) Cenário IV

No quarto cenário foram simulados os custos no caso de quatro cidades receberem plantas de produção de biodiesel. No Matlab®, a variável “p” recebeu o valor quatro, representando a quantidade de instalações e a variável “c” recebeu a matriz de custos totais.

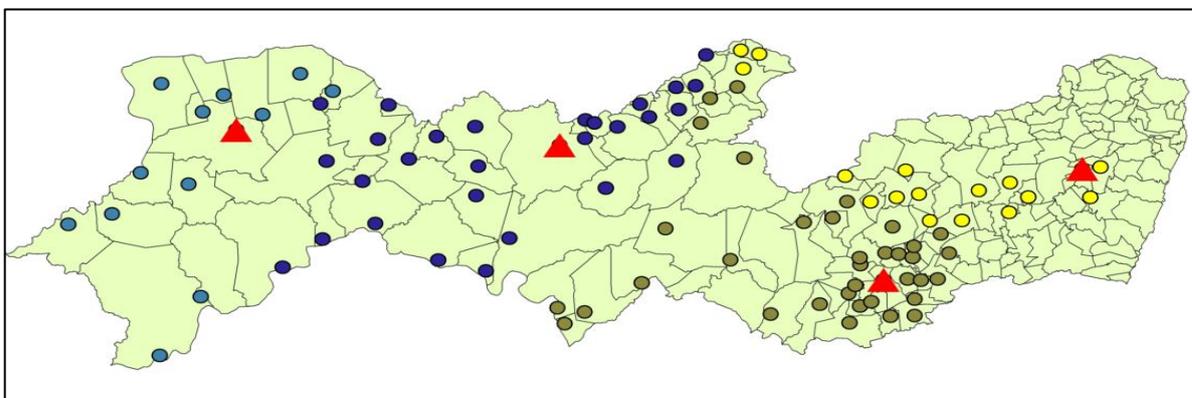
**Tabela 6 – Custos para quatro plantas.**

QUATRO PLANTAS DE PRODUÇÃO					
Cidades escolhidas	Garanhuns	Serra Talhada	Ouricuri	Pombos	
Quantidade de mamona recebida (ton/ano)		2448	3043	2261	1035
Capacidade produtiva máxima (litros/dia)		6000	6000	6000	1500
Custo de Instalação da planta	R\$ 185.000,00	R\$ 185.000,00	R\$ 185.000,00	R\$ 108.000,00	
Custo de transporte da mamona e do biodiesel (ano)			R\$ 236.020,00		
Custo fixo de operação (ano)	R\$ 228.380,00	R\$ 228.380,00	R\$ 228.380,00	R\$ 63.600,00	
<b>CUSTO TOTAL (1 ano)</b>				<b>R\$ 1.647.760,00</b>	
<b>CUSTO TOTAL (5 anos)</b>				<b>R\$ 5.586.800,00</b>	
<b>CUSTO TOTAL (10 anos)</b>				<b>R\$ 10.510.600,00</b>	

**Fonte:** Produzido pelo autor.

Lançados os dados, executou-se o problema, obtendo o custo total de transporte, as quatro cidades selecionadas para instalação das plantas de produção e também a quantidade de mamona a ser enviada a cada uma dessas cidades. Essas informações, bem como os tipos de usinas selecionadas e seus respectivos custos, foram organizadas em uma planilha no Microsoft Excel<sup>®</sup>. Esses valores são mostrados na Tabela 6.

A Figura 15 representa com pontos verdes as cidades fornecedoras de matéria-prima da usina de Garanhuns, os pontos azuis escuros representam as fornecedoras da cidade de Serra Talhada, os pontos amarelos as cidades fornecedoras da usina de Pombos e os pontos azuis claros representam as fornecedoras da planta de produção de Ouricuri.



**Figura 15** – Localização das plantas e cidades fornecedoras.

**Fonte:** Produzido pelo autor.

No Anexo III foram descritos os nomes das cidades fornecedoras de cada planta de produção.

#### **4.2. Avaliação dos cenários**

Retomando o questionamento realizado no início do trabalho, a respeito dos custos de se enviar toda a produção de mamona para a cidade de Quixadá, no Ceará, foi elaborada uma planilha de custos comparando os custos de transporte do biodiesel.

A partir da proposta de ter usinas de biodiesel implantadas no estado de Pernambuco, o custo para transportar o biodiesel para as refinarias de Ipojuca e Quixadá foram destacados. Levar o biodiesel produzido para Ipojuca se mostrou a opção mais vantajosa, uma vez que reduz consideravelmente os custos de transporte, como pode ser visto no Quadro 9.

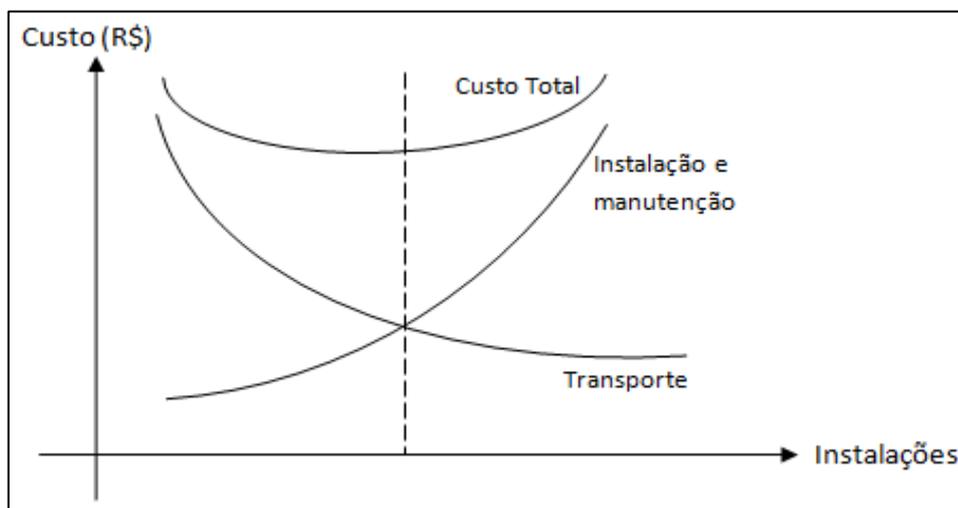
**Quadro 9 – Comparativo de custos de transporte.**

Instalar	Usina	Refinaria	Distância(km)	Custo(R\$)
<b>1 USINA</b>	Sanharó	Quixadá	667	276.928,9
		Ipojuca	202	83.867,5
	<b>TOTAL (Quixadá)</b>			276.928,9
	<b>TOTAL (Ipojuca)</b>			83.867,5
	<hr/>			
<b>2 USINAS</b>	Salgueiro	Quixadá	405	92.064,5
		Ipojuca	518	117.751,6
	Caruaru	Quixadá	722	135.639,3
		Ipojuca	142	26.677,0
	<b>TOTAL (Quixadá)</b>			227.703,8
	<b>TOTAL (Ipojuca)</b>			144.428,6
<hr/>				
<b>3 USINAS</b>	Caruaru	Quixadá	722	113.464,8
		Ipojuca	142	22.315,8
	Serra Talhada	Quixadá	452	68.342,4
		Ipojuca	418	63.201,6
	Ouricuri	Quixadá	461	49.249,7
		Ipojuca	628	67.090,7
	<b>TOTAL (Quixadá)</b>			231.056,9
	<b>TOTAL (Ipojuca)</b>			152.608,1

**Fonte:** Produzido pelo autor.

Nas decisões de localização, quanto menos instalações físicas uma empresa decide levantar, menor será o custo total de instalação e consequentemente os custos fixos das unidades. Por outro lado o custo com transporte aumenta, já que as distâncias serão maiores. Agora, se a decisão for levantar mais instalações, temos a redução dos custos com transporte, uma vez que as distâncias entre os pontos são encurtadas. Todavia, mais instalações representam a necessidade de maior investimento e maiores custos fixos. Então, com um custo crescente e outro

decrecente, é possível encontrar um ponto ótimo, variando a quantidade de instalações a serem criadas. A Figura 16 ilustra esse comportamento dos custos.



**Figura 16** – Custo total.

**Fonte:** Produzido pelo autor.

No presente estudo foram elaborados cenários diferentes, onde seriam alocadas de uma a quatro instalações. Somando os custos de instalação, custos fixos e também de transporte de mamona e biodiesel, obteve-se os custos totais para um ano em cada cenário. Para dar representatividade às simulações, foram criados horizontes de tempo de cinco e dez anos, a fim de perceber a influência dos custos fixos e de transporte.

A opção de instalar apenas duas unidades de produção de biodiesel, considerando apenas os custos envolvidos, mostrou-se mais vantajosa, uma vez que apresentou o menor custo total.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1. Conclusões

Energia e redução dos impactos ambientais são algumas das temáticas mais discutidas atualmente. Buscar e viabilizar fontes de energia que, desde a sua extração até o consumo, permitam uma redução dos impactos ambientais, é uma tarefa que necessita de pesquisas e estudos, portanto, a comunidade acadêmica deve se envolver e desempenhar umas de suas funções, que é contribuir para o bem-estar de toda a sociedade.

O biodiesel é uma fonte renovável que vem recebendo notoriedade em todo o mundo. No Brasil está previsto um aumento gradual na quantidade de biodiesel a ser misturada no óleo diesel derivado de petróleo. Um aumento na demanda pelo biodiesel gera a necessidade de investimentos no setor. Existe, portanto, uma grande quantidade de decisões a serem tomadas, como, por exemplo, localização e capacidade de instalações fixas.

Decidir onde devem ser localizadas as usinas, com que capacidade produtiva e quais serão as cidades fornecedoras de matéria-prima, é uma tarefa extremamente importante na viabilidade do setor, uma vez que, se essas decisões forem influenciadas por interesses particulares ou realizadas sem um estudo científico, podem acarretar problemas como alto custo produtivo, descredibilidade e até mesmo no fracasso de todo o projeto.

Diante disto o presente trabalho teve como objetivo criar um modelo matemático que auxiliasse na estratégia de localização das plantas de produção de biodiesel no estado de Pernambuco. Foram criados diferentes cenários, variando a quantidade de usinas a serem instaladas. Uma vez obtidos os custos, foram comparados os resultados, a fim de obter a opção mais viável. Os cenários variaram a quantidade de plantas de produção, de uma a quatro. Somados os custos, obteve-se um melhor resultado para o cenário de duas plantas de produção. Porém, vale ressaltar que não foram levados em consideração todos os fatores que englobam a temática das estratégias de localização. Além disso, a dificuldade em obter os

custos referentes às plantas de produção impossibilitou uma melhor avaliação dos mesmos.

Apesar de não considerar todas as variáveis e problemáticas pertinentes às decisões de localização de facilidades, o presente trabalho mostrou-se relevante, principalmente observando os resultados obtidos quanto a redução dos custos de transporte.

Contudo, apesar das restrições encontradas, notou-se a importância de realizar estudos relacionados à localização de usinas de biodiesel, principalmente por se tratar de um combustível renovável que, se feito de forma organizada, possibilita a geração de emprego e renda bem como ajuda a reduzir a emissão de gases provocada pela queima de combustíveis fósseis.

## **5.2. Recomendações**

Com a crescente demanda por energia, principalmente por aquelas que reduzam os impactos ambientais, gerou-se uma boa margem para estudos voltados para a melhoria dos aspectos relacionados, desde a extração até a comercialização desses recursos energéticos, tendo em vista que fontes energéticas novas muitas vezes encontram dificuldades de se fixarem no mercado, uma vez que as outras fontes já estão estabelecidas e com menores custos. Portanto, elaborar estudos sobre as novas fontes de energia, como no caso o biodiesel, podem auxiliar na viabilidade e melhoria da competitividade do novo combustível, que apresenta várias características positivas frente ao diesel derivado do petróleo.

Então, fica como recomendação para trabalhos futuros que envolvam a localização de usinas de biodiesel, uma análise dos outros fatores decisivos na localização de facilidades, como os fatores políticos, sociais, de mão-de-obra, etc.

Seria interessante também verificar a possibilidade de integrar outros modais de transporte, como os modais ferroviário e hidroviário.

E por fim, avaliar o caminho percorrido pelos resíduos do óleo da mamona, que são as cascas, obtidas no processo de descascamento, a torta, que é o resíduo gerado durante a extração do óleo, e a glicerina, gerada no processo de produção do biodiesel. Esse estudo certamente possui muita relevância.

## REFERÊNCIAS

ABREU , Y. V. de; OLIVEIRA, M. A. G. de; GUERRA, S. M. (Orgs.). **Energia Sociedade e Meio Ambiente**. Palmas, 2010.

ALMEIDA, C.H.T. ; AMORIM, H ; CASTELLETTI, C. E. M. ; PERES, S. **Caracterização dos co-produtos do processamento do biodiesel de mamona para geração de energia térmica e elétrica**. Em: Segundo Congresso da Rede de Tecnologia de Biodiesel, 2007, Brasília. Segundo Congresso Brasileiro da Rede de Tecnologia de Biodiesel, 2007. V. 1 p. 68-72.

AMORIM, P. Q. R. de. **Perspectiva histórica da cadeia da mamona e a introdução da produção de biodiesel no semiárido brasileiro sob o enfoque da teoria dos custos de transação**. 2005. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ANDRADE, M. M. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico**. 9ª. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

ARAÚJO, K.M; OLIVEIRA, A.K.C; COSTA, G.B; QUEIROGA, R. N. G. e PANNIR SELVAM, P.V. **Estudo Comparativo Técnico e Econômico de Diferentes Óleos Vegetais Brasileiros para Produção de Biocombustível**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: < <http://www.seeds.usp.br> >. Acessado em 10 jan. 2008.

AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (Ed). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BIODIESEL. **O Biodiesel no Brasil**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com>>. Acessado em 20 de Outubro de 2011.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J; COOPER, M. B. **Gestão logística de cadeias de suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. (Coord.). **Cadeia produtiva da agroenergia**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: IICA, 2007 110 p. (MAPA. Agronegócios, v.3)

CARMO, B. B. T. **Proposta de modelo para seleção de fornecedores e otimização do transporte na cadeia produtiva do biodiesel com base em critérios de sustentabilidade**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

CARVALHO, L. C. de. **Política nacional para o biodiesel**. Brasília: Departamento de Combustíveis Renováveis/MME, 2006.

CERVO, A. L. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da Cadeia da Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operação**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em <[http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina\\_objcmsconteudos=2#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos) />. Acessado em 29 de Outubro de 2011.

CORDEAU, J-F.; LAPORTE, G. **Tabu search heuristics for the vehicle routing problem**. Technical Report G-2002-15, Group for Research in Decision Analysis (GERAD), Montreal, 2002.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em <[http://www.embrapa.br/kw\\_storage/keyword.2007-06-11.8660957396/keyword\\_context\\_view](http://www.embrapa.br/kw_storage/keyword.2007-06-11.8660957396/keyword_context_view) />. Acessado em 13 de Setembro de 2011.

FACEPE-UFPE-IPA-FUNDAJ-PETROBRÁS. **Diagnóstico e indicação de alternativas para produção de biocombustíveis (óleos vegetais) no Estado de Pernambuco**. 2008.

FAESP (2003) Biodiesel. **Federação da Agricultura do Estado de São Paulo**. Disponível em <<http://www.faespsenar.com.br>>. Acesso em: 13 set. 2011.

FRANÇA, C. G.; GROSSI, M. E. Del.; MARQUES, V. P. M. de A. **O Censo Agropecuário 2006 e a Agricultura Familiar no Brasil**. Brasília: MDA, 2009. Disponível em <<http://www.mineiropt.com.br>>. Acesso em: 10 set. 2011.

GALVÃO, R. D.; NETO, J. F. B.; FERREIRA FILHO, V. J. M.; HENRIQUES, H. B. de S. Roteamento de veículos com base em sistemas de informação geográfica. **Gestão & Produção**, v. 4, n. 2, p. 159-173, ago. 1997.

GUANZIROLI, C. E.; ROMEIRO, A.; BUAINAIN, A. M.; SABBATO, A. Di.; BITTENCOURT, G. **Agricultura familiar e reforma agrária no século XXI**. Rio de Janeiro: Garamond, 2001.

HOLANDA, A. **Biodiesel e Inclusão Social**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados - Coordenação de Publicações, 2004. 200 p.

IPA. **Instituto Agrônomo de Pernambuco**. Disponível em <[http://www.ipa.br/noticias\\_detalhe.php?idnoticia=1782](http://www.ipa.br/noticias_detalhe.php?idnoticia=1782)>. Acessado no dia 10 de Novembro de 2011.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/default.shtm>>. Acessado no dia 03 de Novembro de 2011.

JACKSON, L. E., ROUSKAS, G. N., STALLMANN, M. F. M. **The directional p-median problem: Definition, complexity, and algorithms**. *European Journal of Operational Research* 179. 1097–1108. 2007.

LEAL, M. **Localização de Depósitos: Um Modelo de Análise Aplicado ao Setor de Distribuição de Combustíveis**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1995. Dissertação (Mestrado em Administração), Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LORENA, L. A. N. Análise espacial de redes com aplicações em sistemas de informações geográficas. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 3, n. 2, 2003.

MDA. **Ministério do Desenvolvimento Agrário**. Disponível em <[www.mda.gov.br](http://www.mda.gov.br)>. Acessado no dia 04 de Outubro de 2011.

MENDES, R. de A. **Diagnóstico, Análise de Governança e Proposição de Gestão para a Cadeia Produtiva do Biodiesel da Mamona (CP/BDMA): o caso do Ceará**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações**. 2. ed. rev. ampl. São Paulo: CENGAGE Learning, 2008.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

PAHL, Greg. **Biodiesel: Growing a New Energy Economy**. 2nd ed. White River Junction, Vt.: Chelsea Green Pub. Co., 2008.

PARENTE, J.S.P. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: NUTEC, 2003.

PEREIRA M. A. **Um método Branch-and-Price para problemas de localização de p-medianas**. 2005. 90f. Tese(Doutorado em computação aplicada) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

PETROBRÁS. **Petróleo Brasileiro S/A**. Disponível em <<http://www.petrobras.com.br/>>. Acessado em 16 de Setembro de 2011.

PRAÇA, Eduardo Rocha ; COUTINHO, Emílio José Rocha ; NOBRE JÚNIOR, Ernesto Ferreira ; ARRUDA, J. B. F. ; SILVA, José Lassance de Castro. **Determinação da localização otimizada de plantas de esmagamento da mamona e de plantas de produção do biodiesel: o caso do estado do Ceará**. Em: Rencontre Internationale de Recherche en Logistique - RIRL2004, 2004, Fortaleza. Anais do V Rencontre Internationale de Recherche en Logistique - RIRL2004. Aix-en-Provence : Association Internationale de Recherche en Logistique - AIRL, 2004.

PRAÇA, E.R.. **Distribuição de gás natural no Brasil: um enfoque crítico e de minimização de custos.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

PRONAF. **Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar.** Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/portal/saf/programas/pronaf>> Acessado no dia 04 de Outubro de 2011.

ROSA, A. A. **Dimensionamento e localização de centro de distribuição de correios numa cidade de médio porte.** 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SAVY FILHO, A. **Mamona Tecnologia Agrícola.** Campinas: EMOPI, 2005.

SECRETO, M. V.; CARNEIRO, M. J.; BRUNO, R. (Org.). **O campo em debate: terra, homens, lutas.** Rio de Janeiro: Mauad X/Edur, 2008.

SEPÚLVEDA, S.; WILKINSON, J.; TIBURCIO, B.; HERRERA, S. **Agroenergia e Desenvolvimento de Comunidades Rurais.** Brasília: IICA, 2008. (Série Desenvolvimento Rural Sustentável; v. 7)

SILVA, V. L. **Diagnóstico da cadeia produtiva da mamona no âmbito do produtor: caso do Ceará.** 2009. Dissertação (Mestrado em Logística e Pesquisa Operacional) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

## ANEXO 1 – Série histórica de produção de mamona nas cidades pernambucanas (valores em toneladas)

Cidades	2006	2007	2008	2009	2010	Cidades	2006	2007	2008	2009	2010
Afogados da Ingazeira - PE	-	-	-	6	3	Orocó - PE	-	21	6	35	25
Afrânio - PE	30	24	24	17	-	Ouricuri - PE	100	300	112	50	50
Alagoinha - PE	30	30	30	8	8	Paranatama - PE	34	2	2	2	2
Araripina - PE	18	2	15	15	200	Parnamirim - PE	180	90	35	35	40
Belém do São Francisco - PE	240	144	-	-	-	Pedra - PE	20	20	-	-	-
Belo Jardim - PE	-	-	-	-	8	Pesqueira - PE	75	-	-	18	8
Betânia - PE	98	14	42	18	30	Petrolândia - PE	82	20	-	-	21
Bezerros - PE	8	8	8	-	-	Petrolina - PE	152	144	84	360	120
Bodocó - PE	12	12	12	10	10	Poção - PE	-	-	-	1	8
Bom Conselho - PE	24	4	2	-	-	Pombos - PE	-	120	120	120	120
Brejão - PE	16	3	-	-	-	Primavera - PE	-	-	-	-	120
Brejinho - PE	-	-	-	3	11	Quixaba - PE	-	-	-	6	6
Cabrobó - PE	-	-	36	27	35	Sairé - PE	-	-	-	-	120
Cachoeirinha - PE	-	-	-	-	8	Salgueiro - PE	-	-	14	14	24
Caetés - PE	64	8	-	-	-	Saloá - PE	8	2	-	-	2
Calçado - PE	4	2	-	-	-	Sanharó - PE	12	-	-	-	8
Calumbi - PE	5	1	-	60	12	Santa Cruz - PE	114	18	325	400	400
Capoeiras - PE	60	4	4	-	-	Santa C. da Baixa Verde	17	6	-	16	10
Carnaíba - PE	-	-	-	16	6	Santa Cruz do Capibaribe	-	-	-	-	-
Carnaubeira da Penha - PE	360	216	120	405	405	Santa Filomena - PE	210	40	20	48	48
Cedro - PE	-	-	-	-	405	Santa Maria da Boa Vista	70	64	18	150	30
Custódia - PE	8	20	16	-	-	Santa Maria do Cambucá	-	-	-	-	-
Dormentes - PE	120	90	144	93	-	Santa Terezinha - PE	10	12	4	9	3
Escada - PE	-	-	-	-	-	São Bento do Una - PE	25	30	-	-	-
Exu - PE	72	90	125	150	180	São João - PE	9	2	-	-	2
Flores - PE	102	20	30	21	17	São Joaquim do Monte - PE	-	-	-	-	120
Floresta - PE	1	1	-	-	21	São José do Belmonte - PE	47	15	12	24	10
Garanhuns - PE	42	9	-	-	-	São José do Egito - PE	13	15	4	36	12
Iati - PE	12	12	2	-	-	Serra Talhada - PE	255	70	122	63	38
Ibimirim - PE	200	200	40	40	-	Serrita - PE	9	5	7	-	14
Ibirajuba - PE	15	-	-	-	8	Sertânia - PE	60	60	-	-	-
Iguaraci - PE	-	-	2	3	1	Moreilândia - PE	240	144	90	42	72
Inajá - PE	20	20	19	16	-	Tabira - PE	4	4	4	3	2
Ingazeira - PE	5	3	2	12	6	Tacaimbó - PE	-	-	-	-	8
Ipubi - PE	-	-	-	-	75	Tacaratu - PE	48	10	-	-	42
Itacuruba - PE	-	-	-	-	405	Terezinha - PE	3	2	-	-	2
Itapetim - PE	6	4	1	6	6	Terra Nova - PE	-	-	-	-	14
Jatobá - PE	87	15	-	-	21	Trindade - PE	-	-	40	35	35
Jucati - PE	12	5	-	-	-	Triunfo - PE	21	5	-	-	42
Jupi - PE	7	2	-	-	-	Tupanatinga - PE	8	8	10	20	-
Lagoa Grande - PE	40	35	17	30	15	Tuparetama - PE	4	7	4	6	4
Lajedo - PE	30	-	-	-	8	Verdejante - PE	-	-	-	-	14
Mirandiba - PE	90	54	28	42	42	Vitória de Santo Antão - PE	-	-	-	-	120

Fonte: IBGE (2011).

## ANEXO 2 – Cidades fornecedoras de mamona (duas usinas)

CARUARU		SALGUEIRO
Afogados da Ingazeira	Jupi	Afrânio
Águas Belas	Jurema	Araripina
Alagoinha	Lagoa do Ouro	Belém de São Francisco
Altinho	Lajedo	Bodocó
Angelim	Palmeirina	Cabrobó
Belo Jardim	Paranatama	Carnaubeira da Penha
Betânia	Pedra	Cedro
Bezerros	Pesqueira	Dormentes
Bom Conselho	Petrolândia	Exu
Brejão	Poção	Floresta
Brejinho	Pombos	Granito
Brejo da Madre de Deus	Primavera	Ipubi
Cachoeirinha	Quixaba	Itacuruba
Caetés	Sairé	Lagoa Grande
Calçado	Saloá	Mirandiba
Calumbi	Sanharó	Moreilândia
Canhotinho	Santa Cruz da Baixa Verde	Orocó
Capoeiras	Santa Terezinha	Ouricuri
Carnaíba	São Bento do Una	Parnamirim
Caruaru	São João	Petrolina
Correntes	São Joaquim do Monte	Salgueiro
Custódia	São José do Egito	Santa Cruz
Flores	Sertânia	Santa Filomena
Garanhuns	Solidão	Santa Maria da Boa Vista
Iati	Tabira	São José do Belmonte
Ibimirim	Tacaimbó	Serra Talhada
Ibirajuba	Tacaratu	Serrita
Iguaraci	Terezinha	Terra Nova
Inajá	Triunfo	Trindade
Ingazeira	Tupanatinga	Verdejante
Itapetim	Tuparetama	
Jatobá	Vitória de S. Antão	
Jucati		

### ANEXO 3 - Cidades fornecedoras de mamona (três usinas)

CARUARU		OURICURI	SERRA TALHADA
Águas Belas	Jurema	Afrânio	Afogados da Ingazeira
Alagoinha	Lagoa do Ouro	Araripina	Belém de São Francisco
Altinho	Lajedo	Bodocó	Betânia
Angelim	Palmeirina	Dormentes	Cabrobó
Belo Jardim	Paranatama	Exu	Calumbi
Bezerros	Pedra	Ipubi	Carnaíba
Bom Conselho	Pesqueira	Lagoa Grande	Carnaubeira da Penha
Brejão	Poção	Moreilândia	Cedro
Brejinho	Pombos	Ouricuri	Custódia
Brejo da Madre de Deus	Primavera	Petrolina	Flores
Cachoeirinha	Sairé	Santa Cruz	Floresta
Caetés	Saloá	Santa Filomena	Granito
Calçado	Sanharó	Trindade	Itacuruba
Canhotinho	Santa Terezinha		Jatobá
Capoeiras	São Bento do Una		Mirandiba
Caruaru	São João		Orocó
Correntes	São Joaquim do Monte		Parnamirim
Garanhuns	São José do Egito		Petrolândia
Iati	Sertânia		Quixaba
Ibimirim	Tacaimbó		Salgueiro
Ibirajuba	Tacaratu		Santa Cruz da Baixa Verde
Iguaraci	Terezinha		Santa Maria da Boa Vista
Inajá	Tupanatinga		São José do Belmonte
Ingazeira	Tuparetama		Serra Talhada
Itapetim	Vitória de S. Antão		Serrita
Jucati			Solidão
Jupi			Tabira
			Terra Nova
			Triunfo
			Verdejante

#### ANEXO 4 - Cidades fornecedoras de mamona (quatro usinas)

GARANHUNS	SERRA TALHADA	POMBOS	OURICURI
Águas Belas	Afogados da Ingazeira	Altinho	Afrânio
Alagoinha	Belém de São Francisco	Belo Jardim	Araripina
Angelim	Betânia	Bezerros	Bodocó
Bom Conselho	Cabrobó	Brejinho	Dormentes
Brejão	Calumbi	Brejo da Madre de Deus	Exu
Caetés	Carnaíba	Cachoeirinha	Ipubi
Calçado	Carnaubeira da Penha	Caruaru	Lagoa Grande
Canhotinho	Cedro	Itapetim	Moreilândia
Capoeiras	Custódia	Poção	Ouricuri
Correntes	Flores	Pombos	Petrolina
Garanhuns	Floresta	Primavera	Santa Cruz
Iati	Granito	Sairé	Santa Filomena
Ibimirim	Itacuruba	Sanharó	Trindade
Ibirajuba	Mirandiba	São Joaquim do Monte	
Iguaraci	Orocó	São José do Egito	
Inajá	Parnamirim	Tacaimbó	
Ingazeira	Quixaba	Vitória de S. Antão	
Jatobá	Salgueiro		
Jucati	Santa Cruz da Baixa Verde		
Jupi	Santa Maria da Boa Vista		
Jurema	Santa Terezinha		
Lagoa do Ouro	São José do Belmonte		
Lajedo	Serra Talhada		
Palmeirina	Serrita		
Paranatama	Solidão		
Pedra	Tabira		
Pesqueira	Terra Nova		
Petrolândia	Triunfo		
Saloá	Verdejante		
São Bento do Una			
São João			
Sertânia			
Tacaratu			
Terezinha			
Tupanatinga			
Tuparetama			