

**Produção de Biodiesel e Geração de
Energia Elétrica a partir de Óleo de
Mamona em Quixeramobim, CE**



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Luis Carlos Guedes Pinto
Presidente

Silvio Crestana
Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Ernesto Paterniani

Hélio Tollini

Marcelo Barbosa Saintive

Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Silvio Crestana
Diretor-Presidente

José Geraldo Eugênio de França

Kepler Euclides Filho

Tatiana Deane de Abreu Sá

Diretores Executivos

Embrapa Algodão

Robério Ferreira dos Santos
Chefe Geral

Luiz Paulo de Carvalho
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Maria Auxiliadora Lemos Barros
Chefe Adjunto de Administração

José Renato Cortêz Bezerra
Chefe Adjunto de Comunicação, Negócio e Apoio



ISSN 0103-0205
Outubro, 2005

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Algodão

Documentos 136

O Produção de Biodiesel e Geração de Energia Elétrica a
partir de Óleo de Mamona em Quixeramobim, CE

Liv Soares Severino
Handerson Palma
Jörgdieter Anhalt
Ivo Carvalho de Albuquerque
Expedito Parente Júnior

Campina Grande, PB.
2005

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Algodão
Rua Osvaldo Cruz, 1143 – Centenário
Caixa Postal 174
CEP 58107-720 - Campina Grande, PB
Telefone: (83) 3315-4300
Fax: (83) 3315-4367
algodao@cnpa.embrapa.br
<http://www.cnpa.embrapa.br>

Comitê de Publicações

Presidente: Luiz Paulo de Carvalho
Secretária: Nívia Marta Soares Gomes
Membros: Cristina Schetino Bastos
Fábio Akiyoshi Suinaga
Francisco das Chagas Vidal Neto
Gilvan Barbosa Ferreira
José Américo Bordini do Amaral
José Wellington dos Santos
Nair Helena Arriel de Castro
Nelson Dias Suassuna

Supervisor Editorial: Nívia Marta Soares Gomes
Revisão de Texto: Liv Soares Severino
Tratamento das ilustrações: Geraldo Fernandes de Sousa Filho
Foto da capa: Raimundo Estrela Sobrinho
Editoração Eletrônica: Geraldo Fernandes de Sousa Filho

1ª Edição
1ª impressão (2005) 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

EMBRAPA ALGODÃO (Campina Grande, PB).

Produção de Biodiesel e Geração de Energia Elétrica a partir de Óleo de Mamona em Quixeramobim, CE, por Liv Soares Severino e outros. Campina Grande, 2005.

26p. (Embrapa Algodão. Documentos, 136).

1. Mamona-Biodiesel. 2. Mamona-Energia Elétrica. I. Severino, L.S. II. Palma, H. III. Anhalt, J. IV. Albuquerque, I.C. de. V. Parente Júnior, E. VI. Título. VII. Série.

CDD 633.85

© Embrapa 2005

Autores

Liv Soares Severino

M.Sc. Eng. Agr. da Embrapa Algodão, Rua Osvaldo Cruz 1143, Centenário,
58107-720 Campina Grande, PB. e-mail: liv@cnpa.embrapa.br

Handerzon Palma

Eng. Agr. de Produção, Gerente do Consórcio CEMP Energia, Av. Sen. Virgílio
Távora, 1701, Sala 1306, Fortaleza, CE, e-mail: handerzon@hlcbrasil.com.br

Jörgdieter Anhalt

Eng. Elet., Técnico do IDER, Rua Júlio Siqueira, 581, 60130-090 Fortaleza,
CE. e-mail: ider@matrix.com.br

Ivo Carvalho de Albuquerque

Eng. Elet., Técnico do IDER, e-mail: ider@matrix.com.br

Expedito Parente Júnior

Eng. Quim. Técnico da TECBIO, Rua Profº Rômulo Proença, s/n, Bloco A,
Galpão 1, 60451-970 Fortaleza CE. e-mail: tecbio@tecbio.com.br

Apresentação

A instalação de pequenas usinas para extração de óleo de mamona e produção de biodiesel é um tema muito discutido no momento atual em que se está estruturando o Programa Brasileiro de Biodiesel. Essas pequenas usinas permitem a agregação de valor ao produto ainda dentro da porteira, pelos produtores rurais e suas associações ou cooperativas. Permitem ainda, a descentralização da produção de biodiesel, evitando os custos e consumo de energia do transporte de matéria-prima para a indústria e depois a distribuição do combustível para os consumidores. Poderão também, ser utilizadas como modelo para produção de energia elétrica em comunidades isoladas, para onde a construção de linhas de transmissão se torna muito caro, sendo uma alternativa para produção local de energia elétrica.

Este documento apresenta uma experiência bem sucedida de produção de biodiesel na qual foi possível abranger todo o ciclo de produção que vai desde o plantio da matéria prima, que neste caso foi a mamona, até a geração e distribuição da energia elétrica para uma comunidade rural ainda não eletrificada. O texto também inclui as dificuldades encontradas e as carências tecnológicas do modelo de produção avaliado, para que em oportunidades futuras se possa aperfeiçoar seu funcionamento.

Robério Ferreira dos Santos
Chefe Geral da Embrapa Algodão

Sumário

Produção de Biodiesel e Geração de Energia Elétrica a partir de Óleo de Mamona em Quixeramobim, CE	11
Introdução	11
Fase Agrícola - Produção de Mamona	12
Fase Industrial – Extração de Óleo e Transesterificação.....	15
Fase Final - Geração de Energia Elétrica	21
Considerações Finais.....	25
Agradecimentos.....	26
Referências Bibliográficas	26

Produção de Biodiesel e Geração de Energia Elétrica a partir de Óleo de Mamona em Quixeramobim, CE

Liv Soares Severino
Handerson Palma
Jörgdieter Anhalt
Ivo Carvalho de Albuquerque
Expedito Parente Júnior

Introdução

O presente Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento surgiu do interesse de avaliar a viabilidade técnica da produção de energia elétrica a partir de biomassa. Com este intuito, um grupo de cinco PIES – Produtores Independentes de Energia: Ceará Geradora de Energia S.A., Parnamirim Energia S.A., Termoelétrica Potiguar S.A., Cummins Brasil Ltda. e Empresa de Energia Elétrica do Brasil Ltda, constituíram o Consórcio CENP Energia, o qual se propôs a implantar um projeto de pesquisa com objetivo de avaliar o ciclo completo de produção de energia elétrica a partir de biodiesel de mamona, abrangendo desde a produção da matéria prima, passando pela industrialização do biocombustível até a produção de energia elétrica em grupos-geradores. A proposta foi aprovada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e sua execução iniciou-se em novembro de 2003 e estendeu-se até outubro de 2004.

A execução do projeto foi feita por quatro instituições: o Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Energias Renováveis (IDER) que ficou

responsável pela coordenação e administração do projeto; a Embrapa Algodão responsável pela produção de mamona e toda a fase agrícola do projeto; o Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO), responsável pela especificação dos equipamentos, acompanhamento da extração de óleo e operação do motor alimentado com óleo de mamona *in natura*; e a Tecnologias Bioenergéticas Ltda (TecBio) responsável pelo projeto e operação da unidade de transesterificação para produção de biodiesel. As atividades agrícolas e industriais foram conduzidas na Fazenda Normal, localizada no Município de Quixeramobim-CE (Figura 1), pertencente ao Governo do Estado do Ceará e administrada pela EMATERCE. A geração de energia elétrica e distribuição aos domicílios foi feita na comunidade rural "Serrinha de Santa Maria", localizada no mesmo município.

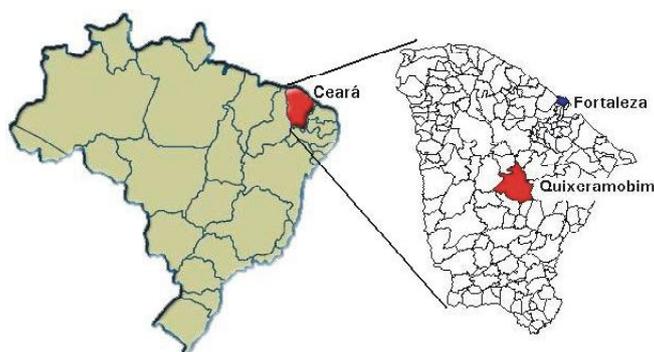


Fig. 1. Mapa de localização do município de Quixeramobim, CE.

Fase Agrícola - Produção de Mamona

A mão-de-obra para realização dos tratos culturais na lavoura foi contratada em um povoado nas proximidades da Fazenda Normal. O preparo da área de plantio iniciou-se em novembro de 2003, com a escolha do local, análise química do solo e limpeza do terreno. Previa-se que a operação de limpeza se estenderia até o mês de janeiro de 2004, porém a estação chuvosa naquele ano foi atípica e em meados de dezembro as chuvas impediram a continuidade do trabalho, motivo pelo qual a meta de preparo de 200 ha não pôde ser atingida, sendo desmatados apenas cerca de 70 hectares.

As chuvas permaneceram intensas durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, atrasando o plantio que deveria ter sido feito em janeiro. O excesso de água no solo impedia o trânsito de máquinas para o preparo do solo. O plantio da lavoura (Figura 2) iniciou-se na segunda quinzena de fevereiro/2004 e estendeu-se até a segunda quinzena de março.

Plantaram-se sementes de mamona da cultivar BRS 149 Nordestina, com fornecimento de fertilização química de fundação na dose de 10-60-40 de NPK e adubação de cobertura aos 45 dias após o plantio com 40 kg/ha de N. Como fonte de nutrientes utilizaram-se Sulfato de Amônio, Superfosfato Triplo e Cloreto de Potássio. O controle de plantas daninhas foi feito de forma manual, sem uso de herbicidas. Não ocorreram pragas ou doenças que justificassem a adoção de controle químico, realizando-se apenas o controle de formigas.



Fig. 2. Plantio manual da lavoura de mamona na Fazenda Normal, em fevereiro de 2004

Na condução da lavoura dois principais problemas foram observados. O primeiro foi o excesso de chuvas que causou o alagamento de significativa parcela da área. Como a mamoneira é muito sensível ao encharcamento do solo, grande parte da lavoura foi perdida ou teve desenvolvimento insatisfatório. O segundo problema foi a dificuldade para controle das plantas daninhas, as quais prejudicaram sensivelmente o desenvolvimento das plantas. Não se utilizou controle químico com herbicida por não haver recomendações técnicas de produtos e doses para a cultura da mamona. O controle foi feito a enxada, o que em alguns pontos não foi efetivo.

Considerando-se que parte da área plantada foi perdida por encharcamento e outra parte não foi plantada por impossibilidade de realização do preparo de solo, a área efetivamente colhida foi de 37 hectares. Obteve-se produtividade média de 510 kg/ha, valor bem abaixo da meta de 1.500 kg/ha, sendo que algumas áreas tiveram desenvolvimento satisfatório, sem a ocorrência dos problemas relatados (Figura 3).

Na mesma área, foram realizados experimentos com objetivo de avaliar os efeitos



Fig. 3. Lavoura de mamona com desenvolvimento satisfatório na Fazenda Normal em maio de 2004

da adubação mineral sobre a produtividade da mamoneira, a população de plantas adequada e para seleção de genótipos e avaliação de seu comportamento em baixa altitude. Como resultado desses trabalhos, observou-se que a adubação mineral é fundamental, pois sem qualquer fertilização, a produtividade foi de 1.072 kg/ha, enquanto com adubação subiu para 2.298 kg/ha (SEVERINO et al., 2005). Quanto ao espaçamento entre linhas de plantio, observou-se que a redução de 3m

(normalmente recomendado) para 2m possibilitou aumento da produtividade. Quanto aos genótipos avaliados, observou-se a viabilidade de obtenção de produtividade satisfatória em locais abaixo de 300m de altitude.

Quando a cultivar plantada não é indeiscente, a colheita da mamona precisa ser parcelada em três ou mais passagens e inicia-se quando pelo menos o primeiro cacho já se encontra seco. Essa operação se realizou entre os meses de julho e setembro. Os cachos foram levados para secar sobre lonas pretas estendidas em vários pontos dentro da lavoura e os frutos foram manualmente separados dos talos dos cachos.

A operação de retirada das sementes de dentro dos frutos (beneficiamento ou descasque) pode ser feita a manualmente, o que exige grande quantidade de mão-de-obra, ou mecanicamente. No presente projeto, optou-se por beneficiamento mecânico. Inicialmente, a máquina fabricada pela empresa ECIRTEC, estacionária e movida a motor elétrico (Figura 4) não apresentou bom funcionamento por quebrar muita semente, alto percentual de frutos não descascados (marinheiros) e exigir constantes regulagens e troca dos discos de borracha, o que causa baixa eficiência e alto custo de manutenção. Testou-se então uma outra máquina fabricada pela empresa GSDOURADO, sem discos de borracha e acoplada



Fig. 4. Descascador de mamona, marca ECIRTEC, estacionário, com motor elétrico e discos de borracha.

ao trator (Figura 5), o que possibilita o beneficiamento dentro da lavoura (evitando o transporte dos frutos) e 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%. Parte das sementes quebradas foram eliminadas junto com a casca do fruto, representando uma perda já que essa fração não pode ser posteriormente separada do resíduo.

As principais conclusões sobre a fase agrícola foram:

- o plantio de mamona para produção de biocombustíveis mostrou-se viável;
- no planejamento de um projeto de produção de energia devem ser considerados os riscos inerentes à atividade agrícola, os quais fazem a produtividade oscilar em uma larga faixa, podendo provocar excesso ou falta de matéria prima; os riscos envolvem fatores climáticos (excesso, escassez, irregularidade e imprevisibilidade da chuva), ocorrência de pragas e doenças e carências tecnológicas;
- as principais carências tecnológicas observadas foram: resistência ao encharcamento; uso de herbicidas para controle de plantas daninhas; máquinas para descascamento

Fase Industrial – Extração de Óleo e Transesterificação

A unidade industrial para extração de óleo e transesterificação foi instalada em um galpão medindo 10 x 15m. Na unidade de extração de óleo foram instalados os seguintes equipamentos: descascador de frutos de mamona, cozinhador, prensa, decantador, aquecedor, filtro-prensa e triturador de torta. O fluxograma de instalação desses equipamentos está apresentado na Figura 6. Todos os equipamentos da usina de extração de óleo foram fabricados pela empresa ECIRTEC.



Fig. 5. Descascador de mamona, marca GSDOURADO, móvel, acionado pelo trator e sem discos de borracha.

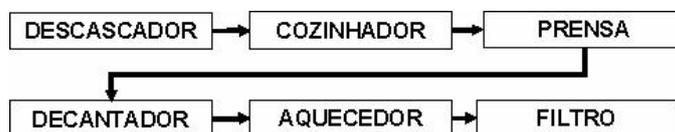


Fig. 6. Fluxograma do funcionamento das máquinas instaladas na mini-usina de extração de óleo em Quixeramobim, CE.

Os equipamentos não se mostraram apropriados para um bom funcionamento e rendimento da extração de óleo de mamona. O descascador, já relatado na fase agrícola, apresentou desgaste de peças muito rápido e prejudicou a qualidade da matéria prima.

O aquecimento da semente, feito no cozinhador (Figura 7), mostrou-se a fase crítica do processo, pois o equipamento funciona com aquecimento direto (queima de lenha debaixo do equipamento) o que impede um eficiente controle de temperatura. O aquecimento é necessário para a redução da viscosidade do óleo e aumento da eficiência de extração da prensa, sendo considerada ideal a temperatura em torno de 80°C. No entanto, esse equipamento estava submetendo as sementes a temperaturas excessivas e possivelmente por longo tempo, o que provocava grande diminuição da qualidade do óleo obtido, o qual estava muito escuro. A cor escura do óleo é um sinal da presença de contaminantes. Essa baixa qualidade do óleo também se refletiu sobre a qualidade do biodiesel. Ao se detectar a ocorrência desse 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.



Fig. 7. Cozinhador utilizado para aquecimento das sementes

O funcionamento da prensa (Figura 8) foi satisfatório, exigindo apenas constante regulagem para se manter eficiente. Na calha lateral que coleta e conduz o óleo extraído para o decantador acoplou-se uma tela que realiza uma pré-filtragem para retirada de partículas mais grosseiras, facilitando os processos seguintes. A torta produzida não apresentou textura que necessitasse passar pelo triturador,

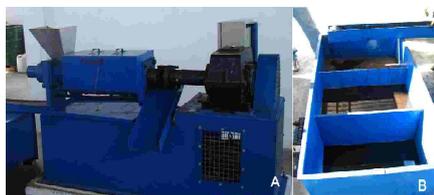


Fig. 8. Prensa para extração do óleo (A) e decantador para separação das impurezas maiores (B).

podendo ser facilmente manejada para ensacamento e armazenamento. O processo de extração apenas por prensagem ainda deixa grande quantidade de óleo na torta, o que diminui a eficiência de extração da usina. Essa eficiência poderia ser obtida complementando-se com uma extração por solvente, o que só é viável para indústrias de grande porte.

O decantador (Figura 8) apresentou eficiência muito baixa, pois o óleo de mamona é muito viscoso e as partículas em suspensão não se decantam. Essa baixa eficiência prejudicou sensivelmente a operação seguinte (filtragem), pois o óleo seguia com grande quantidade de partículas em suspensão, as quais se esperava serem retiradas pelo decantador. O pouco de sedimentos separados nesse processo é retirado contendo grande quantidade de óleo o que representa mais um desperdício do principal produto e contribuiu para redução da eficiência de extração da usina.

O aquecedor é um equipamento utilizado para aumentar a temperatura do óleo, reduzindo sua viscosidade para facilitar a filtragem. No entanto, o aquecedor utilizado produzia calor a partir de energia elétrica, de forma que o consumo dessa forma de energia se tornou muito alto. Um aperfeiçoamento necessário nessa fase do processo de extração seria trocar o mecanismo de produção de calor por uma fonte de energia mais barata, como lenha, óleo combustível ou gás natural. Para isso, possivelmente seria necessário instalar uma pequena caldeira.

Devido ao problema relatado no decantador e à alta viscosidade do óleo de mamona, a eficiência do filtro-prensa foi muito prejudicada (Figura 9). Esperava-se velocidade de filtragem de 40 l/h, mas obteve-se algo em torno de 15 a 20 l/h. A



Fig. 9. Detalhe da saída do óleo do filtro prensa.

bomba que força a passagem de óleo pela prensa precisou ser adaptada para aumentar a pressão de trabalho. O maior tempo de funcionamento devido à baixa velocidade de filtragem contribuiu para o aumento do consumo de energia elétrica. O excesso de impurezas dentro do óleo exigia a limpeza do filtro em frequência maior que o normal (a cada 30 a 60 minutos), tornando o processo lento e ineficiente. O material retirado do óleo pela filtragem constitui-se um co-produto contendo um pouco de óleo, o qual foi misturado ao resíduo retirado do decantador.

O óleo a ser utilizado para produção de biodiesel deveria ser refinado, mas essa estrutura não foi montada e a menor qualidade do óleo se refletiu diretamente no biodiesel produzido. O refinamento incluiria as etapas de degomagem, neutralização e branqueamento.

Embora a semente de mamona contenha cerca de 47% de óleo, o rendimento de extração foi de apenas 35%, devido às perdas relatadas nas diversas fases descritas. A operação e manutenção da usina, incluindo também a usina de transesterificação, foi realizada por 4 operadores e 1 supervisor, trabalhando em um único turno. O custo de implantação da unidade de extração de óleo foi de R\$ 97.889,63, incluindo a compra dos equipamentos, construção do galpão e instalações necessárias.

A Unidade de Transesterificação (Figura 10) foi projetada e construída sob supervisão da empresa Tecnologias Bioenergéticas – TecBio, com capacidade para 240 l/dia, ao custo de R\$ 129.874,20. A unidade continha as seguintes facilidades: circuito de resfriamento de água; circuito de óleo térmico; desumidificação do óleo *in natura*; 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. A unidade tem capacidade para produção de 240 l/dia de biodiesel, sendo operada pela mesma equipe responsável pela mini-usina de extração de óleo.



Fig. 10. Usina de transesterificação com capacidade para 240 l/dia.

Para cada 1.000 litros de biodiesel

produzidos, foram consumidos 286 litros de metanol, 5 kg de hidróxido de sódio e 6,6 l de ácido sulfúrico e foram gerados 110 litros de glicerina bruta.

O biodiesel produzido atendeu às especificações mínimas para o produto, exceto para as características viscosidade e densidade, as quais são definidas pelas características da matéria prima e não do processo de transesterificação. A qualidade do biodiesel depende diretamente da qualidade do óleo utilizado e, como se estava utilizando um óleo bruto, a presença de contaminantes compromete a qualidade final do biodiesel.

O ideal seria utilizar óleo refinado. Para ser refinado, o óleo ainda precisaria passar pelas operações de degomagem e clarificação e talvez neutralização, o que implicaria na instalação de novos equipamentos, maior investimento e maior consumo de energia.

O óleo utilizado como matéria prima continha elevado teor de contaminantes. Conforme resultados da análise do óleo e do biodiesel apresentada na Tabela 1, as características dependentes do processo de transesterificação foram obtidas, mas não se obteve adequação quanto à pureza, pois esta depende do processo de refinamento. Contaminantes como o fósforo e o enxofre poderiam ser eliminados se houvesse a degomagem. A baixa acidez do óleo (0,6%)

Tabela 1. Resultado da análise do óleo e do biodiesel produzido na mini-usina de extração e transesterificação.

Característica	Unidade	Óleo de mamona	Biodiesel
Acidez Livre	%	0,6	1,6
Cinzas Sulfatadas	%	0,02	0,03
Densidade	g/cm ³	0,9387	0,8363
Fósforo	mg/kg P	124	120
Glicerina Total	%	0,77	0,68
Índice de Iodo	%	87,7	85,7
Índice de Refração	-	1,4785	1,4650
Índice de Saponificação	%	19,0	17,5
Poder Calorífico Inferior	Kcal/kg	8161	6145
Poder Calorífico Superior	Kcal/kg	8263	6246
Teor de Cinzas 550 °C	%	0,01	0,02
Teor de Enxofre	ppm	4,7	12,4
Viscosidade a 25 °C	mPas.s	5800	400

* análises feitas pelo Centro de Qualidade Analítica - CQA Laboratórios.

demonstra a boa qualidade da semente, sendo este fator muito importante para o processamento do óleo, pois acidez alta dificulta o processo de transesterificação devido à formação de sabão.

Algumas inclusões precisam ser feitas na unidade de transesterificação para reduzir o consumo de energia, melhorar a qualidade e eficiência do processo e possibilitar o aproveitamento da glicerina: 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 em substituição às resistências elétricas que contribuem para o aumento do consumo de energia.

A glicerina é um importante resíduo da fase de transesterificação e embora este produto seja extensivamente utilizado na indústria química, ele é obtido em estado bruto contendo grande teor de impurezas e precisa ser destilado para que obtenha valor comercial. Como a quantidade produzida é muito pequena, talvez não haja viabilidade financeira para instalação de uma coluna de destilação.

A indústria não produz efluentes que demandem preocupações do ponto-de-vista ambiental, apenas águas de lavagem contendo pequeno teor de sabão, substância facilmente biodegradável.

Um importante detalhe da implantação das usinas de extração de óleo e transesterificação é a necessidade de atender à legislação ambiental o que inclui a solicitação de licenças ambientais para implantação da unidade industrial e licença para transporte de materiais perigosos utilizados no processo: metanol e ácido sulfúrico.

As principais conclusões da fase industrial foram:

- a extração e transesterificação de óleo em mini-usinas é tecnicamente viável;
- o principal problema detectado foi o excessivo consumo de energia elétrica nas duas fases do processo;
- os equipamentos utilizados na extração de óleo de outras sementes precisam receber adaptações para que possam processar mamona;
- a unidade de extração precisa de estrutura de refino para produzir óleo com a qualidade exigida;

- o rendimento de extração de uma mini-usina é baixo (aproximadamente 35%) devido à ineficiência do processo de prensagem (que não é complementado por extração por solvente) e perda de óleo junto com o resíduo do decantador e da borra de filtração;
- devido ao alto consumo de energia elétrica, é preciso otimizar os processos e utilizar fontes de energia mais baratas, principalmente para obtenção de calor através de queima de lenha, gás, óleo, biodiesel ou mesmo de alguns resíduos produzidos na própria usina, como casca dos frutos, glicerina e borra de filtração;
- o aproveitamento dos resíduos produzidos na indústria é fundamental para destinação desses materiais e geração de receitas; os principais resíduos são: casca dos frutos, torta de mamona, resíduo de decantação + borra de filtração e glicerina;
- a glicerina produzida no processo contém alto teor de impurezas e só tem valor comercial após ser destilada, não havendo equipamento para essa operação na unidade industrial utilizada.
- o manuseio de substâncias químicas tóxicas e poluentes é um risco que deve ser considerado; as pessoas que manipulam o produto devem receber adequada instrução e a mini-usina precisa ter estrutura para seu manuseio.

Fase Final - Geração de Energia Elétrica

Dois grupos-geradores foram instalados, sendo um deles localizado na Fazenda Normal e o outro localizado na "Serrinha de Santa Maria". O grupo-gerador instalado na sede da Fazenda Normal foi alimentado com óleo de mamona *in natura*, sendo ligado à rede de distribuição convencional através de uma chave de intertravamento, de forma que a fazenda podia ser alimentada por alguns períodos do dia com a energia produzida por este grupo gerador, retornando ao abastecimento convencional em seguida. O grupo-gerador instalado na Serrinha de Santa Maria foi movido a biodiesel puro (B100). Utilizaram-se motores da marca Cummins.

Para o grupo-gerador que foi abastecido com óleo de mamona *in natura* (Figura 11) foi preciso o desenvolvimento de um kit de conversão o qual aquecia o óleo antes de sua entrada no motor, o que permite redução da viscosidade,



Fig. 11. Grupo-gerador Cummins movido a óleo de mamona *in natura* utilizando kit de conversão, instalado na Fazenda Normal, Quixeramobim, CE.

permitindo funcionamento normal. No entanto, é necessário que o motor inicie e finalize seu funcionamento com biodiesel. No início, o biodiesel precisa ser usado para que se produza calor suficiente para aquecer o óleo de mamona e no final, para evitar que o motor esfrie contendo óleo em seu interior, o que provocaria entupimentos e danos aos componentes. Para isso, permitia-se que nos 15 primeiros e últimos minutos o funcionamento fosse feito com o biodiesel de mamona.

Na comunidade Serrinha de Santa Maria, que ainda não era eletrificada, foi construída toda a estrutura de produção e distribuição da energia elétrica. Além da instalação do grupo-gerador (Figura 12), foi construído um galpão para abrigar o motor e uma rede de distribuição trifásica em Baixa Tensão (220/380V) e Média Tensão (13,8kV), apresentada na Figura 13. A energia elétrica foi fornecida para 26 residências, uma escola e uma casa sede (Centro Comunitário). Em cada domicílio foram em média instalados 6 pontos de luz. Inicialmente havia poucos aparelhos eletrodomésticos como TV, rádios, liquidificadores e geladeiras, os quais foram sendo adquiridos aos poucos após a chegada da energia. A tensão da rede de distribuição foi medida em alguns pontos-chave e considerada dentro dos padrões exigidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

Na Figura 14 se visualizam moradores da Comunidade Serrinha de Santa Maria realizando atividades sob iluminação elétrica recém-instalada. De comum acordo com os moradores da comunidade, o IDER



Fig. 12. Grupo-gerador Cummins movido a biodiesel de mamona instalado na Serrinha de Santa Maria, Quixeramobim, CE

solicitou que se criasse e fosse mantido um fundo rotativo para operação e manutenção do sistema. Cada família concordou em contribuir mensalmente com a quantia de R\$ 6,00 para pagamento de R\$ 100,00 aos jovens que operavam o motor, sendo o restante utilizado para cobrir eventuais custos de manutenção. Os operadores do motor foram devidamente instruídos sobre procedimentos operacionais e de segurança pelo IDER. O motor foi constantemente submetido aos procedimentos de manutenção preventiva, como troca de lubrificantes e filtros.

A produção de energia elétrica na comunidade teve início no dia 16/09/2004, sendo fornecida apenas durante 3,5 horas a cada dia, entre 17:45h e 21:15h. Durante os primeiros 44 dias de funcionamento, o motor funcionou por 177 horas e foram consumidos 625 litros de combustível, gerando-se 385 KWh. O consumo médio foi muito baixo, pois como



Fig. 13. Rede de distribuição de eletricidade construída na Comunidade Serrinha de Santa Maria



Fig. 14. Atividades manuais sendo realizadas à noite com iluminação utilizando energia elétrica gerado a partir de biodiesel de mamona. Serrinha de Santa Maria Quixeramobim, CE.

anteriormente não havia fornecimento de energia elétrica, durante os 44 dias analisados as casas possuíam poucos eletrodomésticos. Como o grupo-gerador funcionou com baixa carga sua eficiência foi muito pequena, consumindo 1.623 l/MWh. Se o gerador estivesse funcionando com 75% de sua potência máxima, o consumo seria de apenas 298 l/MWh.

O cálculo do balanço energético da produção de biodiesel resultou muito desfavorável, devido aos coeficientes de baixa eficiência do grupo-gerador que estava sendo movido em baixa carga e ao alto consumo de energia no processo de extração de óleo e transesterificação. Para produção de 1 MWh de energia foram consumidos 1.623 litros de biodiesel. Para fabricar essa mesma quantidade de biodiesel foram consumidos 1,39 MWh de energia na usina de extração e transesterificação. Portanto, se gastou 39% mais energia no processo do que se consegue produzir com a queima do combustível. Porém, reforça-se que este rendimento foi baixo porque o grupo-gerador estava funcionando em baixa carga o que lhe torna ineficiente.

Esse indicador seria ainda mais alarmante se fosse feita uma análise de Ciclo de Vida do Biodiesel e se considerarmos os gastos energéticos na fase agrícola para fabricação de fertilizantes e outros insumos, abastecimento de tratores e ainda o transporte de matéria prima e biodiesel entre a lavoura, armazéns, usina e local de consumo. Como atenuante, se o grupo-gerador estivesse funcionando a plena carga, a eficiência de conversão seria muito mais favorável. Na análise do ciclo de vida do biodiesel feita por Almeida Neto et al. (2004), considerando o aproveitamento total da energia contida no biodiesel de mamona, a relação entre energia produzida e consumida (*Output/Input*), resulta em valores variando de 2,0 a 2,9 de acordo com a produtividade da lavoura e da rota de síntese do biodiesel (etílica ou metílica). A maior parte da energia é consumida na fase agrícola, notadamente pelo uso de fertilizantes nitrogenados, que são produzidos por processo de uso intensivo de energia. Para melhoria dessa eficiência é fundamental o aumento da produtividade agrícola e uso racional de insumos, principalmente fertilizantes e herbicidas.

Devido à presença de impurezas no combustível, houve um problema na bomba injetora do motor movido a biodiesel, fazendo-se necessário a troca dos filtros de combustível em frequência maior que a recomendada pelo fabricante. Este problema está relacionado ao processo de produção, mas pode ser facilmente resolvido pela melhoria na fase de filtragem do combustível.

As principais conclusões da fase de eletrificação foram:

- o funcionamento do grupo-gerador abastecido com óleo de mamona *in natura* é viável desde que se instale o kit de conversão. No entanto, ainda é preciso avaliar a durabilidade do motor após maior tempo de funcionamento com este combustível.

- o funcionamento do grupo-gerador movido a biodiesel não apresentou problemas relevantes no período avaliado, exceto um problema na bomba injetora provocado pela presença de impurezas no combustível.
- A distribuição da energia não apresentou qualquer problema relacionado ao processo de produção e distribuição.
- o balanço energético do processo foi muito desfavorável devido ao funcionamento do motor em baixa carga e ao alto consumo de energia elétrica na fase industrial.

Considerações Finais

O projeto foi executado com sucesso, tendo se atingido o objetivo final de disponibilizar energia elétrica a uma comunidade utilizando biodiesel de mamona como combustível. Entre os resultados obtidos, destaca-se a comprovação da viabilidade técnica do sistema, assim como a detecção dos aspectos que precisam ser aperfeiçoados para que ele possa ser replicado em outras localidades de forma auto-sustentável. Observaram-se diversos aspectos que carecem de aperfeiçoamento tecnológico.

A produtividade da lavoura de mamona foi muito baixa, atingindo apenas 1/3 da meta inicialmente estipulada. Embora fatores climáticos tenham contribuído para este resultado, também houve carências tecnológicas como sementes adaptadas à região, preparo do solo, fertilização mineral, uso de herbicidas para controle de plantas daninhas, colheita e secagem.

O processo de descascamento foi pouco eficiente, ora deixando grande percentual de sementes não descascadas (marinheiros), ora quebrando muitas sementes o que prejudica a qualidade do óleo, principalmente após o armazenamento. A baixa eficiência do descascamento pode ser atribuída tanto a deficiências dos equipamentos quanto a regulagens nas máquinas e inadequado preparo dos frutos a serem descascados, como grau de maturação no momento da colheita e teor de umidade.

Para que o projeto aqui apresentado seja replicado em outros locais será necessário realizar melhorias técnicas na usina de extração de óleo, visando adequá-la ao processamento de óleo de mamona. Possivelmente os equipamentos foram projetados para extração de óleo de menor viscosidade,

necessitando de adaptações para se adequar ao óleo de ricino. As adaptações também devem visar à diminuição do consumo de energia elétrica, optando pela produção de calor pela queima de biomassa como lenha ou resíduos da própria usina como a casca da mamona e também aumentando a eficiência dos equipamentos movidos a energia elétrica.

Embora o presente projeto sirva de modelo para implantação de unidades similares em outros locais, é preciso atentar para que a execução de um sistema como o aqui apresentado é estritamente dependente de mão-de-obra especializada para planejamento e gerenciamento, além de assistência técnica específica para cada fase. Portanto, deve-se considerar que o funcionamento de um projeto similar em um local que não disponha de um efetivo apoio técnico-gerencial seria seriamente prejudicado, ao menos com o nível tecnológico disponível atualmente.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e às instituições que participaram da elaboração e execução do projeto: Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Energias Renováveis - IDER, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, Tecnologias Bioenergéticas – TECBIO/PADETEC e Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO.

Agradecem ainda aos parceiros institucionais: Fazenda Normal/EMATERCE, Secretaria de Infra-estrutura do Estado do Ceará - SEINFRA e Prefeitura Municipal de Quixeramobim.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA NETO, J.A.; CRUZ, R.S. da; ALVES, J.M.; PIRES, M. de M.; PARENTE JÚNIOR, E.. 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.

SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R. de A.; GONDIM, T.M. de S.; SALDANHA, W.A.; CASTRO, D.A.; CARDOSO, G.D.; BELTRÃO, N.E. de M. Adubação química da mamoneira com macro e micronutrientes em Quixeramobim, CE. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 25p. (Embrapa Algodão, Boletim de Pesquisa, 61).

Embrapa

Algodão



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

