UNIVERSIDADE SALVADOR – UNIFACS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MESTRADO EM REGULAÇÃO DA INDÚSTRIA DE ENERGIA

JOSELITO OLIVEIRA ALVES

ECO-EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA COM BIOMASSA DA MAMONA:
ALÉM DO BIODIESEL

Salvador
2007

JOSELITO OLIVEIRA ALVES

ECO-EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA COM BIOMASSA DA MAMONA:
ALÉM DO BIODIESEL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia, Mestrado em Regulação da Indústria de Energia, Universidade Salvador – UNIFACS, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. DSc. José Ângelo Sebastião Araújo dos Anjos

Salvador
2007

FICHA CATALOGRÁFICA
(Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Salvador - UNIFACS)

Alves, Joselito Oliveira
Eco-efciência na produção de energia com biomassa da mamona: além do biodiesel / Joselito Oliveira Alves. - 2007.
115 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Salvador – UNIFACS. Mestrado em Regulação da Indústria de Energia, 2007.

Orientador: Prof. DSc. José Ângelo Sebastião Araújo dos Anjos

1. Energia - Produção. 2. Energia da biomassa. 3. Biodiesel. I. Anjos, José Ângelo Sebastião Araújo dos, orient. II. Universidade Salvador – UNIFACS. III. Título.

CDD: 333.794

TERMO DE APROVAÇÃO

JOSELITO OLIVEIRA ALVES

ECO-EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA COM BIOMASSA DA MAMONA:
ALÉM DO BIODIESEL

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Regulação da Indústria de Energia, Universidade Salvador - UNIFACS, pela seguinte banca examinadora:

José Ângelo Sebastião Araújo dos Anjos – Orientador_____
Doutor em Engenharia Mineral, Universidade de São Paulo, USP, Brasil
Universidade Salvador – UNIFACS

Luiz Antônio Magalhães Pontes_____
Doutor em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, Brasil.
Universidade Salvador – UNIFACS

Leonardo Sena Gomes Teixeira_____
Doutor em Química, Universidade Federal da Bahia, UFBA, Brasil
Universidade Salvador – UNIFACS

Telma Côrtes Quadros de Andrade_____
Doutora em Geofísica, Universidade de São Paulo, USP, Brasil.
Universidade Federal da Bahia – UFBA

Salvador, 22 de março de 2007.

AGRADECIMENTOS

Especialmente, aos inesquecíveis...

Francisco Narciso Alves, meu grande e humilde pai, pela minha vida: início, ensinamentos fundamentais, pelo esforço e dedicação que possibilitaram esse momento, pela sua visão de futuro que ora vivo, e

Alberto de Oliveira – Biriba, mestre dos primeiros conhecimentos de engenharia, orientador, conselheiro e amigo.

A Milena, pelo seu companheirismo de todas as horas e tolerância nas minhas viagens pela pesquisa, agradeço pela nossa vida e por João Pedro (JP), meu pequeno mestre e apoio fundamental em informática.

À minha pequena comunidade - Danilo, Davi, Aldemário e Júnior – fórum de discussões e da atenção crítica por visões diversas, e cúmplices na inovação.

A José Ângelo Sebastião Araújo dos Anjos, orientador amigo e incentivador da pesquisa, pela sua consciência ambiental.

A Luiz Pontes e Leonardo Sena, contribuintes generosos nesse aprendizado.

Ao Laboratório de Pesquisa Ambiental e Geotecnologias (LAGEO), da UNIFACS, pelo apoio e disponibilidade de conhecimento e informações através de seus colaboradores.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram e participaram dessa experiência que muito me orgulha, pelo que aprendi, e por tudo que ainda aprenderemos e poderemos construir a partir daqui.

RESUMO

Essa dissertação tem como objetivo a discussão de um novo modelo para geração de energia com biomassa do fruto da mamoneira, por meio de pesquisa bibliográfica, que permitiu o conhecimento do estado-da-arte e a formulação da hipótese de um **Processo de Produção de Energia com Eficiência Ecológica, Técnica e Econômica, a Eco-eficiência**. A fundamentação teórica trouxe à tona a pesquisa para produção de biodiesel com o óleo extraído da semente da mamona, principalmente, no semi-árido brasileiro. Revela também, dificuldades no balanço energético do biodiesel, no qual a despesa na produção é sempre maior que a receita da comercialização de energia. Qualquer que seja o processo, a energia consumida supera a energia produzida. O confronto da teoria desenvolvida para essa produção de energia com um experimento em Quixeramobim no Ceará, revela a razoável distância entre os resultados teóricos e práticos, e as evidências para a ineficiência técnica e econômica. É muito baixa a produtividade agrícola da baga de mamona, e grande a perda de biomassa com potencial energético causando impactos ambientais e à saúde humana, na forma de resíduos sólidos e co-produtos na produção de biodiesel. O estudo do aproveitamento de toda biomassa do fruto da mamoneira, sem gerar resíduos, para produção de energia, e um aumento da produtividade agrícola próxima de 1500 kg/ha, substanciaram a hipótese formulada. É possível gerar mais riqueza com os mesmos recursos melhorando o balanço energético final, com a participação de estoques de energia que passam a ser disponibilizados como combustível sólido com valor agregado superior ao biodiesel, e como co-produtos, sem perder de vista os objetivos sociais. A recuperação da glicerina, um dos co-produtos definido no processo atual, depende de mercado e tecnologia viável de refinamento diante da grande e crescente oferta; por outro lado, o conteúdo nitrogenado da torta de mamona quando isolado contribuirá, de forma interessante, no atendimento da demanda por insumo agrícola à base de amônia na própria cultura. Essa produção de energia, totalmente renovável, traz contribuição significativa na mitigação das mudanças climáticas na forma de combustíveis e como massa seqüestradora de carbono, no campo, ao tempo em que tem maior destaque na matriz energética nacional. Os resultados da pesquisa revelam que é possível a adoção de novo modelo para produção de mais energia com eficiência energética e prevenção de impactos ambientais utilizando toda biomassa do cacho de frutos da mamona, produzindo biodiesel e um biocombustível sólido, o briquete, sem geração de resíduos sólidos e com balanço energético favorável. Por fim, as recomendações são de incremento de políticas públicas de ciência e tecnologia sustentável e mais investimento para produção de energia com biomassa de mamona no semi-árido.

Palavras-chave: Geração de energia; Eco-eficiência; Eficiência energética; Biomassa; Impacto ambiental; Combustível sólido; Biodiesel; Semi-árido.

ABSTRACT

This dissertation intends to discusss a new model of energy generation from the castor tree fruit biomass of the *Ricinus comunnis*. It has been possible through bibliographical research that allowed us to know the state-of the-art and formulate a hypothesis about the production of energy process with Ecological Efficiency, technique and economic - Echo-efficiency. The theoretical base incites the research about biodiesel production from the extracted oil from castor seed located in the half dryness region of Brazil. It also discloses the difficulties in the biodiesel balance energetic, in which the production expenditure is always bigger than the prescription of the energy trading. To any process, the consumed energy overcomes the produced one. The confrontation of the developed theory to that production of energy with experiment in Quixeramobim in the Ceará, it discloses reasonable the distance between the theoretical and practical results, e the evidences for the inefficiency economic technique and. È very low the agricultural productivity of the berry of mamona, great e the loss of biomass with energy potential causing ambient impacts and to the health human being, in the form of solid residues and co-products in the production of biodiesel. The study of the exploitation of all biomass of the fruit of the mamoneira, without generating residues, for energy production, e one increase of the agricultural productivity close to 1500 kg/ha have supported our hypothesis. It is possible to produce wealth with the same resource since we improve the final balance energetic, with a stocking of energy that become available as solid combustible, that its value higher than the biodiesel, and how co-products, an keeping in view the social purposes. The recovery of the glycerin, one of the co-products defined in the current process, depends on the market and viable technology of refinement ahead of the big and increasing offers: on the other hand, the nitrogen of the pie of castor bean when isolated it will contribute, of interesting form, in the attendance of demand for fertilizer agriculturist to the ammonia base in the proper culture. That production of energy, completely renewable, brings an important to the mitigation of the climatic changes, how combustible, and as a absorbent carbon mass in the field where it is more evident as a part in the national energy matrix. The results of the research reveals that the adoption of new model is possible for production of more energy, through the energy efficiency, envoronment impact preventions and the utilization of castor tree fruit biomass of the *Ricinus comunnis,* in the production of biodiesel and one bio-combustible solid, the briquet, without producting solid residues and with favorable energy balance. Finally, the recommendations are of increment of public politics of science and sustainable technology and more investment for production with biomass of castor tree in the half dryness region.

Keywords: Generation of energy; Echo-efficiency; Energy efficiency; Biomass; Environment impact; Solid fuel; Biodiesel; Half dryness region.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Frutos da mamoneira	28
Figura 2 -	Descascador de mamona estacionário	30
Figura 3 -	Descascador de mamona móvel	30
Figura 4 -	Fluxograma do funcionamento das máquinas na mini-usina de extração de óleo em Quixeramobim, CE	31
Figura 5 -	Cozinhador utilizado para aquecimento das sementes	32
Figura 6 -	Prensa para extração do óleo (A) e decantador para separação das impurezas maiores (B)	32
Figura 7 -	Filtro prensa, detalhe da saída do óleo	33
Figura 8 -	Mamona: fruto com casca verde, e semente com cápsula preta	35
Figura 9 -	Efeito da deficiência de nitrogênio na mamoneira - aos 30 e 60 dias	39
Figura 10 -	Efeito da deficiência de nitrogênio na mamoneira – coloração	39
Figura 11 -	Efeito da deficiência de nitrogênio na mamoneira – amarelecimento	39
Figura 12 -	Efeito da deficiência de nitrogênio na mamoneira – fase final	39
Figura 13 -	Usina de transesterificação com capacidade de 240 l/dia	45
Figura 14 -	Fluxograma 1 - Processamento atual da semente de mamona	90
Figura 15 -	Fluxograma 2 - Produção eco-eficiente	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Teor (%) de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio na casca do fruto da mamona	29
Tabela 2 -	Teor (%) de macro-nutrientes básicos encontrados na torta de mamona	37
Tabela 3 -	Teor de micro-nutrientes encontrados na torta de mamona	37
Tabela 4 -	Relação de desempenho “D”	37
Tabela 5 -	Teor (%) de macro-nutrientes básicos na casca do fruto e na torta de mamona	38
Tabela 6 -	Principais características de óleo bruto e biodiesel de mamona produzidos em mini-usina, e especificações técnicas da ANP para o biodiesel e o diesel mineral	46
Tabela 7 -	Estimativa de custos para produção de biodiesel de óleo de mamona	59
Tabela 8 -	Expectativa de receita com co-produtos e custo de produção do biodiesel	59
Tabela 9 -	Custo de produção por litro para cada etapa de processo/produto (R$)	61
Tabela 10 -	Atividades e resíduos ou co-produtos, e impactos ambientais no ecossistema local e na saúde humana	71
Tabela 11 -	Propriedades energéticas básicas da casca e da torta de mamona	77
Tabela 12 -	Poder calorífico e umidade de resíduo/biomassa como fonte de energia	78
Tabela 13 -	Potencial energético equivalente no beneficiamento de 1 (uma) tonelada de semente de mamona	82

Tabela 14 - Expectativa do custo de produção do biodiesel considerando a receita de co-produtos com valor energético agregado 84

Tabela 15 - Planilha de custos de produção de biodiesel 88

Tabela 16 - Balanço da produção de energia a partir de 1 (uma) tonelada de semente de mamona, com produtividade agrícola de 510 kg/há 92

Tabela 17 - Balanço da produção de energia a partir de 1 (uma) tonelada de semente de mamona, com produtividade agrícola de 2.000 kg/ha 93

Tabela 18 - Estrutura e participação de custos / produção de energia, balanço (1,13) a partir de 1 (uma) tonelada de semente 94

Tabela 19 - Atividades, resíduos e impactos ambientais no ecossistema local e na saúde humana 100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BE	Balanço Energético
BEM	Balanço Energético Nacional
B2	Biodiesel a 2% de óleo vegetal
B5	Biodiesel a 5% de óleo vegetal
B100	Biodiesel a 100% de óleo vegetal
BN	Biodiesel a N% (um percentual qualquer de óleo vegetal)
ºC	Grau Celsius
CB	*Castor Beans* (sementes de mamona, em inglês)
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
C/N	Carbono/Nitrogênio (relação)
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GEE	Gás de Efeito Estufa
IAC	Instituto Agrícola de Campinas
kWh	Quilowatt-hora
OIE	Oferta Interna de Energia
PPM	Parte por milhão
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
UFF	Universidade Federal Fluminense
UENF	Universidade Estadual de Nova Friburgo
UESC	Universidade Estadual de Santa Cruz
UPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 OBJETIVO GERAL 18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 20
2.1 BIODIESEL – BREVE HISTÓRICO 20
2.1.1 Marco legal e regulatório 21
2.1.2 Políticas públicas 22
2.1.3 Biodiesel de mamona 24
2.2 CULTIVO DA MAMONEIRA 25
2.3 BENEFICIAMENTO DA SEMENTE DA MAMONA 27
2.4 INDUSTRIALIZAÇÃO DA SEMENTE DA MAMONA 30
2.4.1 Extração de óleo 31
2.4.2 Produção de biodiesel de óleo de mamona - Transesterificação 43
2.5 AVALIAÇÃO DO PANORAMA ATUAL 46
2.5.1 Produtividade 47
2.5.2 Qualidade - Especificações 48
2.5.3 Balanço energético 50
2.5.4 Impactos 53

3. PRODUÇÃO DE ENERGIA COM ECO- EFICIÊNCIA 75
3.1 APROVEITAMENTO INTEGRAL DA BIOMASSA DO FRUTO 77
3.1.1 Denitrificação da torta de mamona 79
3.1.2 Aproveitamento da biomassa como combustível sólido 82
3.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 85
3.2.1 Briquetagem 85
3.2.2 Balanço da produção de energia com biomassa de mamona 88
3.3 COMPATIBILIZAÇÃO AMBIENTAL 95
3.3.1 Contribuição na mitigação da mudança do clima-seqüestro CO_2 95
3.3.2 Redução de impactos no solo e águas superficiais por resíduo sólido 97
3.3.3 Redução de impactos à saúde humana 98
3.3.4 Impactos persistentes 99
3.4 RESULTADOS DA PESQUISA 101

4. CONCLUSÕES 104

REFERÊNCIAS 109

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas provocadas pela queima de combustível fóssil e pela derrubada das florestas, e a possibilidade de exaustão das reservas de petróleo nos próximos 50 (cinqüenta) anos nas condições de demanda, e exploração que avança sobre e sob ecossistemas frágeis e preservados, têm reação da comunidade global, ante à irreversibilidade das drásticas conseqüências do aumento médio de temperatura em 0,5 ºC, esperada nessa década (NOBRE, 2006).

As pressões para conter a derrubada da área verde de grandes biomas como a Amazônia e a Mata Atlântica não dão resultados. Segundo Nobre (2006), esses estragos são responsáveis por, aproximadamente 75% da contribuição brasileira ao efeito estufa. Não existem evidências de combate proporcional às suas conseqüências. As razões podem estar na falta de consciência ecológica ainda suplantada pelo entendimento de que recursos naturais são infinitos pela sua imensa grandeza ou abundância, ou no predomínio da exploração econômica que resulte em lucros cada vez maiores. Essa interpretação ao desconsiderar o conceito de sustentabilidade, trata desses recursos como ilimitados, admitindo o avanço tecnológico como o provedor de uma nova alternativa que sustentará seu uso indefinidamente.

O aumento do preço do barril de petróleo é determinante no desenvolvimento econômico e, nesse contexto, a exploração e o fomento de fontes alternativas de energia como o biocombustível de oleaginosas, a exemplo da mamona, é oportuno.

A introdução de nova tecnologia no primeiro intervalo do processo de

aproveitamento da mamona pretende mais, da fase agrícola, no beneficiamento, até a industrialização na produção do óleo *in natura*. Este procedimento propõe ir além de medidas mitigadoras convencionais de tratamento, da destinação adequada dos resíduos gerados e suas emissões (técnicas de fim de tubo), numa estratégia permanente e embasada em busca de melhor e maior produtividade com sustentabilidade financeira, socioeconômica e ambiental.

A partir da identificação de mercados a novos produtos com a utilização dos resíduos e de tecnologias mais eficientes para processos isolados ou cadeia produtiva, são propostas mudanças para melhoria do nível de eco-eficiência – princípio da economia ecológica ou ecologia econômica – (MAY; LUSTOSA; VINHA, 2003), na produção de energia com biomassa da mamona. As possibilidades são de aumento da produtividade dos recursos naturais utilizados como matérias-primas, aproveitamento integral do fruto da mamoneira, redução do consumo de energia no processo e prevenção ambiental pela minimização da geração ou não-geração de resíduos, com redução da degradação ambiental.

Atualmente, os resíduos sólidos do beneficiamento dos frutos são queimados, descartados como lixo ou aplicados em meio à adubação, sem maiores benefícios. Dos resíduos da extração do óleo, a torta resultante de grandes instalações tem sido comercializada para empresas fabricantes de fertilizantes ou é aplicada *in natura* na adubação da lavoura da mamoneira, em pequenas propriedades, notadamente aquelas caracterizadas como agricultura familiar, diretamente em sulcos ou covas de plantio. Sendo o mesmo destino dado às borras contaminadas com óleo residual do processo de decantação e filtragem.

Estão comprovados, o elevado teor de nitrogênio e considerável poder calorífico na massa de torta processada, assim também como, baixo teor de nitrogênio e também relevante poder calorífico na massa de cascas dos frutos, comparativamente (LIMA e outros, 2005). Cada um dos componentes responsável por uma dessas características físico-químicas predominante em cada resíduo tem valor agregado, e assim identificado, deve ser extraído de cada massa quando viável, de forma que resulte farta massa celulósica com elevado poder calorífico e baixo teor de nitrogênio, e menor massa altamente nitrogenada e sem celulose.

O aproveitamento dos recursos existentes – matérias primas - nestes resíduos, com mudanças na cadeia produtiva e integração de mecanismos para a

inovação tecnológica necessária, diversificam a oferta industrial com mais produtos e nenhum resíduo sólido, com melhoria significativa do balanço energético, atualmente desfavorável, baseado apenas no biodiesel. Com fins, mercados específicos e consolidados são os seguintes produtos: biocombustível sólido (briquete) produzido a partir de torta celulósica + borra de filtragem e decantação de óleo + cascas dos frutos + talos dos cachos; biocombustível líquido ou biodiesel produto da transesterificação do óleo da semente de mamona; e, fertilizante nitrogenado líquido produzido a partir da extração do nitrogênio presente na torta de mamona na forma de amônia.

A partir daí, a metodologia da pesquisa utiliza como material básico, a literatura científica editada e os bancos de dados eletrônicos da internet, ou seja, os registros de dados, teorias e experiências disponíveis e pertinentes ao tema. Os procedimentos também em uso incluem a seleção de material e levantamento de dados, que dão suporte a avaliação do panorama atual e delimitação do objeto do estudo da pesquisa.

O material selecionado consta de publicações impressas, artigos e monografias em sítios especializados da internet, referentes à produção de biodiesel de óleo de mamona, cultivo de oleaginosas e especificidades da mamona (*Ricinus communis*), beneficiamento e industrialização, até o produto acabado, co-produtos e resíduos de processo.

O levantamento de dados e informações disponíveis está discutido no capítulo 02 dessa dissertação com o título Fundamentação Teórica. Nele consta:

- Breve história do biodiesel no Brasil e no mundo, iniciativas e resultados;
- Levantamento das informações disponíveis do processo de produção do biodiesel com óleo de mamona, sua inserção no programa de biocombustíveis, e metas no contexto da substituição parcial e gradual do óleo diesel mineral e da sua utilização como fonte alternativa de geração de energia em comunidades isoladas;
- Repercussão dessas metas na demanda de produção, modelo de agricultura, caracterização das regiões potencialmente

produtoras, produtividade nominal, sustentabilidade, recursos e insumos;

- População trabalhadora diretamente envolvida no campo por meio da agricultura familiar e seu desdobramento em empregos nas zonas urbanas;
- Análise do experimento da Embrapa, “Produção de Biodiesel e Geração de Energia Elétrica a partir de Óleo de Mamona em Quixeramobim/CE” (SEVERINO, 2005), que contemplou todas as fases de produção de biodiesel de óleo de mamona:
    - Inicialmente, na fase agrícola, com a seleção do cultivar, preparação da terra, plantio, produção de sementes e avaliação da produtividade;
    - Beneficiamento da semente, descascamento, transporte e extração do óleo;
    - Produção do biodiesel por meio da transesterificação metílica e avaliação de suas especificações;
    - Geração de energia elétrica em grupo gerador utilizando o óleo bruto de mamona e o biodiesel 100% vegetal (B100); e
    - Medição da energia consumida e produzida no processo de fabricação do biodiesel.

Esse experimento trouxe relevante contribuição pela prática, mesmo em escala reduzida (capacidade de produção de 240 L/dia), alimentando outras discussões, ainda no capítulo 02, sobre:

- Tecnologia de beneficiamento da mamona, propriedade de equipamentos e máquinas utilizados, índices de desempenho e consumo de energia;
- Tipos e quantidades de resíduos gerados, formas de aproveitamento por reuso ou reciclagem, e destinação final;
- Processos de industrialização, rendimento, geração de resíduos,

consumo energético por fase, produtos e co-produtos;

- Caracterização físico-química dos resíduos sólidos produzidos, e dos efeitos de morbidade e letalidade da torta de mamona;
- Custo de produção do biodiesel e suas perspectivas com e sem recuperação de parte dos custos com a comercialização de co-produtos; e
- Balanço energético atual da produção do biodiesel com óleo de mamona.

Concluindo essa etapa do estudo é feita avaliação do estado-da-arte do processo de produção do biodiesel de óleo de mamona até então, traçando um panorama que leva às questões de interesse desse estudo de pesquisa, sobre as possibilidades de melhoria do balanço energético do processo, e de que forma. Na avaliação dos dados é traçado o seguinte panorama:

- Identificação das dificuldades no balanço energético;
- Perspectivas e potencial de utilização da massa do fruto da mamoneira (casca, semente e resíduos) como biomassa viável para produção de energia; e
- Identificação de possibilidade de processo de produção eco-eficiente com o aproveitamento integral da biomassa dos frutos, minimização dos resíduos sólidos e prevenção/redução de impactos ambientais.

Deste modo, no capítulo 03, é discutida a hipótese da dissertação resultante do quanto foi pesquisado e demandas: a energia produzida com os resíduos do fruto da mamona, resultantes da produção do biodiesel, é maior que a produzida pelo biodiesel, sendo possível gerar maior quantidade de energia e melhorar o nível de eco-eficiência, com o aproveitamento integral da biomassa do fruto da mamona com zero de resíduos sólidos.

Tal suposição conduziu à modelagem para produção de energia com eficiência ecológica, na qual o biodiesel de óleo de mamona é um dos produtos ao lado de um biocombustível sólido, com os seguintes objetivos:

1.1 OBJETIVO GERAL

Modelagem para produção de mais energia com prevenção ambiental e eco-eficiência, através do aproveitamento total da biomassa do fruto de mamoneira, com base na pesquisa bibliográfica e em resultados do estudo da Embrapa desenvolvido entre 11/2003 e 10/2004 numa mini-usina de produção de Biodiesel e geração de energia elétrica a partir de óleo de mamona em Quixeramobim/CE.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discutir o balanço energético da mini-usina e a redução de impactos ambientais com o aproveitamento e reciclagem dos resíduos sólidos gerados;
- pesquisar as questões e as causas, do consumo de energia e de produtividade que interferem no balanço energético;
- identificar tecnologias de processo para redução do consumo de energia ou utilização de energia disponível e mais barata, utilizando princípios de eficiência energética;
- identificar rota que possa viabilizar a recuperação de custo de produção de biodiesel com co-produtos demandados pelo mercado de energia, produzidos a partir de resíduos sólidos ou co-produtos sem valor ou com baixo valor agregado, atualmente;
- avaliar a minimização dos impactos ambientais a partir de resíduos sólidos, e da redução do uso de insumo agrícola mineral substituído por adubo orgânico.

Finalmente, no capítulo 04 - Conclusões, são apresentadas as considerações finais da pesquisa abordando as perspectivas da base tecnológica existente para produção de biodiesel de semente de mamona, seus impactos socioeconômico e ambiental, e viabilidade financeira. Também são apresentados os resultados da discussão para produção energética com o aproveitamento total da biomassa do fruto da mamoneira, ao tempo em que são feitas recomendações de

novas pesquisas e experimentos para sua implementação e avaliação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 BIODIESEL – BREVE HISTÓRICO

Biodiesel é uma denominação genérica para combustíveis e aditivos derivados de fontes renováveis, como dendê, babaçu, soja, palma, mamona, entre outras espécies vegetais, podendo também ter origem a partir de gordura e sebo animal. No Brasil, as pesquisas com o biodiesel remontam ao ano de 1980, com os trabalhos do professor Expedito Parente da Universidade Federal do Ceará, que é autor da patente PI – 8007957, a primeira em termos mundiais, de biodiesel e de querosene vegetal de aviação (LIMA, 2004).

No ano de 2003, após a crise de energia que se estendeu entre os anos de 2001 e 2002, o Governo Federal passou a considerar como de grande importância estratégica para o desenvolvimento econômico a contribuição na matriz energética da produção de energia a partir de fontes renováveis. Já havia indicativos de um mercado firme e crescente para os biocombustíveis no Brasil, como já acontecia desde o início da década de 90 na Europa, e um pouco depois, nos Estados Unidos (LIMA, 2004).

O parque industrial brasileiro qualificado, privado e capitalizado, atento por norma ao planejamento indicativo governamental para o livre mercado de produção/geração de energia, foi uma das condições favoráveis para a instalação do Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB), no qual a mistura do biodiesel ao diesel passaria a ser obrigatória em todo território nacional. Essa nova política energética necessitava de políticas públicas que levasse aos resultados pretendidos,

preservando e protegendo o meio ambiente e os setores mais vulneráveis da cadeia produtiva, em especial, os agricultores responsáveis pela matéria prima, e os consumidores de um produto dentro de especificações técnicas certificadas e fiscalizadas.

O PNPB teve uma primeira fase, de estudos de viabilidade, onde ficou demonstrado que o biodiesel traria os benefícios de inclusão social, redução de poluição por emissões gasosas causadoras do efeito estufa, atenuação das disparidades regionais e redução dos custos de importação com energia fóssil, principalmente, com óleo diesel (BRASIL, 2007).

2.1.1 Marco legal e regulatório

A segunda fase do PNPB iniciou-se com o desenvolvimento de esforços e ações governamentais para regulamentação dessa política energética e do instrumento competente para regulação.

As principais medidas foram:

- Decreto de 02/07/2003 criando o Grupo de Trabalho Interministerial (GTI), para o desenvolvimento de estudos sobre a viabilidade de utilização de óleo vegetal – biodiesel como fonte alternativa de energia; e

- Decreto de 23/12/2003 criando a Coordenação do PNPB e o Grupo Gestor vinculado ao Ministério de Minas e Energia (MME).

A partir daí, a regulamentação da política energética contemplando o biodiesel começa pela Medida Provisória nº 214, de 13 de setembro de 2004 (MP214), encaminhada pelo Poder Executivo ao Congresso Nacional. Ela altera a Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1977, que dispõe sobre a política energética nacional, incluindo o biodiesel no art. 6º e definindo-o como um combustível para motores a combustão interna com ignição por compressão, renovável e biodegradável, derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais, que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil (LIMA, 2005).

A regulação do mercado de energia renovável também foi contemplada

na MP-214 com a modificação do art. 8º da mesma Lei nº 9.478, delegando a Agência Nacional de Petróleo (ANP), responsabilidade para regular e autorizar as atividades relacionadas com a produção, estocagem, distribuição e revenda de combustíveis renováveis, fiscalizando-as diretamente ou mediante convênios com outros órgãos da União, Estados, Distrito Federal ou Municípios. Da mesma forma alterou o parágrafo primeiro do art. 1º da Lei nº 9.847, de 26 de outubro de 1999, lhe estendendo a fiscalização da produção, importação, exportação, armazenagem, estocagem, distribuição, revenda e comercialização de biodiesel dentro das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis (BRASIL, 2007).

O mais novo e definitivo marco legal e regulatório veio através de dispositivo mais abrangente, em substituição a MP214. A Lei Federal nº. 11.097, de 13 de janeiro de 2005 (BRASIL, 2005a), introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira fixando o percentual mínimo obrigatório, de 5 % em volume na mistura ao óleo diesel mineral (B5), para comercialização ao consumidor final em todo território nacional num prazo máximo de oito anos. O alcance desse percentual será gradual devendo-se atingir o percentual mínimo obrigatório intermediário de 2% (B2), em volume, na mesma mistura ao óleo diesel mineral, em três anos.

A Lei ainda expandiu as funções da ANP, que passou a se chamar Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíves, vinculada ao Ministério de Minas e Energia (LIMA, 2005). A atuação da ANP como agência reguladora do mercado de energias renováveis registra mais de 20 Resoluções sobre o biodiesel, como a de nº 255/2003, que estabelece a especificação do biodiesel puro a ser adicionado ao óleo diesel automotivo para testes em frotas cativas ou para uso em processo industrial específico nos termos da Portaria ANP 240, de 25 de agosto de 2003 (LIMA, 2004). Destacam-se também as resoluções nº 41/2004 relativa ao produtor de biodiesel, e a de nº 42/2004 que estabelece a especificação para a comercialização.

2.1.2 Políticas públicas

A partir da Lei nº 11.097/2005, o Governo Federal patrocinou uma série

de normas, regulamentos, portarias, decisões, ações políticas e estratégias para fomentar o PNPB com a propagação de projetos e atividades de desenvolvimento científico e tecnológico, bem como na formatação de fontes de recursos a serem alocados para tal finalidade.

Dentre as políticas públicas ressalta-se o modelo tributário para o biodiesel capaz de permitir a inclusão social e o desenvolvimento de regiões carentes e de menor nível de renda. Os decretos de nº 5.297/2004 e 5.457/2005 instituíram o selo "Combustível Social", enquanto as Instruções Normativas do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) de nº 01/2005 e nº 02/2005 definem os critérios e procedimentos para sua concessão e enquadramento de projetos. Isso para certificação à fabricante/produtores de biodiesel que adquiram a produção da Agricultura Familiar (AF), garantindo-lhe preço mínimo, compra da produção e assistência técnica. Esse dispositivo combinado ao disposto na Lei nº 11.116/2005 sobre modelo tributário aplicável ao biodiesel por região, e à norma do decreto 5.298/2004 que define alíquota zero para o Imposto sobre Produto Industrializado (IPI) na comercialização do biodiesel, propiciam a acumulação de incentivos fiscais premiando o maior percentual de compra da AF até a isenção total de tributos federais (BRASIL, 2007).

Outras políticas públicas visam o desenvolvimento tecnológico com incentivos de P&D a toda cadeia produtiva do biodiesel e linhas de financiamento através do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) que financia investimentos em todas as fases, da produção da matéria prima à comercialização do biocombustível, em até 90% para quem tem o "Selo Social" e 80% para quem não o tem. Ainda se tem a disponibilidade de recursos federais através do Programa Nacional de Agricultura Familiar (PRONAF) para financiamentos e organização dos agricultores familiares (BRASIL, 2007).

O Governo Federal comemora o feito de "em 20 meses saiu-se dos estudos técnicos para a inauguração da 1ª fábrica de biodiesel e do 1º posto revendedor" (BRASIL, 2007), conquanto os resultados dos 4 leilões de compra da produção de biodiesel já alcançaram a meta do B2 com 840 milhões de litros, com preços declinantes de R$ 1,92/L (23/11/2005) a R$ 1,747/L (11/07/2006). Exulta também ante a expectativa da geração de 205 mil empregos na AF e do fornecimento de 50% dos volumes arrematados pelas produções das regiões Norte

e Nordeste. Nesse cenário favorável e promissor, entretanto, identifica dentre os desafios, demandas para desenvolvimento tecnológico, organização de agricultores familiares, regulação eficiente e atenta, pesquisa de novas oleaginosas, utilização econômica para co-produtos (glicerina, torta, etanol, e outros), e modelo tributário estadual compatível como federal (BRASIL, 2007).

2.1.3 Biodiesel de mamona

A entrada do biodiesel no mercado misturado ao óleo diesel de petróleo na proporção de 2 %, suprirá esse percentual da demanda interna desse combustível fóssil, substituindo-o com óleo de fonte renovável vegetal e de gordura animal, cuja produção pretende-se que seja atendida, prioritariamente e num percentual de 40 % (quarenta por cento), com o beneficiamento da semente da mamoneira (*Ricinus communis*). Metade desse volume estimado em 293 milhões de litros com base no consumo de 2003, e em 330 milhões de litros base consumo 2005, deverá ser produzido pela agricultura familiar (LIMA, 2005).

O atendimento dessa demanda solicita investimentos da ordem de R$ 370 milhões para o plantio de 360 mil hectares exclusivamente para esse fim, pouco mais da duplicação da área atualmente cultivada, considerando-se uma produtividade média de 1.800 kg/ha e uma eficiência média de 93,8 % na extração do óleo presente na semente, algo próximo de 45 % de sua massa (BIODIESELBR, 2006).

A semente da mamoneira tem na sua constituição massa celulósica protéica e, em média, 48 % de óleo de mamona ou rícino, segundo HEMERLY (1981), que contém 90% de ácido ricinoléico, sendo uma fonte praticamente pura deste ácido graxo, fato raro na natureza. Não comestível, é o único glicerídeo natural solúvel em álcool (WEISS, 1983; FREIRE, 2001). Essa propriedade possibilita a produção do biodiesel de óleo de mamona por transesterificação em via etílica ou metílica, em reação química do óleo com o etanol (álcool obtido da fermentação de açúcares), ou do óleo com o metanol (álcool obtido de madeira ou de fonte fóssil), respectivamente, ambas sob a ação de catalisadores.

Duas experiências, a primeira entre 2003/2004 num estudo da Embrapa intitulado “Produção de Biodiesel e Geração de Energia Elétrica a partir de Óleo de Mamona em Quixeramobim/CE” (SEVERINO, 2005a) utilizou a transesterificação em rota metílica que é discutida de forma mais detalhada adiante. A segunda, mais recente entre 2005/2006, “Produção de Biodiesel a partir de Óleo de Mamona em Planta Piloto“ realizado na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), também testou a transesterificação em rota metílica (LOBO e outros, 2006), cujos resultados são objeto de cotejo entre ambas.

2.2 CULTIVO DA MAMONEIRA

O cultivo da mamoneira exige pouca água, e solos bem preparados, férteis, profundos e livres de compactação para possibilitar o desenvolvimento do sistema radicular profundo e denso. O Brasil é o terceiro produtor mundial de mamona com, aproximadamente, 210 mil toneladas na safra 2004/2005 (COMPANHIA..., 2005). A produção concentra-se na região Nordeste, destacando-se o Estado da Bahia como responsável por 82,9% do volume total, sendo o Município de Irecê/BA contribuinte absoluto em 85% da produção baiana (INSTITUTO..., 2005).

A cultura da mamona é típica de pequena agricultura, sendo cultivada sob baixo a médio nível tecnológico, com pouco ou nenhum uso de adubos e corretivos (AZEVEDO e LIMA, 2001).

A adubação da mamoneira é pouco estudada, notadamente nos estados do Nordeste, principal região produtora, e nos cerrados do Centro-Oeste, região onde a cultura é emergente. No Estado da Bahia recomenda-se para o Nitrogênio (N), usar no plantio 20 kg/ha base de fertilizante de origem mineral ou orgânico, como a própria torta de mamona; e com 30 a 40 dias da emergência das plantas, usar 40 kg/ha em cobertura em sulco fechado para evitar a volatilização e a denitrificação do nitrogênio (SEVERINO e outros, 2005a).

Para uma produtividade de 2000 kg/ha de sementes a mamoneira retira do solo as seguintes quantidades de nutrientes, em média: 80 kg de nitrogênio, 18 kg de Pentóxido de Fósforo (P_2O_5), 32 kg de Óxido de Potássio (K_2O), 12 kg de

Óxido de Cálcio (CaO) e 10 kg de Óxido de Magnésio (MgO). Por isso seu cultivo deve ser feito em solos com boa fertilidade natural ou com suprimento de fertilizantes orgânicos ou minerais para produzir bem (SEVERINO e outros, 2005a).

Na região Nordeste do Brasil, a mamona cultivada, sem adubo, por agricultores familiares tem alcançado baixa produtividade conforme registrado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em números de comercialização que variam entre 600 kg/ha e 900 kg/ha, embora se apresente no semi-árido, números de até 1.500 kg/ha, experimentalmente, em cultura irrigada. É a Região Sudeste que produz melhores números, com média de 1.800 kg/ha e máxima de até 2.500 kg/ha (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2003), sob clima mais propício, alta tecnologia, correção do solo e adubação com Nitrogênio+Fósforo+Potássio (NPK), embora a bibliografia técnica especializada defina o limite superior de 4.000 kg/ha (SAVY FILHO, 2001).

A grande faixa de produtividade é explicada por um conjunto de fatores. O limite inferior é justificado por baixa pluviosidade, deficiência de manejo no plantio consorciado, não observação da época de plantio, variedades, e muito certamente, deficiência de insumos minerais e cultivares inadequados, pelo menos nas épocas de melhor pluviosidade.

Noutros estudos, os pesquisadores Canecchio Filho e Freire (1958) e Nakagawa e Neptune (1971), registraram que a mamoneira retira do solo 80 kg/ha de nitrogênio para cada 2.000 kg/ha de baga produzida e, particularmente, na parte aérea foliar detectaram teores de 41,3 g/kg de N aos 64 dias de germinação e de 156 kg/ha de N aos 133 dias, enquanto para os frutos, na torta da semente foram encontrados 45,0 g/kg, demonstrando que esse nutriente é parte da estrutura da planta.

O estudo da Embrapa intitulado “Produção de Biodiesel e Geração de Energia Elétrica a partir de Óleo de Mamona em Quixeramobim/CE” (SEVERINO e outros, 2005a, p. 14), cujo cultivo teve produtividade média de 510 kg/ha, indicou dentre as dificuldades encontradas que a adubação mineral é fundamental, pois em experimentos na mesma área foi registrada produtividade de 1.072 kg/ha, enquanto com adubação o resultado elevou-se para 2.298 kg/ha (SEVERINO e outros, 2005a). Verifica-se assim, que o não atendimento da forte demanda por nitrogênio prejudica o crescimento da planta e a produção de área foliar, enquanto a

frutificação é fraca com poucos cachos e frutos com peso abaixo do esperado (SANTOS, 2004).

2.3 BENEFICIAMENTO DA SEMENTE DA MAMONA

Os cultivares em estágio produtivo apresentam frutos deiscentes – que se abrem naturalmente quando maduros liberando as sementes - ou indeiscentes, geralmente espinhosos, que abrigam sementes com diferentes tamanhos, formatos e grande variabilidade de coloração (SAVY FILHO, 2001).

No cultivar deiscente IAC 80, a colheita é parcelada retirando-se a produção do campo quando 70% dos frutos estiverem secos, completando-se a secagem em terreiro. Após a secagem os frutos abrem deixando as sementes livres, de forma que, com abanação mecânica ou manual se faz a separação das cascas. Nos cultivares indeiscentes Guarani e IAC 226, é possível a colheita única dos racemos já secos, dispensando a operação de secagem no terreiro. Entretanto, o descasque é obrigatoriamente mecânico em descascadeira específica para este tipo de mamona (RURALNET, 2006).

Um dos principais resíduos do beneficiamento da semente da mamona é a casca dos frutos junto com os racemos secos. A casca representa, aproximadamente, 25 % da massa do fruto *in natura* (Figura 1), sendo que no beneficiamento (descasque) para cada tonelada de semente produzida são gerados 620 kg de um resíduo denominado casca (SEVERINO e outros, 2005b), constituído por uma mistura de cascas e sementes quebradas inaproveitáveis. Assim, em 2005 a produção de casca de fruto de mamona foi de 130 mil toneladas com base na safra de 210 mil toneladas.

Figura 1 – Frutos da mamoneira: (racemos e frutos), sementes e óleo de rícino. Fonte: SARNO (2006).

Essa produção vem sendo deixada a ermo em monturos, queimada ou utilizada tradicionalmente, na cobertura do solo sobre as covas como se fosse adubo orgânico que retorna à lavoura da mamona, ou em outras culturas na própria fazenda. Essa prática não apresenta nenhum ganho agrícola, pois a casca da mamona mostra-se inadequada para utilização como fertilizante ou adubo orgânico devido à alta taxa Carbono/Nitrogênio (C/N), que induz à carência de nitrogênio (LIMA e outros, 2005) e ao baixo teor de insumos minerais considerando os fertilizantes tradicionais, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Teor (%) de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio na casca do fruto da mamoneira.

ELEMENTOS	NITROGÊNIO	FÓSFORO	POTÁSSIO	CÁLCIO	MAGNÉSIO
Casca de mamona	1,86	0,26	4,50	0,67	0,38

Fonte: SILVA LIMA e Outros (2005)

Outros estudos desenvolvidos na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA mostram que quando a aplicação da produção de casca do fruto da mamona é feita em lavouras onde o material não fica concentrado em pequenas áreas, esse problema da relação C/N não é considerável, mas quando se utiliza o material em doses mais elevadas, como em hortas ou adubação de vasos, é preciso que antes se submeta o material a um processo de decomposição como a compostagem, por exemplo, para reduzir a relação C/N. Dessa forma, o problema de carência de nitrogênio pode ser superado (SEVERINO e outros, 2005c).

Na fase de descasque, um segundo resíduo, as sementes quebradas, são descartadas junto com as cascas. O projeto de pesquisa “Produção de Biodiesel e Geração de Energia Elétrica a partir de Óleo de Mamona em Quixeramobim, CE”, adotou o beneficiamento da semente com a utilização de uma descascadeira mecânica, especialmente desenvolvida para a mamona, estacionária e movida a motor elétrico. Os resultados demonstram que o equipamento não funciona bem por “... quebrar muita semente, alto percentual de frutos não descascados (marinheiros)...” (SEVERINO e outros, 2005a, p. 14 e 15), conforme Figuras 2 e 3.

Uma segunda máquina foi testada, acoplada ao trator, possibilitando o beneficiamento dentro da lavoura (evitando o transporte dos frutos), apresentando “melhor eficiência de descascamento (menos sementes quebradas e menos marinheiros). A segunda máquina utilizada também apresentou baixa eficiência, obtendo rendimento de descasque de apenas 45,2% quando o esperado era em torno de 62%” (SEVERINO e outros, 2005a, p.15).

A prática do beneficiamento/descasque mostra resultados com perda

significativa de matéria-prima, em boa parte da semente quebrada que é descartada junto com as cascas, irrecuperável para retorno à prensagem, misturada à produção de cascas gerando um montante de resíduos sólidos. Esse valor agora já é superior aos 620 kg de cascas para cada 1000 kg de semente de mamona processada e é composto de casca, talos dos racemos secos e sementes quebradas.

Figura 2 – Descascador de mamona estacionário marca ECIRTEC, com motor elétrico e discos de borracha, Quixeramobim, CE.
Fonte: Severino e outros (2005a)

Figura 3 – Descascador de mamona móvel marca GSDOURADO, sem discos de borracha. Quixeramobim, CE.
Fonte: Severino e outros (2005a)

2.4 INDUSTRIALIZAÇÃO DA SEMENTE DA MAMONA

Após o beneficiamento da semente, se inicia a fase industrial com a etapa de extração do óleo bruto, que depois é refinado, e submetido numa segunda etapa ao processo de transesterificação.

2.4.1 Extração de óleo

A extração do óleo vegetal presente na semente descascada é feita por prensagem/esmagamento quando se obtém percentual próximo de 80 % do total. Na mini-usina experimental do projeto de pesquisa descrito em Severino e outros, (2005a), o sistema utilizado fora composto das unidades descritas abaixo e conforme Figuras 4 a 7:

- **cozinhador,** onde é feito o aquecimento da semente em temperatura próxima de 80 ºC, Severino e outros, (2005a), necessária para redução da viscosidade do óleo e aumento da eficiência de extração da prensa;
- **prensa**, onde a semente é esmagada sob pressão e o óleo flui lateralmente;
- **decantador**, para remoção por sedimentação simples das partículas misturadas ao óleo geradas pelo esmagamento da semente;
- **aquecedor**, para aumento da temperatura do óleo decantado e redução da viscosidade antes da filtração, melhorando sua fluidez;
- **filtro-prensa**, utilizado para remover por filtragem forçada, as partículas ainda em suspensão no óleo decantado; e
- **triturador de torta**, onde a matéria sólida da prensa (torta de semente esmagada), é triturada e misturada a um solvente como etanol, metanol, éter, clorofórmio, ácido acético glacial, ou o hexano (FREIRE, 2006).

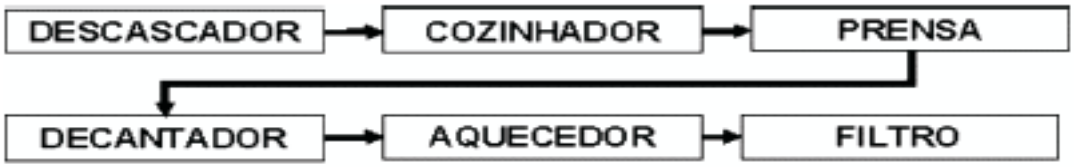


Figura 4 - Fluxograma do funcionamento das máquinas na mini-usina de extração de óleo em Quixeramobim, CE.
Fonte: Severino e outros, 2005a.

Figura 5 - Cozinhador utilizado para aquecimento das sementes em Quixeramobim, CE.
Fonte: Severino e outros, 2005a..

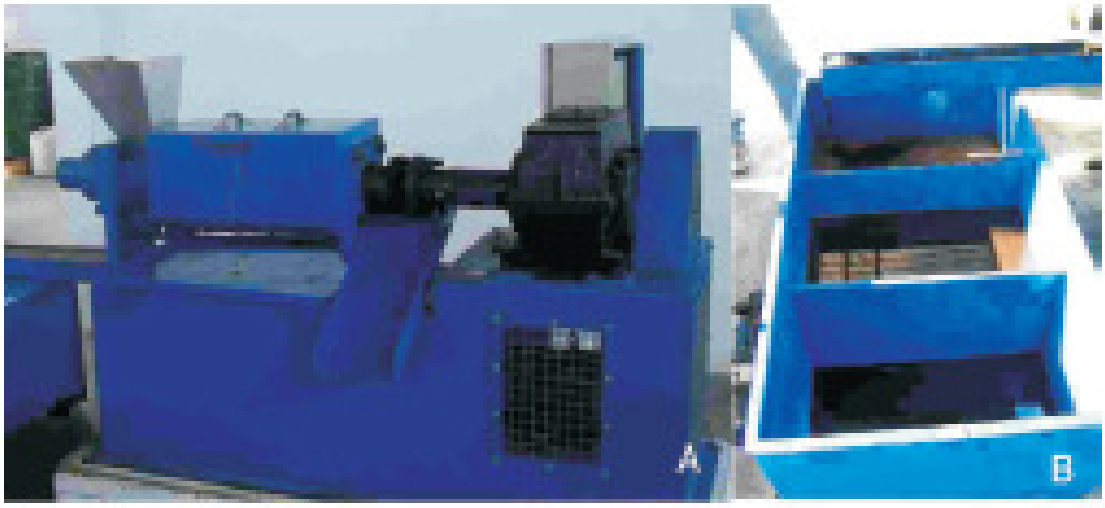


Figura 6 - Prensa para extração do óleo (A) e decantador para separação das impurezas maiores (B), em Quixeramobim, CE.
Fonte: Severino e outros, 2005a.

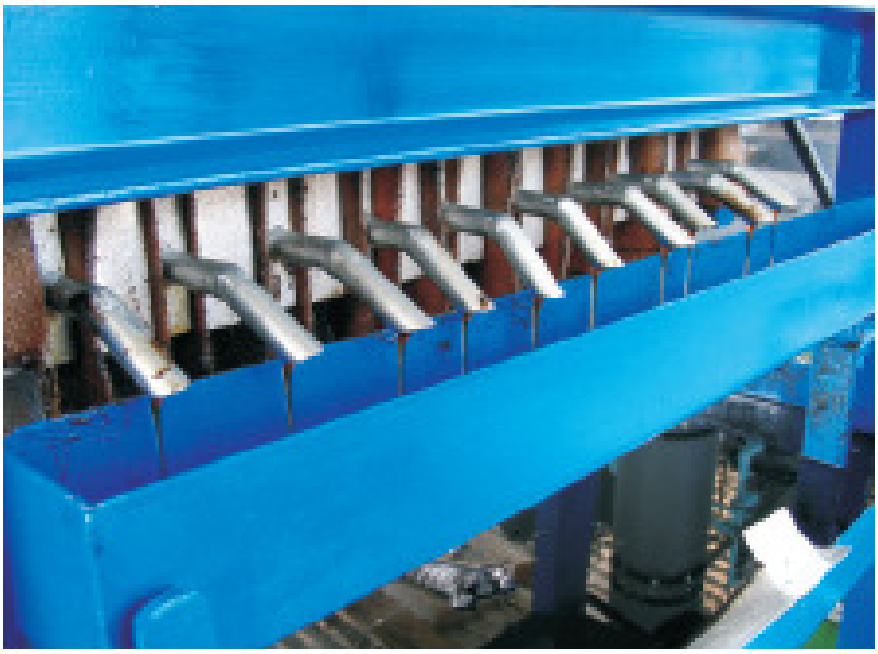


Figura 7 – Filtro prensa, detalhe da saída do óleo, em Quixeramobim, CE.
Fonte: Severino e outros, 2005a.

A massa resultante do triturador de torta retorna ao processo de aquecimento para redução de viscosidade dos 20 % de óleo remanescente, sendo prensada novamente para sua extração com solvente. A produção final apresenta teor de acidez livre que não deve ultrapassar 3%, medido pela quantidade de ácidos fortes no óleo, geralmente expressa em miliequivalentes de base forte necessários para neutralizar uma amostra de um litro, utilizando, por exemplo, o vermelho de metila como indicador (FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005), assim também como deve ter baixo teor de impurezas.

Ao final desta fase obtém-se um produto, o óleo vegetal ou bruto, e dois resíduos de processo: a torta de mamona com potencial para aproveitamento constituindo-se num co-produto; e a borra de decantação e filtragem.

2.4.1.1 Torta de mamona

A torta de mamona é um co-produto do processo da extração do óleo das

sementes da mamoneira com elevado teor de proteínas gerado na razão aproximada de 1,2 t para cada tonelada de óleo extraída (AZEVEDO e LIMA, 2001), correspondendo a 55% do peso das sementes, em média. Sua proteína é composta por 60% de globulinas, 16% de albuminas, 4% de proteoses e 20% de glutelinas, proteínas conjugadas e compostos nitrogenados não-protéicos (BON, 1977).

É o mais tradicional e importante co-produto da cadeia produtiva da mamona, e em todo o mundo esse composto ricamente nitrogenado tem sido usado, predominantemente, como adubo orgânico de boa qualidade e eficiente na recuperação de terras esgotadas (MOTA; PERES; RAMOS, 2005). Nesse seminário questionou-se a possibilidade de maior valor agregado, na produção de farelo para ração animal, diante do alto teor de proteínas de sua constituição. Esse aproveitamento direto, ainda é impossibilitado devido à presença de outros elementos (ricinina, ricina e CB-1 A), que lhe conferem propriedades tóxicas e alérgicas. Essas características têm gerado dificuldades para viabilidade e definição de tecnologias para seu processamento industrial.

A toxicidade da mamona é conhecida desde a antiguidade, embora somente na segunda metade do século XX se tenha descoberto que ela e a alergenicidade se deviam a diferentes compostos (THE INTERNATIONAL..., 1989): ricina, ricinina e CB-1A (MOSHKIN, 1986; GARDNER e outros, 1960).

A ricinina é um alcalóide (substância básica composta de nitrogênio, oxigênio, hidrogênio e carbono), que pode ser encontrado em todas as partes da mamoneira, podendo ser detectada desde as fases iniciais de desenvolvimento. Foi isolada a primeira vez em 1864, e teve sua estrutura determinada em 1949. Sua contribuição à toxicidade da torta é muito pequena por apresentar baixas atividade tóxica e concentração. No fruto, Figura 8, o teor de *ricinina* é alto na cápsula externa, médio na casca da semente e pequeno no endosperma da semente, em média, de 0,03% (SEVERINO, 2006).

Figura 8 – Mamona: fruto com casca verde, e semente com cápsula preta.
Fonte: SARNO (2006).

A ricina é uma proteína encontrada exclusivamente no endosperma da semente de mamona, em concentração variando entre diferentes genótipos, em teores de 1,5 a 9,7 mg/g. Está entre as proteínas de maior toxicidade conhecida pelo homem, promovendo a morte da célula por inibição da síntese protéica. A intoxicação pode ocorrer por inalação, injeções intramuscular, endovenosa e intraperitoneal e por via oral, que apresenta uma resposta menor em relação às demais (THE INTERNATIONAL..., 1989).

Na área médica a *ricina* tem se destacado pelo uso na eliminação de células cancerígenas. No processo, a toxina é ligada a um anticorpo que reconhece especificamente a célula a eliminar, que assim a penetra e provoca a toxidez. De modo contrário, essa toxina também tem uso como arma química, cujo efeito no organismo humano evidencia-se com problemas respiratórios, febre e náuseas. Pelo menos três relatos são conhecidos: o assassinato do jornalista búlgaro Georgi Markov, em 1978, na cidade de Londres; a utilização na guerra Irã-Iraque na década de 80; e, o encontro de uma carta, em fevereiro de 2005, no Senado dos Estados Unidos, contendo *ricina* (SEVERINO, 2006).

A alergenicidade é provocada por uma substância normalmente inofensiva encontrada no ambiente ou nos alimentos, capaz de produzir asma, febre, eczema e desconforto gastrintestinal ao ser posta em contato com uma pessoa

previamente sensibilizada (SPIES, 1974, apud THE INTERNATIONAL..., 1989).

A fração alergênica da torta de mamona, denominada **CB-1A,** é composta por um conjunto de proteínas com uma porção glicídia associada: as glicoproteínas. Os alérgenos da mamona, assim como a ricina, estão entre os alérgenos de maior poder conhecidos (THE INTERNATIONAL..., 1989). O termo CB-1A, como explica Trugo (1979), surgiu de *Castor Beans* (sementes de mamona, em inglês), e 1A que corresponde ao processo desenvolvido por Spies e colaboradores em 1914, baseado na sua solubilidade em água e insolubilidade em álcool a 75 %. O isolamento da fração alergênica foi um marco importante na pesquisa com a mamona, pois até então se pensava que os sintomas de alergia eram devidos à ricina, porém, se isolou a fração que não possuía toxidez e era estável a 100ºC, mostrando que a alergia e a toxidez eram causadas por diferentes substâncias (SEVERINO, 2006).

São várias as potencialidades da torta de mamona. Para cada tonelada de semente de mamona processada além dos 620 kg de casca, são gerados, em média, 530 kg de torta de mamona (SEVERINO e outros, 2005b). Dessa forma, a safra 2004/2005 de 210 mil toneladas de sementes produziu, aproximadamente, 111 mil t de torta, parte comercializada para indústria de fertilizantes e parte levada de volta para dentro da lavoura ou aproveitada na própria fazenda, tradicionalmente, usadas como adubo orgânico por conter alto teor de nitrogênio.

Nesse aspecto, uma torta de boa qualidade é aquela que tem baixo teor de óleo residual, próximo de 1,5%, obtida pelo processo de extração dupla do óleo quando submetida a tratamento com solvente após a prensagem. Nesse teor sua assimilação pelo solo é mais rápida aproveitando ao máximo o benefício da solubilização e lixiviação causada pelas poucas chuvas.

Ao contrário das cascas, pesquisas comprovam que a torta de mamona apresenta boas características para uso como adubo orgânico pelo alto teor de nitrogênio dentre outros nutrientes, e pela relação Carbono/Nitrogênio conforme Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Teor (%) de Macro-nutrientes Básicos encontrados na Torta de Mamona

ELEMENTOS	NITROGÊNIO	FÓSFORO	POTÁSSIO	CÁLCIO	MAGNÉSIO
Torta de mamona	7,54	3,11	0,66	0,75	0,51

Fonte: SILVA LIMA e Outros (2005)

Tabela 3 - Teor de micro-nutrientes encontrados na Torta de Mamona

TORTA DE MAMONA – CARACTERÍSTICAS E MICRO-NUTRIENTES

Zinco ppm	Cobre ppm	Manganês Ppm	Ferro ppm	Boro ppm	Umidade %	pH	Matéria Orgânica %	Relação C / N
100 a 141	70 a 80	55 a 400	1000 a 1400	80 a 100	10	6,0	92	6:1 a 10:1

A análise do desempenho da casca dos frutos e da torta de semente da mamona como fertilizantes é apresentada na Tabela 4. Os resultados tiveram por base experimento realizado em Campina Grande, onde foi avaliado o cultivo da mamoneira, com adubação por meio de casca de frutos e torta processada, em dosagens iguais que variaram entre 500 kg/ha e 2000 kg/ha (LIMA e outros, 2005). O confronto de resultados é dado através da Relação de Desempenho (D) = desenvolvimento com torta / desenvolvimento com casca, a seguir.

Tabela 4 - Relação de desempenho (**D)**

Altura	Diâmetro do caule	Área Foliar	Matéria Seca
4,5	2,2	13,5	13,8

Fonte: Lima e Outros (2005)

Verificou-se a propriedade da adubação nitrogenada no cultivo da mamona com influência direta no desenvolvimento da planta e na produtividade, como visto anteriormente, e, consequentemente, da necessidade imperiosa desse fertilizante. Comprova-se também o teor bem superior de nitrogênio na torta da semente processada, comparando com sua concentração na casca do fruto, conforme teor qualificativo de adubo orgânico na Tabela 5.

Tabela 5 - Teor (%) de Macro-nutrientes Básicos na Casca do Fruto e na Torta de Mamona

SUBSTRATO	NITROGÊNIO	FÓSFORO	POTÁSSIO	CÁLCIO	MAGNÉSIO
Casca de mamona	1,86	0,26	4,50	0,67	0,38
Torta de mamona	7,54	3,11	0,66	0,75	0,51

Fonte: LIMA e Outros (2005)

Outros estudos também indicam a importância da adubação nitrogenada para o desenvolvimento da mamoneira conforme as Figuras 9 a 12 e registro: a “mamona é uma planta que demanda grande quantidade de nitrogênio para obter um crescimento e produção compatível com o esperado pelo seu cultivo racional” (SANTOS, 2004).

Figura 9 - Efeito da deficiência de nitrogênio sobre o crescimento e o desenvolvimento da mamoneira: aos 60 dias do experimento, tratamento completo à esquerda e com supressão de N a partir dos 30 dias, à direita.
Fonte: SANTOS (2004)

Figura 10 - Efeito da deficiência de nitrogênio sobre o crescimento e o desenvolvimento da mamoneira: perda da coloração verde escura característica e perda das folhas inferiores.
Fonte: SANTOS (2004)

Figura 11 - Efeito da deficiência de nitrogênio sobre o crescimento e o desenvolvimento da mamoneira: padrão de amarelecimento inicial das folhas, estrela de nervuras amareladas.
Fonte: SANTOS (2004)

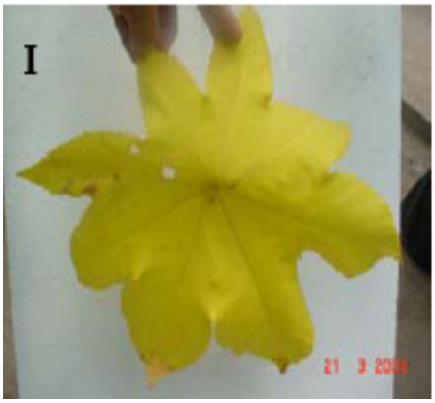


Figura 12 - Efeito da deficiência de nitrogênio sobre o crescimento e o desenvolvimento da mamoneira: fase final, perda total da clorofila da folha, com amarelecimento completo.
Fonte: SANTOS (2004)

Além do uso direto como fertilizante estuda-se outras aplicações para a torta processada, como importante co-produto da cadeia produtiva da mamona, considerando o volume gerado, teor de nitrogênio e de proteína. A real possibilidade de aumento da produção nacional de mamona lhe impõe a necessidade de agregação de valor.

O Seminário **Co-produtos do processo de produção do biodiesel** realizado no Rio de Janeiro, em maio de 2005 (MOTA; PERES; RAMOS, 2005), registrou propostas de pesquisas, e estudos em andamento, para aproveitamento da torta de mamona, podendo-se citar:

- processo de conversão de forma contínua e à baixa temperatura da biomassa em óleo e carvão (Prof. Raimundo Damasceno, UFF);
- desalergenização, identificação dos componentes alergênicos e de sua resistência à degradação térmica, na qual também foi demonstrado que a ação alérgica da mamona pode ser transferida a outras culturas como o milho, por exemplo (Profa. Olga Machado, UENF);
- destoxificação da torta da mamona por extrusão com vapor, cuja eficiência seria avaliada em projeto conjunto com a Profa. Olga Machado, e o produto empregado diretamente como ração animal (Dr. José Ascheri, Embrapa);
- possibilidade de destoxificação por processos biológicos como a compostagem (Prof. Luiz Pereira Ramos);
- projeto de destoxificação da torta de mamona por compostagem em parceria com a Universidade Federal de Viçosa (Dr. Liv Soares Severino, Embrapa);
- utilização da torta de mamona na confecção de briquetes para uso, considerando que o poder calorífico do briquete é superior ao do bagaço

puro e da lenha, e que também poderia realizar experiências de gaseificação da casca, torta e dos briquetes (Prof. Sérgio Peres, UPE);

- proposta de uso da torta de mamona como fertilizante para recompor solos degradados, especialmente no que tange à fixação de nitrogênio e à sua reconhecida ação nematicida, como uma aplicação mais vantajosa do que a queima para a produção de energia térmica e vapor (Prof. Cláudio Costa Neto, UFRJ), e
- proposta de utilização da biomassa em construção civil / habitações populares utilizando argilas para dar formato mais compacto ao material, ressalvando-se, porém, que o solo brasileiro é rico em argilas para este fim (Prof. Marcos Vinícius Fonseca, UFRJ).

Identificou-se mais um inconveniente da utilização da torta de mamona como ração animal, com a necessidade de remoção de teor remanescente de óleo, de até 8 % após a prensagem, pelos efeitos purgativos. O seminário ainda teve como desdobramento o elenco de diversas linhas de pesquisas aproveitadas pelo Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT, algumas específicas para torta de mamona: Energia, Processos Fermentativos, Conversão Termocatalítica, Adubo Orgânico, Destoxificação, Desalergenização, Produção de Álcool e Catalisador.

Observa-se, pela base de conhecimento e pelo histórico ainda recente de pesquisas, que são vários os entraves para um melhor aproveitamento com maior valor agregado da torta de mamona. A começar pela inexistência de processos industriais com custos compatíveis, viabilidade operacional e econômica; os processos de destoxificação e desalergenização ainda não são comprovadamente eficazes; e, por fim, não existe tecnologia consolidada acessível para caracterização e medição da toxicidade e alergenicidade, e acompanhamento da segurança do produto, principalmente quando se objetiva o uso como ração animal.

De outra forma, porém, a torta de mamona aplicada como adubo orgânico, como tradicionalmente é feito, pode devolver ao solo quase 50 % dos 80 quilogramas de nitrogênio por hectare, quando se considera uma produtividade de

bagas entre 500 kg/ha e 750 kg/ha, típica da agricultura familiar de sequeiro. Entretanto, se a produtividade de bagas atinge 2.000 kg/ha, a massa de nitrogênio contida na torta de mamona processada pode devolver, em tese, a quantidade de fertilizante necessária para uma boa produtividade e desenvolvimento vegetativo.

Permanece, no entanto, o ponto comum: qualquer que seja o aproveitamento da torta de mamona, há risco contra a vida humana ou animal pela toxicidade e alergenicidade, se não houver a destoxificação e desalergenização.

2.4.1.2 Borra de decantação e Filtragem

A alta viscosidade do óleo de mamona é uma das maiores dificuldades da industrialização, principalmente em mini-usinas, nas quais as demandas de solução pesam mais e até se conflitam com os objetivos dessas unidades, dentre eles, a geração de energia; e os entraves também têm relação direta com a ineficiência tecnológica dos processos de extração de óleo e remoção de impurezas.

Após a prensagem, o óleo bruto passa pela decantação e filtragem com o objetivo de retirada do material particulado em suspensão. Nessa fase, o aquecimento é fundamental para que o óleo mantido à temperatura de 80 ºC tenha condições boas de fluidez, e as partículas possam sedimentar-se sob a ação da gravidade.

No experimento de Quixeramobim (SEVERINO e outros, 2005a), foi utilizado um aquecedor que produzia calor aumentando a temperatura do óleo bruto, a partir de energia elétrica, para redução da viscosidade e facilitar o processo de remoção das impurezas. Além disso, ainda foram feitas adequações e introdução de etapas complementares de processo, a exemplo da pré-filtragem ou filtração preliminar, com o acoplamento de uma tela na calha que coleta e conduz o óleo extraído da prensa para o decantador, para retirada de partículas mais grosseiras do óleo a ser decantado, em benefício das etapas seguintes.

Mesmo com as intervenções, a decantação apresentou eficiência muito baixa enquanto as partículas em suspensão não decantaram. A redução da

viscosidade do óleo não foi suficiente pois requeria a produção de grande quantidade de calor de fonte elétrica, cujo elevado consumo inviabilizou seu uso. Essa baixa eficiência prejudicou sensivelmente a operação seguinte, de filtragem, para onde o óleo seguia com grande quantidade de partículas em suspensão, que se esperava, fossem removidas pelo decantador. Assim, o pouco de sedimentos separados nesse processo é retirado contendo grande quantidade de óleo, representando perda significativa do principal produto, contribuindo de forma significativa para redução da eficiência da usina (SEVERINO e outros, 2005a).

Na unidade seguinte, de filtragem, a eficiência do filtro-prensa também foi prejudicada. Esperava-se velocidade de filtragem de 40L/h, mas se obteve algo entre 15L/h e 20L/h. O excesso de impurezas dentro do óleo exigia a limpeza do filtro em freqüência maior que o normal (a cada 30 a 60 minutos), tornando o processo lento, ineficiente e gerador de resíduos (SEVERINO e outros, 2005a).

O resíduo retido no filtro-prensa, constituído de finos de torta de semente de mamona, impurezas e um pouco de óleo é misturado aos resíduos da decantação e da pré-filtragem e a produção não é quantificada nem tem fim definido. O trabalho apenas cita sua condição preliminar de co-produto.

2.4.2 Produção de biodiesel de óleo de mamona - Transesterificação

O relatório final do grupo de trabalho interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de óleo vegetal – biodiesel, como fonte alternativa de energia, considera biodiesel todo combustível obtido de biomassa que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil em motores ciclo-diesel, automotivos e estacionários. Essa definição é relevante para evitar a discriminação de qualquer rota tecnológica para a obtenção desse combustível de fonte vegetal ou animal, o que permite incluir, além do próprio óleo bruto, o obtido por transesterificação etílica ou metílica, por craqueamento, ou ainda por transformação, em líquido, de gases obtidos de biomassa (BRASIL, 2003, p. 3).

A literatura mundial define biodiesel como um biocombustível, predominantemente obtido a partir da transesterificação, uma reação química de um

lipídio com um álcool para formar ésteres e um subproduto, o glicerol (ou glicerina). Como essa reação é reversível, faz-se necessário um excesso de álcool para forçar o equilíbrio para o lado do produto desejado. O craqueamento térmico ou pirólise é o processo de conversão do óleo vegetal num hidrocarboneto (petróleo vegetal) à alta temperatura (>450oC), na ausência de oxigênio e auxiliado por um catalisador para a quebra das ligações químicas, de modo a gerar moléculas menores (LIMA, 2004).

A reação de transesterificação do óleo de mamona com o metanol ou etanol, utiliza um catalisador básico, ácido ou enzimático, para acelerar a reação. O hidróxido de sódio é o catalisador mais usado tanto por razões econômicas como pela sua disponibilidade no mercado. As reações com catalisadores básicos são mais rápidas do que com catalisadores ácidos. O tipo de catalisador, as condições da reação e a concentração de impurezas na matéria-prima determinam o caminho da reação de transesterificação, e consequentemente, a eficácia da produção do biodiesel e a qualidade do produto final (LIMA, 2005).

Dentre os dois tipos de álcool, o metanol é mais freqüentemente utilizado por razões de natureza física e química (cadeia curta e polaridade), razão pela qual, a tecnologia de produção de biodiesel pela rota metílica é totalmente dominada. No entanto, sua utilização tem desvantagens devido à toxicidade elevada do metanol, com malefícios à saúde humana, podendo causar cegueira e câncer, além do Brasil não ser auto-suficiente, dependendo de sua importação para outros usos (LIMA, 2005).

O etanol apresenta a vantagem de não ser tóxico, ser biodegradável e ser produzido a partir de fontes renováveis. O Brasil produziu no ano de 2004 cerca de 12 bilhões de litros de etanol a partir da cana-de-açúcar e tem uma capacidade ociosa de mais de 2 bilhões de litros por ano, ressaltando-se ainda a disponibilidade de terras agricultáveis para produção de oleaginosas e cana-de-açúcar. São, aproximadamente, 90 milhões de hectares, mais de 50 % da área cultivada, sem contabilizar as pastagens. Essas, com manejo mais eficiente pode ter sua área reduzida em 15 % sem afetar a produção de bovinos, disponibilizando mais 30 milhões de hectares de terras que poderão ser usadas na produção de matérias-primas para a produção de etanol e biodiesel (LIMA, 2005).

Na produção do biodiesel é necessário que o óleo vegetal bruto extraído da mamona seja refinado, passando pelos processos de degomagem (redução de

viscosidade, densidade e contaminantes), neutralização (correção da acidez), e branqueamento (redução de impurezas e contaminantes); assim espera-se que o óleo transesterificado, o B100, atenda às especificações técnicas, mesmo que provisórias, da ANP. O processo de transesterificação, Figura 13, é complementado com a separação de fases, recuperação e desidratação do álcool, destilação da glicerina e purificação do biodiesel (LIMA, 2005).

Figura 13 - Usina de transesterificação com capacidade de 240 l/dia - Quixeramobim, CE.
Fonte: Severino e outros (2005a)

A seguir, são cotejados resultados da mini-usina do projeto de pesquisa desenvolvido em Quixeramobim – CE e estas especificações, na Tabela 6.

Tabela 6 - Principais características de óleo bruto e biodiesel de mamona produzidos em mini-usina, e especificações técnicas da ANP para o biodiesel e o diesel mineral.

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	RESULTADOS DA MINI-USINA		ESPECIFICAÇÕES ANP	
		Óleo bruto	Biodiesel	Biodiesel **(Provisória)** (Res. 42/04)	Diesel Mineral (Port. 310/01)
Cinzas	%	0,01	0,02	0,02	0,02
Enxofre	Ppm	4,7	12,4	10	0,20
Fósforo	%	0,0124	0,0120	0,001	-
Glicerina Total	%	0,77	0,68	0,38	-
Índice de Acidez	%	0,6	1,6	0,08	-
Massa Específica	g/cm^3	0,939	0,836	0,880	0,880
Viscosidade	Mm^2/s	6,2	0,43	2,5 – 5,5	2,5 – 5,5

2.5 AVALIAÇÃO DO PANORAMA ATUAL

Tomando por base o experimento em estudo (SEVERINO e outros, 2005a), o desempenho de uma mini-usina de produção de biodiesel a partir de óleo de mamona, é avaliado quanto à produtividade, e pela qualidade do produto confrontando suas características com as especificações da ANP. Também é refeito o balanço energético, contabilizando a energia consumida e a energia produzida, estabelecendo a relação entre ambas; e, finalmente, avalia-se quanto aos impactos ambientais.

2.5.1 Produtividade

A primeira etapa de industrialização, de extração de óleo, é realizada em unidade de processo constando dos seguintes equipamentos: descascador de frutos de mamona, cozinhador, prensa, decantador, aquecedor, filtro-prensa e triturador de torta (Figuras 5 a 7). O experimento demonstra e conclui que os equipamentos apresentaram muitas deficiências e, que são tecnicamente inapropriados, para um bom funcionamento da usina e rendimento da extração de óleo de mamona. De forma geral, embora a semente de mamona contenha aproximadamente 48% de óleo, o rendimento de extração foi de apenas 35% devido às perdas ocorridas no processo.

No beneficiamento, as perdas ultrapassaram 50% no descasque com impacto direto na produção final (SEVERINO e outros, 2005a). O funcionamento da prensa foi satisfatório, exigindo constante regulagem, sendo relevante que esse processo de extração, apenas, ainda deixa grande quantidade de óleo na torta, próxima de 10%, diminuindo a eficiência de extração da usina e sua produtividade. Essa eficiência poderia ser melhorada complementando-se a prensagem com uma extração por solvente do óleo presente na torta de mamona, o que só é viável para indústrias de grande porte (SEVERINO e outros, 2005a).

Estas dificuldades já impõem limites à eficiência e produtividade em mini-usinas. Há que se considerar, porém, que a extração por prensagem pode apresentar melhor resultado com a redução da viscosidade do óleo através de aquecimento controlado e eficiente da semente, desde que se encontre solução viável para a demanda energética.

Segundo, a produtividade ainda é prejudicada pela produção de resíduos sólidos contaminados com óleo bruto no processo de decantação e filtragem, por que:

- no transporte do efluente da prensagem até o decantador, as partículas mais grosseiras ficam retidas na pré-filtragem;
- a decantação, mesmo com eficiência muito baixa, produz um volume de sedimentos contendo grande quantidade de óleo; e

- essa mesma eficiência prejudica a operação seguinte (filtragem), onde fica retida grande quantidade de partículas em suspensão, excesso de impurezas que deveria ter decantado, mas que termina constituindo-se num resíduo contaminado com óleo, cuja produção é misturada ao resíduo retirado do decantador.

O resíduo – borra oleosa - representa, aproximadamente, 6% no processo de extração de óleo a partir de uma tonelada de semente, que produz 44% de óleo e 50% de torta ou 37% de óleo e 57% de torta, por solvente ou prensagem, respectivamente, sendo que em ambos, há uma perda de 60 kg (BRASIL, 2005b).

2.5.2 Qualidade - Especificações

A produção do biodiesel é feita a partir do óleo bruto, em processo de transesterificação. No entanto, além da produtividade, a qualidade do biocombustível já é afetada em fase anterior, na extração do óleo vegetal.

De início, após o beneficiamento da semente, para redução da viscosidade é feito o aquecimento da semente no cozinhador, diretamente e por meio da queima de lenha debaixo do equipamento, sem possibilidade de controle da temperatura, prejudicando o processo. O equipamento funciona precariamente, e torna esta fase a mais crítica, submetendo as sementes a temperaturas excessivas e possivelmente por longo tempo, provocando redução na qualidade do óleo bruto obtido, evidenciada pela coloração escura e translúcida.

Ao se detectar a ocorrência deste problema, o processo foi ajustado, tentando-se evitar a ocorrência de altas temperaturas, no entanto, o equipamento precisa ser aperfeiçoado para que se consiga melhorar a eficiência de extração sem comprometer a qualidade do óleo (SEVERINO e outros, 2005a).

A unidade de transesterificação continha as seguintes linhas de processo: circuito de resfriamento de água; circuito de óleo térmico; desumidificação do óleo bruto; preparação da solução metanólica de catalisador; transesterificação;

separação das fases; lavagem; hidrólise; desumidificação do biodiesel; filtração do biodiesel; recuperação do metanol e desidratação do metanol (SEVERINO e outros, 2005a).

O biodiesel produzido naquela mini-usina não atende à maioria das especificações técnicas mínimas provisórias para o produto definidas pela ANP. De acordo com a Tabela 6, na qual são confrontados 7 parâmetros especificados pela ANP dentre os 13 analisados no projeto da mini-usina, com exceção do Teor de Cinzas de 0,02%, os demais estão fora das especificações.

Dois dos parâmetros são característicos e intrínsecos da matéria-prima, de modo que a viscosidade e a massa específica do óleo bruto da mamona têm valores elevados e acima da média dos outros óleos vegetais, e assim requerem tecnologia apropriada para redução de viscosidade e das impurezas.

A inadequação dos outros parâmetros avaliados deve-se a presença de contaminantes e impurezas resultantes de falhas de processo ou da falta de refino. Os teores de enxofre, fósforo e acidez, dependem diretamente da qualidade do óleo natural, e como se utilizou o óleo bruto, o grau de pureza do biodiesel foi comprometido. “O ideal seria usar óleo refinado”, após passar pelas operações de degomagem, clarificação e neutralização, porém, isso implicaria na instalação de novos equipamentos, maior investimento e maior consumo de energia, indesejáveis numa mini-usina (SEVERINO e outros, 2005a). Por conta de deficiência do processo de transesterificação, na separação de fases e desumidificação, o teor final de glicerina ficou elevado e acima do limite, enquanto a viscosidade e a densidade ficaram abaixo do mínimo aceitável.

Quando se faz o cotejo desses resultados com aqueles obtidos no experimento da UESC (elevados teores de glicerina livre e residual, sódio e potássio) (LOBO e outros, 2006), identificam-se similaridades que podem ser justificadas pelas mesmas deficiências das duas plantas de transesterificação.

Na UESC, concluiu-se pela necessidade de melhoria no processo de purificação do biodiesel com a inclusão de um desumidificador e um tanque coalescedor (dispositivo de separação de impurezas por centrifugação e decantação), para aumentar a eficiência da remoção da glicerina nas etapas de separação de fases e de lavagem e um trocador catiônico, que permitirá melhorar a

eficiência da remoção da glicerina residual, bem como de sabões possivelmente formados, LOBO, *op. cit.*; enquanto no experimento da EMBRAPA, em Quixeramobim, também solicita-se a introdução de mais um desumidificador, inclusão de um tanque de lavagem, instalação de refluxo externo na coluna de destilação e uso de aquecimento através de vapor [...] (SEVERINO e outros, 2005a).

Quanto às impurezas inerentes à matéria prima, deve ser considerado que em Quixeramobim utilizou-se óleo bruto, enquanto na UESC, o óleo de mamona de classificação nº 1, refinado e selecionado, obtido da BOM-Brasil óleo de mamona Ltda. (indústria produtora e exportadora de óleo de mamona e derivados desde 1988), (LOBO e outros, 2006).

Ressalta-se, que os dois experimentos concluíram que a produção de biodiesel a partir de óleo de mamona em processo de transesterificação metílica é viável tecnicamente.

2.5.3 Balanço energético

Teoricamente, para a produção de 1,0 L de biodiesel de óleo de mamona seriam consumidos 0,86 kWh de energia elétrica, em usina de pequeno porte, enquanto esse volume de biocombustível deveria gerar 3,35 kWh de eletricidade através de grupo-gerador funcionando com 75% de eficiência (SEVERINO e outros, 2005,a). O balanço energético entre a energia produzida e a energia consumida (*output / input*), nessas condições, é igual a 3,4 (340%).

Registram-se outras citações de avaliações teóricas: Almeida Neto e Outros (2004 apud SEVERINO e outros 2005a), consideram o aproveitamento total da energia contida no biodiesel e estabelecem os limites do balanço energético entre 2,0 e 2,9 de acordo com a produtividade da lavoura e a rota de síntese, se etílica ou metílica; em Biodiesel (2006), o balanço energético, independentemente da rota e da alocação dos subprodutos, varia entre 1,3 e 2,9, sugerindo a viabilidade energética e ambiental desse biocombustível, quando a produtividade agrícola for elevada e acima de 1500 kg/ha x ano.

Aparentemente, a garantia e possível evolução de impactos positivos dependem do aproveitamento dos co-produtos, de eficiência energética na produção do biodiesel e do manejo mais eficiente dos insumos químicos na fase agrícola, com redução do uso de fertilizante mineral, principalmente o nitrogênio de origem fóssil.

Nenhum destes três resultados considera o consumo de energia na fase agrícola: de fertilizante nitrogenado mineral/petrolífero (uréia), por exemplo; e, de combustível fóssil ou renovável para tratores, máquinas e transporte de matéria-prima e biodiesel entre a lavoura, armazéns e locais de consumo.

A avaliação do balanço energético na mini-usina Quixeramobim - CE (SEVERINO e outros, 2005a), através medição do consumo de energia para produção de biodiesel e medição de energia elétrica gerada através de dois grupos-geradores, alimentados com óleo *in natura* e com biodiesel, para abastecimento parcial da Fazenda Normal e eletrificação da comunidade de Serrinha da Mata, respectivamente, produziu resultados claros e contextualizados.

Deste modo, considerando, o processo de extração e suas deficiências na prensagem, na transesterificação e no alto consumo de energia no processo, e na produção de energia elétrica com funcionamento do grupo gerador à baixa carga, o balanço entre energia produzida e a energia consumida foi de 72% ou de 0,72.

São vários os entraves nos processos de uma mini-usina cujo experimento tem por objetivo a definição de um modelo para implantação em pequenas propriedades. De forma mais detalhada, são as seguintes razões que justificam este balanço energético nesta mini-usina:

- excessivo consumo de energia elétrica nos processos de beneficiamento – descasque dos frutos, no cozimento, extração do óleo e purificação, e na transesterificação;
- deficiência dos equipamentos importados da extração de óleo de outras sementes para serem utilizados no processamento da mamona, com baixo rendimento;

- perda de óleo na massa gerada de resíduos sólidos na decantação e filtragem, e por falta de refino, com reflexo direto na produtividade e qualidade do biodiesel;
- baixo rendimento de extração, aproximadamente 35%, devido à ineficiência do processo de prensagem, que não é complementado por extração por solvente;
- grande geração e descarte de resíduos, passíveis de aproveitamento e reciclagem, com perda de energia;
- perda considerável com manutenção e limpeza de equipamentos inadequados, a exemplo do filtro, em periodicidade entre 30 e 60 minutos;
- funcionamento inadequado do grupo-gerador, à baixíssima carga, com eficiência da ordem de 30 %; e
- elevação da potência da bomba injetora do filtro-prensa, maior consumo de energia elétrica e aumento do período de trabalho, funcionando à velocidade de 20 l/h quando era previsto 40 l/h, diante do alto teor de impurezas do óleo bruto.

Especialmente, a demanda por energia térmica suprida por fonte elétrica, para redução da viscosidade e conseqüente melhoria do processo, em geral tem peso relevante na parcela de energia consumida. Por outro lado, a perda de óleo em várias fontes geradoras de resíduos e o não aproveitamento da massa de resíduos sólidos, além da glicerina, produto e co-produto, deixam de contribuir na parcela de energia produzida, como óleo bruto que poderia ser aproveitado na produção de biodiesel e como biomassa que também pode gerar energia. Essas perdas de energia não contabilizadas, favorecem a parcela de energia consumida e têm grande influência no balanço energético.

Também, neste caso, não são computados os consumos indiretos de energia na lavoura com o uso de insumos, transporte, combustível para máquinas, e excesso de mão de obra em função da baixa produtividade agrícola.

2.5.4 Impactos

A literatura tem riqueza de informações sobre os impactos ambientais positivos, e dados cada vez mais favoráveis do balanço econômico-ambiental da energia de fontes renováveis, quando comparada à energia de fonte fóssil.

O biodiesel, sendo um biocombustível de origem vegetal, caracteriza-se no seu ciclo vital pelo estabelecimento do ciclo fechado de carbono no qual o dióxido de carbono - CO_2 é absorvido no processo de fotossíntese da mamona, e é liberado quando o biodiesel é degradado termicamente, na combustão em motores.

Outro impacto ambiental positivo se dá quando o cultivo de oleaginosas para produção de biodiesel é feito em áreas degradadas, ou degradáveis por falta de cobertura vegetal mínima, como é o caso do semi-árido, onde as condições de solo e clima são favoráveis ao cultivo da mamona, por exemplo (MOTA; PERES; RAMOS, 2005).

Estudos dos Ministérios do Meio Ambiente e das Cidades (BRASIL, 2003), registram que a redução da poluição, com a substituição do diesel mineral pelo biodiesel B100, evitaria custos de variada ordem, relacionados principalmente à saúde, com estimativas de redução desses custos, da ordem de R$ 192 milhões anuais nas dez principais cidades brasileiras, e em aproximadamente R$ 873 milhões, em nível nacional. A metodologia das estimativas não é explicitada.

Destacam-se ainda, que o Brasil importava anualmente até 2004, cerca de 40 milhões de barris de óleo diesel, o que representava uma despesa na nossa balança de pagamentos de pelo menos 1,2 bilhão de dólares (LIMA 2004), e que o biodiesel pode ser usado em qualquer motor de ciclo diesel, com pouca ou nenhuma necessidade de adaptação, sendo um importante produto para exportação e para a independência energética nacional, associada à geração de emprego e renda nas regiões Norte e Nordeste, as mais carentes do Brasil.

Pelo visto, há informações comprovadas sobre os impactos, em sua maioria, positivos, da utilização do produto – biodiesel, quando substitui o óleo diesel mineral em veículos automotores ou como fonte de geração de energia em sistemas isolados. Impactos que se reproduzem de forma crescente, tanto quanto aumenta o percentual da mistura, do B2 ao B100, contribuindo para mitigação das mudanças

climáticas.

Em contrapartida, não se observa mesmo nível de informações e nem estão razoavelmente estudados, os impactos ambientais e socioeconômicos na cadeia produtiva do biodiesel, e em especial, de mamona, principalmente na fase de produção, da lavoura até o produto da transesterificação.

As repercussões do processo de produção dessa energia renovável, na forma de biocombustível são relevantes. O Governo Federal (MMA) considera que o biodiesel facilita o atendimento de compromissos firmados no âmbito da Convenção do Clima e pode proporcionar a obtenção de créditos de carbono como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), quando seu uso não for compulsório (BRASIL, 2003a), ou em percentuais acima dos limites regulamentados, caracterizando a adicionalidade além da linha de base.

Assim, tomando como referência os critérios e indicadores de elegibilidade para aprovação de Projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo para o Brasil (OLIVEIRA e RIBEIRO, 2002), é feita a seguir a previsão de cenários e avaliação simplificada de impactos da produção do biodiesel de mamona, conforme os seguintes aspectos:

- sustentabilidade macroeconômica
- geração de emprego e renda;
- sustentabilidade financeira do projeto;
- contribuição para a mitigação das mudanças climáticas;
- sustentabilidade ambiental local;

2.5.4.1 Impactos socioeconômicos - sustentabilidade macroeconômica e geração de emprego e renda

Dentre várias oleaginosas com maiores produtividades (soja, pinhão manso e as palmeiras - dendê e babaçu), o interesse do governo brasileiro pela

mamona dando prioridade ímpar à cultura na produção de biodiesel, associa a produção de energia de fonte renovável com inclusão social e econômica para as famílias agricultoras do semi-árido nordestino como produtores de matérias-primas, de óleos vegetais e de biodiesel.

No contexto dos usos concorrentes, a mamona e o pinhão manso têm vantagens adicionais por não participarem do mercado de alimentos, uso prioritário no consenso global, por razões econômicas, humanitárias e estratégicas para o Brasil, enquanto detentor de índices significativos de desnutrição, fome e pobreza. De outra forma, a soja principalmente, tem mercado interno e externo firme e cada vez mais crescente, externamente, sendo a principal *commodities* em grão na política de exportação brasileira, que conta também com seus derivados de maior valor agregado.

A região semi-árida do Brasil, que abrange quase todos os estados da Região Nordeste e o norte de Minas Gerais, é habitada por populações socialmente abaixo da linha da pobreza, nas zonas rurais, onde mais de dois milhões de famílias, habitualmente, convivem com a fome e se tornam, periodicamente, flagelados das secas. Nessa região, as culturas energéticas podem se desenvolver em lavoura de sequeiro, sem irrigação, onde a mamona e o algodão são viáveis, de acordo com estudos do Centro Nacional de Pesquisa do Algodão, da Empresa de Pesquisa Agropecuária (2003 apud LIMA, 2004).

O entendimento governamental (BELTRÃO e outros, 2003a) é de que a cultura da mamona encontra razoáveis condições para bom desenvolvimento na região. Podendo ser cultivada com pouca ou nenhuma mecanização, adaptável à baixa pluviometria média de 750 mm e utilizando sementes comuns. A lavoura pode ter produtividade aceitável sem o uso intensivo de insumos modernos, adubos e agrotóxicos, comportando grande contingente de mão de obra local.

Não apenas na região Nordeste, mas também no Norte e no Centro-Oeste, o impacto sócio-econômico regional teria ainda outras causas, além do desenvolvimento da agricultura familiar. Possibilitaria o suprimento de energia elétrica para comunidades isoladas ainda não atendidas, no processo de universalização, mediante o uso do óleo bruto de mamona (óleo vegetal *in natura*), ou do biodiesel, em motores estacionários devidamente adaptados a essa finalidade através do *kit* de conversão, ou motores ciclo diesel, respectivamente (BRASIL,

2003a).

Acredita-se que as regiões mais carentes do país poderão vir a ser grandes produtoras de biodiesel, o que é de grande interesse governamental. Além de poder passar a não depender de importação de óleo diesel mineral, cuja demanda pode ser atendida pelo biodiesel. A demanda mundial por combustíveis de origem renovável será crescente e o Brasil tem potencial para ser um grande exportador, principalmente no contexto atual de mudanças climáticas. A produção de biodiesel é estratégica para o Brasil com perspectivas de melhoria da sobrevivência no campo, gerando emprego, renda e desenvolvimento, especialmente para o Norte e o Nordeste (LIMA, 2004).

Segundo Lima *op.cit*, a expectativa no estado do Ceará é de que até 2007, sejam cultivados 70 mil hectares de mamona em 66 dos 184 municípios estaduais, e produzidos 28 milhões de litros de biodiesel. Para 2006 a previsão é do cultivo de 10 mil hectares por cerca de 6 mil famílias de pequenos agricultores. O governo do estado prevê, com esta medida, a criação de 21 mil postos de trabalho, e geração de renda média de R$ 400,00 para cada hectare de plantação de mamona.

Adita ainda, Lima (2004), que estudos desenvolvidos pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Integração Nacional e Ministério das Cidades mostram, que cada 1% de substituição de óleo diesel por biodiesel produzido com a participação da agricultura familiar, pode gerar, aproximadamente, 45 mil empregos no campo, com uma renda média anual de aproximadamente R$ 4.900,00 por emprego. Admitindo-se que para 1 emprego no campo são gerados 3 empregos na cidade, seriam criados, então, 180 mil empregos. Numa hipótese otimista de 6% de participação da agricultura familiar no mercado de biodiesel, seriam gerados mais de 1 milhão de empregos.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2006), metade da produção de biodiesel no país será a partir de óleo de mamona, e para isso em 2005 já foram feitos investimentos iniciais de US$ 62 milhões na instalação de três plantas industriais para a produção de biodiesel e de uma pequena usina de álcool. Esperava-se na safra de 2005/2006 a produção de 325 mil toneladas de biodiesel para substituição de 2% do diesel importado, colocando o B2 no mercado, após o

plantio de 600.000 hectares envolvendo 250 mil empregos. A meta foi adiada para 2008 por dificuldades estruturais e falta de política agrícola mais consistente para este fim.

Na realidade, está prevista a implantação gradativa através de um programa de apoio à produção, que prevê uma área plantada de 2,74 milhões de hectares em 2010, cuja produção possibilitaria a substituição de 5% do diesel importado com perspectivas da geração de 1,36 milhão de empregos (BRASIL, 2005b).

Da mesma forma, as expectativas governamentais estão voltadas para esperadas e possíveis reduções de custos agrícolas pela substituição total ou parcial do diesel de petróleo pelo biodiesel, além de outros benefícios da utilização desse biocombustível, nas regiões onde as distâncias e a carência de infra-estrutura de transporte elevam os custos de distribuição do diesel mineral, conferindo vantagem ao combustível produzido localmente. Ainda é oportuno salientar, que a maior parte da energia elétrica utilizada na região amazônica tem fonte no óleo diesel e no óleo combustível, e que o custo do transporte desses óleos para localidades remotas é, excessivamente elevado, chegando a três vezes o custo do próprio combustível (LIMA, 2004).

Os primeiros resultados práticos do PNPB ao final de 2006 revelam-se nos volumes de biodiesel arrematados nos leilões que já asseguram o cumprimento da meta para o B2 em 2008, porém, no tocante à matéria prima, a produção de mamona não atingiu as expectativas governamentais, em que pesem as políticas públicas envidadas. Os produtores se queixam dos preços mínimos da CONAB, da falta de assistência técnica e do desencaixe no cronograma entre a grande produção da safra 2004/2005 e a operação das usinas, que resultou numa oferta muito maior que a demanda.

A baixa produtividade e a super-oferta tiveram reflexos no preço médio do produtor no mercado. Em outubro/94 foi cotado a R$ 0,97/kg, outubro/95 a R$ 0,42/kg, março/06 R$ 0,60/kg, e janeiro/07 a R$ 0,65/kg; enquanto os preços mínimos definidos pela CONAB foram, respectivamente, de R$ 0,50/kg, R$ 0,56/kg, R$ 0,56/kg e R$ 0,56/kg. Esse pequeno retrato da política de regulação desse mercado complica-se um pouco mais quando se faz o cruzamento de informações de custo agrícola de instituições financeiras, que variam entre R$ 600,00/hectare e

R$ 670,00/hectare para o 1º e o 2º ano de produção, com a produtividade média real de campo de 770 kg/ha em 2006 (ALMEIDA NETO, 2006) e a estimada no PNPB de 1800 kg/ha (BRASIL, 2005b). O resultado do confronto dessas informações é que para a produtividade média real de 2006, o custo do produtor é de R$ 0,78/kg no primeiro ano e de R$ 0,87/kg no segundo ano de produção; enquanto, para a produtividade estimada no PNPB, o custo seria de R$ 0,33/kg e R$ 0,37/kg, para os dois primeiros anos, respectivamente.

2.5.4.2 Impacto econômico-financeiro - sustentabilidade financeira do projeto

O confronto entre os custos do óleo diesel mineral e os custos de produção do biodiesel de óleo de mamona, nesse caso considerando o uso local, permite a mensuração do impacto econômico e financeiro da substituição parcial ou total.

A estimativa do custo de produção do biodiesel (KHALIL, 2003), para uma planta piloto com capacidade de processar 10.000kg por dia de semente para uma produção de 5600 litros de B100, e em co-produtos, 500kg de glicerina bruta, 2000kg de casca de mamona e 3000kg de torta da extração de óleo é apresentada na Tabela 7. Da mesma forma é apresentada também na Tabela 8, seguinte, a expectativa de receita com co-produtos a preços pesquisados no mercado (KHALIL, 2003), que levam à definição no balanço despesa-receita do custo de produção do biodiesel B100.

Tabela 7- Estimativa de Custos para Produção de Biodiesel de Óleo de Mamona

INSUMO	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO (R$)	
			Unitário	Total
Semente	L	10.000	0,80	8.000,00
Etanol	Kg	750	1,00	750,00
Catalisador	Kg	50	2,00	100,00
Processo	% (insumos)	10	-	900,00
TOTAL	-	-	-	9.750,00

Fonte: Adaptada de LIMA (2004).

Tabela 8 - Expectativa de Receita com Co-produtos e Custo de Produção do Biodiesel (2003)

CO-PRODUTO / PRODUTO	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO (R$)	
			Unitário	Total
Glicerina	Kg	500	2,00	1.000,00
Torta	Kg	3.000	0,40	1.200,00
Casca	Kg	2.000	-	0,00
B100	L	5.600	1,35	7.550,00
TOTAL	-	-	-	9.750,00

FONTE: Adaptada de LIMA (2004).

Diferentemente da estimativa de custos existentes (KHALIL, 2003), o custo médio do biodiesel no ano de 2003 é de R$ 1,35 (um real e trinta e cinco centavos) por litro e não R$ 0,98 (noventa e oito centavos). A revisão das expectativas de receita com a torta de mamona e com as cascas, de forma realista, reduziu as receitas com co-produtos de R$ 3.250,00 para R$ 2.200,00, com base nos preços de mercado da torta e da glicerina e da inexistência de mercado para as cascas. À época, os preços foram estimados em R$ 0,75/kg para a torta e R$ 0,50/kg para a casca.

O confronto, neste caso, mostra que o custo estimado de produção do

litro de biodiesel é 17,4% mais elevado que o preço do litro do óleo diesel mineral do produtor, que em 2003 era de R$ 1,15, enquanto o preço médio de venda ao consumidor do óleo diesel era de R$ 2,00 / litro. Em se tratando de custos de produção, o confronto admitindo para o óleo diesel o custo de R$ 0,50 / litro (LIMA, 2004), resulta em que o custo do biodiesel é 2,7 vezes maior, conforme preços médios registrados em 2003.

A controvérsia se estabelece baseada em estimativas de custos para plantas piloto a implantar ou em implantação. Estudo elaborado pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ (ROSA e Outros, 2002 apud LIMA, 2005) indica o custo médio de produção por litro de biodiesel de óleo de mamona a US$0,80 (R$ 2,40 ao cambio de então).

A Petrobrás também fez estudos de estimativa de custos de produção em duas rotas em 2005:

- uma, em que toda produção da agricultura familiar é apropriada e direcionada para produção de biodiesel, em monopólio estatal, de modo que o óleo de mamona não é demandado para outros usos concorrentes no mercado; e,
- outra, quando o óleo de mamona é adquirido no mercado livre.

As duas rotas têm em comum a consideração de tecnologias de beneficiamento e industrialização comprovadas; absorção de resultados de plantas piloto e a utilização de preços de mercado; relações de conversão semente/óleo, semente/torta, semente/casca e óleo/biodiesel, biodiesel/glicerina e biodiesel/álcool, certificadas; e, índices de produtividade agrícola e eficiência de processo, realistas. Os resultados estão sintetizados na Tabela 9, seguinte.

Tabela 9 - Custo de produção por litro para cada etapa de processo/produto (R$)

ROTA / PROCESSO	AGRICULTURA FAMILIAR		MERCADO	
	Extração por solvente	Extração por prensagem	Extração por solvente	Extração por prensagem
Óleo de Mamona Bruto	0,87	1,02	1,44	1,69
Industrialização Transesterificação	0,32	0,32	0,32	0,32
Biodiesel sem refino	1,19	1,34	1,76	2,01
Biodiesel recupera álcool e glicerina bruta	0,94	1,08	1,51	1,77
Biodiesel recupera álcool e glicerina pura	0,79	0,94	1,38	1,63

Fonte: BIODIESEL, 2006.

De acordo com a Petrobrás (2005), o preço do diesel de petróleo antes da distribuição e da aplicação dos impostos (o custo de produção por litro), é de R$ 0,96 e o de comercialização, R$ 1,86 / litro. Matematicamente, a competitividade financeira do biodiesel estaria num custo de produção que acrescido das parcelas de custos de distribuição, com logística adequada à cadeia produtiva do biodiesel, lucro do produtor e tributação diferenciada atinja o preço final para o consumidor igual ao diesel mineral.

Dessa forma, os dados de produção e custos de biodiesel a partir de óleo de mamona, indicam que é no processo verticalizado integrando a agricultura familiar, o beneficiamento da semente, a industrialização e a recuperação de co-produtos, que o biodiesel é competitivo com o óleo diesel mineral, quando concorrentes num mesmo fim e no mercado regulado.

Os custos de produção do litro de biodiesel de R$ 0,79 e R$ 0,94, com extração por solvente e prensagem, respectivamente, só são possíveis quando o

óleo de mamona não é comercializado no mercado livre. Ali, os usos concorrentes lhe agregam valor com incremento médio de 67%, de tal forma, que o biodiesel produzido a partir daí teria custos inviáveis, de R$ 1,38 e R$ 1,63 por litro, se considerado que ainda seriam acrescidos com custos de distribuição e impostos, na mesma proporção dos combustíveis de petróleo.

No contexto dos custos de distribuição, dados mais recentes de empreendimentos para produção de biodiesel (BIODIESELBR, 2007) refletem a política governamental de incentivo à produção em usinas de porte e mini-usinas, descentralizadas e autônomas em todas as regiões do país. Esse caráter descentralizador e regional oferece várias vantagens do biocombustível sobre o diesel mineral, sendo a principal delas a redução de custos com distribuição, especialmente, quando sua utilização é para geração de energia elétrica nas regiões mais remotas, a universalizar ou demandante de reforço de carga na rede ou de linha de transmissão. Aqui a biomassa, em particular as oleaginosas produtoras de biodiesel - mamona e outras, é fonte energética viável, e elegível como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, para o mercado de crédito de carbono (OLIVEIRA e RIBEIRO, 2002).

Ainda nas regiões mais isoladas (Norte, Centro Oeste e Nordeste) devem se considerar os custos elevados de implantação ou extensão de sistema de transporte de energia hidrelétrica ou fóssil, seja gasoduto, oleoduto ou linha de transmissão, onde maior grau de substituição por biodiesel é mais viável quando o ciclo produtivo é regional e descentralizado, sem dependência do transporte de grandes distâncias. De forma menos radical, as produções de biodiesel dessas regiões propiciariam maiores percentuais de mistura no diesel, em centros distribuidores adequados à reservação e mistura, reduzindo demandas por ampliação do sistema de transporte.

Considera-se ainda com base nos estudos supra, que mesmo a preço de mercado, os custos finais de produção do litro de biodiesel de R$ 1,38 e R$ 1,63 produzidos regionalmente, podem levar a preço de venda ao consumidor do B100 ou de outra mistura BN, menores que o do diesel mineral, se também forem abatidos ou reduzidos os custos de distribuição, e até incorporados benefícios fiscais ou redução de impostos como foram concedidos ao álcool. Nesse aspecto, o relatório Interministerial que estudou o biodiesel como fonte alternativa de energia traz no

item 6.2 Recomendações “[...] definir modelo tributário a ser aplicado na comercialização do biodiesel, bem como o seu enquadramento na classificação oficial de produtos com vistas à incidência da tributação” (BRASIL, 2003a, p.13).

Lima (2004, p.5) lembra, que a maior parte da energia elétrica utilizada na região amazônica tem fonte no óleo diesel e no óleo combustível, e que o custo do transporte desses óleos para localidades remotas é, excessivamente elevado, chegando a três vezes o custo do próprio combustível.

Assim, o impacto econômico se dá por força da redução de custos financeiros de produção diversa e aumento da oferta, com repercussão social. De alimentos, bens de consumo e serviços; de implantação e custeio de infra-estrutura, de custo de vida, todos, baseados e influenciados pela oferta do biodiesel e conseqüente redução de preços de energia elétrica, combustíveis e lubrificantes.

Quanto a viabilidade financeira do projeto, especificamente do biocombustível, anota-se dentre outras, as especulações e algumas expectativas de receita com o aproveitamento de resíduos sólidos dos processos de produção de biodiesel de óleo de mamona, por isso denominados co-produtos. Dentre as possibilidades, as mais citadas se referem ao aproveitamento da torta processada como ração animal pelo seu alto teor de proteínas, enfrentando dificuldades devido à presença de toxinas e alérgenos. Já o uso como adubo orgânico, tradicional nas lavouras, ainda é aleatório e intuitivo (LIMA e outros, 2005). Na Índia, principal país produtor de mamona do mundo, cerca de 85% da torta é utilizada como fertilizante orgânico (KONNUR e SUBBARAO, 2004; UDESHI, 2004 apud SEVERINO, 2005), e também por suas propriedades inseticida e nematicida (DIRECTORATE OF OILSEEDS RESEARCH, 2004 apud MOTA, PERES; RAMOS, 2005).

Para os dois usos, recomenda-se a destoxificação e desalergenização, diante dos riscos para os animais, na ingestão; para os trabalhadores, no manuseio; e para as culturas em consórcio, por possível contaminação, segundo relatos no Seminário de Co-produtos do Processo de Produção do Biodiesel (MOTA; PERES; RAMOS, 2005).

Essas considerações quanto às prováveis receitas não são muito animadoras. Os dados apresentados nos estudos da Petrobrás (2005), ainda indicam que a recuperação da glicerina pura com álcool rende no máximo R$ 0,40

por litro, valor bem menor do utilizado nas estimativas de custos de 2003, nas quais se atribuiu o preço de comercialização de R$ 2,00 por litro (Tabela 8). Também estimam o valor de venda da torta de mamona bruta em R$ 0,10 por quilograma e não atribuem qualquer valor às cascas, de forma que, a receita com co-produtos é uma ficção ou não é significativa, dependente então, de mais pesquisa ou de destinação adequada.

O inusitado aparece em trabalhos que buscam a maximização do aproveitamento energético do fruto da mamoneira, para a casca, por exemplo, até então desprezada. Quanto a ela, existe estudo de viabilidade técnica para geração de energia elétrica a partir da gaseificação em leito fixo ou fluidizado, produzindo gás pobre que poderá ser utilizado na geração de energia térmica, elétrica e mecânica, por meio de uma turbina e um gerador. (KNOTHE, 2002 apud RANGEL e outros, 2004). Os objetivos são as reduções do impacto ambiental em usinas, de custos e consumo de energia na produção de biodiesel (HORTA NOGUEIRA, 1986 apud RANGEL e outros, 2004), enquanto o excedente pode ser disponibilizado na rede pública.

Decerto é a produtividade agrícola da mamona a questão recorrente e de maior peso na equação financeira para produção de biodiesel a partir de seu óleo. Ao final de 2006, a indústria de biodiesel informava custo médio de produção de R$ 1,56/L (sem impostos), adquirindo o óleo de mamona ao preço de R$ 1,22/L (ALMEIDA NETO, 2006). Com essa planilha de custos, o preço máximo de comercialização do produtor de mamona seria de R$ 0,50/kg de baga, exatamente o preço mínimo definido pela CONAB.

A realidade de custos no mercado, porém, é outra: com produtividade de 770 kg/ha, o custo mínimo do produtor varia entre R$ 0,78/kg e R$ 0,87/kg de semente (baga), ou entre R$ 2,001/L e R$ 2,20/L de óleo bruto admitindo as informações das instituições financeiras, a razão 1:2,5 entre o óleo e a semente, a densidade relativa do óleo de 0,93 e o custo de beneficiamento de 10% sobre o produto.

Esse custo agregando uma pequena margem de lucro e impostos resulta num valor para o mercado, que se aproxima bastante da cotação de preço do óleo de mamona CIF – SP, com 12% de ICMS, feita pela Aboissa Óleos Vegetais em dezembro de 2006, que variou entre R$ 2,50/L e R$ 2,60/L (ABOISSA ÓLEOS

VEGETAIS, 2006).

Com aqueles preços ofertados pela indústria, os agricultores reclamam de prejuízos e reduzem também a área cultivada de mamona: no ano de 2004, 166 mil hectares; 2005, 210 mil e para 2006 a estimativa é de 130 mil hectares (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006).

2.5.4.3 Impactos no meio ambiente

As atividades agrícolas estabelecem variadas relações com o meio ambiente, que são estudadas em quatro compartimentos: o homem produtor e consumidor, no meio antrópico, e o ar, o solo e a água, no meio físico. Os efeitos podem ser positivos e/ou nocivos, com repercussões no próprio sistema de produção que sempre utiliza recursos naturais, enquanto as causas desses impactos têm origem nos insumos (fertilizantes, pesticidas e herbicidas, os agrotóxicos), resíduos das culturas ou de seu beneficiamento, e no manejo da terra quando afeta o sistema de drenagem produzindo erosões e sedimentos (EMBRAPA, 2004).

A intensa expansão da cultura da mamona no semi-árido além da recuperação, com a cobertura, apresenta também potenciais impactos negativos pelo manejo de fertilizante mineral ou orgânico e na destinação inadequada dos resíduos sólidos. (MOTA; PERES; RAMOS, 2005).

Dentre os resultados e aproveitamento da oleaginosa, o óleo tem especificidade significativa, com várias aplicações como lubrificante especialíssimo, matéria-prima para indústria de cosméticos, farmacêutica e bioquímica, enquanto seu fim como biocombustível não chega a ser prioridade de mercado. A significativa presença de nitrogênio na sua massa celulósica de constituição protéica tem indicado o uso da torta resultante da extração de óleo, como adubo orgânico, ou como fonte promissora para fábrica de fertilizantes (MOTA; PERES; RAMOS, 2005).

É no produto acabado, porém, que também se desdobram os impactos ambientais tão positivos, com repercussão ainda, na mitigação das mudanças climáticas globais.

2.5.4.3.1 Contribuição para mitigação das mudanças climáticas

Um estudo conjunto do Departamento de Energia e do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (LIMA, 2004, p.12), mostra que "o biodiesel em lugar do diesel, reduz em 78% as emissões líquidas de CO_2". Outros estudos realizados pelo Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas (LADETEL), da USP (apud LIMA, 2004), mostram que a substituição do óleo diesel mineral pelo biodiesel resulta também em reduções de emissões de 20% de enxofre, 9,8% de anidrido carbônico, 14,2% de hidrocarbonetos não queimados, 26,8% de material particulado e 4,6% de óxido de nitrogênio.

O uso do biodiesel reduz sensivelmente a emissão de gases causadores do efeito estufa, cerca de 16% em relação ao diesel de petróleo, contudo, estudo da União Européia mostra emissões de Óxidos de Nitrogênio (NO_x), marginalmente, piores que as do diesel de petróleo (CLERY, 2001), ressalvando-se que existem estudos para solução em andamento, com novos catalisadores.

Quanto a possíveis impactos na produção do biodiesel, envolvendo o processo agrícola, de beneficiamento e industrialização, bem como a geração de resíduos que ainda enfrentam dificuldades para reciclagem ou reutilização, as análises e resultados de avaliações são parciais ou contemplam aspectos ou enfoques específicos. Não se tem notícia da Análise do Ciclo de Vida ou LCA – *Life Cicle Assessment* - Chehebe (1999) contemplando toda cadeia produtiva do biodiesel de mamona, desde a fase agrícola até a combustão do biocombustível. Os estudos da UESC consideram a coleta do óleo como início do ciclo, "Assumiu-se que o início da cadeia de produção do biodiesel ocorre a partir da coleta de óleos e gorduras residuais" (DUTRA; ALMEIDA NETO, 2003), desprezando a fase agrícola principal seqüestradora de carbono e redutora do efeito estufa.

Na lavoura, o uso de fertilizantes minerais tem impacto direto nas mudanças climáticas, especialmente o nitrogênio, responsáveis por até 65% do consumo de energia (*input*) no balanço energético (ALMEIDA NETO e outros, 2004; apud SEVERINO e outros, 2005a).

Até o início dessa década o Brasil utilizava 60% de insumos nitrogenados na quase totalidade dos fertilizantes agrícolas consumidos. Atualmente o percentual

é maior, estimado em 65%. Em 2004 foram utilizadas, aproximadamente, 4 milhões de toneladas de petróleo na produção de fertilizantes (MARCATO, 2006), 65% nitrogenados, a partir da produção estimada de 11 milhões de toneladas de amônia equivalentes a 24,4 milhões de toneladas de uréia (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2006), considerando o percentual de 45% de amônia presente na uréia.

De acordo com Marcato (2006), no ano de 2002 para uma Oferta Interna de Energia (OIE) de 213,4 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), na qual o percentual de energia não renovável foi de 56%, a taxa de emissões de dióxido de carbono foi de 1,62 tCO_2 / tep de OIE. Essas produções definiram uma taxa de produção de CO_2 para energia não renovável de 2,90 tCO_2 / tep.

Desse modo, estima-se que a exploração do petróleo para produção de insumos agrícolas em 2004 tenha sido responsável pela liberação de 11,6 milhões de tCO_2, 7,54 milhões (4×10^6 tep x 2,90 tCO_2 / tep x 65%), relativos aos fertilizantes nitrogenados. Porém, devem ser ainda consideradas as emissões decorrentes da produção da amônia, que dependendo do processo, se por reforma de gás natural ou de hidrocarbonetos leves como a nafta, são emitidas 0,859 tCO_2 ou 0,706 tCO_2, respectivamente, para cada tonelada de amônia produzida (SOUZA; SILVA, 2000). O somatório das emissões decorrentes da exploração do recurso natural (óleo ou gás) e da conversão para amônia é estimado em 1,5 tCO_2 /1tNH_3 conforme calculado [7,54 milhões tCO_2 / 11 milhões tNH_3 + (0,859 tCO_2 / tNH_3+ 0,706 tCO_2 tNH_3)/2].

Com base nesta taxa de emissões de dióxido de carbono na produção de amônia a partir de fonte fóssil e considerando o plantio dos 600 mil hectares de mamona previsto pelo Ministério de Minas e Energia para 2005, com o consumo de 80 kg de nitrogênio por hectare, pode-se afirmar que: quando a lavoura utiliza fertilizante nitrogenado mineral, estará contribuindo para a aceleração das mudanças climáticas com a emissão de até 72 mil toneladas de CO_2, aproximadamente 0,4% do total liberado por toda produção de amônia do ano de 2004.

Nos processos de beneficiamento da semente e industrialização do óleo, quando se utiliza a rota etílica, a mais favorável ambientalmente, as influências nas mudanças climáticas ficam por conta das fontes e do consumo da energia para produção do biodiesel. O estudo na mini-usina de Quixeramobim – CE (SEVERINO

e outros, 2005a), registrou o consumo de 0,86 kWh de energia hidrelétrica para a produção de 1 litro de biodiesel. Dessa forma ao consumir esse tipo de energia, em detrimento de óleo diesel ou de outra fonte não renovável, o balanço é positivo: 1 litro de biodiesel produzido a partir de geração termelétrica com óleo diesel, com eficiência de 20%, libera 240 gCO_2, enquanto a energia de fonte hidrelétrica produziria volume próximo de 1% desse valor, por força de matéria orgânica submersa nos reservatórios (JUNK; MELLO,1990).

Emissões também são produzidas por tratores e máquinas agrícolas e caminhões transportadores, que utilizam o óleo diesel dentre outros combustíveis fósseis, nas suas atividades no dia-a-dia.

2.5.4.3.2 Sustentabilidade ambiental

Não é conhecida qualquer avaliação local, de impactos em qualquer tipo de ecossistema, decorrentes da produção de biodiesel de óleo de mamona. As citações dão conta de atividades e resíduos gerados nos processos de produção, já tecnicamente caracterizados, alguns até passíveis de enquadramento quanto à periculosidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), como é o caso da torta.

A alergenicidade e toxicidade da torta de mamona são conhecidas desde a década de 50. Small (1952, apud THE INTERNATIONAL CASTOR OIL ASSOCIATION, 1989) registrou que a alergenicidade da torta de mamona é um risco ocupacional para as pessoas que trabalham nas indústrias de extração de óleo e para os moradores dos arredores da indústria, os quais estão expostos à poeira levada pelo vento; até mesmo o uso da torta como adubo pode causar reações alérgicas nos trabalhadores de campo submetidos à poeira.

Recentemente, foi relatado que a reação alérgica pode ser transferida a outras culturas como o milho. Na oportunidade, em seminário de co-produtos da produção de biodiesel, ficou registrada a relevância do estudo na audiência [...] “este fato é extremamente relevante e mereceria a participação do Ministério do Trabalho no Programa de Biodiesel, já que existem fatores que afetam diretamente a saúde

do trabalhador” (MOTA; PERES; RAMOS, 2005, p. 4).

Certamente, que os impactos ainda não contabilizados do uso da torta de mamona na lavoura têm procedência na falta de informações sobre sua periculosidade e da pequena escala de utilização. Sua toxidez é comprovada até na letalidade, devendo se colocar prioritariamente, a disseminação de informações para seu adequado manejo, e em seguida, a busca de alternativas de mercado ou destinação final adequada, sendo ideal uma solução conjunta. Deve ser ainda considerado que, embora a alergenicidade não seja tão grave quanto a toxidez, pois dificilmente causa morte de animais ou seres humanos, sua eliminação é bem mais difícil que a inativação da ricina.

The International Castor Oil Association (1989) propôs cinco prerrogativas para a pesquisa de desalergenização e de destoxificação em busca de segurança no processamento da torta:

- Isolar a substância e estabelecer um procedimento laboratorial confiável para sua caracterização e quantificação;
- desenvolver procedimentos de teste, tanto bioquímicos quanto em animais, que forneçam informação segura quanto à completa desativação da substância;
- adaptar este procedimento de teste para um processo em escala piloto (em volumes maiores que os trabalhados em laboratório);
- desenvolver técnicas bioquímicas que possibilitem o contínuo acompanhamento do processo de produção industrial, ou seja, que se possa comprovar a qualidade de cada lote produzido na indústria; e
- acumular informações e tecnologias que dêem suporte ao estabelecimento de uma unidade de produção industrial viável.

Até o momento, a torta é considerada importante co-produto da cadeia produtiva da mamona, e o aumento de sua produção faz crescer a necessidade de agregar-lhe maior valor. As pesquisas estão direcionadas para o uso como adubo

orgânico controlador de nematóides ou como alimento animal rico em proteína, com entraves diante da inexistência de processos industriais de custo aceitável, viabilidade operacional e comprovadamente eficazes na destoxicação e desalergenização, além de tecnologia para acompanhamento da segurança do produto (MOTA; PERES; RAMOS, 2005).

Além da torta, a casca, com produção parecida e as borras do processo de purificação podem causar impactos ambientais. As atividades, resíduos ou co-produtos, possíveis impactos e meios onde atuam, inclusive sobre a saúde humana, são listados na Tabela 10, seguinte.

Tabela 10 - Atividades e Resíduos ou Co-produtos, e Impactos Ambientais no Ecossistema Local e na Saúde Humana

ORIGEM		ATUAÇÃO		TIPO DE IMPACTO – DESCRIÇÃO
ATIVIDADE	**RESÍDUO CO-PRODUTO**	**MEIO**	**SAÚDE HUMANA**	
1.Lavoura – adubação com torta de mamona	Torta de mamona	Físico – ar Antrópico – nas atividades do trabalho	Contato com a pele, inalação e ingestão de poeira	Reação alérgica, provocando asma, febre, eczema e desconforto gastrintestinal Intoxicação, provocando morte da célula por inibição da síntese protéica
		Biológico – contaminação de culturas	Ingestão de grãos de cultura (milho) contaminada	Intoxicação, provocando morte da célula por inibição da síntese protéica
2.Beneficiamento de semente	Casca de frutos, racemos e semente quebrada	Físico – água superficial e solo		Contaminação do solo, por lixiviado ou solubilizado produzidos pela incidência de precipitações ou da drenagem, sobre massa acumulada de resíduo em decomposição anaeróbia, e águas superficiais, com potencial de poluição orgânica (DBO), redução de Oxigênio dissolvido (OD) e nitrificação (AMÔNIA), e eutrofização do curso d'água
		Físico – ar		Emissão de metano e gás sulfídrico da decomposição anaeróbia dos monturos gerando GEE e possibilidade de combustão

Continuidade, Tabela 10

ORIGEM		ATUAÇÃO		TIPO DE IMPACTO – DESCRIÇÃO
ATIVIDADE	**RESÍDUO CO-PRODUTO**	**MEIO**	**SAÚDE HUMANA**	
3.Industrialização Extração de óleo por prensagem	Torta de Mamona: quando de destinação final inadequada em monturos ao tempo sob decomposição anaeróbia	Físico – ar, solo, água superficial		Contaminação de solo e água superficial com líquidos lixiviados e solubilizados produtos de incidência de águas (DBO e AMÔNIA) Contaminação do ar com emissão de metano e gás sulfídrico GEE e possibilidade de combustão
		Antrópico – manuseio na atividade de trabalho	Contato com a pele, inalação e ingestão de poeira	Reação alérgica, provocando asma, febre, eczema e desconforto gastrintestinal Intoxicação, provocando morte da célula por inibição da síntese protéica
	Borra oleosa, quando de destinação inadequada ou não manuseio no descarte	Físico – ar, solo, água superficial		Contaminação direta de solo e água superficial por carreamento de resíduo, lixiviação e solubilização por incidência de chuva ou drenagem (DBO e AMÔNIA)
		Antrópico – manuseio.	Contato com a pele, inalação e ingestão de poeira	Reação alérgica, provocando asma, febre, eczema e desconforto gastrintestinal Intoxicação, provocando morte da célula por inibição da síntese protéica

Continuidade, Tabela 10

ORIGEM		ATUAÇÃO		TIPO DE IMPACTO – DESCRIÇÃO
ATIVIDADE	**RESÍDUO CO-PRODUTO**	**MEIO**	**SAÚDE HUMANA**	
4.Industrialização Transesterificação	Água de lavagem contaminada	Físico – solo e água superficial		Quando de destinação final inadequada: contaminação direta de solo e água superficial
	Embalagem contaminada de produtos químicos	Físico – solo e água superficial	Contato com a pele, inalação e ingestão de poeira	Quando de destinação final inadequada: contaminação direta de solo e água superficial por lixiviação e solubilização de incidência de chuva ou drenagem (lavagem) Quando do manuseio diário e no descare: Reação alérgica e Intoxicação típica de ácidos e álcalis

A avaliação deste panorama indica possibilidades de melhoria do balanço energético do processo de produção de biodiesel com aumento de produtividade e adaptações; utilização racional com o aproveitamento de resíduos sólidos na forma de biomassa, potencial fonte de geração de energia termelétrica renovável, mais barata e disponível no local de consumo; e, reciclagem de insumo nitrogenado presente na torta de mamona, com liberação da biomassa para uso energético.

3. PRODUÇÃO DE ENERGIA COM ECO- EFICIÊNCIA

A introdução do princípio da eco-eficiência nos processos produtivos, objetiva otimizar a utilização dos recursos naturais empregados como matérias-primas aumentando cada vez mais sua produtividade ao tempo em que é consumida menos energia, com contribuição direta na mitigação do processo de degradação ambiental. O aproveitamento da cana-de-açúcar é um exemplo emblemático na produção de açúcar ou álcool quando o bagaço é utilizado como combustível gerando energia térmica e vapor para produção de eletricidade – cogeração, cujo excedente é disponibilizado à rede pública pelas usinas. “A melhoria do nível da eficiência ecológica dos processos produtivos é o caminho para o desenvolvimento sustentável” (KIPERSTOK e MARINHO, 2001 p.221).

A minimização ou eliminação daqueles impactos ambientais negativos gerados na produção de energia com biomassa da mamona pode ter como alternativa de solução para os resíduos sólidos após sua geração, as tecnologias de fim de tubo. Essas, nesse caso, contemplam o manuseio e coleta adequados, tratamento e destinação final, em sistemas tradicionais como os aterros simplificados, convencionais ou a incineração.

Noutra alternativa, assimilando o princípio da eco-eficiência e em busca do desenvolvimento sustentável, a prevenção da poluição com a eliminação dos resíduos – resíduo zero, utiliza tecnologias ambientais sustentáveis melhorando a cadeia produtiva e seus processos, aumentando a geração e diversificando a energia produzida, em ciclo fechado e com menor impacto ambiental, considerando além da variável tecnológica o mercado consumidor. Isso por que a diretriz, resíduo

zero, pressupõe a reciclagem e/ou alteração de processo, para diversificação e apresentação de novo produto, sob a égide da eficiência produtiva e alocativa.

É mais barato e eficiente prevenir danos ambientais do que tentar controlá-los ou "remediá-los". A prevenção requer que se parta do início do processo de produção para evitar a fonte do problema, em vez de tentar controlar os danos em seu final. A prevenção da poluição substitui seu controle. Por exemplo: a prevenção requer alterações de processos e produtos para impedir a geração de resíduos incineráveis, em vez de se desenvolver incineradores sofisticados. Analogamente, práticas de uso eficiente de energia, na demanda e na oferta, substituem a atual ênfase exagerada no desenvolvimento de novas fontes de energia a partir de combustíveis fósseis (GRENPEACE, 2005)

O aproveitamento integral da biomassa do fruto da mamona também se enquadra no conceito de Weaver e outros, (2000) que recomenda a extração completa de todos os ingredientes úteis contidos nas estruturas moleculares das plantas, formados durante a fotossíntese, para produtividade máxima dos recursos naturais. Propõe-se então, que se desenvolva a partir de mudanças da fase agrícola até os produtos finais, novo modelo, no qual o foco inicial é a produção de vários produtos e de nenhum resíduo.

Assim, por exemplo, a escolha dos cultivares deve ter ênfase na melhor produtividade e resistência, e também na redução de perdas com sementes quebradas no descascamento, em visão sistêmica contemplando toda cadeia produtiva. Do mesmo modo e ampliando o enfoque, deve se considerar, que o volume de perdas e de resíduos tem relação direta com a distância entre a matéria prima e a indústria. Associa-se a essas mudanças o "emprego de tecnologia sustentável e compacta que permite a extração e processamento de compostos valiosos dos resíduos nos próprios locais de produção" (KIPERSTOK e MARINHO, 2001 p.225).

Pretende-se, que a produção de energia com tal nível de eficiência e de exigência ambiental, "aumente a proteção ao meio ambiente e a competitividade do produtor, numa solução de melhor resultado econômico-ambiental, por meio de mecanismos ecológicos e tecnológicos" (KIPERSTOK e MARINHO, 2001, p.277).

3.1 APROVEITAMENTO INTEGRAL DA BIOMASSA DO FRUTO

Como visto, a agregação de valor como co-produtos para os resíduos da produção de biodiesel de mamona é um problema histórico. Em relação à torta, existem dificuldades tecnológicas para remoção da periculosidade na forma de toxicidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), e para definição de especificação técnica recomendando ou não o seu uso; e quanto às cascas, não se tem registro na literatura de iniciativa para formatação de uma utilização a partir delas.

A característica comum aos dois resíduos é a presença de farta massa celulósica (carbono fixo e lignina), potencial de poder calorífico e energético, enquanto a que os diferencia, notadamente, é o teor de nitrogênio, bem significativo na torta de mamona, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Propriedades energéticas básicas da Casca e da Torta de Mamona

RESÍDUO	**PROPRIEDADES**	
	NITROGÊNIO **(%)**	PODER CALORÍFICO **(kJ/kg)**
Casca de mamona	1,86	16.000
Torta de mamona	7,54	18.800

Fonte: LIMA e Outros (2005)

Ainda com relação ao poder calorífico comum aos dois resíduos, são feitas comparações com outros materiais, já utilizados tradicionalmente, como fonte de energia: a lenha e o bagaço de cana-de-açúcar. Conforme a Tabela 12, seguinte, vê-se que os resíduos da mamona apresentam maior poder calorífico médio e menor umidade, de forma que consumirão menores quantidades de calor para eliminação da água (umidade) na combustão, e disponibilizarão mais energia para conversão térmica.

Tabela 12 – Poder Calorífico e Umidade de Resíduo/Biomassa como fonte de energia

MATERIAL / PROPRIEDADE	BAGAÇO DA CANA	LENHA	CASCA DE MAMONA	TORTA DE MAMONA	ÓLEO DE MAMONA
UMIDADE (%)	50	30 - 50	15	10	-
PODER CALORÍFICO MÉDIO (kJ/kg)	7.500	9.800	16.000	18.800	34.300

Configura-se então, a possibilidade do aproveitamento da massa celulósica (carbono + lignina) total, das cascas e da torta de mamona, para geração de energia térmica; um cenário propício para a pesquisa de tecnologia de processo desses resíduos, lhes conferindo maior valor agregado num novo produto.

Assume-se então, a hipótese da produção de maior quantidade de energia e melhoria do nível de eco-eficiência, com o aproveitamento integral da biomassa do fruto da mamona sem geração de resíduos sólidos, com as seguintes mudanças no processo:

- aproveitamento do nitrogênio presente na torta (tratada), na forma de amônia;
- aproveitamento de toda biomassa sólida resultante dos processos de beneficiamento e industrialização, a ser reciclada na forma de combustível sólido; e
- utilização desse combustível para suprimento de energia térmica no processo de produção de biodiesel, ou recuperação dos custos desse consumo de energia com a comercialização do combustível sólido.

3.1.1 Denitrificação da torta de mamona

A digestão anaeróbia de matéria orgânica sob o ataque de infinidade de microorganismos libera elementos químicos como nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e outros, que deixam a forma orgânica passando à forma mineralizada. Segundo Kiehl (1985), a decomposição anaeróbia de restos vegetais ricos em nitrogênio é rápida, sendo boa parte desse elemento encontrada na forma de amônia, conforme a equação abaixo.

MATÉRIA ORGÂNICA + MICROORGANISMOS = CO_2 + H_2O + NH_3 + matéria orgânica sólida

Para maior efetividade do processo, a torta de mamona deverá ser desagregada formando pequenos grãos, e em seguida fluidizada em solução ácida passando da umidade de 15 % para outra com valor entre 85% e 90%, num efluente com teor de sólidos entre 15 e 10 %, respectivamente. Daí é encaminhada para digestão anaeróbia em compartimento onde deverá residir por um prazo mínimo inibidor da geração do biogás (metano) e máxima liberação de amônia, com os seguintes fins:

- produção de composto – fase sólida da torta denitrificada, para uso como matéria prima para briquetagem de combustível sólido; e
- extração do nitrogênio orgânico na forma de amônia na fase líquida;

A alta concentração de orgânicos (ligno-celulose) favorecerá a acumulação de ácidos graxos voláteis a serem separados no estágio de produção ácida antes da produção massiva de metano. Após a digestão com detenção mínima, submete-se a separação das fases líquida e sólida através processo de

neutralização e decantação simples.

O processo deverá ser ajustado em busca da melhor eficiência para máxima recuperação de nitrogênio, com monitoramento laboratorial em experimentos de bancada onde o efluente em tratamento seja submetido a diferentes temperaturas, entre 20 ºC e 75 ºC, e depois à destilação e medição do nitrogênio amoniacal do condensado. Assim, se obtém a temperatura ótima de processo.

O sistema de remoção de amônia tem as seguintes unidades básicas:

a) Unidade de mistura e equalização do afluente de digestão anaeróbia, na qual se processa a dosagem e desagregação da massa de restos vegetais, dosagem de água para um teor de sólidos totais da mistura entre 10 e 15 %, e dosagem de redutor de pH (catalisador químico);

b) Unidade de digestão anaeróbia onde se processa a digestão em períodos de detenção entre 24 h e 72 h, ou outro determinado em bancada, e onde o efluente seja submetido à mistura lenta, permanentemente equalizado;

c) Unidade de decantação ou sedimentação simples, onde o efluente fica em repouso após o período de detenção da digestão, em unidade separada, ou na mesma unidade de digestão quando o sistema funciona por regime de batelada; dessa unidade, duas linhas de descarga transportam o efluente líquido nitrogenado e o lodo (composto) sedimentado; e

d) Dispositivo de flotação, tipo barreira coletora de óleo sobrenadante, instalado no nível superior da unidade de decantação, para recolhimento da fração de óleo presente na torta afluente e liberada na mistura lenta.

O sistema ainda tem como unidades complementares: unidade de reservação ou armazenamento de efluente líquido, estanque e a ser mantida em temperatura adequada; leito de desidratação ou secagem de lodo; e sistema de

recirculação (pequeno poço e conjunto moto-bomba), do efluente de desidratação do lodo.

A eficiência do processo é medida, periodicamente na sedimentação, através da caracterização físico-química e, particularmente, da análise do teor de nitrogênio (íon amônia) e do teor de sólidos, de amostras coletadas em amostradores multiníveis instalados externamente numa linha vertical na altura da unidade de sedimentação. Nas etapas seguintes, o monitoramento analítico que avaliou a eficiência da sedimentação, agora se volta para a caracterização físico-química do lodo fresco e do lodo desidratado, particularmente, teor de amônia, umidade e poder calorífico, toxidez e alérgenos. A toxidez e alergenicidade deverá ser medida através da determinação dos teores de óleo, ricina, ricinina e da glicoproteína CB-1A.

O grau de destoxicação e desalergenização da matéria sólida indicará uma segunda possibilidade de utilização da torta de mamona tratada por este processo, como ração animal, porém, esta linha de pesquisa propõe o aproveitamento dessa biomassa (torta de mamona denitrificada), para geração de energia térmica.

Por outro lado, quando a opção de utilização do efluente líquido não for sua utilização direta na lavoura como solução fertilizante nitrogenada, a recuperação da quase totalidade da amônia presente pode se dar por aquecimento da massa líquida até a ebulição, transporte e condensação do vapor, e neutralização com hidróxido de sódio para conversão do íon amônia em amônia.

Outra alternativa para separação e recuperação da amônia é a **Separação a Ar**: após elevação do pH a 11, aproximadamente, e tratamento com cal para precipitação do fósforo, o efluente é submetido à aeração forçada em contracorrente, quando em queda livre a partir de uma coluna, por exemplo, como se fosse “uma torre de refrigeração”. Projeto de remoção de amônia em esgoto registra a remoção de 95% a um pH de 11,5, usando $3m^3$ de ar por litro de esgoto (HAMMER, 1979). Da mesma forma, o aquecimento do vapor, a condensação e a neutralização são utilizados posteriormente, para obtenção de solução com alta concentração de amônia.

3.1.2 Aproveitamento da biomassa como combustível sólido

Na produção de biodiesel com óleo de mamona o resultado energético se restringe até então ao biocombustível líquido, com valores entre 7210 kWh/t e 10.500 kWh/t, o primeiro obtido na mini-usina experimental de Quixeramobim (com problemas de refino), e o segundo citado em LIMA (2004). Para efeito deste estudo, adota-se o valor intermediário de 8.900 kWh/t.

Os co-produtos admitidos, a glicerina e a torta de mamona, não são utilizados como fontes geradoras de energia, sendo tratados como comercializáveis em busca de recuperação de custos de produção do biodiesel, dependentes portanto, de variáveis estranhas ao mercado de energia. A casca do fruto, como dito anteriormente, não tem qualquer valor agregado, em que pese seu poder calorífico.

O estudo da casca e da torta de mamona, como biomassas possíveis fontes geradoras de energia, permite a avaliação seguinte a partir de uma tonelada de semente de mamona, conforme a Tabela 13, cujos dados têm como fonte os "resultados de uma usina de produção de biodiesel" em Quixeramobim – CE (SEVERINO e outros, 2005a), ou seja, em escala real.

Tabela 13 – Potencial Energético Equivalente no Beneficiamento de 1 (uma) tonelada de semente de mamona

PRODUTOS DO BENEFICIAMENTO	MASSA (kg)	ENERGIA EQUIVALENTE (kWh)	EFICIÊNCIA MÉDIA (%)	ENERGIA EQUIVALENTE (kWh)
CASCA	620	2.755	93	2.562
TORTA	590	3.081	93	2.865
ÓLEO	400	3.811	93	3.544 *
TOTAL – MAMONA	1.610	9.647	93	8.971

* Em biodiesel B100 sem aditivos

Do potencial energético das parcelas de biomassa à partir de 1 tonelada de semente beneficiada obtém-se as seguintes e relevantes evidências:

- Considerando o valor de venda pelo custo de produção, se o custo do biodiesel conforme **Tabela 8** é de R$ 1,35/L, (R$ 1,53/kg com d=0,88), e 1 quilograma tem potencial energético de 8,86 kWh, o valor em equivalente energético da torta de mamona é de R$ 0,84/kg, e o de casca, de R$ 0,71/kg. Isso com o custo do kWh a R$ 0,17;
- Essa primeira consideração, porém, não é válida, pois a casca e a torta são resíduos da produção do biodiesel, de modo que, suas valorações devem ser admitidas para recuperação dos custos de produção do biocombustível líquido; e
- Essa valoração depende da formatação de co-produto energético, ou seja, da reciclagem da casca e da torta em fonte renovável de energia comercializável.

Com base neste primeiro cenário, a expectativa preliminar de receita com co-produtos considerando seus potenciais energéticos, reduz o custo de produção do biodiesel de óleo de mamona para R$ 0,86/L. Na Tabela 14, a seguir, elaborada com as mesmas bases da Tabela 8, dados do estudo de Khalil (2003) são discutidos por LIMA (2004), sobre estimativa de custo de produção de biodiesel para uma planta piloto em implantação à época, no Vale do Açu no Rio Grande do Norte, portanto, em base teórica.

Tabela 14 - Expectativa do Custo de Produção do Biodiesel considerando a receita de Co-produtos com valor energético agregado

CO-PRODUTO / PRODUTO	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO (R$)	
			Unitário	Total
Glicerina	Kg.	500	2,00	1.000,00
Torta	Kg.	2.450 *1	0,84	2.058,00
Casca	Kg	2.550 *2	0,71	1.810,50
B100	L	5.600	0,872	4.883,20
TOTAL	-	-	-	9.751,70

Fonte: LIMA (2004)
Nota: base de dados para 2003, a partir de 10 t de bagas da mamoneira
*1 Participação percentual de 49 % na massa de resíduo sólido
*2 Participação percentual de 51 % na massa de resíduo sólido

Um cenário menos conservador e mais realista é delineado a partir do estudo do processo de aproveitamento destes resíduos. A alternativa técnica encontrada para sustentação desta hipótese é a produção de combustível sólido, o **briquete**, a partir da compactação dos resíduos da casca e da torta da mamona denitrificada, e avaliação do potencial energético em, pelo menos, três alternativas de mistura. Dentre elas, pode-se ter um tipo de briquete com maior poder calorífico cuja matéria-prima, é a torta de mamona; e, um segundo tipo com poder calorífico um pouco menor, produzido a partir de casca de mamona; porém, a necessidade de umidade, próxima de 15 % para a briquetagem, sugere como melhor alternativa, um briquete de matéria-prima composta.

Desta forma, assume como melhor alternativa, a **produção de mais energia com eco-eficiência** por meio da mistura nos percentuais exatos de geração de casca e torta, em média, de 51% e 49%, respectivamente, nos processos de beneficiamento e extração de óleo. Assim, o processo de produção de biodiesel não gera resíduos sólidos, com aproveitamento total da biomassa do fruto da mamoneira.

3.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética resulta da assimilação de duas diretrizes de produção: a **eficiência técnica e econômica**. As metas perseguidas para eficiência técnica são: máxima produtividade da cadeia produtiva de energia com aproveitamento total da biomassa do fruto da mamoneira, por meio de mecanismos, para minimização das perdas físicas e não-geração de resíduos sólidos; e, o emprego de fontes de energia mais barata, disponível e rapidamente acessível, principalmente térmica, nas etapas demandantes do processo. Essa necessidade de avanços em eficiência técnica, inicialmente foi assumida, como um dos requisitos para melhoria do balanço energético da produção de biodiesel. Dela resulta um novo produto, um combustível sólido, o briquete de massa celulósica da mamona.

A partir de mais um produto, a eficiência econômica que busca obter o máximo de geração de riqueza ou de valor agregado por unidade de recurso energético (PINDICK; RUBINFELD, 2002), é compatibilizada através de inovação tecnológica aplicada à produção de energia com biomassa de mamona, voltada até então, apenas para o biodiesel. O novo produto agrega aos 8 kWh de energia disponibilizado em 1 litro do biocombustível líquido (equivalente a 8,86 kWh/kg), mais 9,1 kWh de energia na forma de combustível sólido - o briquete, fabricado com casca e torta de mamona, com eficiência de 93%. Dois co-produtos líquidos também são gerados: glicerina e amônia.

3.2.1 Briquetagem

Segundo o Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas, (2005), o adensamento do resíduo através do processo de briquetagem consiste na compactação e intenso atrito a elevada pressão, provocando a elevação da temperatura do processo entre 100 ºC e 250 ºC, se o processo é por percussão ou extrusão, fluidificando a massa. O aumento da temperatura provoca a plastificação da lignina, substância que atua como elemento aglomerante das partículas de resíduos vegetais (ligno-celulósicos).

Para que a aglomeração tenha sucesso, é necessária uma quantidade de água (umidade), entre 8% a 15% e que o tamanho da partícula esteja entre 5 e 45 mm. No final do processo, o material é naturalmente resfriado, solidificando-se e resultando um briquete com elevada resistência mecânica e com umidade igual ou menor a 5%. A lignina solidificada na superfície do briquete o torna também resistente à umidade natural.

O briquete é definido como um combustível sólido de alto teor calorífico, obtido a partir de resíduos vegetais, ligno-celulósicos, tais como: galhos e cascas de árvores, aparas de madeira, serragem, pó de lixa e maravalhas (geralmente provenientes do desdobramento de tora), bagaço de cana-de-açucar, casca de arroz, palha e sabugo de milho. Apresenta ao final do processo, forma regular e constituição homogênea, sendo de grande utilização para a geração de energia principalmente em fornos industriais, combustores e gaseificadores. O diâmetro ideal dos briquetes para queima em caldeiras, fornos e lareiras é de 70 mm a 100 mm, com comprimento de 250 a 400 mm.

Após a briquetagem, o briquete é submetido a secagem (desidratação) e cura. Utiliza-se o secador de baixa temperatura, com sistema de operação descontínua. No processo, o briquete é acondicionado em caixas metálicas e submetido à convecção forçada com ar quente, dentro do perfil térmico previamente estabelecido através da curva de secagem do produto. O período de secagem depende da temperatura de operação, umidade do produto e da umidade relativa do ambiente. Daí, segue o processo de cura, sendo resfriados e, posteriormente armazenados e submetidos a um tempo de estocagem para permitir o equilíbrio de estabilidade e uniformidade do produto.

Para o estudo do potencial energético do combustível sólido – briquete - são feitas as seguintes considerações:

- Os fabricantes de prensa briquetadeira especificam o consumo médio de 65 kWh/t de briquete, massa específica final do briquete entre 1300 kg/m^3 e 1400 kg/m^3 (SISTEMA BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS, 2005);
- Para briquetes produzidos a partir de restos de madeira, o poder calorífico do briquete é superior, variando entre 2 vezes a 2,5 vezes

o poder calorífico original dos resíduos, em função do adensamento acima especificado (SISTEMA BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS, 2005);

- A matéria-prima neste estudo é composta de mistura de resíduos, na proporção de 51% de casca e 49% de torta, de forma que são estimados:
    - a massa de 01 tonelada da matéria-prima solta (sem adensar) tem potencial energético de 4.490 kWh com 15% de umidade;
    - o valor da depreciação total em 05 anos dos equipamentos e instalações de briquetagem para a produção de 400 kg/h (investimentos de R$ 150.000,00), calculado em R$ 13,50/h, e de 10% sobre esse, relativo à manutenção;
    - o custo de operação com 03 trabalhadores, de R$ 15,40/h; e,
    - o custo do consumo de energia elétrica gerada localmente, de R$ 0,17/kWh.

Assim, para a umidade final de 5%, o poder calorífico do briquete é de 4.320 kcal/kg, equivalente ao potencial energético de 5.020 kWh/t. E para o balanço energético específico, o valor equivalente em energia consumida (todos os insumos), é de 510 kWh/t. Desse modo a relação entre a energia potencialmente produzida e a energia consumida (*output / input*), é de 9,85 pontos. Esse produto deve ter sua cadeia produtiva caracterizada quanto a:

- matéria-prima, individualmente e misturada, com dados do teor de umidade, lignina, carbono fixo, nitrogênio, óleo, composição percentual, densidade e poder calorífico;
- Energia consumida na fabricação do briquete; e
- Produto final – briquete, com dados de densidade, umidade, carbono fixo e poder calorífico, e ainda, dimensões padronizadas, pesos e potência.

3.2.2 Balanço da produção de energia com biomassa de mamona

O aproveitamento de toda biomassa do fruto da mamoneira para produção de energia, disponibiliza alternativas de combustíveis líquido e sólido, e co-produtos como a amônia recuperada da torta e a glicerina, ora cotejados, numa nova perspectiva de balanço energético global.

Na quantificação de produtos, co-produtos, poder calorífico e energético, a apropriação é baseada em dados de produtividade, consumo e produção de energia, obtidos em (SEVERINO e outros, 2005a), em escala real, mas com pequenos melhoramentos de eficiência mecânica (admitindo a extração de 40% do óleo), e apropriação dos custos operacionais (produção da mamona, depreciação de equipamentos e instalações em cinco anos, e custos com pessoal).

Na valoração energética, considera-se como base única e equivalente o valor de conversão de R$ 0,17/kWh, adotado a partir do custo médio de geração de energia elétrica com biomassa. Os valores unitários e totais apropriados por centro de custo são apresentados na Tabela 15 a seguir.

Tabela 15 – Planilha de Custos de Produção de Biodiesel

PRODUÇÃO DE BIODIESEL

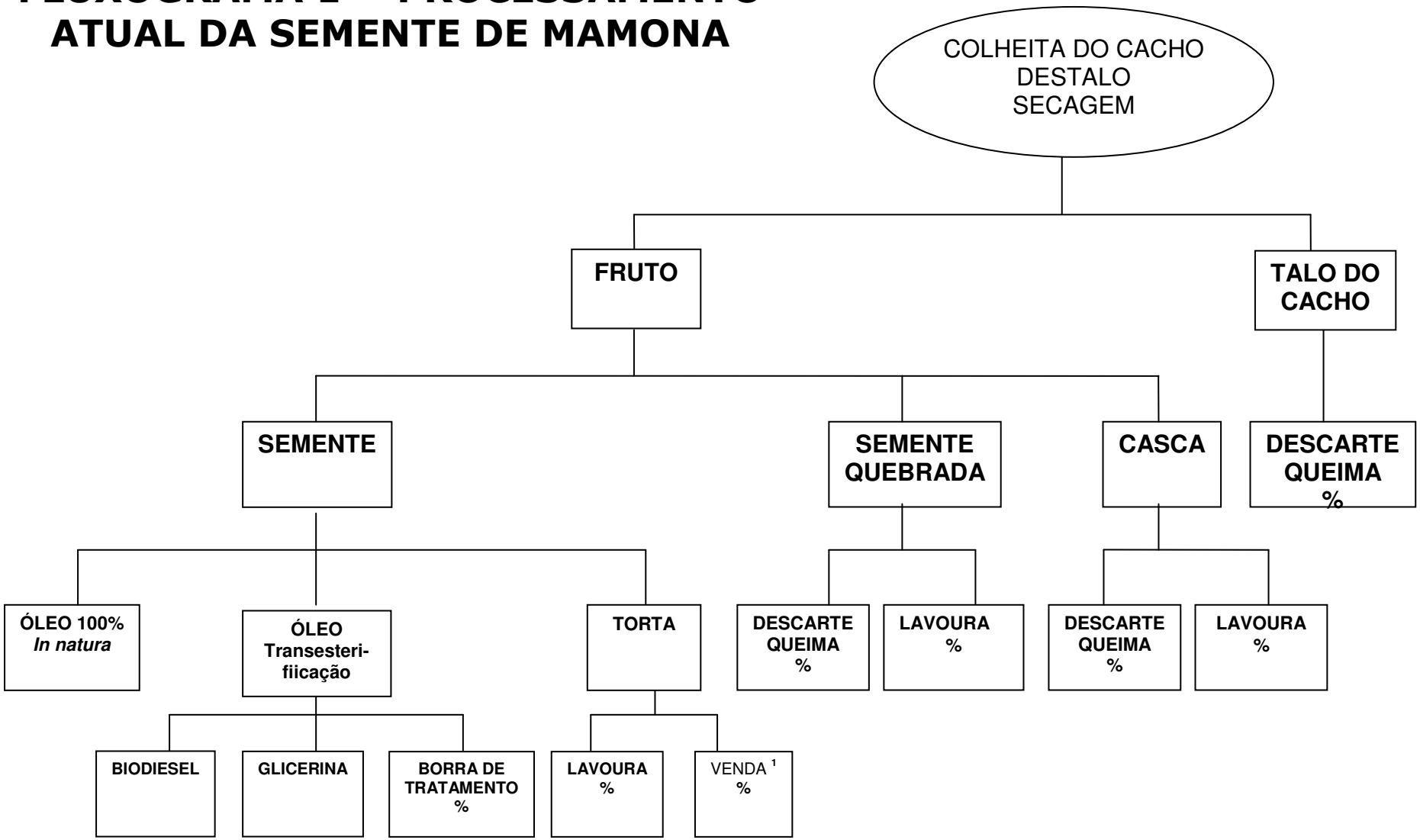
SEMENTE			**INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS**	**PESSOAL Industrialização**
Razão – semente/óleo 2,5 : 1			Depreciação total em 05 (cinco) anos	Equipe com 03 (três) Trabalhadores
Produtividade (kg/ha)			Investimento R$	Remuneração R$ / mês
510	1000	2.000		
R$ 1,80/kg	R$ 1,20/kg	R$ 0,80/kg	228.000,00 *	2.710,40
R$ 4,50/kg de óleo	R$ 3,00/kg de óleo	R$ 2,00/kg De óleo	R$ 187,70 / dia	R$ 123,20 /dia

Fonte: * SEVERINO e outros (2005a)

Com base nestes dados e considerando que a mini-usina implantada em Quixeramobim - CE, tem capacidade nominal para produção de 240 L/dia (211,2 kg/dia) de biodiesel, o custo diário é de R$ 1.261,30, equivalente a R$ 5,97/kg ou R$ 5,26/L. Assim, considerando que o consumo de energia foi de “1.390 kWh para produzir 1.623 litros de biodiesel” (0,86 kWh/L ou 0,97kWh/kg), (SEVERINO e outros, 2005a), a conversão em energia equivalente consumida resulta em 36 kWh/kg.

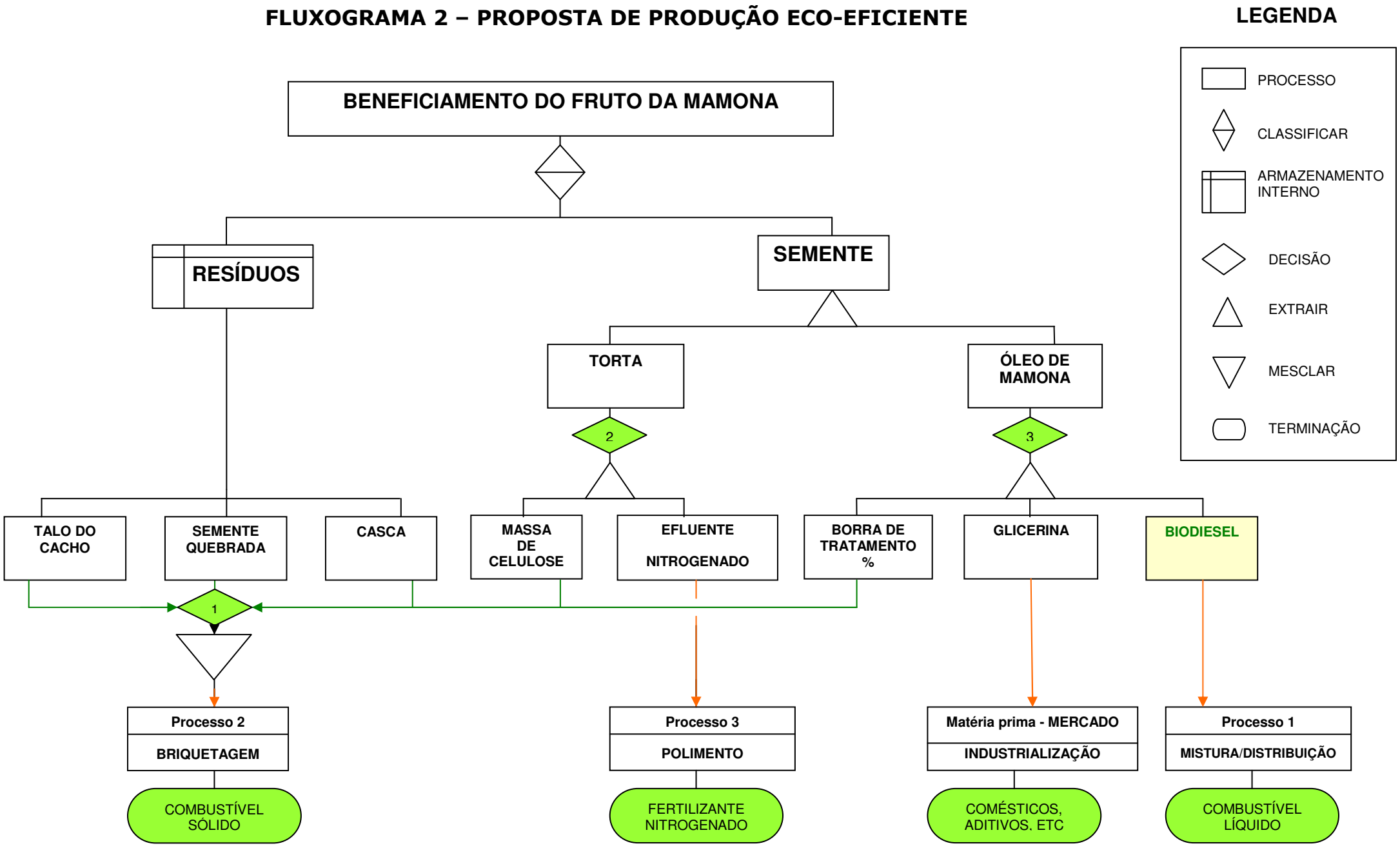
Por meio desta apropriação de custos é possível comprovar a hipótese assumida apresentando o balanço da produção de energia de toda biomassa do fruto da mamona no qual o biodiesel é um de seus resultados. O que se quer dizer, é que muito mais pode ser melhor aproveitado, energeticamente, num modelo produtivo eco-eficiente, conforme ilustrado nos Fluxogramas 1 e 2, que retratam o modelo atual e o proposto na pesquisa, respectivamente.

FLUXOGRAMA 1 - PROCESSAMENTO ATUAL DA SEMENTE DE MAMONA



1 Comercialização incipiente em usinas de porte para fábrica de fertilizante

FLUXOGRAMA 2 – PROPOSTA DE PRODUÇÃO ECO-EFICIENTE



Para o modelo proposto, estuda-se o balanço energético em dois cenários de produtividade agrícola que são apresentados nas Tabelas 16 e 17, abaixo.

Tabela 16 - Balanço da Produção de Energia a partir de 1 (uma) tonelada de Semente de Mamona, com Produtividade Agrícola de 510 kg/ha.

RESULTADO	TIPO	PRODUÇÃO	ENERGIA CONSUMIDA (kWh - %)	POTENCIAL ENERGÉTICO (kWh - %)	BALANÇO
PRODUTO	B100	364 kg	13.104 – 86,1	3.544 – 32,9	0,27
	BRIQUETE	1.210 kg	617 – 4,0	6.074 – 56,3	9,84
	TODOS	1.574 kg	13.549 – 89,1	9.618 – 89,2	0,71
CO-PRODUTO	GLICERINA	36 kg	1.296 – 8,5	720 – 6,7	0,56
	AMÔNIA	45 kg	370 – 2,4	450 – 4,2	1,21
	TODOS	81	1.666 – 10,9	1.170 – 10,8	0,70
GLOBAL	**TODOS**	**-**	**15.215**	**10.788**	**0,71**

Nota:

1. **Para produção de briquete os custos unitários estão apropriados no item anterior (3.2.1);**
2. **Considera-se a glicerina um resultado da transesterificação simultâneo ao biodiesel e assim consumindo energia equivalente;**
3. **Para remoção de amônia o investimento total de R$ 50.000,00 para tratar 5 m^3 de efluentes com 45 kg de nitrogênio é depreciado em 5 anos para R$ 41,00/dia, e o de pessoal definido como R$ 82,00/dia, resultando no custo total de R$ 164,00,dia, convertido em energia equivalente.**

A sustentabilidade financeira da produção de energia com biomassa do fruto da mamoneira, na hipótese estudada, só é possível por estes cálculos a partir da produtividade agrícola de 1500 kg/ha (ponto de equilíbrio), quando o preço médio da semente é de R$ 1,00/kg, ou seja, preço da baga para o beneficiamento à R$ 0,75/kg. Para produtividade agrícola superior, conservando os demais insumos o balanço é cada vez mais favorável, muito embora existam outros fatores incidentes que serão analisados. Assim, estuda-se na Tabela 17 um cenário com produtividade de 2000 kg/ha, bem próxima de “2298 kg/ha, atingida com adubação mineral” (SEVERINO e outros, 2005a, p. 14).

Tabela 17 - Balanço da Produção de Energia a partir de 1 (uma) tonelada de Semente de Mamona, com Produtividade Agrícola de 2.000 kg/ha

RESULTADO	TIPO	PRODUÇÃO	ENERGIA CONSUMIDA (kWh - %)	POTENCIAL ENERGÉTICO (kWh - %)	BALANÇO
PRODUTO	B100	364 kg	7.800 – 81,9	3.544 – 32,9	0,45
	BRIQUETE	1.210 kg	617 – 6,5	6.074 – 56,3	9,84
	TODOS	1.574 kg	8.417 – 88,4	9.618 – 89,2	1,14
CO-PRODUTO	GLICERINA	36 kg	770 – 8,1	720 – 6,7	0,94
	AMÔNIA	45 kg	339 – 3,5	450 – 4,2	1,33
	TODOS	81	1.109 – 11,6	1.170 – 10,8	1,03
GLOBAL	TODOS	-	9.526	10.788	1,13

Nota:

1. **Com a produtividade de 2.000 kg/ha, o custo de produção em equivalente energético do biodiesel é de 21,43 kWh/kg;**
2. **Para produção de briquete os custos unitários estão apropriados no item anterior (3.2.1);**
3. **Considera-se a glicerina um resultado da transesterificação simultâneo ao biodiesel e assim consumindo energia equivalente;**
4. **Para remoção de amônia o investimento total de R$ 50.000,00 para tratar 5 m^3 de efluentes com 45 kg de nitrogênio é depreciado em 5 anos para R$ 41,00/dia, o de pessoal definido como R$ 82,00/dia, e energia e insumos em R$ 31,00/dia, resultando no custo total de R$ 154,00,dia, convertido em energia equivalente.**

A gestão da produção de energia depende do conhecimento da estrutura dos custos, por compartimento, para que se possa atuar em busca da maior eficiência produtiva e econômica utilizando todas ou ao máximo, as possibilidades da oleaginosa.

Na Tabela 18, é apresentada a composição estrutural por tipo de energia gerada a partir de cada uma das sub-fontes (óleo de mamona, nitrogênio e massa ligno-celulósica), na forma de produto e co-produto, bem como sua participação na produção global, quando o balanço energético é de 1,13 pontos.

Tabela 18 – Estrutura e Participação de Custos / Produção de Energia, Balanço (1,13) a partir de 1 (uma) tonelada de semente

ENERGIA	CUSTO – ORIGEM						CUSTO (R$/MASSA) PARTICIPAÇÃO (%)
	UN	INSUMO	INSTAL. EQUIP.	PESSOAL	CONSUMO ENERGIA	TOTAL	
BIODIESEL 364 kg	kWh	4283	1903	1250	364	7.800	R$ 3,64/kg R$ 3,20/L 81,9% em custo 22% em massa
	R$	728,00	324,00	212,00	62,00	1.326,00	
	%	54,9	24,4	16,0	4,7	100	
BRIQUETE 1210 kg	kWh	-	264	274	79	617	R$ 0,09/kg 6,5% em custo 73,1% em massa
	R$	-	44,90	46,60	13,40	104,90	
	%	-	42,8	44,4	12,8	100	
GLICERINA 36 kg	kWh	423	188	123	36	770	R$ 3,64/kg 8,1% em custo 2,2% em massa
	R$	72,00	32,00	21,00	6,00	131,00	
	%	54,9	24,4	16,0	4,7	100	
AMÔNIA 45 kg	kWh	53	90	180	16	339	R$ 1,28/kg 3,5% em custo 2,7% em massa
	R$	9,00	15,30	30,60	2,70	57,60	
	%	15,6	26,6	53,1	4,7	100	
BIOMASSA 1.655	kWh	4.759	2.445	1.827	495	9.526	R$ 0,97/kg R$ 0,17/kWh 100%
	R$	**809,00**	**415,65**	**310,60**	**84,15**	**1.619,40**	
	%	**50,0**	**25,60**	**19,20**	**5,20**	**100**	

Nota:

1. **Valor de conversão de R$ 0,17/kWh, adotado como custo médio de geração com biomassa;**
2. **Produtividade agrícola de 2000 kg/ha.**
3. **Dados calculados a partir das Tabelas 15, 16 e 17.**

3.3 COMPATIBILIZAÇÃO AMBIENTAL

A avaliação preliminar da contribuição ambiental do modelo proposto de produção de energia com eco-eficiência, Fluxograma 2 *supra*, indica inicialmente, o aumento de produtividade na utilização do principal recurso natural energético, a energia solar na forma de biomassa fotossintetizada. Outros dois recursos naturais também têm aumento de produtividade: o solo e a água, utilizados como nutrientes na conversão energética.

Do mesmo modo, com a remodelação industrial, os produtos resultam agora, de melhorias introduzidas na cadeia produtiva por meio de mecanismos e tecnologias focados no desenvolvimento sustentável, com a extração de todos os ingredientes da biomassa, sem geração de resíduo. Essa é a principal contribuição do processo produtivo: a prevenção ambiental. Outras contribuições são destacadas. No panorama das mudanças climáticas, impactos sobre o solo, água superficial e sobre a saúde humana.

3.3.1 Contribuição na mitigação da mudança do clima-seqüestro CO_2

No ano de 2004 a Oferta Interna de Energia (OIE) no Brasil, teve a contribuição de 85 milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP), responsáveis pela emissão de 247 milhões de toneladas de Dióxido de Carbono (tCO_2), com base na taxa de emissão de 2,90 tCO_2 / tep de Energia Não Renovável (ENR). No biênio seguinte e que agora se encerra, houve aumento das emissões.

Contabiliza-se que o nível de gás carbônico na atmosfera atingiu concentração entre 368 ppm e 380 ppm, cujas emissões são responsáveis pela elevação estimada de 0,7 ºC na temperatura média global, pelo efeito estufa. Ocorreu o primeiro furacão no Atlântico Sul em março de 2004, no litoral de Santa Catarina; em 2005, a maior seca na Amazônia; e em 2006, a maior seca que expôs as formações geológicas das Cataratas do Iguaçu, à vista, e ao acesso a pé. As variações extremas do clima no Brasil nos últimos 50 anos delinearam mais claramente, a cada ano, um semestre mais frio com redução média de 1ºC de

temperatura, e um semestre mais quente, com incremento médio de 3ºC de temperatura (NOBRE, 2006).

Segundo Nobre (2006), as mudanças do clima estão diretamente ligadas, à queima de combustível fóssil e à derrubada das florestas. Nesse contexto, a produção de energia renovável com eco-eficiência é oportuna, contribuindo para a estabilização do processo de degradação ambiental não gerando GEE e aumentando a área de reservatório de gás carbônico com a ampliação da área verde em agricultura.

3.3.1.1 Aumento da cobertura vegetal

As pretensões com o biodiesel B5, se atendidas em 40%, com óleo de mamona (LIMA, 2005), demandam o cultivo de 1 milhão de hectares com produtividade média de 1500 kg/ha, considerando o consumo anual de diesel de 42 bilhões de litros.

Estimando-se que a quantidade total de Matéria Orgânica (MO) de uma planta (mamoneira ou *Ricinus communis*), é 10 vezes a quantidade presente na semente, chega-se a produtividade de 15 tMO/ha para a planta quando a produtividade agrícola de semente é 1500 kg/ha. Para o cultivo de 1 milhão de hectares a produção total de MO é de 15 milhões de toneladas (5% da taxa de uma floresta). Assim, considerando em 50% o teor de carbono na matéria orgânica (JUNK, 1990), tem-se um volume reservado na massa de cultivo de 7,5 milhões de toneladas de Dióxido de Carbono (tCO_2). Desse total, exclui-se o volume relativo à produção energética (10%), enquanto o saldo é admitido como seqüestrado da atmosfera, anualmente.

3.3.1.2 Reduções de emissões globais com o uso de energia renovável

A perspectiva de cultivo de 1 milhão de hectares para produção de

biodiesel B5, tem como resultado estimado a partir da Tabela 17, a produção anual dos seguintes tipos de energia e co-produtos a partir da mamona:

- Biodiesel 1,05 bilhões de litros;
- Briquete 3 bilhões de quilogramas;
- Glicerina 91 milhões de quilogramas;
- Amônia 114 milhões de quilogramas.

Esta produção anual com potencial energético nominal de 27TWh ou 2,32 x 10^6 tep (dois milhões trezentos e vinte mil toneladas equivalentes de petróleo), se gerado por fonte fóssil seria responsável pela emissão anual de 6,73 x 10^6 tCO_2 (seis milhões setecentos e trinta mil toneladas de dióxido de carbono), à taxa de 2,90 tCO_2 / tep.

3.3.2 Redução de impactos no solo e águas superficiais por resíduo sólido

O aproveitamento total da biomassa do fruto da mamona não gera resíduos sólidos, constituindo-se em prática de **prevenção ambiental** eliminando o descarte das cascas no solo ou a queima. Essas práticas utilizadas até então, lançam na atmosfera metano (CH_4), gás carbônico, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e óxidos de enxofre (SO_x), com o agravante da produção de metano resultante da decomposição anaeróbia dos monturos de cascas ser 21 vezes mais poluente que o dióxido de carbono. O metano é elemento estranho à cadeia fotossintética, sendo o excedente mais nocivo do efeito estufa, qualitativamente.

Um fato importante é a disposição aleatória no solo, da torta de mamona resultante da extração do óleo, com altíssimo teor de nitrogênio (7,5 % de N), e matéria orgânica como óleo residual (entre 5% e 10%) e massa ligno-celulósica na fração sólida. Essa deposição submete o resíduo a uma primeira condição de

solubilização e lixiviação sob a incidência da irrigação ou das chuvas, de forma que seus efluentes são drenados superficialmente e sub-superficialmente, chegando às águas subterrâneas, causando toxidez, e poluição orgânica com elevação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ao tempo em que reduz o Oxigênio Dissolvido (OD), e ainda, nitrificação com possibilidade de eutrofização das águas superficiais.

Segundo Kiehl (1985), esses resíduos também podem ser submetidos à decomposição anaeróbia se não forem aerados artificialmente, (revolvidos sistematicamente), produzindo CH_4, CO_2, CO, ácidos orgânicos e álcool, o que acontece quando acumulados em monturos ou pilhas sem revolvimento para aeração.

Estes tipos de impactos ambientais serão descartados, definitivamente, com o aproveitamento do que antes era resíduo, e conseqüente eliminação das fontes geradoras.

3.3.3 Redução de impactos à saúde humana

O aproveitamento de toda a massa de torta de mamona para produção de combustível sólido (briquete), após a remoção da amônia, não afasta totalmente, o risco de permanência de níveis de ricina e da glicoproteína CB-1A, responsáveis pela toxicidade e alergenicidade, de forma que a torta continuaria a ser enquadrada como Resíduo Sólido Classe 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), salvo se atestada a destoxicação e desalergenização pela denitrificação. Quando não, permaneceria a periculosidade conferida pela toxicidade e alergenicidade, incidente sobre a massa de centenas de milhares de trabalhadores rurais responsáveis pelo manuseio da torta bruta ou denitrificada, na adubação de lavoura de mamona ou outra qualquer. O potencial impacto com a adubação com torta estende-se mais ainda a partir da comprovação da contaminação da cultura de milho (MOTA; PERES; RAMOS, 2005).

Também este tipo de impacto ambiental negativo será eliminado definitivamente, com a extração da amônia, que será levada a industrialização,

constituindo também em medida de **prevenção ambiental e à saúde**. Essa medida é complementada com o redirecionamento da massa ligno-celulósica da torta para em mistura com a casca serem utilizadas como matéria-prima da briquetagem, que à alta temperatura e pressão, certamente eliminará a periculosidade.

3.3.4 Impactos persistentes

O estabelecimento de novo paradigma de produção de energia com eco-eficiência, reduziu a quantidade, variedade e grandeza dos potenciais impactos ambientais negativos, identificados e estudados, permanecendo (Tabela 19), as embalagens de produtos químicos perigosos, classe 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS,2004), cuja mitigação depende de procedimentos de manuseio, utilização de equipamentos de proteção individual e destinação adequada; e, a água de lavagem contaminada do processo de transesterificação cujo aproveitamento como diluente de torta para denitrificação deverá ser estudado.

Tabela 19 – Atividades, Resíduos e Impactos Ambientais no Ecossistema Local e na Saúde Humana

ORIGEM		ATUAÇÃO		TIPO DE IMPACTO – DESCRIÇÃO
ATIVIDADE	**RESÍDUO CO-PRODUTO**	**MEIO**	**SAÚDE HUMANA**	
Industrialização Transesterificação	Água de lavagem contaminada	Físico – solo e água superficial.		Quando de destinação final inadequada: contaminação direta de solo e água superficial
	Embalagem contaminada de produtos químicos	Físico – solo e água superficial.		Quando de destinação final inadequada: contaminação direta de solo e água superficial por lixiviação e solubilização de incidência de chuva ou drenagem (lavagem)
		Antrópico – manuseio na atividade de trabalho	Contato com a pele, inalação e ingestão de poeira	Reação alérgica e Intoxicação típica de ácidos e álcalis

3.4 RESULTADOS DA PESQUISA

A pesquisa resulta na avaliação da cadeia produtiva do biodiesel de óleo de mamona, da fase agrícola até o produto final da transesterificação metílica, e as alternativas de recuperação de custos com a venda de co-produtos. Os resultados da mini-usina de Quixeramobim cotejados com dados teóricos, têm como conseqüência a avaliação da eficiência técnica, econômica e dos impactos ambientais produzidos pelo biodiesel de óleo de mamona no atual modelo tecnológico. A modelagem proposta para o aproveitamento integral da biomassa do fruto da mamoneira com eco-eficiência reduz impactos ambientais, ao tempo em que gera novos produtos utilizando as mesmas fontes de recursos, maximizando a torta de mamona e as cascas. Além do biocombustível líquido – biodiesel, é possível produzir um biocombustível sólido – briquete, ampliando a cadeia produtiva da mamona com eficiência energética. Dos processos da cadeia produtiva do biodiesel, a transesterificação metílica apresenta dificuldades coincidentes, observadas na mini-usina de Quixeramobim e na Planta Piloto da UESC. Quanto ao biocombustível sólido, é uma proposta a estudar.

De forma mais específica, os resultados da pesquisa apontam que o cultivo da mamona na região do semi-árido nos anos de 2005 e 2006 teve dificuldades quanto à sustentabilidade econômico-financeira e ainda não atende as expectativas do PNPB. O aumento dos custos do produtor com produtividade média de 770 kg/ha, 42,7% da prevista, foi agravado com a super-oferta no mercado resultante do *boom* da área cultivada na safra 2004/2005. Nessa conjuntura o preço do quilograma da mamona no mercado caiu de R$ 0,97 em out./94 para R$ 0,42 em out./95, enquanto o preço mínimo da CONAB, atrelado à política do “Selo Combustível Social” foi de R$ 0,50 e R$ 0,56 no mesmo período. O custo estimado do produtor com essa produtividade está entre R$ 0,78/kg e R$ 0,87/kg.

O Balanço Energético da produção de biodiesel, contemplando a avaliação da estrutura de custos de toda cadeia produtiva e os resultados da mini-usina de Quixeramobim, onde a produtividade agrícola foi de 510 kg/ha, resulta em

42% (*output/input*). Esse modelo de produção de biodiesel de mamona em mini-usinas e de recuperação de custos, mesmo quando a produtividade agrícola é de 2000 kg/ha continua com balanço energético deficitário, próximo de 70%, ainda que a torta seja comercializada a R$ 0,40/kg e a glicerina à R$ 2,00/kg**.** Esse resultado a partir do conhecimento da estrutura completa de custos de produção, de todos os insumos utilizados, destoa do balanço sugerido de 390% para a mini-usina de Quixeramobim, que considerou apenas o consumo de energia termo-eletro-mecânica de 0,86 kWh/L e a energia nominal que poderia ser produzida com um litro de biodiesel em gerador com eficiência de 75%, de 3,36 kWh/L.

Quanto à energia consumida na produção do biodiesel, a avaliação mostra que ao contrário dos registros bibliográficos em estudos e artigos, que não é o consumo de energia termelétrica o maior entrave para uma melhor condição do balanço energético do biodiesel de óleo de mamona, principalmente, pelo seu baixo peso na ponderação dos custos de produção, de apenas 4,7%. Certamente, que a substituição da eletricidade por outra fonte energética mais barata reduzirá custos se acompanhada do devido suporte tecnológico. A utilização da lenha e o processo utilizado no aquecimento para redução da viscosidade foram ineficientes, queimando as bagas e prejudicando a qualidade do óleo bruto.

O maior custo na cadeia produtiva representando 54% (cinqüenta e quatro pontos percentuais), o maior peso ponderado, é o da matéria prima – semente ou baga de mamona, cuja grandeza é função inversa da produtividade da lavoura. A tecnologia e assistência técnica na escolha de sementes certificadas, adubação e irrigação são investimentos iniciais representativos, mas com resultados certos de boa produtividade, e por sua vez, do preço de comercialização, sendo relevante se a matéria prima tem origem na agricultura familiar ou agroindústria.

Além dessas, existem também deficiências tecnológicas no beneficiamento, como no descasque em Quixeramobim, que tinha expectativa de rendimento de 62% e só atingiu 45,2%. As sementes quebradas ou não descascadas representam parcela perdida de produtividade, que na forma de fruto é bem superior aos 510 kg/ha contabilizados na forma de semente beneficiada. Os custos dessas perdas não estão apropriados nas estimativas das instituições financeiras, nem tampouco algum insumo e água a elas associados. Assim, estima-se que o preço da baga oscila inversamente, com as produtividades de 510 kg/ha e

2000 kg/ha, entre R$ 1,80/kg a R$ 0,80/kg, incidindo diretamente no custo do óleo. A produtividade do processo ainda é prejudicada mais à frente no rendimento de extração de óleo, cuja expectativa de 45% em massa de semente prevista no PNPB, limitou-se à média de 35% em Quixeramobim.

O segundo determinante com peso de 24,4 % na estrutura de custo de produção de biodiesel de óleo de mamona é representado pelas instalações e equipamentos, do beneficiamento a industrialização. Aqui, a inadequação de equipamentos utilizados em outras culturas e que foram adaptados e a falta de escala, ou pequeníssima escala de produção, (a capacidade da mini-usina de Quixeramobim é de 240L/dia em 8 horas diárias), determinam a baixa produtividade do processo com alto custo. Neste contexto ainda, o custo com pessoal é compatível com a sustentabilidade do projeto, sendo fato que intervenções para melhoria da eficiência técnico-econômica devem ser feitas na lavoura, em busca de maior produtividade.

No modelo estudado na mini-usina, quando é produzido 1 quilograma de biocombustível líquido ao custo de R$ 3,64 utiliza-se 32,9% do potencial energético da biomassa total do fruto da mamoneira. Considerando o potencial energético do biodiesel de 10,5 kwh/kg, essa energia tem um custo de produção de R$ 0,35/kwh.

A biomassa restante do fruto da mamoneira, extraído o óleo para o biodiesel, representa 56,3% em potencial energético. Essa parcela do fruto pode ser convertida em biocombustível sólido na forma de briquete ao custo de R$ 0,09/kg. Com potencial energético de 5 kwh/kg, essa energia tem um custo de produção de R$ 0,02/kwh.

Ao final, a pesquisa aponta que cada tonelada de semente de mamona processada pode produzir 400 kg de biodiesel, 1210 kg de briquete e nenhum resíduo sólido.

4. CONCLUSÕES

A pesquisa realizada nessa dissertação sobre a produção de energia com biomassa de mamona permite as seguintes conclusões:

As informações sobre a produção de energia na forma de biocombustível de óleo de semente da mamona, por meio da transesterificação, na qual se produz o biodiesel B100, constitui importante banco de dados, predominantemente teórico, imprescindível para o fomento à pesquisa através de projetos e experimentos que possam reproduzir sua cadeia produtiva em escala reduzida, mas real. Os resultados da mini-usina de Quixeramobim/CE (SEVERINO e outros, 2005a), de um único experimento que estuda a cadeia produtiva do biodiesel de óleo de mamona, da produção da matéria prima na fase agrícola até o produto da transesterificação é importante. Um marco para a industrialização de pequeno e médio porte, porém, de pequena representatividade estatística para subsidiar o planejamento indicativo, a previsão de investimentos e alocação de recursos de tamanha grandeza, no setor energético, prioritário e estratégico para o desenvolvimento nacional.

São mínimas as perspectivas de sustentabilidade financeira da produção de biodiesel de mamona em modelo tecnológico de mini-usina similar ao estudado em Quixeramobim. O custo da semente é proibitivo diante da baixa produtividade agrícola média na região do semi-árido (falta capacitação técnica e planejamento); as perdas são altas devido à falhas de processos, uso de sementes sem certificação e deficiência em tecnologia de equipamentos e irrigação; e, a estrutura de custos da cadeia produtiva do biodiesel de mamona não foi devidamente estudada, particularmente, a logística de integração entre os centros produtores de matéria

prima, de extração de óleo, transesterificação e distribuição da produção; são grandes os espaços de intermediação que certamente prejudicarão os agricultores familiares.

Nesse contexto, é bem provável que a soja seja redirecionada para atendimento à demanda do biodiesel, considerando-se sua viabilidade nessa rota tecnológica, alta produtividade, predomínio na produção nacional de óleos vegetais com 90% do parque agroindustrial, tecnologia agrícola certificada e logística de atendimento capaz. É real a viabilidade econômica, porém, com reflexos nos preços nos usos concorrentes, destacando-se a alimentação, de forma, que se prenuncia tal discussão na área de política macroeconômica nacional.

A sustentabilidade socioeconômica pretendida com incentivos à agricultura familiar no semi-árido e compra da produção do óleo de mamona fora do mercado livre, para produção do B2 e B5, está limitada ao setor de combustível que busca a redução da importação de óleo diesel. Esse enfoque minimalista já enfrenta a concorrência de agentes de mercado fora do circuito da mamona com outras oleaginosas como o pinhão manso e até a soja. A implementação dessa política social enfrentará problemas ante a realidade econômica dos mercados, de forma que o modelo produtivo da mamona necessita ser repensado em busca de mais competitividade.

É possível com melhor aproveitamento energético, numa política mais abrangente, a produção de mais energia a partir do fruto da mamoneira na forma de combustível sólido com menor custo e com maior potencial absoluto que o biodiesel por meio da briquetagem. O balanço energético do briquete é de 9,8 pontos, enquanto o do biodiesel é de 0,45 pontos. De acordo com a cadeia produtiva do modelo proposto, quando o processo de transesterificação produz 1 kg de biodiesel, outro processo integrado produz 3,3 kg de briquete. A quantidade de energia produzida em biocombustível sólido é 1,7 vezes maior, utilizando como fonte os resíduos da extração do óleo vegetal, gerados em processo antecedente.

Na geração de energia a partir de oleaginosas, o foco apenas na produção de combustível líquido com o óleo extraído da semente, o biodiesel, despreza parte significativa do poder calorífico presente na biomassa do fruto, descartando as cascas e subutilizando a torta como co-produto, farta massa ligno-celulósica e fonte energética alternativa. A produção de energia com eco-eficiência

aproveita integralmente a biomassa com geração zero de resíduo. O conteúdo nitrogenado da torta de mamona pode ser removido na forma de amônia e disponibilizado como co-produto passível de utilização na próxima lavoura, enquanto toda biomassa ligno-celulósica da torta é liberada para produção de combustível sólido, em mistura com os resíduos de casca do fruto. O balanço energético nesse caso, agregando todas as formas de energia produzida (briquete, biodiesel, glicerina e amônia) é de 1,13 pontos, com sustentabilidade financeira e econômica. A eficiência econômica e ecológica é comprovada com a produção de mais riqueza com os mesmos recursos naturais (energia solar, terra e água), ampliando sua produtividade, enquanto a prevenção ambiental pela não-geração de resíduos sólidos contribui para estabilização do nível atual de degradação.

A disponibilidade de uma fonte alternativa de energia térmica a partir do biocombustível sólido – briquete de mamona, deve ser avaliada quanto a possíveis usos em combustores substituindo parte do carvão mineral importado pelo setor siderúrgico (consumo equivalente a 11,3 x 10^6 tep); em termelétrica, no segmento auto-produtor cuja presença no mercado energético evoluiu em 9,8% entre 1994 e 2005 e cujo combustível prioritário é o GN, depois o carvão (BRASIL, 2006); considerada a possibilidade dessa fonte de energia ser utilizada no processo de aquecimento na cadeia produtiva do biodiesel; e como combustível para geração termelétrica no Nordeste, onde o percentual a universalizar é de 12,3 %, com disponibilidade para a rede pública.

A eficiência técnico-econômica também deve ser buscada no planejamento/projeto de unidades de processo (usinas), em maiores escalas de produção e em maior carga horária, com dois turnos de trabalho, pelo menos, de forma que o aumento da produtividade no processo reduza os custos de depreciação de equipamentos e instalações quando relacionados com a produção. Adicionalmente, a eco-eficiência deve ser perseguida no planejamento, contemplando logisticamente, a localização das unidades produtoras próximas ao máximo da lavoura e do mercado consumidor, com produção priorizada para as comunidades isoladas, objeto da universalização.

No âmbito da contribuição ambiental, a parcela relativa à mitigação das mudanças climáticas é expressiva pela redução das emissões estimada em 6,73 milhões de tCO_2./ano, diante da substituição de energia de fonte fóssil pela energia

renovável disponibilizada pela biomassa da mamona: fertilizante orgânico nitrogenado, combustível sólido para combustores e gaseificadores com fins termelétricos, óleo de mamona ou biodiesel para veículos automotores ou motores estacionários para fins de transporte e termelétricos.

Mais contribuição para mitigação das mudanças climáticas também é disponibilizada, por meio do seqüestro de carbono agregando mais área verde arbustiva, com o plantio de 1 milhão de hectares de mamona com capacidade estimada de reservação de 6,75 milhões tCO_2./ano.

Por fim, a maior contribuição resulta na materialização do princípio da prevenção ambiental com a não geração de resíduos sólidos, descartando os impactos ambientais negativos dos rejeitos sobre o meio ambiente, à saúde do trabalhador e do consumidor.

Além da não-geração de resíduo sólido, ou resíduo zero, e a extração da amônia da torta de mamona (mecanismos de prevenção ambiental), resultam outras contribuições para estabilização da degradação do meio ambiente. Em particular, a produção de mais energia renovável com os mesmos recursos disponibilizados. O princípio do aproveitamento integral dos ingredientes da estrutura das plantas Weaver (2000), contribuindo de maneira eco-eficiente para o desenvolvimento sustentável, é ilustrado na devolução do nitrogênio extraído da semente, como fertilizante para uma nova planta. Aqui, a perspectiva do ciclo fechado, reduz o emprego de insumos minerais fósseis.

Fomenta-se, que a tecnologia é ferramenta para a inovação com alternativas energéticas que possam atender demandas anteriores de energia fóssil, mesmo que com outras variedades minerais. A verdadeira inovação tecnológica, no entanto, é aquela que traz consigo a variante ecológica através da exploração de fontes renováveis que atendam parte da demanda energética e ao mesmo tempo contribua para a mitigação das mudanças climáticas. Com esse espírito, são as seguintes propostas e recomendações finais:

Mais prioridade e investimento em desenvolvimento de tecnologias sustentáveis para produção de energia com biomassa da mamona no semi-árido, principalmente, na fase agrícola, beneficiamento e extração de óleo. Nesse aspecto recomenda-se maior ênfase e mais esforços para o alcance de sustentação

tecnológica suficiente por meio de políticas públicas para um modelo de agricultura familiar que possa contribuir sem sacrifícios na produção de energia com biomassa dessa oleaginosa. É preciso modernização, acesso à informação e aos mercados.

Amparo à produção de energia a partir de biomassa da mamona através de políticas públicas de ciência, tecnologia e inovação baseadas na disseminação de informações, participação irrestrita de regiões e instituições públicas e privadas. O objetivo é a produção de fundamentação teórica e prática mais consistente e lastreada em quantidade representativa de estudos e experimentos, que apontem os gargalos da produção de biodiesel e as demais alternativas energéticas.

Por fim, propõe-se o desenvolvimento dos estudos e pesquisas específicos para os temas:

- processos para separação da fração nitrogenada da massa celulósica da torta de mamona e respectivo estudo de viabilidade;
- produção de biocombustível sólido – briquete, de biomassa do fruto da mamoneira, avaliação do seu potencial energético / poder calorífico e cálculo do balanço energético;
- produção de energia termelétrica à biocombustível sólido (briquete de biomassa de mamona) e avaliação de sua eficiência.

REFERÊNCIAS

ABOISSA ÓLEOS VEGETAIS. **Mamona**: indicações de mercado – unidade de negócios secativos. São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.aboissa.com.br> Acesso em: 15 fev. 2007.

ALMEIDA NETO, J.A. et al.. **Balanço energético de ésteres metílicos e etílicos de óleo de mamona**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande**. Anais**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD-ROM.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 1987. 48 p.

AZEVEDO, D.M.P.; LIMA, E.F. (ed.). **O Agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 350 p.

BELTRÃO, N. E. de M. et al. **Mamona:** árvore do conhecimento e sistemas de produção para o semi-árido brasileiro**.** Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2003a. (Circular Técnica 70). Disponível em: <http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/publicaçoes/CIRTEC70.PDF>. Acesso em: 02 de out. 2006.

_____. Modificações na bioquímica da planta da mamoneira, cultivar brs 188 Paraguacú, submetida ao estresse hídrico (deficiência e excesso). **Revista Brasileira de Oleaginosas Fibrosas**, Campina Grande, v.7, n.1, p.653-658, jan-abr. 2003b. Disponível em: http://www.cnpa.embrapa.br/ produtos/mamona/publicacoes/ARTIGO03.PDF. Acesso em: 24 nov. 2006.

BIODIESEL: aspectos atuais e viabilidade de aplicação - Indústria e Comércio de Equipamentos e Processos para Biodiesel LTDA. Disponível em: <http://www.petrobio.com.br>. Acesso em: 07 de out. 2006.

BIODIESELBR. **Fábricas** / **Usinas de Biodiesel**. Disponível em <http://www. biodieselbr.com/biodiesel/fábricas/usinas-biodiesel.htm.> Acesso em 09 de janeiro de 2007.

BON, J.H. **Solubilização das proteínas da mamona por enzimas proteolíticas**.

1977. 136p. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/plantas/**mamona**/referencias.htm>. Acesso em: 07 out. 2006.

BRANCO, Samuel M. **Ecossistêmica.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 202 p.

_____. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**; 2. ed. São Paulo: CETESB, 1978. p. 45, 351-431.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo – ANP. PORTARIA Nº 255: Estabelece a especificação do biodiesel puro a ser adicionado ao óleo diesel automotivo para testes em frotas cativas ou para uso em processo industrial específico nos termos da Portaria ANP nº 240, de 25 de agosto de 2003. Brasília 15 DE SETEMBRO DE 2003.

_____. Casa Civil da Presidência da República. **Programa Nacional de Produção de Biodiesel – PNPB:** histórico, situação atual e perspectivas. Rio de Janeiro. Grupo Gestor do Biodiesel. 2007. Apresentação de J. H. Accarini em Microsoft power point. Disponível em: <http://www.unhabitatrolac.org/ anexo>. Acesso em: 30 jan. de 2007

_____. Decreto de 2 de julho de 2003. Institui o Grupo de Trabalho Interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de óleo vegetal - biodiesel como fonte alternativa de energia, propondo, caso necessário, as ações necessárias para o uso do biodiesel. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, 03 jul. 2003a. Disponível em: < http://www6.senado.gov.br/sicon/PaginaDocumentos. action> Acesso em: 26 ago. 2006.

_____. Governo Federal. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB).** Brasília, jul. 2005b. Disponível em: < http://www.biodiesel .gov.br/programa.html> Acesso em: 26 ago. 2006.

_____. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, 14 jan. 2005a. Disponível em: < http://www6.senado.gov.br /sicon/PaginaDocumentos.action> Acesso em: 26 ago. 2006.

_____. Ministério de Minas e Energia.. Balanço Energético Nacional 2006: ano base 2005: Brasília: MME, 2006.

CANECCHIO FILHO, V.; FREIRE, E.S. Adubação da mamoneira: experiências preliminares. **Bragantia**, v.17, p.243-259, 1958.

CANECCHIO FILHO, V; ROCHA, J.L.V.; FREIRE, E.S. Adubação da mamoneira. III: experiências com doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio. **Bragantia**, v.22, p.765-775, 1963.

CLERY, P. **Green fuels challenge-submission for biodiesel and bioethanol**. [London]: BABFO British Association of Bio Fuels and Oils, 2001.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO**. Conjunturas agropecuárias**. Brasília, 2006. Disponível em:< http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: setembro de 2006.

_____. **Previsão e acompanhamento da safra 2002//2003** - QUARTO LEVANTAMENTO ABRIIL//2003. Brasília, 2003. Disponível em: <http://www.**conab**.gov.br/ **conab**web/download/safra/safra20022003lev04.pdf> Acesso em: 26 ago. 2006.

_____. **Previsão e acompanhamento da safra 2004//2005**. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/safra 20022003lev04.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2006.

COSTA, F.X. et al.; **Composição química da torta de mamona**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Energia e sustentabilidade - Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. s.p

DEMO, PEDRO. **Metodologia do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2000.

DUTRA, A. C.; ALMEIDA NETO, J. A. Uso da análise do ciclo de vida na avaliação das categorias ambientais efeito estufa e chuva ácida para diesel e biodiesel de OGR. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UESC, 9., 2003, Ilhéus. **Anais do ...** Ilhéus : EDITUS, 2003. p. 29-31.

EMBRAPA. **Julgar –** percepção do impacto ambiental. In: _____. Educação Ambiental. São Paulo, 2004. vol 4.

FERRARI, Roseli Aparecida; OLIVEIRA, Vanessa da Silva; SCABIO, Ardalla. Biodiesel de soja — Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php? script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000100004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 04 nov. 2006

FREIRE, R.M.M. Ricinoquímica. In: AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. (eds.).**O agronegócio da mamona no Brasil.** Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2001. p. 295-334. Disponível em: <http://www.cnpa.embrapa.br>. Acesso em: 26 ago. 2006.

_____. Características do óleo. In: MILANI, Máira **Cultivo da mamona**. 2. ed. Brasília: Embrapa Algodão, 2006. (Sistemas de Produção, 4). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cntpia.embrapa.br> Acesso em: 14 dez. 2006.

GARDNER JR., H.K. et al. Detoxification and deallergenization of castor beans. **The Journal of the American Oil Chemists Society.** v.37, p.142-148, 1960.

GRENPEACE. **O que é produção limpa ?** 2005. Disponível em: <http://www.greenpeace.org.br/duvidas/toxicos.php?PHPSESSID=07D5D95#9>. Acesso em: 20 nov. 2006.

HAMMER, Mark J. **Sistemas de abastecimento de água e esgotos**. Rio de Janeiro: LTC, 1979. p.49 e 513.

HEMERLY, F.X. **Mamona**: comportamento e tendências no Brasil. Brasília: Embrapa-DID, 1981. 69p. (EMBRAPA-DTC-Documentos, 2).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2006.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Análises e indicadores do agronegócio, São Paulo, v. 1, n. 9, set. 2006. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/index.php>. Acesso em: 20 nov. 2006.

JUNK, Wolfgang J.; MELLO, J. A. S. Nunes de. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estudos Avançados,** São Paulo, v. 4, n. 8, 1990. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141990000100010&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 11 nov. 2006.

KHALIL, C. N. Economicidade e sustentabilidade do processo de produção de biodiesel a partir da semente de mamona. **Cadernos de Altos Estudos, Biodiesel e Inclusão Digital**, Brasília, n.107, 2003. Disponível em: < http://www.camara.gov.br/internet/infdoc/Publicacoes/html/pdf/Biodiesel06a.pdf> Acesso em: 20 ago. 2006.

KIEHL, Edmar José. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Ceres, 1985. 492 p.

KIPERSTOK, Asher; MARINHO, Maerbal. O desafio desse tal de desenvolvimento sustentável: o programa de desenvolvimento de tecnologias sustentáveis da Holanda. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v.10, n.4, p.221-271, 2001.

LIMA, Paulo César Ribeiro. **Biodiesel:** um novo combustível para o Brasil. Brasília, DF, 2005. 31p.

_____. **O biodiesel e a inclusão social**. Brasília, DF, 2004. 31p. Disponível em: <http://www2.camara.gov.br/publicacoes/estnottec/tema16/pdf/2004_676_Estudo.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2006.

LIMA, Rosiane de Lourdes de Silva et al. Avaliação da Casca e da Torta de Mamona como Fertilizante Orgânico. CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., Campina Grande, PB, 2005. **[Anais eletrônico...]** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. Disponível em: <http://www.rbb.ba.gov. br/arquivo/303.pdf>. Acesso em: 20 set. 2006

LOBO, L. P. et al. Produção de Biodiesel a partir de Óleo de Mamona em Planta Piloto. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL, 1., 2006, Brasília. [**Anais eletrônicos...** Brasília, 2006. p. 263-268. Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br/docs/congressso2006/producao/plantapiloto31.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2007.

MARCATO, Miracyr Assis. Matriz energética e política energética. **Revista**

Engenharia Energia, n. 576, p. 73-82, 2006. Disponível em: < http://www.brasilengenharia.com.br/576/Artigo_Energia.pdf>. Acesso em: 27 out. 2006.

MAY, Peter H.; LUSTOSA, M.C.; VINHA, V. da. **Economia do meio ambiente:** teoria e prática. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. 318 p.

MIELNICZUK, J.. **Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas**. In: SANTOS, G.A; CAMARGO, F.A.O. (ed.), Fundamentos da matéria orgânica do solo - Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênesis, 1999. p. 1-8.

MOSHKIN, V.A.. **Castor**. New Delhi: Amerind, 1986. 315p.

MOTA, Cláudio J. A.; PERES, Sérgio; RAMOS, Luiz Pereira. **Seminário co-produtos do biodiesel [resumo]**. 02 jun. 2005. Disponível em: <http://www.**biodiesel**.gov.br/docs/resumo.PDF>. Acesso em: 26 set. 2006.

NAKAGAWA, J.; NEPTUNE, A. M. L.. Marcha de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na cultura da mamoneira (Ricinus communis L.) cultivar "Campinas". **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.** v. 28, p.323-337, 1971.

NOBRE, CARLOS.. **SOS planeta.** In: FANTÁSTICO : sua revista eletrônica. Programa de TV da Central Globo de Produções. 15 jan. 2006. Disponível em: <http://fantastico.globo.com/Jornalismo/Fantastico/0,,AA1114365-4005-0-0-22012006,00.html>. Acesso em: 30 out. 2006.

ODUM, Eugene P.. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434 p.

OLIVEIRA, A.S.; RIBEIRO, L.S. **Proposta revisada de critérios e indicadores de elegibilidade para avaliação de projetos candidatos ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL**. Brasília: SQA/MMA, 2002. p. 7-14, Disponível em: <http://www.centroclima.org.br/ccpdf/criterio.pdf>. Acesso em: 02 de out. 2006.

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

PARENTE, E. Jr.; BRANCO, P. T. C.. Análise comparativa entre etanol e metanol visando utilização como coadjuvante químico na produção de biodiesel. **Cadernos de Altos Estudos: O Biodiesel e a Inclusão Social**, n.75, 2003. Disponível em: < http://www.camara.gov.br/internet/infdoc/Publicacoes/html/ pdf/Biodiesel06.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2006.

PAULA NETO, F. L. ; CARVALHO, J. M. M.. Perspectivas para a cultura da mamona no Nordeste em 2006. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL. 44., Fortaleza–CE, 2006. **Anais...** Fortaleza: BNB, 2006. Disponível em: < http://www.bnb.gov.br /content/aplicacao/ETENE/Artigos/docs/perspectivas_mamona.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2007.

PETROBRAS. **Programa Tecnológico de Energias Renováveis**. Disponível em: <http://www2.petrobras.com.br/tecnologia/portugues/programas_

tecnologicos/proger.stm.> Acesso em: 14 dez. 2005.

PINDICK, Robert S.; RUBINFELD, Daniel L.. Microeconomia. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

RANGEL, Leonardo Paes. et al. Estudo da viabilidade técnica para geração de energia elétrica a partir dos resíduos da mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Energia e sustentabilidade - Anais.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 4p.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade. São Paulo: Manole, 2003. 324 p.

RURALNET. **Mamona**. Disponível em: <http://www.Ruralnet.com.br/ Oleaginosas/Mamona.htm>. Acesso em: 06 de set. 2006.

SANTOS, Adele Cristina Martins et al. Deficiência de nitrogênio na mamona (Ricinus communis L) – descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA –ENERGIA E SUSTENTABILIDADE, 1., Campina Grande, 2004. **[Anais eletrônico]...** Disponível em: <http://www.rbb.ba.gov.br/arquivo/225.pdf>. Acesso em: 15 set. 2006.

SARNO, Luciana. **Mamona**. Apresenta textos e imagens sobre a cadeia produtiva da mamona. Salvador: UNIFACS / Lageo, 2006. 1 disquete, 3 ½ pol. Microsoft power point.

SAVY FILHO, A. Mamoneira: técnicas de cultivo. **O Agronômico,** v 53, n. 1, 2001. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/oagronomico/531/53116-17_it_mamoneira.pdf >. Acesso em: 13 set. 2006.

_____.**Cultura da mamoneira**. 2005. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/Tecnologias/Mamona/Mamona.htm>. Acesso em: 10 nov. 2006.

SEVERINO, L. S. et al. **Fatores de conversão do peso de cachos e frutos para peso de sementes de mamona**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005b. 15p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 56). Disponível em: <http://www.cnpa.embrapa.br/publicacoes/2005/BOLETIM56.pdf>. Acesso em: 26 set. 2006.

_____. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra.** Campina Grande, v.5, n.1, 2004. 6p. Disponível em: <http://www.uepb.edu.br/eduep/rbct/sumarios/pdf/esterco.pdf>. Acesso em: 12 set. 2006.

_____.. **Adubação química da mamoneira com macro micro-nutrientes em Quixeramobim, CE**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005c. (Documentos 136). Disponível em: <http://www.cnpa.embrapa.br/publicacoes/ 2005/ BOLETIM61.pdf>. Acesso em: 26 set. 2006.

SEVERINO, L. S. **O que sabemos sobre a torta de mamona**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 31p.

SEVERINO, L.S. et al. . **Produção de Biodiesel e Geração de Energia Elétrica a partir de Óleo de Mamona em Quixeramobim/CE**. Campina Grande: Embrapa, 2005a. (Documentos 136). Disponível em: <http://www.cnpa.embrapa.br/publicacoes/2005/DOC136.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2006.

SILVA, Antonio Carlos Ribeiro da. **Metodologia da pesquisa aplicada à contabilidade**: orientações de estudos, projetos, artigos, relatórios, monografias, dissertações, teses. São Paulo: Atlas, 2003.

SISTEMA BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Sbrt671 - Briquetagem**. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <http://sbrt.ibict.br/>. Acesso em: 18 set. 2006.

SOUZA, S. M. N. de; SILVA, E. P da. Utilização da energia excedente junto a usina hidrelétrica de Itaipú para a síntese de amônia para fertilizantes nitrogenados. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Proceedings online...** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000200034&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 14 dez. 2006.

THE INTERNATIONAL CASTOR OIL ASSOCIATION. The processing of castor meal for detoxification and deallergenation. **Technical Bulletin**, Ridgewood, n.1, 1989. 75p.

TRUGO, N.M.F. **Isolamento e caracterização química e físico-química de alérgenos de mamona.** 1979. 110 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

WEAVER, P. et al. **Sustainable technology development**. Shefield: Greenleaf, 2000. v.1

WEISS, E.A. Castor. In: _____. **Oil seed crops**. London: Longman, 1983. p. 31-99.