

DIEGO DE PAULA TOLÊDO

**ANÁLISE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DE MACAÚBA E  
DE PINHÃO-MANSO COMO ALTERNATIVAS DE AGREGAÇÃO DE  
RENDA NA CADEIA PRODUTIVA DE BIODIESEL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2010

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFRV**

T

T649a  
2010

Tolêdo, Diego de Paula, 1983-

Análise técnica, econômica e ambiental de macaúba e de  
pinhão-mansão como alternativas de agregação de renda na  
cadeia produtiva de biodiesel / Diego de Paula Toledo.

– Viçosa, MG, 2010.

xi, 92f. : il. ; 29cm.

Orientador: Laércio Antonio Gonçalves Jacovine.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Energia - Fontes alternativas. 2. Biodiesel. 3. Pinhão -  
Aspectos econômicos. 4. Pinhão - Aspectos ambientais.  
5. Macaúba - Aspectos econômicos. 6. Macaúba -  
Aspectos ambientais. 7. Efeito estufa (Atmosfera).  
8. Mudança de temperatura global. I. Universidade Federal  
de Viçosa. II. Título.

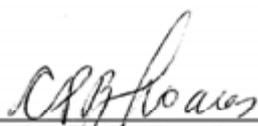
CDO adapt CDD 634.9262

DIEGO DE PAULA TOLÊDO

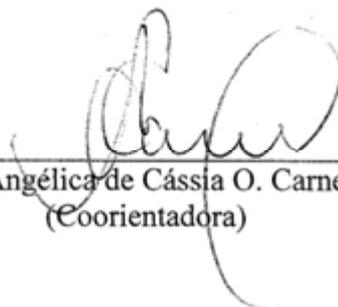
**ANÁLISE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DE MACAÚBA E  
DE PINHÃO-MANSO COMO ALTERNATIVAS DE AGREGAÇÃO DE  
RENDA NA CADEIA PRODUTIVA DE BIODIESEL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em *Ciência Florestal*, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

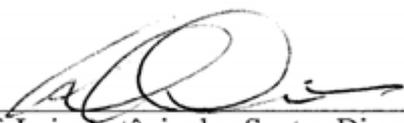
APROVADA: 24 de fevereiro de 2010.



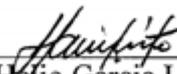
Prof. Carlos Pedro Boechat Soares  
(Coorientador)



Prof.ª Angélica de Cássia O. Carneiro  
(Coorientadora)



Prof. Luiz Antônio dos Santos Dias



Prof. Hélio Garcia Leite



Prof. Laércio Antônio Gonçalves Jacovine  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela dádiva da vida.

À Universidade Federal de Viçosa e ao do Departamento de Engenharia Florestal (DEF), pela estrutura disponibilizada para a realização deste estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado e pelo financiamento do projeto EDITAL CT-AGRONEGÓCIO/CT-BIOTECNOLOGIA/MCT/CNPq nº 39/2007.

Ao professor Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, pela orientação, confiança, liberdade e amizade.

À professora Angélica de Cássia Carneiro e aos professores Carlos Pedro Boechat Soares e Hélio Garcia Leite, pela orientação e pelo incentivo.

Ao professor Luis Antonio dos Santos Dias, pela disponibilidade de participar da banca examinadora.

Ao professor Benedito Rocha Vital e à professora Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, por disponibilizarem o Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) para as análises necessárias.

Ao “Machado”, funcionário da Silvicultura, por todo auxílio dispensado durante a coleta de dados no campo.

Aos funcionários do LAPEM, “Seu Maninho”, “Zé Maria” e “Moiado”, por todo auxílio nas atividades do laboratório.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, pela valiosa ajuda nos momentos de necessidade.

Aos companheiros do LAPEM, Fábio, Marco Túlio, Solange, Carla e Zaíra, pelos ensinamentos das rotinas laboratoriais.

Aos bolsistas, estagiários e amigos que me ajudaram nas medições de campo e nos testes no LAPEM, Mariana, Juliana, Carlos, Fernando, Raul, Victor, Rogério e, em especial, ao doutorando Ricardo de Oliveira Gaspar, que foi mais um “coorientador”.

Aos membros do Grupo de Estudos de Economia Ambiental (GEEA), pelos conselhos, pelas críticas e pelas sugestões durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos produtores Paulo Afonso, de Viçosa, MG, e Syneas Campelo e Daniel Campelo, de Jequitibá (MG), por disponibilizarem suas propriedades para a realização dos estudos de campo.

Aos meus pais, pelos ensinamentos, pela dedicação, pelo amor e pelo apoio irrestrito durante minha vida.

À cidade de Viçosa, que me acolheu durante sete anos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

DIEGO DE PAULA TOLÊDO, filho de Edson Tolêdo e Lima e de Luciane Antônia de Paula Tolêdo, nasceu em 14 de fevereiro de 1983, em Santos Dumont, Estado de Minas Gerais.

Em 2000, concluiu o 2<sup>o</sup> grau no Colégio Cristo Redentor (Academia de Comércio), em Juiz de Fora, Minas Gerais.

Em 2003, ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em 2008.

Em 2008, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa, em nível de Mestrado, defendendo a dissertação em 24 de fevereiro de 2010.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Mudanças climáticas e meio ambiente.....	4
2.2. As políticas sobre as mudanças climáticas.....	6
2.3. O Protocolo de Kyoto.....	7
2.4. Mercado de créditos de carbono.....	8
2.5. Fixação de carbono pelas florestas.....	9
2.6. O pinhão-manso.....	10
2.7. A macaúba.....	13
2.8. Biodiesel.....	15
2.9. Briquetagem.....	17
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19
Artigo 1	
Quantificação dos estoques de biomassa e carbono em um povoamento de <i>Jatropha curcas</i> L., no município de Viçosa, MG.....	25
Resumo.....	25
Abstract.....	26
1. Introdução.....	27

	<b>Página</b>
2. Material e métodos.....	28
2.1. Caracterização da área de estudo .....	28
2.2. Quantificação da biomassa arbórea .....	29
2.3. Equações de biomassa e estimativa da biomassa ao longo dos anos.....	31
2.4. Estimativa do estoque de carbono e conversão do carbono em CO <sub>2</sub> equivalente .....	32
3. Resultados e discussão .....	33
4. Conclusões .....	40
5. Referências bibliográficas.....	41

### Artigo 2

Quantificação dos estoques de biomassa e carbono em um povoamento de <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart, no município de Jequitibá, MG .....	43
Resumo .....	43
Abstract.....	44
1. Introdução .....	45
2. Material e métodos.....	46
2.1. Caracterização da área de estudo .....	46
2.2. Dados e análises.....	49
2.3. Densidade básica do estipe .....	52
2.4. Estoque de carbono e conversão do carbono em CO <sub>2</sub> equivalente .....	53
3. Resultados e discussão.....	54
4. Conclusões .....	60
5. Referências bibliográficas.....	60

### Artigo 3

Produção de briquetes de resíduos de <i>Jatropha curcas</i> L. e <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart em mistura com partículas de <i>Eucalyptus</i> sp. ....	62
Resumo .....	62
Abstract.....	63
1. Introdução .....	64
2. Material e métodos.....	65
2.1. Caracterização do material.....	65
2.2. Produção dos briquetes .....	65
2.3. Delineamento experimental e análise estatística .....	66
2.4. Propriedade dos briquetes .....	67
3. Resultados e discussão.....	68
4. Conclusões .....	75
5. Referências bibliográficas.....	75

Artigo 4

Análise econômica do extrativismo de macaúba ( <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart): simulação de uma unidade de multiprodutos .....	77
Resumo .....	77
Abstract .....	78
1. Introdução .....	79
2. Material e métodos.....	80
2.1. Cenário estudado.....	80
2.2. Composição dos custos .....	80
2.3. Composição das receitas .....	84
3. Resultados e discussão .....	85
4. Conclusões .....	88
5. Referências bibliográficas.....	89
4. CONCLUSÕES GERAIS .....	91

## RESUMO

TOLÊDO, Diego de Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010.  
**Análise técnica, econômica e ambiental de macaúba e de pinhão-manso como alternativas de agregação de renda na cadeia produtiva de biodiesel.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Coorientadores: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro e Carlos Pedro Boechat Soares.

Com o aumento da concentração de gases na atmosfera, o efeito estufa vem se agravando e ocasionando a elevação da temperatura global, principalmente pela queima de combustíveis fósseis observada desde a Revolução Industrial. É notório que ações antrópicas têm aumentado a emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE) e comprometido a sustentabilidade ambiental do Planeta. No cenário de mudanças climáticas, a busca por fontes renováveis de energia, a preservação ambiental e o projeto de mudanças de uso da terra com plantios energéticos são saídas viáveis para contribuir reduzir os gases de efeito estufa. Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise técnica, econômica e ambiental das culturas de macaúba e do pinhão-manso como alternativas de agregação de renda na cadeia produtiva de biodiesel. Os objetivos específicos foram: propor a produção de briquetes dos resíduos da exploração dos frutos da macaúba e da torta gerada pela extração de óleo das sementes do pinhão-manso; analisar economicamente o extrativismo dos frutos de macaúba com a simulação de uma unidade de produtos energéticos, em forma de cooperativas de produtores rurais; e quantificar o estoque de biomassa e carbono das duas culturas. Como resultado deste trabalho concluiu-se que a produção de briquetes dos resíduos estudados, em mistura

com partículas de eucalipto, é tecnicamente viável pelos testes de densidade básica, variação volumétrica e resistência à compressão plana. O efeito da mistura e dos tempos de prensagem foram os parâmetros que mais influenciaram a produção dos briquetes. A produção de briquetes de endocarpo de macaúba foi viável até uma proporção de 50% do resíduo com o eucalipto; de epicarpo de macaúba com o uso apenas do resíduo; e da torta de pinhão-mansão com até 75% de mistura com o eucalipto. O projeto de unidade de fabricação de produtos energético dos frutos de macaúba para atender ao extrativismo de uma área de regeneração natural de 200 ha foi viável economicamente pelos critérios econômicos de VPL, TIR e VAE, com valores de R\$ 2.667,23, 12,07% e R\$ 282,94.ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Contudo, uma análise financeira do empreendimento mostra que ele não foi atrativo. O estoque de carbono encontrado no quarto ano da cultura do pinhão-mansão foi de 6,92 MgC.ha<sup>-1</sup>, correspondendo a um IMA de 6,769 MgCO<sub>2(eq)</sub>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, que convertidos em créditos de carbono podem gerar uma receita bruta de R\$200,81.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. O estoque de carbono da área de regeneração natural de macaúba foi de 33,851 MgC.ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 12,412 MgCO<sub>2</sub> eq.ha<sup>-1</sup>, que convertidos em créditos de carbono podem gerar uma receita bruta de R\$3.682,14.ha<sup>-1</sup> da área que for destinada à conservação da espécie. Estes resultados mostram que tanto o pinhão-mansão quanto a macaúba são espécies com forte potencial de uma geração de renda para produtores rurais que queiram fornecer matéria-prima para a indústria do biodiesel, geração de produtos energéticos renováveis, mitigando o aquecimento global, e para elaboração de projetos de MDL na cadeia produtiva do biodiesel.

## ABSTRACT

TOLÊDO, Diego de Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February of 2010.  
**Technical, environmental, and economic analysis of oil palm and physic nut as an alternative for adding income in the productive chain of biodiesel.** Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacobine. Co-Advisers: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro and Carlos Pedro Boechat Soares.

With concentration increasing of gases in the atmosphere the greenhouse effect is getting worse and causing the global warming, mainly from burning fossil fuels that has been observed since the Industrial Revolution. It is clear who anthropogenic actions were increasing emissions of greenhouse gases (GHG) and endangers the earth environmental sustainability. In context of climate change the search for renewable energy, environmental protection and projects in land use changes with energy crops become a viable way to contribute to reduction of greenhouse gases. So this study proposes a technical, environmental, and economic analysis of Oil Palm and Physic Nut as an alternative for adding income in the productive chain of biodiesel. The specific objectives were: the production of briquettes from waste exploitation of the fruits of *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart and waste generated by the extraction of seeds oil from *Jatropha curcas* L.. Economically analyze the extraction of *A. aculeata* fruit with a simulation unit of energy products like a farmers cooperatives. Study the stock of biomass and carbon of both cultures. With these results of this study was concluded that the production of briquettes from wastes studies in combination with particleboard of Eucalyptus is technically viable by tests of density, bulk variation and

compressive strength flat. The effect of blends and pressing time were the parameters that most influenced the production of briquettes. The production of briquettes from *A. aculeata* endocarp was acceptable up to a ratio of 50% of the waste with Eucalyptus; from *A. aculeata* exocarp of using only the residue; and waste *Jatropha* up to a ratio of 75% of it blends with Eucalyptus. The design of a manufacturing unit of energy products with the fruits of *A. aculeata* to meet the extraction of an 100 hectare by natural regeneration was economically viable by the economic criteria of Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Equivalent Annual Value (EAV) with R \$ 2,667.23; 12.07 % and R \$ 282.94 yr<sup>-1</sup>, respectively. However a financial analysis of the development shows that it was not an attractive. The carbon stocks in fourth year of the culture of *J. curcas* were 6.92 MgC.hectare<sup>-1</sup> corresponding to an annual medium increment 6.769 MgCO<sub>2</sub>.hectare<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup>, which converted into carbon credits can get gross incoming of R \$ 200.81 hectare<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup>. The carbon stocks of natural regeneration of *A. aculeata* 33.851 MgC.hectare<sup>-1</sup>, corresponding to 12.412 MgCO<sub>2</sub>.hectare<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup>, which converted into carbon credits can get gross incoming of R\$ 3,682.14 hectare<sup>-1</sup> in area designed to conservation of the specie. These results show that both *J. curcas* as *A. aculeata* are species with strong potential for generating income for farmers aimed at providing raw material for the biodiesel industry, generation of renewable energy mitigating global warming, and CDM projects design in the production chain of biodiesel.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da concentração de gases na atmosfera, o efeito estufa vem se agravando e ocasionando a elevação da temperatura global, principalmente pela queima de combustíveis fósseis observada desde a Revolução Industrial. É notório que ações antrópicas têm aumentado a emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE) e comprometido a sustentabilidade ambiental do Planeta.

Em função das evidências do aumento da emissão dos gases de efeito estufa (GEE) e do aquecimento global, a preocupação com o clima ganhou destaque mundial. Inúmeras reuniões internacionais têm ocorrido na intenção de estabelecer políticas públicas que tragam possíveis soluções para evitar ou, pelo menos, minimizar a emissão desses gases. Em 1988 foi estabelecido o Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (*Intergovernmental Panel of Climate Change – IPCC*), que traz uma visão técnico-científica clara sobre as mudanças climáticas e seus impactos.

Em 1992 foi adotado pela ONU (Organização das Nações Unidas) um tratado internacional, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas – CQNUMC. Esta foi a primeira medida efetiva entre as nações com objetivos claros e determinação de metas de redução de emissão de GEE para os países do Anexo I (países desenvolvidos).

Na terceira reunião das partes (COP 3), realizada em Kyoto-Japão, foi criado o protocolo de Kyoto, considerada a principal medida efetiva tomada visando a redução da emissão dos gases do efeito estufa. Este protocolo determina que os países desenvolvidos, denominados países do Anexo I, devem reduzir as emissões em 5,2%

abaixo dos níveis observados em 1990, entre 2008 e 2012. Para isso, prevê a utilização de mecanismos de flexibilização, de forma a facilitar o atendimento aos compromissos desses países.

Dentre os mecanismos de flexibilização o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é o único que prevê a participação de países em desenvolvimento como o Brasil. Neste mecanismo, os países do Anexo I investem em projetos de redução de emissão de gases em países que não pertencem do Anexo I.

Além dos mecanismos previstos pelo Protocolo de Kyoto, o mercado voluntário de empresas que querem reduzir suas emissões fora e além do mercado de cumprimento gera uma demanda de projetos de preservação ambiental e redução de emissões pelo desmatamento evitado.

Dentro desse cenário de mudanças climáticas, a busca por fontes renováveis de energia, a conservação ambiental e o projeto de mudanças de uso da terra com plantios energéticos são saídas viáveis para redução dos gases de efeito estufa.

Na indústria do biodiesel, diversos resíduos ainda não possuem utilização clara e definida como coprodutos da cadeia de produção. Além disso, a produção de biodiesel no Brasil está, atualmente, baseada na cultura da soja, necessitando que outras plantas oleaginosas sejam incorporadas como fontes de matéria-prima.

Dentre as espécies que vêm sendo cogitadas para plantio nas diversas regiões do País, o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) e a macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) apresentam forte potencial de fornecimento e produção de óleo por hectare. Pelo fato de essas espécies serem perenes e o óleo ser extraído de seus frutos, há menores danos ambientais que os causados pelas culturas agrícolas que são colhidas anualmente, como a soja.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho foi analisar ambiental, econômica e tecnologicamente a inserção da macaúba e do pinhão-manso como fontes de matéria-prima para produção de biodiesel.

Os objetivos específicos foram: a) quantificar o estoque de biomassa e carbono das duas culturas; b) analisar economicamente o extrativismo dos frutos de macaúba com uma unidade de produtos energéticos em forma de cooperativas de produtores rurais, visando a geração de renda para os cooperados e a preservação da espécie em áreas de regeneração natural; e c) produzir e avaliar briquetes de resíduos do processamento dos frutos da macaúba e da torta gerada pela extração de óleo das

sementes de pinhão-manso, para obtenção de um produto alternativo para geração de energia renovável em detrimento aos combustíveis fósseis.

Em relação ao pinhão-manso, é esperado que o projeto elegível se encaixe nos moldes do MDL, fazendo a substituição de pastagens pela implantação da cultura, o que conseqüentemente aumentará a atratividade do projeto. Já a macaúba, considerando a conservação, é uma alternativa de projeto de mitigação do efeito estufa por desmatamento evitado, contribuindo tanto para a conservação da espécie quanto para a capitalização de pequenos produtores rurais.

Para melhor apresentação do trabalho, a dissertação foi estruturada da seguinte maneira:

**Introdução.** Foi feita uma exposição de todo o assunto abordado nesta dissertação.

**Revisão de Literatura.** Foram abordados os tópicos relacionados às mudanças do clima e às medidas de mitigação do efeito estufa, e também foram feitas a descrição das duas espécies estudadas e uma breve definição do que é biodiesel e briquetagem.

**Artigo 1:** “Quantificação dos estoques de biomassa e carbono em um povoamento de *Jatropha curcas* L., no município de Viçosa, MG”, em que foi calculado o estoque de biomassa e carbono da espécie durante quatro anos de medições e foi proposta uma equação de biomassa individual em função do diâmetro de copa e da altura da planta.

**Artigo 2:** “Quantificação dos estoques de biomassa e carbono em um povoamento de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart, no município de Jequitibá, MG”, propondo uma equação volumétrica para árvores individuais da espécie e dados técnicos que podem ser utilizados para estudos que visem o MDL com a macaúba, além de fazer o cálculo da estocagem de carbono para uma área de regeneração natural.

**Artigo 3:** “Produção de briquetes de resíduos de *Jatropha curcas* L. e *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart em mistura com partículas de *Eucalyptus* sp”, avaliando a viabilidade de utilização de coprodutos gerados na cadeia produtiva do biodiesel e de fonte de energia renovável.

**Artigo 4:** “Análise econômica do extrativismo de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart): Simulação de uma unidade de multiprodutos”, no qual buscou-se avaliar economicamente o extrativismo da espécie com uma unidade de fabricação de produtos energéticos com frutos da macaúba.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Mudanças climáticas e meio ambiente**

A mudança do clima é um dos mais sérios problemas ambientais enfrentados nos últimos anos, podendo ser considerada uma grave ameaça à sustentabilidade do meio ambiente, à saúde e ao bem-estar humano e à economia global (CEBDS, 2002; LOPES, 2002).

Cientistas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) consideram haver fortes evidências de que a ação humana tem grande responsabilidade sobre a mudança do clima (IPCC, 2007a). De acordo com Frangetto e Gazani (2002), a situação de risco do aquecimento global agravou-se após a Revolução Industrial, à medida que houve o aumento do uso de combustíveis fósseis nos meios de produção. A partir daí ocorreu a elevação de cerca de 50% nos níveis de concentração de gases poluentes, entre eles os chamados gases de efeito estufa (GEE). Estes têm a capacidade de reter calor e alterar tanto o equilíbrio térmico quanto o equilíbrio climático do Planeta.

Segundo IPCC (2007a), o aumento total de temperatura de 1850 a 2005 foi de 0,76 °C. Entre 1995 e 2006 foram observados os 12 anos mais quentes do registro instrumental da temperatura da superfície global (desde 1850). Adicionalmente, as geleiras de montanha e a cobertura de neve diminuíram nos dois hemisférios, tendo as reduções generalizadas das geleiras e calotas de gelo contribuído para a elevação do nível do mar. A média global do nível do mar subiu a uma taxa de 1,8 mm por ano, no

período de 1961 a 2003 (IPCC, 2007a). Modelos climáticos preveem que a temperatura global irá aumentar em torno de 1,4 a 5,8 °C até 2100. Essas alterações deverão ser as maiores mudanças climáticas experimentadas nos últimos 10.000 anos (UNEP, UNFCCC, 2002).

Em trabalho executado pelo IPCC (2007b), foram estudados cenários de projeções futuras do aumento da concentração de gases de efeito estufa e do crescimento global. Em um cenário mais pessimista, onde ocorrem uma taxa de crescimento populacional alta, avanços lentos na economia e mudanças nas tecnologias atuais, estão previstos aumentos de temperatura de 0,5 a 2,0 °C para os anos de 2020 a 2029 e aumentos de 3,5 a 7,0 °C, para os anos de 2090 a 2099 (A2, Figura 1).

Para um cenário mais otimista, onde ocorrem um rápido avanço na economia, a população mundial atingindo um pico de crescimento na metade do século e uma rápida introdução de novas e mais eficientes tecnologias, ainda assim seria observado um aumento de temperatura na Terra de 0,5 a 1,0°C para os anos de 2020 a 2029 e de 2,0 a 3,5 °C, para os anos de 2090 a 2099 (B1, Figura 1)

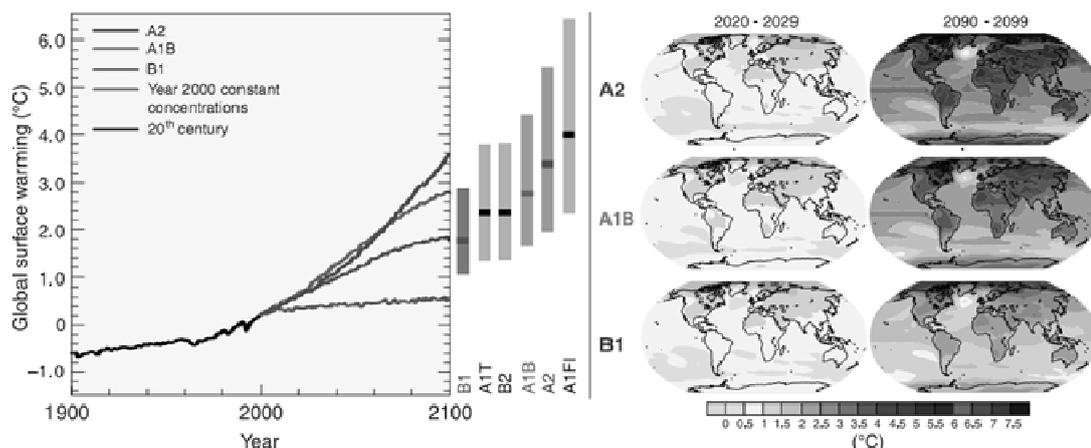


Figura 1 – Estimativas de aquecimento global nos diferentes cenários adotados pelos cientistas do IPCC (Fonte: IPCC, 2007b).

Os impactos do aquecimento global nos diversos setores da economia podem mudar os rumos do desenvolvimento de diversos países. No Brasil, o setor agropecuário pode sofrer mudanças de cenários que iriam afetar a produtividade no país. Segundo UNEP e UNFCCC (2002), o impacto sobre a produtividade das culturas varia consideravelmente. Adicionalmente, o estresse por calor, o deslocamento de monções e os solos secos podem reduzir o rendimento em até um terço nas regiões tropicais e subtropicais, onde as lavouras já estão perto de suas tolerâncias máximas ao calor,

esperando-se condições mais secas e quentes. Enquanto isso, estações do ano mais longas e aumento das chuvas podem aumentar a produção em muitas regiões temperadas; registros mostram aumento de temporadas quentes no Reino Unido, na Escandinávia, na Europa e na América do Norte.

## **2.2. As políticas sobre as mudanças climáticas**

Foi principalmente a partir da década de 1980 que as questões relativas às mudanças climáticas passaram a ocupar lugar de destaque nas conferências mundiais, como as ameaças ambientais que colocam em risco a integridade do Planeta (NISHI, 2005). Uma das maiores preocupações é relativa ao acúmulo de GEE, que contribuem para o aumento da temperatura global, e que tem como principal responsável a queima de combustíveis fósseis. Para fornecer ao mundo uma visão técnico-científica clara sobre as alterações climáticas e seus impactos socioeconômicos e ambientais, em 1988 foi estabelecido, pela *United Nations Environment Programme* (UNEP) e pelo *World Meteorological Organization* (WMO), o Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (*Intergovernmental Panel of Climate Change – IPCC*). Em 1990 o IPCC publicou o primeiro Relatório de Avaliação das mudanças do clima (IPCC, 2010).

As respostas políticas internacionais só se tornaram concretas em 1992, pelas Nações Unidas, através da adoção de um tratado internacional, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC) (FRANGETTO, GAZANI, 2002). Os países signatários dessa Convenção, chamados de Partes, foram divididos em países do Anexo I e países não Anexo I (geralmente países em desenvolvimento). A diferença entre eles é que os Países do Anexo I possuem metas de redução de GEE, seja pela limitação de suas emissões antrópicas e, ou, pela proteção e pelo aumento de seus sumidouros e reservatórios de GEE. Já os países não Anexo I são os integrantes da CQNUMC (UN, 1992; SCARPINELLA, 2002).

A convenção entrou em vigor em 1994, e desde então os países signatários reúnem-se anualmente para tomar decisões que ajudem a mitigar o avanço do aquecimento global. Essas reuniões são chamadas de Conferência das Partes (COPs), tendo a primeira sido realizada em Berlim, na Alemanha (COP 1), e a última em 2009, a COP15 e CMP 5, em Copenhaga, na Dinamarca (UNFCCC, 2010).

### 2.3. O Protocolo de Kyoto

A primeira medida efetiva de controle de emissão dos GEE, apresentada durante a COP-3, em 1997, em Kyoto-Japão, ficou conhecida como Protocolo de Kyoto. Este Protocolo estabelece metas de redução para os Países Anexo I de suas emissões antrópicas em 5,2%, em média, com relação aos níveis verificados em 1990. Estas metas de redução foram atribuídas exclusivamente aos Países Anexo I, que assumiram compromissos exclusivos, devido às suas responsabilidades históricas. Além disso, foi determinada que essa redução deve ser alcançada entre 2008 e 2012, fase definida como primeiro período de compromisso (CEBDS, 2002; LOPES, 2002).

Para entrar em vigor, o Protocolo de Kyoto foi ratificado, em 16 de fevereiro de 2005, por pelo menos 55 partes da CQNUMC, que contribuem com pelo menos 55% do total de emissões de CO<sub>2</sub> e outros GEE, das partes integrantes do Anexo I, com base no ano de 1990. Até 13 de maio de 2008, o Protocolo de Kyoto possuía 84 países ratificados, totalizando 63,7% das emissões de GEE (MCT, 2010).

Para possibilitar a implementação de seus propósitos de redução de emissões e ao mesmo tempo assegurar uma transição economicamente viável, o Protocolo estabeleceu a criação de mecanismos comerciais, chamados de “mecanismos de flexibilização” (CEBDS, 2001). Os três mecanismos de flexibilização são: Comércio de Emissões, Implementação Conjunta e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (CAMPOS, 2001).

Dentre os mecanismos de flexibilização, o único que permite investimentos e a participação dos Países não Anexo I é o MDL, como diz o art. 12.2 do Protocolo de Kyoto:

*O objetivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo deve ser assistir as partes não incluídas no Anexo I para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, e assistir as partes incluídas no Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos no Artigo 3.*

Frangetto e Gazani (2002) ressaltam que, com a implementação de projetos de MDL, busca-se a redução de emissão de gases de efeito estufa. Uma vez comprovada a efetiva redução de emissão desses gases, os participantes de projetos podem auferir certificados que comprovem a redução; estes são denominados Certificados de Emissões Reduzidas (CERs).

## 2.4. Mercado de créditos de carbono

Desde as primeiras convenções sobre mudanças climáticas, a absorção de carbono pelas florestas, conhecida também como “sequestro” de carbono, tem evoluído de uma ideia teórica para um mecanismo mercadológico que permite alcançar metas ambientais globais definidas pelo Protocolo de Kyoto (COSTA *et al.*, 2000). Os mecanismos de flexibilização estabelecidos pelo Protocolo deixaram claro que o mercado poderá auxiliar no processo de redução das emissões através da criação de um valor transacionável para as reduções de GEE. Essas transações são realizadas através dos CERs, e fazem parte de um novo mercado: o chamado mercado de créditos de carbono (ROCHA, 2003).

Com a entrada em vigor do Protocolo de Kyoto, o mercado de créditos de carbono finalmente saiu do papel.

Em 2008 o mercado global de carbono foi de, aproximadamente, €92 bilhões. Devido ao aumento no preço médio dos créditos de carbono do ano, o valor total do mercado global de carbono foi mais do que o dobro dos €40 bilhões observados em 2007 (TVINNEREIM *et al.*, 2009). A cotação do crédito de carbono em 29 de janeiro de 2010 foi de €11,41, €11,38 e €11,87 referentes a 1 tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente para créditos (CERs) emitidos em dezembro de 2010, 2011 e 2012, respectivamente (ECX, 2010).

Para que o mercado evolua e seja atrativo ao investidor, é importante garantir segurança, através de um regime forte e rígido de penalidades, registrando as negociações e monitorando e verificando as emissões. O crédito comercializado deve ser padronizado e a alocação eficiente das permissões ou créditos assegurada (ROCHA, 2003).

Paralelo ao mercado de carbono nos moldes do Protocolo de Kyoto surgiu o mercado de crédito voluntário, visando atender à demanda de organizações e empresas que pretendem reduzir suas emissões para fora e além do mercado de cumprimento, sendo as principais entidades que normalizam este mercado o *Voluntary Carbon Standard (VCS)*, *Climate, Community e Biodiversity Standard (CCBS)*, *CarbonFix*, *Plan Vivo*, *Chicago Climate Exchange (CCX)*, *California Climate Action Reserve (CCAR)* e *American Carbon Registry (ACR)* (LOPES, 2009).

Hamilton *et al.* (2010) compararam o volume e os valores negociados de créditos de carbono oriundos de projetos florestais, sendo os mercados voluntários

analisados os de “balcão” (negociados livremente) e sobre as normas do *Chicago Climate Exchange* (CCX); e entre os mercados normalizados estão: *New South Wales Greenhouse Gas Reduction Scheme* (NSW GGAS), assim como os *Clean Development Mechanism* (CDM/AR), *New Zealand Emissions Trading Scheme* (NZ ETS) e *Kyoto Assigned Amount Units* (AAUs). Desde o início das negociações de créditos de carbono de projetos florestais já foram vendidos no mercado mundial 20,8 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, correspondendo a US\$ 142,9 milhões destes US\$ 37,1 milhões negociados em 2008 (Tabela 1).

Tabela 1 – Volume e valores negociados no mercado florestal de carbono

Mercados	Volume (MtCO <sub>2</sub> )		Valor (milhões US\$)	
	Total Histórico	2008	Total Histórico	2008
Voluntário de “balcão”	15,3	3,7	129,7	31,5
CCX	2,6	1,3	7,9	5,3
<b>Total dos Mercados Voluntários</b>	<b>17,9</b>	<b>5,0</b>	<b>137,6</b>	<b>36,8</b>
New South Wales	1,8	0,2		
CDM A/R	0,5	0,1	2,9	0,3
NZ ETS	0,1		0,7	
Kyoto (AAU)	0,6		8,0	
<b>Total dos Mercados Regulamentados</b>	<b>2,9</b>	<b>0,3</b>	<b>11,6</b>	<b>0,3</b>
<b>Total do Mercado Global</b>	<b>20,8</b>	<b>5,3</b>	<b>149,2</b>	<b>37,1</b>

Fonte: Hamilton *et al.* (2010).

Contudo, como mostrado por Hamilton *et al.* (2010), o mercado regulamentado de Kyoto representou apenas 7,8% dos créditos negociados, enquanto os mercados voluntários representaram 92,2% do mercado, mostrando que outra saída para projetos florestais desenvolvidos no Brasil seria a negociação nos mercados voluntários antes que estes consigam as emissões de créditos por parte do Protocolo de Kyoto.

## 2.5. Fixação de carbono pelas florestas

A remoção do CO<sub>2</sub> da atmosfera por meio de plantios florestais é uma das opções para compensar as emissões de gases causadores do efeito estufa (ALBRECHT, KANDJI, 2003). Essa remoção ocorre através do processo de fotossíntese. O dióxido de carbono é fixado em compostos reduzidos de carbono, que são armazenados em forma de biomassa. Através do processo de respiração da planta, decomposição de seus

resíduos e combustão da biomassa, o carbono é emitido novamente e retorna para a atmosfera (REIS *et al.*, 1994).

Desde a década de 1990 o “sequestro” de carbono pelas florestas vem despertando o interesse dos pesquisadores, em razão da elevada taxa de crescimento e, conseqüentemente, da alta capacidade de remover CO<sub>2</sub> da atmosfera (REIS *et al.*, 1994).

Esses autores encontraram um estoque médio de carbono de 38,84 MgC.ha<sup>-1</sup> em plantações de eucalipto aos sete anos de idade, o que corresponde a um incremento de 5,48 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Já Paixão (2004) encontrou um estoque médio de carbono de 71,13 MgC.ha<sup>-1</sup> em um plantio de *Eucalyptus grandis* aos seis anos de idade. Cotta (2005) verificou que o estoque de carbono no consórcio de *Hevea brasiliensis*, aos 34 anos, e *Theobroma cacao*, aos seis anos, foi de 91,54 MgC.ha<sup>-1</sup>. Complementando, Ribeiro (2007) observou um estoque de carbono da floresta primária e capoeira de 83,34 ± 37,29 MgC.ha<sup>-1</sup> e 10,81 ± 4,68 MgC.ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Assim, as florestas surgem como um grande alento, pois, além de ser um recurso natural renovável, podem contribuir decisivamente para reduzir os impactos ambientais do efeito estufa e gerar divisas com a comercialização do carbono fixado (SANQUETA, 2002).

## 2.6. O pinhão-manso

O pinhão-manso (*Jatropha curcas*) é uma espécie da família Euphorbiaceae, de porte arbustivo ou de arvoreta, com altura variando de 3 a 5 m. Em alguns casos pode atingir até 12 m e apresentar diâmetro de tronco de 20 cm, sendo seu caule liso e macio. Nativa da América Central, esta espécie foi introduzida, no fim do século XVIII, em várias regiões como Cabo Verde, África e Ásia (NOGUEIRA, MACHADO, 1957; PEIXOTO 1973; OPENSHAW, 2000; AUGUSTUS *et al.*, 2002).

As folhas da espécie são alternadas, pecioladas, destituídas de pêlos, verdes quando maduras e de coloração vermelho-vinho quando novas. As flores são amarelas ou esverdeadas, monoicas, unissexuais. O fruto é uma cápsula ovoide, castanho-escuro, e amarelado quando maduro, possui de duas a três sementes por fruto (Figura 2). A semente do pinhão-manso possui, em média, entre 0,551 e 0,797 g, sendo ± 38% de óleo de seu peso (SATURNINO *et al.*, 2005).

O pinhão tem se revelado bastante rústico, não dependendo de solos ricos em matéria orgânica para seu desenvolvimento, sendo tolerante a altas temperaturas,



Figura 2 – Prancha com disposição das folhas, da inflorescência, das flores, dos frutos e da semente de *Jatropha curcas* L. (Fonte: *Flora Brasiliensis*, 1874).

adaptado a diversas condições edafoclimáticas, variando de regiões equatoriais úmidas, como nas tropicais secas, às áreas marginais de solos pobres e baixa precipitação anual. Desenvolve-se bem em terrenos secos, com altitudes de cerca de 1.000 m (PEIXOTO, 1973; HELLER, 1996; AUGUSTUS *et al.*, 2002; SATURNINO *et al.*, 2005).

Essa espécie possui vários atributos, sendo muito utilizada na medicina popular, em que seu látex é aplicado como cicatrizante de úlcera e hemostático. Suas raízes são consideradas curativas, com poderes diuréticos, estomáticos e adstringentes, além de suas folhas serem usadas no combate a eczemas, dermatoses e reumatismo (PEIXOTO, 1973; GUBITZ *et al.*, 1999). GubitZ *et al.* (1999), relatam que esta espécie possui poucos inimigos naturais, sendo alguns compostos isolados da planta usados inclusive como inseticida. Além disso, essa planta é empregada em programas de reflorestamento, prevenindo e controlando erosões. Em países como o Mali, no fim do

século XX, plantava-se cerca de 10% das áreas degradadas com *J. curcas* (GRIMM, 1999).

O fruto do pinhão-mansão, apesar de ser tóxico, pode ser tratado e a torta produzida utilizada como alimentação animal. Além disso, variedades não tóxicas de pinhão-mansão já são encontradas, tendo Sujatha *et al.* (2005) já estudado protocolos de propagação *in vitro* de variações não tóxicas de *Jatropha curcas* L.

Entretanto, a utilização do óleo extraído das sementes do pinhão-mansão como combustível vegetal (biodiesel) vem ganhando destaque dentre suas outras utilizações, principalmente pensando na substituição de combustíveis fósseis não renováveis por combustíveis vegetais, renováveis.

O biodiesel a partir do pinhão-mansão pode ser obtido por craqueamento térmico ou transesterificação, ou, ainda, o óleo cru pode ser utilizado em mistura com o diesel convencional. Segundo Pramanik (2003), as propriedades e os resultados de testes em motores com 40-50% de óleo de *J. curcas* em mistura com diesel convencional indicam que ele pode ser utilizado sem nenhuma modificação no motor ou pré-aquecimento da mistura. Entretanto a produção de biodiesel pelo processo de transesterificação vem obtendo destaque pelo ganho em qualidade do combustível, quando comparado com o óleo cru, podendo ser utilizado 100% em substituição ao diesel convencional sem nenhuma modificação no motor. Diversos autores mostram melhores propriedades físicas e químicas de metil e etil ésteres de *J. curcas*, quando comparadas com as do óleo cru da mesma espécie, e o enquadramento do biodiesel de *J. curcas* nas especificações europeias (FOIDL, 1996; GUBITZ *et al.*, 1999; FRANCIS, 2005).

Devido à sua rusticidade, a implementação de plantios do pinhão-mansão torna-se uma alternativa viável para a ocupação de áreas ociosas em pequenas e médias propriedades rurais. A venda dos produtos obtidos da cultura, principalmente a de sementes para produção de biodiesel, faz com que esta seja uma fonte de renda extra para a agricultura familiar. Além disso, proporciona a recuperação de áreas degradadas, pela fixação de nutrientes no solo, e o posterior uso na adubação verde.

A Índia vem desenvolvendo um grande programa de pesquisa com a cultura do pinhão-mansão e de outras oleaginosas, visando produzir biodiesel (SATURNINO *et al.*, 2005). Segundo Índia (2005), *apud* Saturnino *et al.* (2005), o Conselho do *National Oilseeds and Vegetable Oils Development (Novod) Board* iniciou o programa de plantio em 5.873 ha, sendo de 4.200 ha de *Jatropha curcas* e 1.673 ha de karanja (*Pongamia pinnata*), distribuídos entre 14 estados do País.

## 2.7. A macaúba

A macaúba, de nomenclatura científica *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart, pertence à família Arecaceae, sendo sua taxonomia categorizada em *Angiosperm Phylogeny Group II 2003* (LORENZI, NEGRELLE, 2006):

Angiospermae

Monocotyledoneae

Commelinidae

Arecales Bromhead (1840)

Areceae Schultz-Schultzenstei (1832) nom. cons.

*Acrocomia* Mart., 1824

*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart

A planta possui de 10 a 15 metros de altura, caule cinéreo com bases foliares persistentes, sendo a região dos nós coberta de espinhos escuros pontiagudos, com cerca de 10 cm de comprimento. As folhas verdes em diferentes planos, dando um aspecto plumoso à copa, são pinadas, com comprimento variando de 4 a 5 m, com bainha fortemente espinescente, pecíolo indistinto, raque espinescente. Folíolos em torno de 130 a 181, com emergências nas faces abaxial ou adaxial, folíolo mediano com cerca de 65 cm de comprimento e 2,8 cm de largura. Inflorescências amarelas bráctea peduncular com 1,6 m de comprimento. As flores são de coloração amarelo-clara, monoicas, unissexuais. Fruto globoso a levemente depresso-globoso, com diâmetro variando de 2,5 a 5,0 cm; perianto persistente castanho-escuro; epicarpo fino, liso, raro tomentoso-hirsuto, castanho-amarelado a castanho-escuro, coloração não uniforme quando imaturo; mesocarpo carnosos-fibroso, 5-6 mm espessura, fibras curtas, não agrupadas; endocarpo fortemente aderido ao mesocarpo, com parede óssea enegrecida; amêndoas oleaginosas comestíveis recobertas por uma fina camada de tegumento com 2,4 a 8,0 cm comprimento e 2,3 a 3,0 cm diâmetro (MARCATO, PIRANI, 2003; LORENZI, NEGRELLE, 2006; NUCCI, 2007) (Figura 3).

A espécie possui um forte potencial de usos, desde seu estipe, suas folhas e seus frutos. O estipe pode ser utilizado como estacas e moirões *in natura* e seu meristema apical como alimento (palmito), e a seiva do estipe como produção de vinho. As folhas podem ser utilizadas como forrageira e as fibras como linhas de pesca e redes. O mesocarpo dos frutos possui diversos usos alimentícios, como transformação em polpa

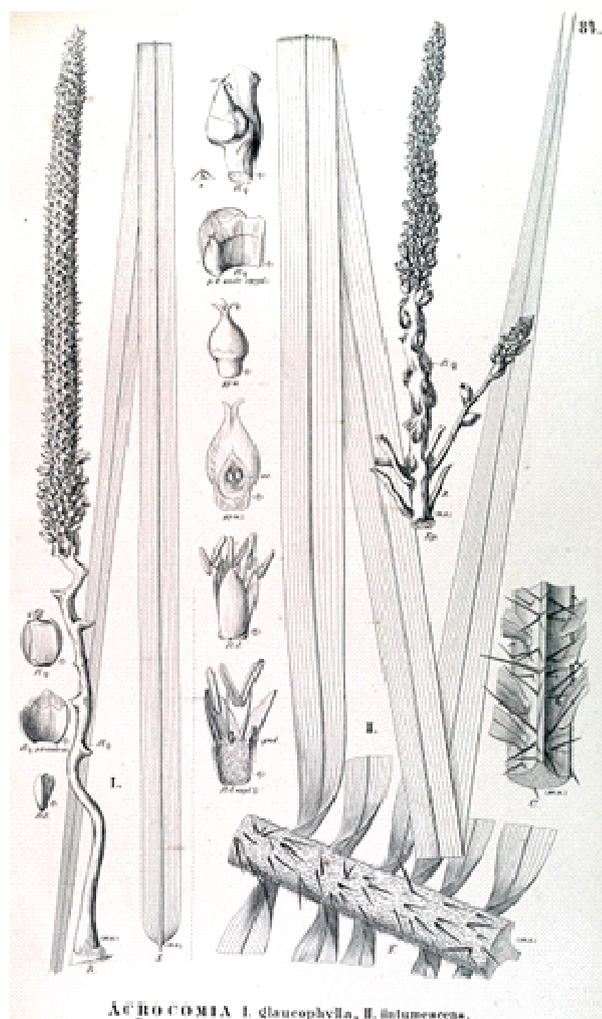


Figura 3 – Prancha com disposição das folhas, inflorescência, flores, frutos e semente de *Acrocomia* sp. (Fonte: *Flora Brasiliensis*, 1881).

para sucos e sorvetes e produção de licores, podendo ser utilizado também como ração para animais de grande porte. O óleo do mesocarpo pode ser utilizado como óleo de cozinha, para produção de sabão, e, atualmente, como matéria-prima para produção de biodiesel. O endocarpo encontra boa utilização na produção de carvão vegetal, sendo este de alta densidade e poder calorífico, além de ser utilizado na confecção de pequenas bijuterias. As amêndoas podem ser consumidas *in natura*, ou quando torradas, para produzir paçocas. Além disso, utilizada como ração animal para aves. O óleo da amêndoa também tem utilização como óleo de cozinha e produção de sabão, contudo, por apresentar boa porcentagem de ácidos palmítico e oleico em sua composição química, têm usos nas indústrias de alimentos, cosméticos e indústrias olequímicas (LORENZI, 2006; SILVA *et al.*, 1986; KOPPER, 2009; AGROPALMA, 2010).

Atualmente, a macaúba está sendo vista como forte potencial de utilização na indústria de biodiesel. Segundo relatório técnico do CETEC (1983), com a aplicação de diferentes espaçamentos podem-se obter produtividades que variam de 1.470 a 1.840 kg óleo.ha<sup>-1</sup> (100 árvores.ha<sup>-1</sup>, 400 a 500 frutos por cacho e quatro cachos por planta), até de 3.974 a 4.968 kg óleo.ha<sup>-1</sup> (216 árvores.ha<sup>-1</sup>, 400 a 500 frutos por cacho e cinco cachos por planta). Além da boa produtividade, o biodiesel proveniente da palmeira enquadra-se nas especificações da ASTM (*American Society for Testing and Materials*) (AGROPALMA, 2010) (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparação entre o biodiesel produzido com óleo de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart e especificações técnicas para diesel convencional, segundo ASTM

Atributos	Biodiesel macaúba	ASTM
Glicerol (%)	<0,01	0,02 máx.
Glicerídeos totais (%)	0,08	0,24 máx.
Carbono residual (%)	0,04	0,05 máx.
Densidade (g.cm <sup>-3</sup> )	0,843	0,82 – 0,87
Viscosidade – 40°C (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	3,98	1,90 – 6,00
Ponto de fulgor (°C)	135	100
Corrosão lâmina de cobre	1	3
Água (%)	0,03	0,05 máx.
Cinzas (%)	0,015	0,02
Acidez (%)	0,03	0,04

Fonte: adaptado de AGROPALMA (2010) disponível em: <<http://www.agropalma.com.br/default.aspx?pagid=JMDDNRVNenavid=96>>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

## 2.8. Biodiesel

De acordo com Holanda (2006), biodiesel é uma denominação genérica para combustíveis e aditivos derivados de fontes renováveis, como dendê, babaçu, soja, palma, mamona, entre outras. Ele pode ser obtido por diferentes processos, como o craqueamento, a esterificação ou pela transesterificação, sendo este último o mais utilizado na produção do biodiesel no Brasil. A reação de transesterificação ocorre a partir da reação de um óleo ou gordura com um álcool na presença de catalisador, podendo-se empregar catalisadores do tipo ácido ou alcalino, produzindo glicerina e ésteres (biodiesel). Os alcoois empregados na reação são, preferencialmente, os de baixo peso molecular, como metanol e etanol. Já os catalisadores mais comuns são os

hidróxidos de sódio ou os hidróxidos de potássio, misturados ao álcool (HOLANDA, 2006; SANTOS, 2007).

No Brasil, estudos com o biodiesel vêm sendo desenvolvidos desde a década de 1980, quando o professor Expedito Parente, da Universidade Federal do Ceará, obteve a primeira patente de biodiesel e de querosene vegetal de aviação, patente PI – 8007957 (HOLANDA, 2006).

Após a criação da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, o governo federal introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira, onde se lê:

*Art. 2º Fica introduzido o biodiesel na matriz energética brasileira, sendo fixado em 5% (cinco por cento), em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional.*

*§ 1º O prazo para aplicação do disposto no caput deste artigo é de 8 (oito) anos após a publicação desta Lei, sendo de 3 (três) anos o período, após essa publicação, para se utilizar um percentual mínimo obrigatório intermediário de 2% (dois por cento), em volume.*

Contudo, como divulgado pela ANP (2010), desde 1º de janeiro de 2010, o óleo diesel comercializado em todo território brasileiro contém 5% de biodiesel. A regra foi estabelecida pela Resolução nº 6/2009 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), publicada no Diário Oficial da União (DOU) em 26 de outubro de 2009, aumentando de 4 para 5% o valor obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel.

Em dados divulgados pela própria ANP (2010), o Brasil obteve, em 2008, uma produção anual de 1,2 bilhão de litros de biodiesel, tornando-se um dos maiores produtores e consumidores do mundo, sendo a capacidade instalada de produção de biodiesel para janeiro de 2009 de 3,7 bilhões de litros.

A adoção de biodiesel na matriz energética nacional, principalmente para o uso no setor de transporte, traz inúmeros benefícios para o País, como geração de uma nova demanda de biocombustíveis, demanda por fontes de matérias-primas para produção de biodiesel, fixação do homem no campo na produção de plantas oleaginosas para atender ao mercado, geração de empregos na cadeia de produção do biodiesel e redução de emissões de gases de efeito estufa nos motores automotivos (TAN *et al.*, 2004; PINTO JR. *et al.*, 2006).

A utilização de 100% de biodiesel (B100), comparado com o diesel derivado do petróleo, pode reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em 78%. Ainda utilizando B100, ocorrem reduções de 32% de materiais particulados, 35% de monóxidos de carbono (CO) e 8%

de óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) (SHEEHAN *et al.*, 1998). Tan *et al.* (2004) observaram reduções da emissão líquida de CO<sub>2</sub> de 77 a 104 g.MJ<sup>-1</sup>, quando o diesel foi substituído por biodiesel no setor de transportes das Filipinas. Segundo Beer *et al.* (2002), o ciclo de vida do biodiesel em veículos pesados na Austrália, reduziu as emissões de gases de efeito estufa em 41 a 51%, quando comparado com o ciclo de vida do diesel, tendo sido constatado que as emissões de CO<sub>2</sub> na combustão do biodiesel é equilibrada pelo fato de a fonte do combustível ser renovável. Janulis (2003) concluiu que o ciclo de vida do biodiesel causa menores impactos ambientais negativos que as fontes de combustível fóssil, além de serem produzidos a partir de fontes de matérias-primas renováveis.

## 2.9. Briquetagem

A briquetagem é o processo de aplicação de pressão a uma massa de partículas de material sólido, com ou sem adição de ligante, e com ou sem tratamento térmico posterior (ANTUNES, 1982; SALEME, *apud* QUIRINO, 1991).

Segundo Melo (2000), a aglomeração de finos teve início com o carvão mineral na China e na Inglaterra, com a utilização de ligantes de origem mineral, vegetal e animal. Até a 2<sup>a</sup> Guerra Mundial foram produzidas grandes quantidades de briquetes de carvão mineral em diversos países da Europa, sendo eles utilizados em fornos e caldeiras.

A densificação da biomassa sem o uso de aglutinantes ocorre, principalmente, devido à propriedade termoplástica da lignina, formada por um polímero amorfo que possui um ponto de transição vítrea (ou de amolecimento), que varia consideravelmente conforme a origem e o método utilizado para o seu isolamento, sendo as temperaturas de transição vítrea entre 135 ~ 190 °C influenciadas pela umidade (KLOCK *et al.*, 2005).

Klock *et al.* (2005) explicam que um material polimérico, ao amolecer, torna-se pegajoso e apresenta-se como um adesivo. Tal fato ocorre pelo aumento da superfície de contato, aliado à interdifusão das cadeias poliméricas, causadas pelo aumento do movimento molecular que estabelece acima do ponto de transição vítrea. Com isso, conclui-se que o comportamento adesivo da lignina varia com a temperatura.

Algumas vantagens do uso de resíduos densificados, como os briquetes, são a diminuição da velocidade de liberação da energia, que chega a ser comparável com a do carvão, evitando perdas por não aproveitamento do calor, quando comparado com a liberação rápida de energia dos materiais não compactados; a ocorrência de combustão

uniforme; o menor teor de umidade; o maior do poder calorífico por unidade de volume; a redução da emissão de material particulado; e o transporte, o armazenamento e a alimentação de fornos mais eficientes (WERTHER *et al.*, 2000; JUNGINGER *et al.*, 2008).

A menor variação das propriedades físicas e químicas dos materiais densificados contribui para que eles sejam atrativos para o mercado internacional energético. O mercado de biomassa densificada, pellets, aumentou principalmente em meados da década de 1990, devido ao seu maior consumo na União Europeia, sendo os principais atores deste mercado os países Nórdicos (Suécia, Dinamarca e Finlândia) e os novos membros da região Báltica (Latvia, Lituânia, Estônia e Polônia), assim como Áustria e Alemanha. A Suécia consumiu, em 2004, cerca de 1,2 milhão de toneladas, tendo sido importadas em torno de 350 mil toneladas de pellets (KALTSCHMITT, WEBER, 2006).

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROPALMA. **Palmdiesel**. Disponível em: <<http://www.agropalma.com.br/default.aspx?pagid=JMDLNLWKenavid=96>>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agricultural, Ecosystems and Environment**, v. 99, p. 15-27, 2003.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biodiesel – Introdução**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=16197em=et1=et2=et3=et4=ear=eps=ecachebust=1264783215937>>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

ANTUNES, R. C. Briquetagem de carvão vegetal. In: **Carvão vegetal: destilação, propriedades e controle de qualidade**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC, 1982. 205 p.

AUGUSTUS, G. D. P. S. *et al.* Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas*. **Biomass and Bioenergy**, v. 23, p. 161-164, 2002.

BEER, T. *et al.* Fuel-cycle greenhouse gas emissions from alternative fuels in Australian heavy vehicles. **Atmospheric Environment**, n. 36, p. 753-763, 2002.

BRASIL. **Lei nº 11.097**, 13 janeiro 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 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. Brasília: Presidência da República, 2005. 6 p.

CAMPOS, C. P. **A conservação das florestas no Brasil, mudança do clima e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto**. 2001. 169 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. Rio de Janeiro, 2001. 35 p.

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Roteiro básico para a elaboração de um projeto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL**. Rio de Janeiro, 2002. 52 p.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Vol. 2, Belo Horizonte, 1983 (Relatório técnico).

COSTA, P. M. *et al.* **Plantações e a mitigação de efeito estufa**: análise resumida. [Rio de Janeiro]: 2000. Disponível em: <<http://www.ecosecurities.com/300publications.htm>>. Acesso em: 30 Nov. 2009.

COTTA, M. K. **Quantificação de biomassa e análise econômica do consórcio seringueira-cacau para geração de créditos de carbono**. 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

ECX – European Climate Exchange. **CER Emissions Index**. Disponível em: <<http://www.ecx.eu/CERemindx>>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

FLORA BRASILIENSIS. **Prancha 68**. Flora Brasiliensis, vol. XI, part. II, fasc. 64, 1874. Disponível em: <[http://florabrasiliensis.cria.org.br/search?taxon\\_id=2794](http://florabrasiliensis.cria.org.br/search?taxon_id=2794)>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

FLORA BRASILIENSIS. **Prancha 84**. *Flora Brasiliensis*, vol. III, part. II, fasc. 85, 1881. Disponível em: <<http://florabrasiliensis.cria.org.br/taxonCard?id=FB13416>>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

FOIDL, N. *et al.* *Jatropha curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua. **Bioresource Technology**, v. 58, p. 77-82, 1996.

FRANCIS, G. *et al.* A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. **Natural Resources Forum**, v. 29, p. 12-24, 2005.

FRANGETTO, F. W.; GAZANI, F. R. **Viabilização jurídica do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil - O Protocolo de Kyoto e a cooperação internacional**. São Paulo: Peirópolis; Brasília, DF: IIEB – Instituto Internacional de Educação no Brasil, 2002. 477 p.

GRIMM, C. Evaluation of damage to physic nut (*Jatropha curcas*) by true bugs. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 92, p. 127-136, 1999.

GUBITZ, G. M. *et al.* Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. **Bioresource Technology**, v. 67, p. 73-82, 1999.

HAMILTON, K. *et al.* **State of the forest carbon markets 2009**: Taking root and branching out. Ecosystem Marketplace, 2009. 88 p.

HELLER, J. **Physic nut (*Jatropha curcas* L.):** Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. Roma: International Plant Genetic Resources Institute, 1996. 66 p.

HOLANDA, A. (relator). **Biodiesel e inclusão social.** Brasília: Câmara dos Deputados. Série Cadernos de Altos Estudos, n. 1, 2006. 200 p.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007: The scientific basis.** 2007 a. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_topic1.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_topic1.pdf)>. Acesso em: 20 Nov. 2009.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007: Synthesis Report.** 2007 b. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_topic1.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_topic1.pdf)>. Acesso em: 20 Nov. 2009.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **History.** Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/organization/organization\\_history.htm](http://www.ipcc.ch/organization/organization_history.htm)>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

JANULIS, P. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. **Renewable Energy**, n. 29, p. 861-871, 2004.

JUNGINGER, M. *et al.* Developments in international bioenergy trade. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, p. 717-729, 2008.

KALTSCHMITT, M.; WEBER, M. Markets for solid biofuels within the EU-15. **Biomass and Bioenergy**, v. 30, p. 897-907, 2006.

KLOCK, U. *et al.* **Química da madeira.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. 86 p.

KOPPER, A. C. **Bebida simbiótica elaborada com farinha de bocaiuva (*Acrocomia aculeata*) e *Lactobacillus acidophilus* incorporadas ao extrato hidrossolúvel de soja.** 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2009.

LOPES, I. V. (Coord.) **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL: guia de orientação.** Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002. 90 p.

LOPES, I. **Review of forestry carbon standards** – Development of a tool for organizations to identify the most appropriate forestry carbon credit. 2009. 114 p. Dissertação (M.Sc. Environmental Policy) – Imperial College London, 2009.

LORENZI, G. M. A. C. ***Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. - Arecaceae:** bases para o extrativismo sustentável. 2006. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

LORENZI, G. M. A. C.; NEGRELLE, R. R. B. ***Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.: aspectos ecológicos, usos e potencialidades.** **Visão Acadêmica**, v. 7, n. 1, 2006.

MARCATO, A. C.; PIRANI, J. R. Flora de Grão-Mogol, Minas Gerais: Palmae (Arecaceae). **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, n. 24, p. 1-8, 2006.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. **Status de ratificação do protocolo de Kyoto**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/4457.html>>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

MELO, V. P. S. **Produção de briquetes de carvão vegetal com alcatrão de madeira**. 2000. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

NOGUEIRA, J. B.; MACHADO, R. D. **Glossário de plantas oleaginosas e ceríferas**. Rio de Janeiro: Instituto de Óleos, 1957. p. 46-49.

NUCCI, S. M. **Desenvolvimento, caracterização e análise da utilidade de marcadores microsatélites em genética de população de macaúba**. 2007. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, Campinas, SP, 2007.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, p. 1-15, 2000.

PAIXÃO, F. A. **Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de alternativas de uso de um povoamento de eucalipto**. 2004. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

PEIXOTO, A. R. **Plantas oleaginosas arbóreas**. São Paulo: Nobel, 1973. 284 p.

PINTO JR., H. Q. *et al.* **Projeto: Matriz brasileira de combustíveis**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006. 170 p. (Relatório final).

QUIRINO, W. F. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Piracicaba: ESALQ, 1991. 64 F. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 1991.

PRAMANIK, K. Properties and use of *Jatropha curcas* oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. **Renewable Energy**, v. 28, p. 239-248, 2003.

PROTOCOLO DE KYOTO. **Protocolo de Kyoto**. Publicado pelo Secretariado da Convenção sobre Mudança do clima. Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil, 1997.

REIS, M. G. F. *et al.* “Seqüestro” e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X “SEQUESTRO” DE CO<sub>2</sub>: UMA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 155-195.

RIBEIRO, S. C. **Quantificação do estoque de biomassa e análise econômica da implementação de projetos visando a geração de créditos de carbono em pastagem**,

**capoeira e floresta primária**. 2007. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

ROCHA, M. T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. 2003. 213 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Piracicaba, SP, 2003.

SANQUETA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. *et al.* (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002. p. 119-140.

SANTOS, M. A. **Inserção do biodiesel na matriz energética brasileira: Aspectos técnicos e ambientais relacionados ao seu uso em motores de combustão**. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2007.

SATURNINO, H. M. *et al.* Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

SCARPINELLA, G. A. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Kyoto**. 2002. 182 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2002.

SHEEHAN, J.; CAMOBRECO, V.; DUFFIELD, J.; GRABOSKI, M.; SHAPOURI, H. **An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles**. United States of America: U.S. Department of Agriculture e U.S. Department of Energy, 1998. 60p.

SILVA, J. C. *et al.* Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados a madeira de eucalyptus grandis para a produção de carvão vegetal. **IPEF**, n. 34, p. 31-34, 1986.

SUJATHA, M. *et al.* Shoot bud proliferation from axillary nodes and leaf sections of non-toxic *Jatropha curcas* L. **Plant Growth Regulation**, v. 47, p. 83-90, 2005.

TAN, R. R. *et al.* Carbon balance implications of coconut biodiesel utilization in The Philippine automotive transport sector. **Biomass and Bioenergy**, v. 26, p. 579-585, 2004.

UNEP – United Nations Environment Programme; UNFCCC – United Nations framework convention on climate change. **Climate change: Information kit**. 2002. Disponível em: <[http://unfccc.int/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/climate\\_change\\_information\\_kit/items/305.php](http://unfccc.int/essential_background/background_publications_htmlpdf/climate_change_information_kit/items/305.php)>. Acesso em: 20 Nov. 2009.

TVINNEREIM, E.; ROINE, K.; HEIMDAL, C. (Ed.) **Carbon 2009** – Emission trading coming home. Point carbon, 2009. 48 p. Disponível em: <<http://www.pointcarbon.com/research/carbonmarketresearch/analyst/1.1083366>>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. **Essential background**. Disponível em: <[http://unfccc.int/essential\\_background/items/2877.php](http://unfccc.int/essential_background/items/2877.php)>. Acesso em: 10 jJan. 2010.

UN – United Nations. **United Nations framework convention on climate change**. 1992. Disponível em: <[http://unfccc.int/essential\\_background/convention/background/items/2853.php](http://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/2853.php)>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

WERTHER, J. *et al.* Combustion of agricultural residues. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 26, p. 1-27, 2000.

**Quantificação dos estoques de biomassa e carbono em um povoamento de *Jatropha curcas* L., no município de Viçosa, MG**

**Resumo:** O presente trabalho teve como objetivo estimar equações de biomassa e o estoque de carbono de um plantio de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). A área estudada localiza-se no município de Viçosa, MG, sendo o plantio realizado em espaçamento 3,5 x 3,0 m, tendo sido plantadas 4.300 mudas de pinhão-manso em 4,64 ha. Para quantificação da biomassa, foi utilizado o método direto e destrutivo, aplicado às árvores-amostra, que foram selecionadas de acordo com as medidas da altura, do diâmetro das copas e do número de ramos. A determinação da biomassa seca no campo foi obtida pelo método da proporcionalidade. Os modelos testados foram adaptados de Spurr e de Schumacher e Hall, para biomassa aérea e biomassa total (biomassa aérea mais biomassa de raízes pivotantes). O estoque de carbono foi estimado através da multiplicação da biomassa seca pelo fator 0,5. A estimativa do CO<sub>2</sub> equivalente estocado foi obtida pela multiplicação do estoque de carbono pelo fator 44/12. A equação que obteve melhor ajuste e que foi utilizada para determinação do estoque de carbono deste estudo foi a de Spurr, com os dados de biomassa total  $B = 0,7601 * (DC^2 * H)^{0,8949}$ . O estoque de carbono encontrado da cultura, no quarto ano, foi de 6,89 MgC.ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 25,27 Mg CO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>. O incremento médio anual da cultura foi de 6,73 MgCO<sub>2(eq)</sub>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, que convertidos em créditos de carbono podem gerar uma receita bruta de R\$199,65.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Os resultados mostram que o pinhão-manso é uma alternativa ambientalmente viável para elaboração de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo de florestamento/reflorestamento nos moldes de Kyoto ou em mercados voluntários, agregando renda ao produtor rural e tornando a cultura mais atrativa financeiramente.

**Palavras-chave:** biodiesel; mecanismo de desenvolvimento limpo; pinhão-manso.

**Quantification of biomass and carbon stocks in a stand of *Jatropha curcas* L.  
in Viçosa, MG**

**Abstract:** This study aimed to estimate equations of biomass and the carbon stock of a planting of Physic Nut (*Jatropha curcas* L.). The area studied is located in Viçosa, MG., and planting carried out in 3.5 x 3.0 m spacing, 4,300 seedlings of Physic Nut in 4.64 ha. To quantify the biomass, we used the direct method and destructive, applied to the sample trees were selected according to the measurements of height, canopy diameter and number of branches. The determination of biomass in the field was obtained by the proportionality method. The models were adapted from Spurr and Schumacher e Hall for aboveground biomass and total biomass (aboveground biomass more biomass of pivoting roots). The carbon stock was estimated by multiplying the biomass by a factor of 0.5. The estimate of the stored CO<sub>2</sub> equivalent was obtained by multiplying the carbon stock by a factor 44/12. The equation that best fit obtained and was used to determine the carbon stocks of this study was to Spurr with data for total biomass,  $B = 0.7601 * (DC^2 * H)^{0.8949}$ . The carbon stock of culture found in the fourth year was 6.89 Mg.C.ha<sup>-1</sup>, corresponding to 25.27 Mg.CO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>. The annual average increment of the culture was 6.73 Mg.CO<sub>2(eq)</sub>.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>, which converted into carbon credits can generate a gross revenue of R\$ 199.65.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>. The results show that Physic Nut is an environmentally viable alternative to drafting of the Clean Development Mechanism afforestation/reforestation along the lines of Kyoto or voluntary markets, adding income to farmers and making the crop more attractive financially.

**Keywords:** biofuel; clean development mechanism; physic nut.

## 1. Introdução

Com o aumento da concentração de gases na atmosfera, o efeito estufa vem se agravando e ocasionando a elevação da temperatura global. A melhor estimativa da mudança de temperatura da superfície terrestre é de 0,76 °C de acréscimo, desde o século XIX (IPCC, 2007). Modelos climáticos preveem que a temperatura global irá aumentar de 1,4 a 5,8 °C até 2100. Essas alterações deverão ser as maiores mudanças climáticas experimentadas nos últimos 10.000 anos (UNEP e UNFCCC, 2002). As principais fontes dos gases de efeito estufa (GEE) é a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento.

Devido à evidência do aumento da emissão dos GEE e ao aquecimento global, a preocupação com o clima vem ganhando importância mundial. Inúmeras reuniões internacionais vêm ocorrendo, na intenção de estabelecer políticas públicas que tragam possíveis soluções para evitar ou, pelo menos, reduzir a emissão desses gases.

Na terceira reunião das partes (COP 3), realizada em Kyoto-Japão, foi criado o protocolo de Kyoto, que foi a principal medida efetiva tomada para redução da emissão dos GEE. Este protocolo determina que os países desenvolvidos, denominados países do Anexo I, devem reduzir as emissões em 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990, entre 2008 e 2012. Para isso, prevê a utilização de mecanismos de flexibilização, de forma a facilitar o atendimento aos compromissos desses países (COTTA, 2005).

Dos mecanismos de flexibilização, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é o único que permite a participação de países em desenvolvimento, como o Brasil. O propósito do MDL é prestar assistência aos países em desenvolvimento (não Anexo I), para que viabilizem projetos que promovam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final do Protocolo de Kyoto, prestando assistência aos países Anexo I para que estes cumpram suas metas de redução de GEE (LOPES, 2002).

Com isso, a utilização do pinhão-mansão como matéria-prima da indústria do biodiesel pode tornar-se elegível como uma atividade de MDL, tanto pela absorção de carbono por parte da cultura quanto da utilização de suas sementes para produção de energia renovável, em detrimento do uso de combustíveis fósseis. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi quantificar o estoque de biomassa de carbono da cultura do pinhão-mansão.

## 2. Material e métodos

### 2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo foi determinada na propriedade de Paulo Afonso, localizada no município de Viçosa. A propriedade localiza-se nas coordenadas geográficas 20° 48' de latitude sul e 42° 52' de longitude oeste (sistema de projeção cilíndrica, DATUM: SAD 69), sendo a altitude média de 700 m (Figura 1). A área total possui 4,6463 ha, sendo o total plantado de 4,5315 ha, descontadas às áreas das duas trilhas internas na área de plantio (Figura 2). O plantio foi feito no espaçamento 3,5 x 3,0 m, tendo sido plantadas 4.300 mudas de pinhão-manso.



Figura 1 – Área de estudo do plantio de pinhão-manso, localizada na propriedade de Paulo Afonso, Viçosa, MG. (Foto: Diego de Paula Tolêdo).

A determinação das coordenadas geográficas, bem como a área de plantio e as duas trilhas internas na área plantada, foi feita através de caminhamento com GPS (*Global Position System*) da marca Garmin e modelo 76, tendo o processamento dos dados sido realizado no programa GPS TrackMaker<sup>®</sup> Grátis versão 13.1. Após o processamento dos dados foi feita a conversão do arquivo do GPS TrackMaker<sup>®</sup> Grátis, versão 13.1, em arquivo *shape file*, sendo este trabalhado no programa ArcGIS versão 9.3, para confecção do croqui da propriedade (Figura 2).

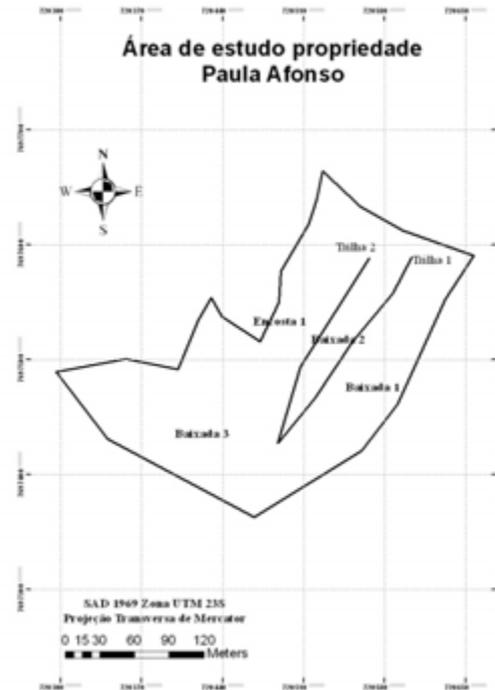


Figura 2 – Croqui da área de estudo de *Jatropha curcas* L., de propriedade de Paulo Afonso, no município de Viçosa, MG..

Segundo a classificação de Köppen, o clima na região é Cwb, com chuva mal distribuída ao longo do ano, verão chuvoso e inverno seco. O total pluviométrico anual médio é de 1.221 mm e a temperatura média é de 19 °C (VIANELLO, 1991).

## 2.2. Quantificação da biomassa arbórea

Uma vez definida a área para realização do estudo, foi determinada a distribuição das árvores do plantio, de acordo com o número de ramos, a altura e o diâmetro de copa. Para isso, foram feitas medições da altura, do diâmetro de copa e dos ramos presentes na planta. Após as medições, calculou-se o valor do número de ramos que ocorreu com maior frequência (moda), e das médias da altura e do diâmetro de copa (BANZATTO, KRONKA, 2006).

Com base na moda do número de ramos e nas médias da altura e do diâmetro de copa, foram selecionadas as árvores-amostra para quantificação da biomassa dos componentes da parte aérea (folhas e ramos) e do sistema radicular (raiz pivotante) (CAMPOS, LEITE, 2006; SOARES *et al.*, 2006). Para tanto, a área de estudo foi dividida, pela observação de campo, em quatro estratos: encosta 1 (E1), baixada 1 (B1), baixada 2 (B2) e baixada 3 (B3) (Figura 3).

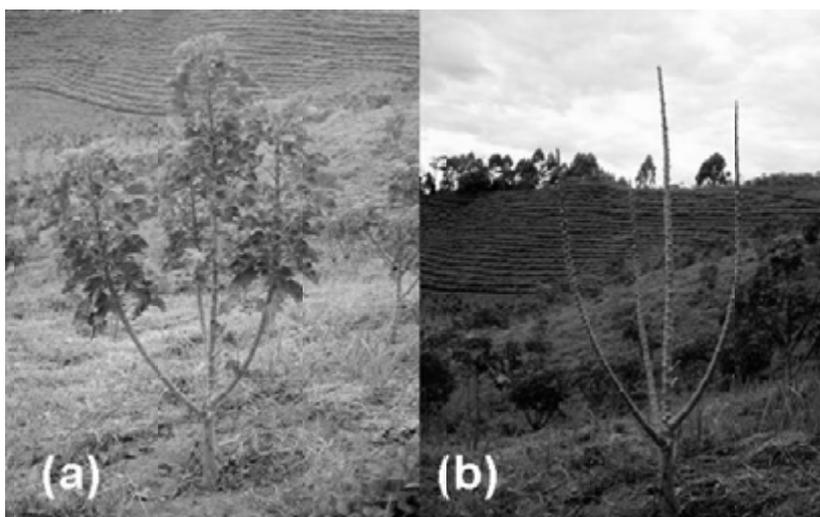


Figura 3 – Árvore-amostra (a); e árvore-amostra desfolhada (b). (Fotos: Diego de Paula Tolêdo).

A determinação da biomassa foi feita pelo método direto e destrutivo de árvores (TEIXEIRA *et al.*, 1994; WATZLAWICK *et al.*, 2002), tendo sido selecionadas duas árvores por estrato, para determinação da biomassa da parte aérea (folhas e ramos), e uma árvore por estrato, para a biomassa do sistema radicular.

Procedeu-se ao desfolhamento de cada árvore-amostra, e todas as folhas foram ensacadas e pesadas (Figura 3). Em seguida, retirou-se e pesou-se uma amostra representativa ( $\pm 10\%$  da massa), para determinação da massa de matéria seca.

Depois do desfolhamento de cada árvore, procedeu-se à retirada e pesagem de seus ramos (considerado os ramos e o caule até o solo). Após a pesagem, foram retiradas e pesadas amostras úmidas representativas, para determinação da massa de matéria seca.

Após a coleta dos ramos procedeu-se à retirada e pesagem da raiz pivotante (Figura 4). Em seguida, foram retiradas e pesadas amostras representativas, para determinação da massa de matéria seca.

As amostras úmidas das folhas, dos ramos e do sistema radicular das árvores, depois de coletadas e pesadas, foram levadas para o laboratório e colocadas em estufa de circulação e renovação de ar, à temperatura de, aproximadamente,  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ , até a estabilização da massa de matéria seca.



Figura 4 – Amostras de raiz pivotante (a), (b) e (c). (Fotos: Diego de Paula Toledo).

A determinação da biomassa seca no campo foi obtida através do método da proporcionalidade, utilizado também em trabalhos realizados por Teixeira et al. (1994) e Soares *et al.* (1996). Para isso, utilizou-se a seguinte equação:

$$Ms(c) = \frac{Mu(c)*Ms(a)}{Mu(a)} \quad [1]$$

em que

Ms (C) = massa de matéria seca total no campo, em kg;

Ms (a) = massa de matéria seca das amostras, em kg;

Mu (a) = massa de matéria úmida das amostras, em kg; e

Mu (c) = massa de matéria úmida total no campo, em kg.

Os cálculos para obter a biomassa seca dos compartimentos da árvore foram efetuados, utilizando-se a média dos valores da massa de matéria úmida de cada compartimento das árvores-amostra, bem como a média da massa de matéria úmida e matéria seca das amostras. Por meio da soma das médias da biomassa seca dos compartimentos, foi obtida a biomassa total de um indivíduo.

### 2.3. Equações de biomassa e estimativa da biomassa ao longo dos anos

Para estimativa da biomassa do plantio utilizaram-se os dados de biomassa no lugar de volume, nas equações volumétricas de Spurr e de Schumacher e Hall (Tabela 1), citados por Campos e Leite (2006) e Soares *et al.* (2006), e os dados de diâmetro de copa em vez do DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m).

Tabela 1 – Equações volumétricas testadas para ajuste de equação de biomassa, para árvore individual de *Jatropha curcas* L., no município de Viçosa, MG

Modelo	Adaptado
$B = \beta_0 * (DC * H^2)^{\beta_1} + \varepsilon$	Spurr
$LnB = \beta_0 + \beta_1 LnDC + \beta_2 LnH + \varepsilon$	Schumacher e Hall

B = biomassa; DC = diâmetro de copa (m); H = altura (m);  $\beta_0, \beta_1$  e  $\beta_2$  = parâmetros do modelo; Ln = logaritmo natural; e  $\varepsilon$  = erro aleatório.

As equações foram ajustadas primeiramente com os dados de biomassa aérea das oito árvores-amostra selecionadas por ano, totalizando 32 observações ao longo dos quatro anos de medição. As mesmas equações também foram ajustadas com os dados de Biomassa total (biomassa aérea mais raiz pivotante) das quatro árvores-amostras selecionadas por ano, totalizando 16 observações.

Além do cálculo das medidas de precisão ( $R^2$  e  $S_{y,x}$ ) da equação, foi analisado o gráfico de dispersão dos resíduos.

A Biomassa total por hectare de cada ano foi estimada proporcionalmente à área representada pela amostragem das árvores, que foi obtida pela multiplicação do número de árvores amostradas no ano pela área útil de cada planta, segundo o espaçamento utilizado pela cultura (3,5 x 3,0 m, área útil por planta 10,5 m<sup>2</sup>).

#### 2.4. Estimativa do estoque de carbono e conversão do carbono em CO<sub>2</sub> equivalente

O estoque de carbono foi estimado através da multiplicação da biomassa seca pelo fator 0,5, valor este que tem sido utilizado por vários autores, entre eles Dewar e Cannel (1992), Fearnside (1994) e Soares e Oliveira (2002), e recomendado pelo IPCC (2003) para projetos de “Usos da Terra, Mudanças de Uso da Terra e Silvicultura”. Em seguida, o estoque de carbono foi extrapolado para toneladas por hectare.

Pelo fato de as negociações no mercado de créditos de carbono serem efetuadas em função do CO<sub>2</sub> equivalente, tornou-se necessária a conversão do carbono em CO<sub>2</sub>. Como descrito pelo IPCC (2003), utilizou-se uma taxa de conversão de 44/12, multiplicada pelo estoque de carbono, que corresponde ao peso atômico do CO<sub>2</sub> (44) dividido pelo peso atômico do carbono (12).

### 3. Resultados e discussão

Com base nos estudos de campo observou-se tendência de crescimento ao longo dos anos tanto na altura como no diâmetro de copa. Contudo, houve grande amplitude dos dados ao longo dos anos tanto para altura quanto para diâmetro de copa. Na idade de 36 meses foi observada uma retração no crescimento do diâmetro de copa devido à realização de uma poda por parte do produtor. O diâmetro observado na idade de 45 meses demonstrou estabilização com relação à última idade (Figura 5).

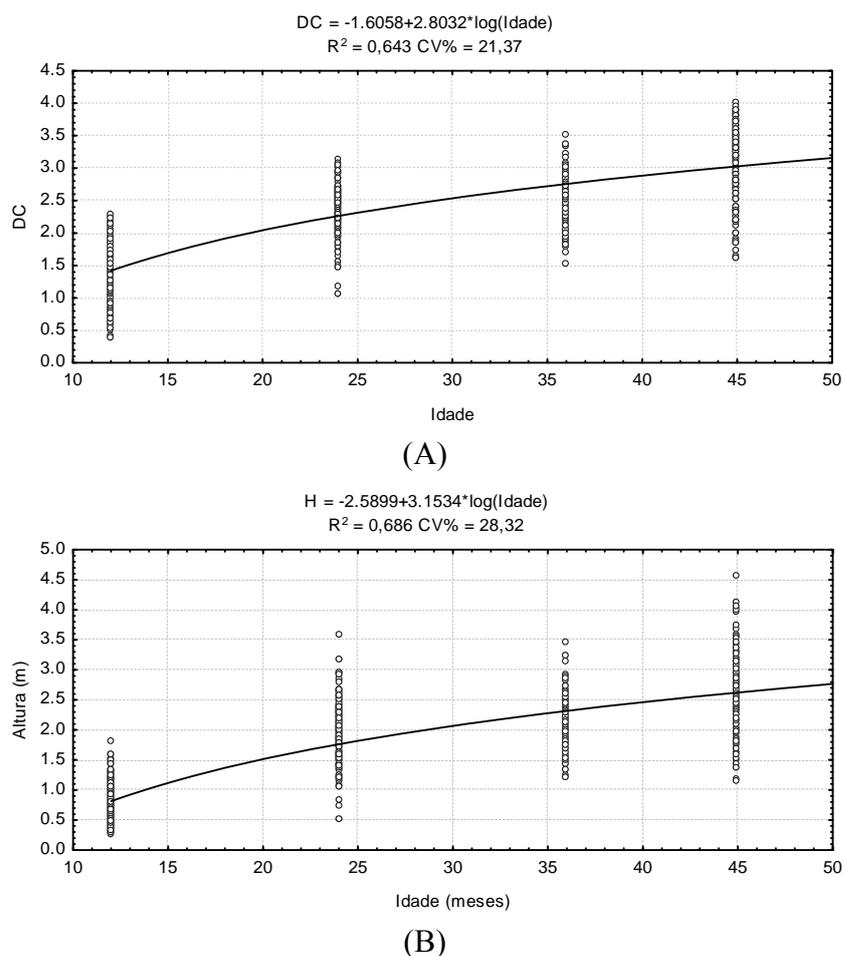


Figura 5 – Dispersão do diâmetro de copa (m) (A) e da altura (m) (B) e em relação à idade (meses) da cultura de *Jatropha curcas* L., no município de Viçosa, MG.

As médias das alturas nos anos de medição foram 1,39 m ( $s^2 = 0,22$ ); 2,39 ( $s^2 = 0,14$ ); 2,51 m ( $s^2 = 0,14$ ) e 3,10 m ( $s^2 = 0,35$ ); para os meses de 12, 24, 36 e 45, respectivamente. As médias dos diâmetros de copa nos anos de medições foram 0,75 m ( $s^2 = 0,11$ ); 1,96 m ( $s^2 = 0,25$ ) 2,12 m ( $s^2 = 0,19$ ) e 2,62 m ( $s^2 = 0,38$ ), para os meses de 12, 24, 36 e 45, respectivamente. Apesar da estagnação no crescimento do diâmetro de

copa entre os meses de 36 e 45, pela moda e média do número de ramos (Tabela 2), pode-se observar que a aplicação da poda foi favorável para cultura, pois quanto maior o número de ramos espera-se obter maior produtividade da cultura.

Tabela 2 – Moda e média do número de ramos da cultura de *Jatropha urcas* L., no município de Viçosa, MG.

	Idade (meses)			
	12	24	36	45
Moda	1	12	3	25
Média	1,83	12,65	2,41	29,41

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das equações de biomassa aérea e total, referentes ao modelo de Schumacher e Hall, foram de 0,8733 e 0,8619, respectivamente, podendo ser considerados satisfatórios. Contudo, para a equação de biomassa total os parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$  não foram estatisticamente significativos para o teste “t” a 95% de probabilidade, comprometendo o resultado do ajuste (Tabela 3).

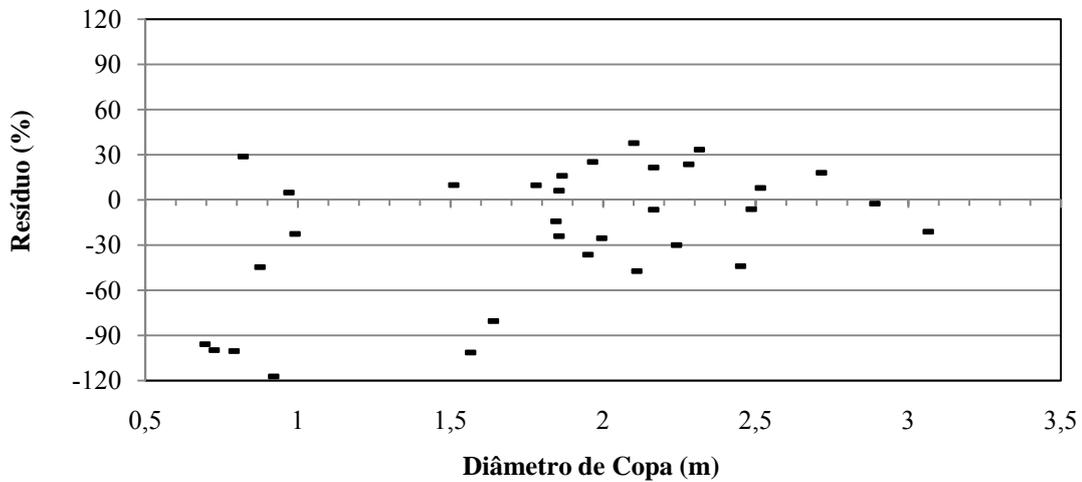
Tabela 3 – Estimativa dos parâmetros, erro-padrão e significância dos parâmetros adaptados da equação de Schumacher e Hall de biomassa aérea e biomassa total para árvore individual de *Jatropha curcas* L.

Coefficientes	Estimativa	Erro-Padrão da Estimativa	p
<b>Biomassa aérea</b>			
$\widehat{\beta}_0$	-1,0115	0,2808	$1,2 \times 10^{-3}$ **
$\widehat{\beta}_1$	0,0790	0,4094	0,8483 NS
$\widehat{\beta}_2$	2,8489	0,4885	$2,5 \times 10^{-6}$ **
<b><math>R^2</math></b>	<b>0,8733</b>		
<b>CV (%)</b>	<b>29,97</b>		
<b>Biomassa total</b>			
$\widehat{\beta}_0$	-0,4461	0,4307	0,3192 NS
$\widehat{\beta}_1$	0,4392	0,6442	0,5073 NS
$\widehat{\beta}_2$	2,3182	0,7704	0,0101 **
<b><math>R^2</math></b>	<b>0,8619</b>		
<b>CV (%)</b>	<b>32,24</b>		

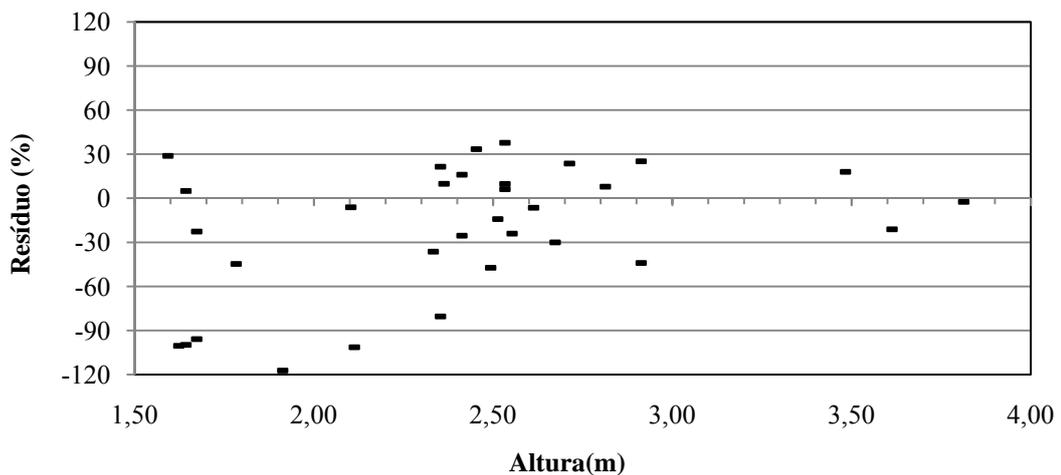
\*\* = significante pelo teste “t” (Student) a 95,0% de probabilidade; e NS = não significativo a 95,0% de probabilidade.

Apesar de coeficiente de determinação, o erro-padrão da estimativa e o teste “t” dos parâmetros da equação de biomassa aérea mostrarem resultados satisfatórios, o gráfico de distribuição de resíduos dos valores observados e estimados, tanto da altura

quanto do diâmetro de copa, evidencia que ela não confere uma estimativa segura para a biomassa da cultura (Figura 6).



(A)



(B)

Figura 6 – Dispersão dos resíduos da equação de Schumacher e Hall para biomassa aérea por árvore (kg), em relação ao diâmetro de copa (m) (A) e à altura (m) (B) de *Jatropha curcas* L.

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das equações de biomassa aérea e total, referentes ao modelo de Spurr, foram de 0,8533 e 0,8562, respectivamente, podendo ser considerados satisfatórios para o ajuste. Em ambas as equações os parâmetros testados foram estatisticamente significativos para o teste “t” a 95% de probabilidade, sendo os erros-padrão das estimativas próximos de zero (Tabela 4).

Os gráficos de dispersão dos resíduos dos valores observados e estimados, tanto da altura quanto do diâmetro de copa, mostram a tendência de a equação de biomassa

Tabela 4 – Estimativa dos parâmetros, erro-padrão e significância dos parâmetros adaptados da equação de Spurr de biomassa aérea e biomassa total para árvore individual de *Jatropha curcas* L.

Coefficientes	Estimativa	Erro-Padrão da Estimativa	p
<b>Biomassa aérea</b>			
$\widehat{\beta}_0$	0,4973	0,1252	4,1x10 <sup>-4</sup> **
$\widehat{\beta}_1$	0,9408	0,0789	6,5x10 <sup>-13</sup> **
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0,8533</b>		
<b>CV (%)</b>	<b>44,36</b>		
<b>Biomassa total</b>			
$\widehat{\beta}_0$	0,7601	0,2703	1,4x10 <sup>-2</sup> **
$\widehat{\beta}_1$	0,8949	0,1117	1,3x10 <sup>-6</sup> **
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0,8562</b>		
<b>CV (%)</b>	<b>42,71</b>		

\*\* = significante pelo teste “t” (Student) a 95,0% de probabilidade.

aérea subestimar a biomassa em diâmetros de copa inferiores a 1,50 m e alturas inferiores a 2,00 m. Após estes valores observa-se distribuição mais uniforme dos resíduos (Figura 7). O mesmo comportamento da dispersão dos resíduos pode ser notado para a equação de biomassa total, ou seja, há tendência de a equação subestimar a biomassa em diâmetros de copa inferiores a 1,50 m e alturas inferiores a 2,00 m (Figura 8).

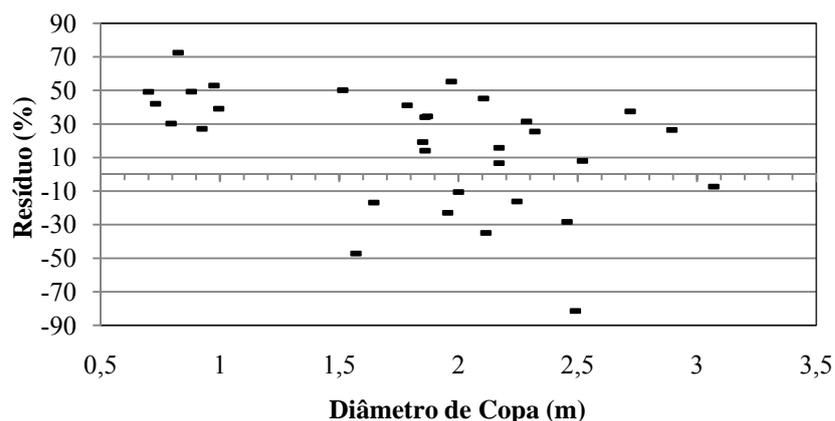
A equação utilizada para os cálculos de biomassa foi a adaptada de Spurr para biomassa total, por apresentar melhor ajuste comparado com o das equações adaptadas de Schumacher e Hall de biomassa total e aérea e da equação adaptada de Spurr para biomassa aérea.

$$B = 0,7601 * (DC * H^2)^{0,8949} \quad [2]$$

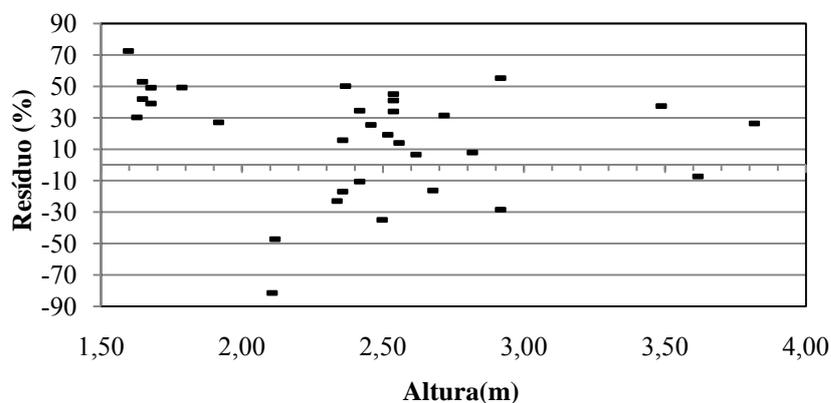
em que B = biomassa (kg); DC = diâmetro de copa (m); e H = altura (m).

A biomassa média por parte da planta foi maior nos ramos, seguidos pelas raízes e folhas, em todas as idades observadas (Figura 9). Estas medidas podem ser explicadas pelo fato de os tecidos do caule apresentarem maior acúmulo de celulose, hemiceluloses e ligninas nas paredes de suas células, já que este tecido apresenta função estrutural na planta (TAIZ, ZEIGER, 2004).

Com o uso da equação de biomassa ajustada foi calculada a biomassa ao longo dos anos de plantios da cultura de *Jatropha curcas* L., para o município de Viçosa, MG. No primeiro ano a biomassa do plantio foi de 1,274 Mg.ha<sup>-1</sup>, enquanto no quarto ano foi



(A)



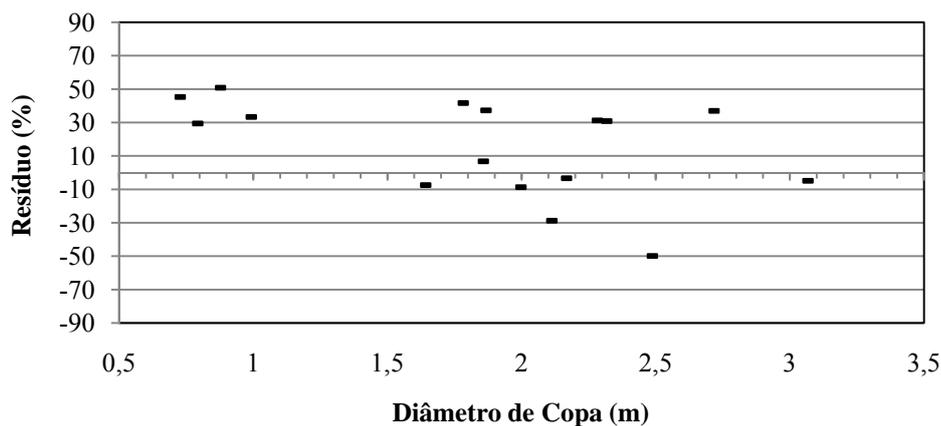
(B)

Figura 7 – Dispersão dos resíduos da equação de Spurr para biomassa aérea por árvore (Kg), em relação ao diâmetro de copa (A) e à altura (m) (B) de *Jatropha curcas* L.

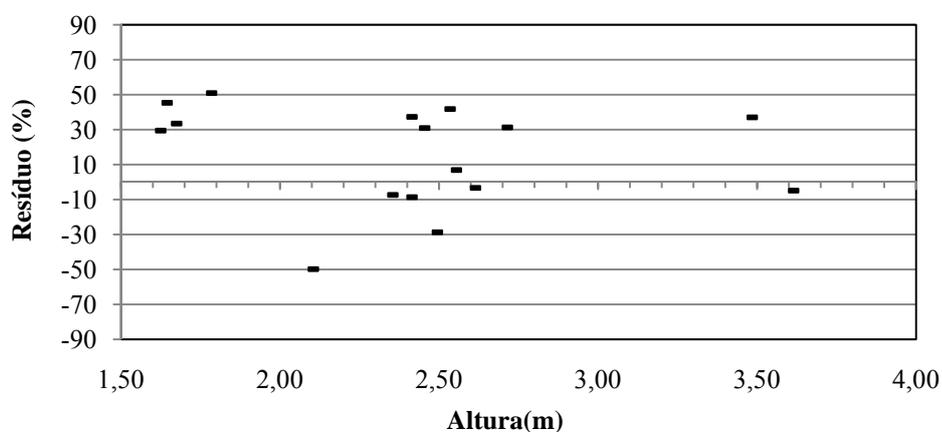
observado um acúmulo de biomassa de  $13,786 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , o que representa um crescimento de aproximadamente 13 vezes em relação à primeira medição (Figura 10).

O maior incremento médio anual (IMA) ocorreu no quarto ano, com  $3,676 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , sendo o maior incremento corrente anual (ICA) observado entre o segundo e o primeiro ano da cultura, com  $5,251 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de acúmulo de biomassa. Os baixos valores de ICA e IMA constatados aos 36 meses de idade se devem à aplicação de poda dos ramos praticados como manutenção da cultura. Observa-se que após a aplicação da poda houve melhoria no IMA da cultura, que anterior à poda era de  $3,263 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  e após  $3,676 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , representando 12,68% de aumento.

Contudo, a poda pode ter ocasionado perdas para o acúmulo de biomassa na cultura. Se considerado o crescimento corrente anual entre o primeiro e o segundo ano sem poda e os incrementos correntes anuais observados nos anos subsequentes à poda, ocorreram menores incrementos correntes nesses últimos anos (Tabela 4).



(A)



(B)

Figura 8 – Dispersão dos resíduos da equação de Spurr para biomassa total por árvore (kg), em relação ao diâmetro de copa (A) e à altura (m) (B) de *Jatropha curcas* L.

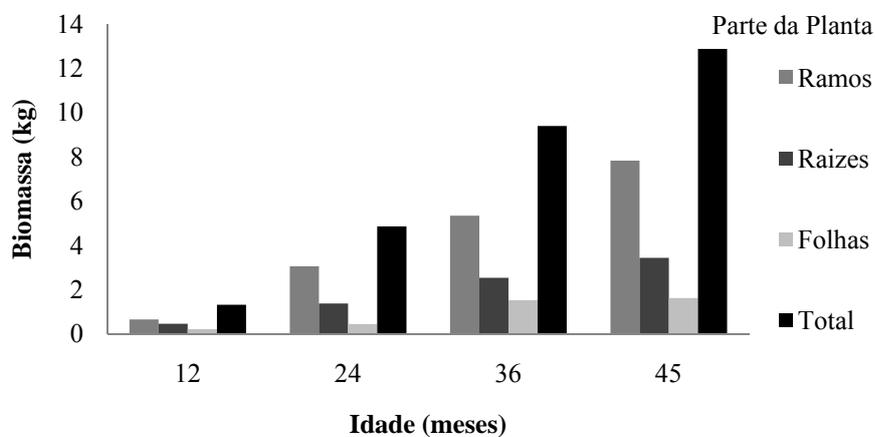


Figura 9 – Biomassa (kg) por partes da planta durante os anos de medição de *Jatropha curcas* L.

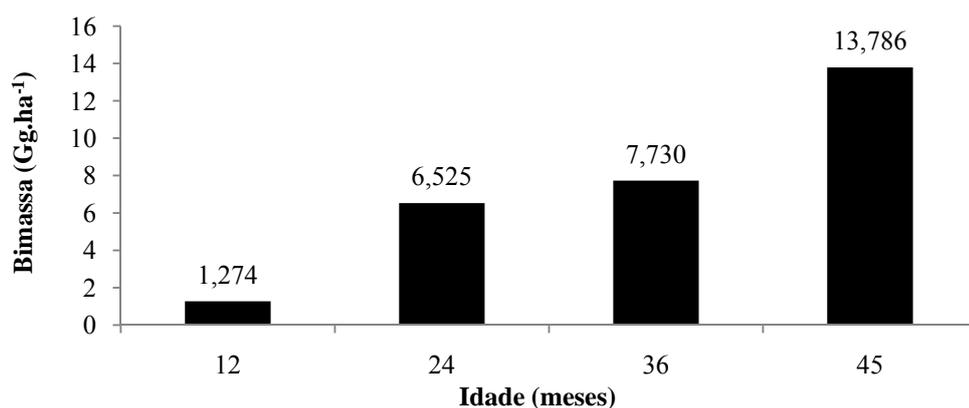


Figura 10 – Gráfico da biomassa total estimada de *Jatropha curcas* L. (Mg.ha<sup>-1</sup>) ao longo dos meses de plantio da cultura no município de Viçosa, MG.

Tabela 4 – Incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) de biomassa de *Jatropha curcas* L. (Mg.ha<sup>-1</sup>) ao longo dos meses de plantio da cultura no município de Viçosa, MG

Idade	ICA (Mg.ha <sup>-1</sup> )	IMA (Mg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
12	1,274	1,274
24	5,251	3,263
36	1,205	2,577
45	4,542	3,676

\* Valores proporcionais a nove meses decorridos entre 45 e 36 meses.

O estoque total de carbono da área no quarto ano de cultura (6,89 MgC.ha<sup>-1</sup>) foi superior ao estoque de carbono, de uma pastagem de 0,42 MgC.ha<sup>-1</sup>, observado por Ribeiro (2007), mostrando que a cultura do pinhão-manso pode tornar-se um projeto ambientalmente viável de MDL (Tabela 5). Com a viabilidade de projetos de substituição de pastagens por culturas perenes nos moldes de Kyoto, estes representariam uma alternativa para o produtor rural. A agregação de renda no projeto de implantação da cultura contribuiria para melhorar a sua atratividade financeira e, conseqüentemente, gerar renda para o produtor rural, muitas vezes descapitalizado.

Tabela 5 – Estoques de carbono (C) e carbono equivalente (CO<sub>2</sub> eq.) da cultura de *Jatropha curcas* L. ao longo dos anos, no município de Viçosa, MG

Idade	C (MgC.ha <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> eq. (Mg CO <sub>2</sub> .ha <sup>-1</sup> )
12	0,64	2,34
24	3,26	11,96
36	3,87	14,17
45	6,89	25,27

Tomando como base o incremento médio anual observado no quarto ano da cultura e convertendo em estoque de carbono, tem-se  $1,83 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ . Este valor é inferior ao do incremento médio de  $12,38 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  para cultura do eucalipto, aos sete anos de idade, citado por Nishi *et al.* (2005). Porém, ele é superior ao incremento médio de  $0,87 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  para cultura do cacaueteiro, aos seis anos de idade, e compatível com o incremento de  $2,50 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  para a cultura da seringueira, aos 34 anos de idade, observados por Cotta (2005), no consórcio seringueira-cacau.

O IMA de  $6,73 \text{ MgCO}_{2(\text{eq})} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  apresentado pela cultura, se convertido em créditos de carbono, poderia chegar a uma receita bruta de  $\text{R}\$199,65 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , tomando como base o *European Climate Exchange* (2010), com a cotação dos créditos no dia 10 de janeiro de 2010 de € 11,41 e a cotação do euro do mesmo dia (€1,00 igual a R\$ 2,60).

#### 4. Conclusões

Considerando os resultados apresentados no presente trabalho, foi possível concluir que:

A equação de Spurr, proposta neste trabalho para estimar a biomassa total por árvore individual de *Jatropha curcas* L., pode ser utilizada como referência em outros estudos que visem obter tais dados. O ajuste da equação foi satisfatório, devendo esta ser utilizada com ressalva em diâmetros de copa inferiores a 1,50 m e alturas inferiores a 2,00 m, que geralmente ocorrem no primeiro ano da cultura, pela tendência de subestimação da biomassa.

O estoque de carbono da cultura no quarto ano foi de  $6,89 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$ , que corresponde a um IMA em  $\text{CO}_2$  equivalente de  $6,73 \text{ MgCO}_{2(\text{eq})} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , podendo gerar uma receita bruta de  $\text{R}\$199,65 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  para o produtor rural em créditos de carbono. A receita originada dos créditos pode melhorar a atratividade financeira da cultura.

O pinhão-mansão mostra-se atrativo ambientalmente para pleitear créditos de carbono através de projetos de MDL de florestamento/reflorestamento, pois a cultura é perene e não prevê corte raso durante seu uso para produção de frutos, o que influencia positivamente a decisão de emissão dos créditos.

As estimativas de biomassa e estoque de carbono encontrados neste estudo podem servir de base para trabalho de viabilidade da elegibilidade da cultura em projetos de MDL de florestamento/reflorestamento nos moldes de Kyoto ou em mercados voluntários.

## 5. Referências bibliográficas

- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237 p.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2 ed. rev. ampl. Viçosa: Editora UFV, 2006. 470 p.
- COTTA, M. K. **Quantificação de biomassa e análise econômica do consórcio seringueira-cacau para geração de créditos de carbono**. 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.
- DEWAR, R. C.; CANNELL, M. G. R. Carbon sequestration in the trees, products and soils of forest plantations: an analysis using UK examples. **Tree Physiology**, v. 11, n. 1, p. 49-71, 1992.
- ECX – European Climate Exchange. **CER Emissions Index**. Disponível em: <<http://www.ecx.eu/CERemindx>>. Acesso em: 10 Jan. 2010.
- FEARNSIDE, P. M. Biomassa das florestas amazônicas brasileiras. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X “SEQUESTRO” DE CO<sub>2</sub>: UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 95-124.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007: Synthesis report**. 2007. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_topic1.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_topic1.pdf)>. Acesso em: 20 Nov. 2009.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. 2003. Disponível em: <[http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_contents.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html)>. Acesso em: 20 Nov. 2009.
- LOPES, I. V. (Coord.) **O mecanismo de desenvolvimento limpo - MDL: guia de orientação**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002. 90 p.
- NISHI, M. H *et al.* Influência dos créditos de carbono na viabilidade financeira de três projetos florestais. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 263-270, 2005.
- RIBEIRO, S. C. **Quantificação do estoque de biomassa e análise econômica da implementação de projetos visando a geração de créditos de carbono em pastagem, capoeira e floresta primária**. 2007. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.
- SOARES, C. P. B. *et al.* **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 276 p.
- SOARES, C. P. B. *et al.* Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis* na região de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 20, n. 2, p. 179-189, 1996.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 533-539, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artamed. 2004. 719 p.

TEIXEIRA, L. B *et al.* **Biomassa vegetal em agroecossistemas de seringueira consorciada com cacaueteiro no Nordeste paranaense**. Belém: EMBRAPA CPATU, 1994. 15 p. (Boletim de pesquisa, 153).

UNEP – United Nations Environment Programme; UNFCCC – United Nations Framework Convention On Climate Change. **Climate change: Information kit**. 2002. Disponível em: <[http://unfccc.int/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/climate\\_change\\_information\\_kit/items/305.php](http://unfccc.int/essential_background/background_publications_htmlpdf/climate_change_information_kit/items/305.php)>. Acesso em: 20 Nov. 2009.

VIANELLO, R. L. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, Imp. Univ., 1991. 449 p.

WATZLAWICK, L. F *et al.* Fixação de carbono em floresta ombrófila mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R. *et al.* (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002. p.153 -173.

**Quantificação dos estoques de biomassa e carbono em um povoamento de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart, no município de Jequitibá, MG**

**Resumo:** O objetivo deste estudo foi estimar o estoque de biomassa e carbono em uma área de regeneração natural de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.), com vistas à geração de créditos de carbono pela emissão evitada de áreas de preservação (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation – REDD*), o que contribui para a preservação da espécie e a geração de renda para o produtor rural e fortalece a cultura como fonte de matéria-prima para produção de biodiesel. Foram determinados a densidade básica do estipe da macaúba, o estoque de biomassa das folhas, o teor de carbono do estipe e das folhas e a relação entre volume e parte arbórea aérea. A área total de 6,3542 ha foi dividida em três áreas de estudo, com um total de 919 plantas, localizada no município de Jequitibá, MG. A determinação da biomassa e da necromassa secas no campo foi obtida através do método da proporcionalidade. A densidade básica do estipe foi obtida com base nos procedimentos da norma ABNT NBR 11.941. A fração de carbono da matéria seca foi determinada pelo método da calcinação. O estoque de carbono por hectare, o fator de expansão para conversão de volume em biomassa arbórea aérea e os valores *default* para relação raiz parte aérea e conversão do estoque de carbono em estoque de CO<sub>2</sub> equivalente foram estimados segundo metodologias praticadas pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). O estoque de carbono encontrado foi de 33,851 MgC.ha<sup>-1</sup>, que corresponde 12,412 MgCO<sub>2(eq)</sub>.ha<sup>-1</sup>, demonstrando assim o potencial de estocagem de carbono da cultura e mitigação de gases de efeito estufa. Convertido em créditos de carbono, este valor pode gerar uma receita bruta de R\$3.682,14.ha<sup>-1</sup>, considerando que as áreas se encaixariam na modalidade de emissão evitada. A receita serviria para a capitalização do produtor e a conservação da espécie.

**Palavras-chave:** mecanismo de desenvolvimento limpo; Biodiesel; macaúba.

**Quantification of biomass and carbon stocks in a stand of *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart, in Jequitibá, MG**

**Abstract:** This study aimed to estimate the biomass and carbon stock in an natural regeneration of Oil Palm (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) with a view to generating carbon credits from Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD), contributing with the preservation of species, generating income for farmers and strengthening the culture as source material for biodiesel production. Was determined basic density of stem Oil Palm, the biomass of leaves, the carbon content of the stem and leaves and the relationship between volume stem and belowground biomass . The total area of 6.3542 ha was divided into three areas of study, with a total of 919 plants, located in the town of Jequitibá, MG. The determination of dry biomass and necromass field was obtained by the proportionality method. The basic density of the stem was achieved by following the procedures of standard ABNT NBR 11941. The carbon fraction of dry matter was determined by the calcination method. The carbon stock per hectare, the expansion factor for converting volume stem into belowground biomass, the default values for root-shoot ratio and conversion of carbon stock into CO<sub>2</sub> equivalent stock of were estimated according to the methods practiced by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). The carbon was found to be 33.851 Mg.C.ha<sup>-1</sup>, corresponding to 12.412 Mg.CO<sub>2(eq)</sub>.ha<sup>-1</sup>, demonstrating the potential for carbon storage of culture and mitigation of greenhouse gases. Converted into carbon credits, this may generate a gross revenue of R\$ 3,682.14.ha<sup>-1</sup> whereas the areas would fit in the form of avoided emissions. The recipe will serve to cap producer and the conservation of the species.

**Keywords:** clean development mechanism; biofuel; oil palm.

## 1. Introdução

O aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE), decorrente da exacerbada expansão econômica e industrial, tem sido alvo de grande preocupação nos últimos tempos. A estimativa é que houve elevação da temperatura da superfície terrestre de 0,76 °C, desde o século XIX (IPCC, 2007). Modelos climáticos preveem que a temperatura global poderá aumentar entre 1,4 e 5,8 °C até 2100.

Essas alterações deverão ser as maiores mudanças climáticas experimentadas nos últimos 10.000 anos (UNEP, UNFCCC, 2002). As principais fontes dos gases de efeito estufa (GEE) são a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento.

Devido à evidência do aumento da emissão dos GEE e ao aquecimento global, a preocupação com o clima vem ganhando importância mundial. Inúmeras reuniões internacionais vêm ocorrendo, na intenção de estabelecer políticas públicas que tragam possíveis soluções para evitar ou, pelo menos, reduzir a emissão desses gases.

O encontro de Kyoto, que foi palco da criação do Protocolo de Kyoto, talvez tenha sido o mais importante dos encontros internacionais. Este Protocolo determina que os países desenvolvidos, denominados países do Anexo I, devem reduzir as emissões em 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990, entre 2008 e 2012. Para isso, prevê a utilização de mecanismos de flexibilização, de forma a facilitar o atendimento aos compromissos desses países (RIBEIRO, 2007).

Dentre estes mecanismos, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) torna-se o mais viável para o Brasil, pois permite que os países do Anexo I financiem projetos de redução de emissões ou absorção de carbono nos países em desenvolvimento, como parte de suas metas de redução. Como comprovações de suas reduções, esses países receberiam Certificados de Emissões Reduzidas (CERs), que podem ser utilizados, posteriormente, no mercado de carbono (LOPES, 2002; COTTA, 2005).

Nesse contexto, a macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) surge como uma alternativa para diminuição da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, pela absorção e pelo estoque de carbono na superfície terrestre pela cultura. Além disso, na produção de biodiesel são utilizados apenas os frutos da macaúba, portanto o carbono continua fixado nas raízes, no estipe e nas folhas, conseqüentemente o estoque de carbono pela espécie é maior que o das espécies agrícolas convencionais que são colhidas anualmente.

*A. aculeata* é uma palmeira cujo estipe pode atingir de 10 a 15 metros de altura, sendo recoberta de espinhos pretos e pontiagudos na região dos nós. As folhas verdes são pinadas, com comprimento variando de 4 a 5 m, e possuem espinhos na região central (LORENZI, 2006).

O objetivo deste trabalho foi estimar o estoque de biomassa e carbono em uma área de regeneração natural de macaúba (*A. aculeata*), no município de Jequitibá, MG, como base para elaboração de projetos de MDL.

## 2. Material e métodos

### 2.1. Caracterização da área de estudo

As áreas de estudo (1, 2 e 3) estão localizadas no município de Jequitibá, MG, de propriedades de Syneas Campelo e Daniel Campelo. A área de estudo 1 possui 1,2973 ha e 107 árvores (82 árvores.ha<sup>-1</sup>), que se encontram bem espaçadas, de forma aleatória, com a formação de pastagem em conjunto com o macaúbal. Segundo o proprietário Syneas Campelo, algumas mudas foram transplantadas de áreas de mata nativa para o pasto, contudo a maioria das árvores encontrava-se na área e foram mantidas concomitantemente à pastagem (Figuras 1 e 2).



Figura 1 – Área de estudo 1, propriedade de Syneas Campelo, Jequitibá, MG. (Foto: Diego de Paula Toledo).

Figura 2 – Distribuição espacial das árvores de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart, medidas nas áreas de estudo 1 e 2, de propriedade de Syneas Campelo, no município de Jequitibá, MG.

A área de estudo 2 foi dividida em dois talhões, pela passagem de uma estrada entre eles. O primeiro talhão tem 1,2693 ha e o segundo, 1,7421 ha. No total foram amostradas 301 árvores (Figura 2), perfazendo uma densidade de 100 árvores.ha<sup>-1</sup>. No primeiro talhão foi observada condição semelhante à da área de estudo 1, com as macaúbas espaçadas aleatoriamente e com formação de pastagem (Figuras 2 e 3). No talhão 2 foram observadas a presença de formação de sub-bosque e tendência de pequenos aglomerados de macaúba (Figuras 2 e 3).

A área de estudo 3, de propriedade de Daniel Campelo, possuía várias aglomerações de macaúba, com preparo de solo para implantação de pastagem (Figuras 4 e 5), e apresentava a maior densidade de plantio (250 árvores.ha<sup>-1</sup>). Foram medidas 511 plantas em 2,0455 ha, divididos por uma estrada (Figura 5). A área total do estudo, correspondente às três áreas medidas, foi de 6,3542 ha.

De acordo com dados do GeoMINAS (2009) e IBGE (2009), o município de Jequitibá possui precipitação anual de 1.200 a 1.500 mm e temperatura média anual entre 19 e 21 °C, sendo o tipo de solo predominante da região o Argissolo Vermelho.



(A)



(B)

Figura 3 – Área de estudo 2, de propriedade de Syneas Campelo, Jequitibá, MG. (A) Talhão 1; e (B) Talhão 2 (Fotos: (A) Diego de Paula Toledo; e (B) Ricardo de Oliveira Gaspar).



Figura 4 – Área de estudo 3, de propriedade de Daniel Campelo, Jequitibá, MG (Foto: Ricardo de Oliveira Gaspar).

Para delimitação da área utilizou-se GPS de caminhada da marca Garmin, modelo GPSMAP<sup>®</sup> 60CSx., sendo o processamento dos dados feitos no programa GPS TrackMaker<sup>®</sup> Grátis versão 13.1. Após o processamento dos dados foi feita a conversão do arquivo do GPS TrackMaker<sup>®</sup> Grátis versão 13.1 em arquivo *shape file*, sendo este trabalhado no programa ArcGIS versão 9.3 para confecção dos mapas das áreas estudadas. O sistema de projeção adotado foi Universal Transverse Mercator (UTM), DATUM: SAD-69.

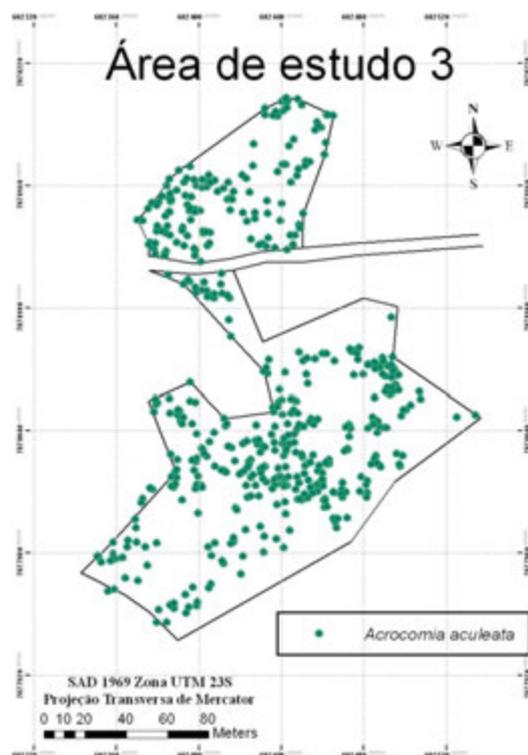


Figura 5 – Distribuição espacial das árvores de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart, medidas na área de estudo 3, de propriedade de Daniel Campelo, no município de Jequitibá, MG.

## 2.2. Dados e análises

Em virtude do tamanho das áreas (6,3542 ha na soma das três áreas de estudo), foi realizado um censo ou inventário de 100%, com a medição do CAP (Circunferência a 1,30 m de altura), altura do estipe e número de folhas verdes de cada árvore (Figura 6).

Após a análise dos dados de distribuição do diâmetro e da altura das plantas, foram selecionadas quatro árvores-amostra nas cinco classes centrais (classes com mais de quatro indivíduos), conforme indicado por Soares *et al.* (2006). Para cubagem do estipe em pé das árvores foram utilizados uma suta para as medidas de 0,10, 1,30 e 2,00 m e um pentataprisma de Wheeler, para as medidas de diâmetro tomadas a partir dos 2,00 m de altura, coletadas de 2,00 em 2,00 m até a altura total do estipe.

Além das árvores cubadas em pé, foram abatidas cinco árvores para realização da cubagem com a árvore abatida, com o auxílio de uma suta, tendo sido tomadas medidas de diâmetro a 0,10, 1,30 e 2 m, e a partir daí de 2 em 2 m, até a altura total do estipe.

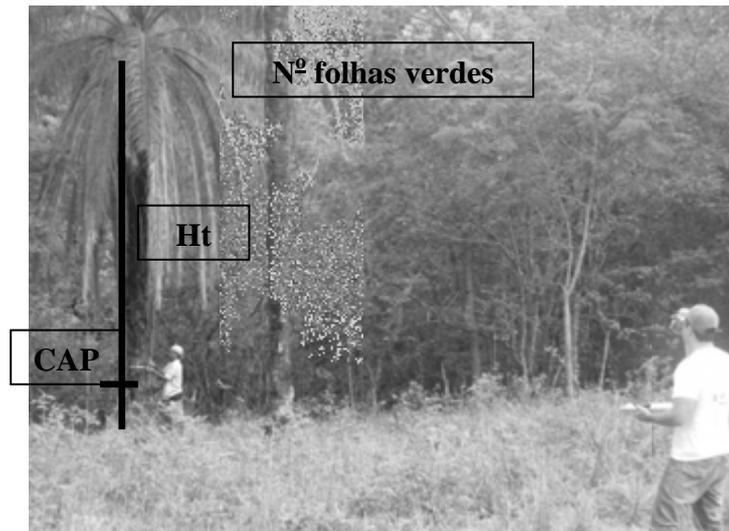


Figura 6 – Dados dendrométricos avaliados (Foto: Ricardo de Oliveira Gaspar).

O cálculo do volume do estipe através dos dois métodos de cubagem foi realizado, utilizando-se a soma dos volumes das seções, calculada pela fórmula de *Smalian*.

Os dados dos volumes observados tanto das árvores abatidas quanto das cubadas em pé, foram utilizados para ajuste do modelo de Schumacher e Hall:

$$\text{Ln}V = \beta_0 + \beta_1 \text{LnDAP} + \beta_2 \text{Ln}H + \varepsilon \quad [1]$$

em que

Ln = logaritmo natural;

DAP = diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m (cm);

H = Altura (m);

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = parâmetros do modelo; e

$\varepsilon$  = erro aleatório.

Além do cálculo das medidas de precisão ( $R^2$  e  $S_{y.x}$ ) da equação, foi analisado o gráfico de dispersão dos resíduos.

A determinação da biomassa foliar foi realizada pela coleta, em cada árvore-amostra, de três folhas verdes, que foram ensacadas e pesadas em campo. Posteriormente, amostras representativas ( $\pm 10\%$  da massa) foram retiradas e pesadas, para determinação da massa de matéria seca (Figura 7).



Figura 7 – Coleta de folhas de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. (A) retirada das folhas das árvores com auxílio de escada e serra de poda; (B) pesagem das folhas úmidas; e (C) pesagem das amostras úmidas (Fotos: Diego de Paula Toledo).

As folhas secas foram contadas aleatoriamente em 43 árvores, para calcular um fator de relação entre número de folhas verdes e número de folhas secas. A quantificação da necromassa das folhas secas foi feita pela coleta de 35 folhas, que foram pesadas em campo. Posteriormente, amostras representativas foram retiradas e pesadas, para determinação da massa de matéria seca.

As amostras úmidas das folhas verdes e secas, depois de coletadas e pesadas, foram levadas para o laboratório e colocadas em estufa de circulação e renovação de ar à temperatura de aproximadamente 65 °C, até a estabilização da massa de matéria seca.

A determinação da biomassa e da necromassa secas no campo foram obtidas por meio do método da proporcionalidade, também utilizado em trabalhos realizados por Soares *et al.* (1996) e Teixeira *et al.* (1994). Para isso, utilizou-se a seguinte equação

$$Ms(c) = \frac{Mu(c) * Ms(a)}{Mu(a)} \quad [2]$$

em que

$Ms(C)$  = massa de matéria seca total no campo, em kg;

Ms (a) = massa de matéria seca das amostras, em kg; e  
Mu (a) = massa de matéria úmida das amostras, em kg;  
Mu (c) = massa de matéria úmida total no campo, em kg.

Os cálculos para obter a biomassa e necromassa seca das folhas foram efetuados por meio da média dos valores da massa de matéria úmida das folhas verdes e secas, bem como da média da massa de matéria úmida e matéria seca das suas amostras. Por meio da soma das médias da biomassa seca das folhas, foi obtida a biomassa foliar de um indivíduo.

### 2.3. Densidade básica do estipe

Em cada uma das cinco árvores abatidas foram retirados cinco discos, cortados transversalmente nas alturas de 0, 25, 50, 75 e 100 % do estipe da árvore para determinar a densidade básica da macaúba. Em cada disco foram cortadas duas cunhas radialmente, abrangendo desde a medula até a casca, e em secções opostas (Figura 8).

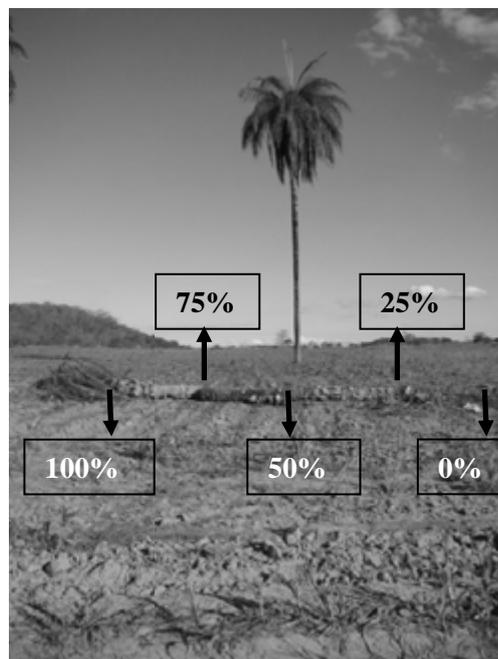


Figura 8 – Retirada dos discos para determinação da densidade do estipe de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.

A densidade básica das cunhas foi obtida por meio dos procedimentos da norma ABNT NBR 11.941 e de Vital (1984), além dos procedimentos-padrão adotados pelo Laboratório de Painéis e Energia (LAPEM) da Universidade Federal de Viçosa.

Cada cunha, depois de saturada em água, foi submergida em um bécker com água sobre uma balança zerada e seu volume deslocado ( $\text{cm}^3$ ), representado pela massa mostrada na balança, pois a densidade da água equivale  $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$ . Em seguida, as cunhas foram levadas para uma estufa de circulação e renovação de ar à temperatura de aproximadamente  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , até a estabilização da massa de matéria seca.

#### 2.4. Estoque de carbono e conversão do carbono em $\text{CO}_2$ equivalente

O estoque de carbono da área foi estimado pela fórmula proposta pelo IPCC (2003):

$$C = (V * d * BEF_2) * (1 + R) * CF \quad [3]$$

em que

C = carbono total presente na biomassa ( $\text{kgC.ha}^{-1}$ );

V = volume da área ( $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ );

d = densidade básica da madeira ( $\text{kg.m}^{-3}$ );

$BEF_2$  = fator de expansão para conversão de volume em biomassa arbórea aérea;

R = relação raiz/parte aérea; e

CF = fração de carbono da matéria seca ( $\text{kgC.kg matéria seca}^{-1}$ ).

A densidade básica da madeira utilizada foi a obtida nos dados deste estudo. O fator de expansão para conversão de volume em biomassa arbórea aérea foi calculado com base na relação encontrada entre o volume das árvores cubadas e a biomassa foliar obtida neste estudo, pela fórmula sugerida pelo IPCC (2003):

$$BEF_2 = 1 + (BA/V) \quad [4]$$

em que

$BEF_2$  = fator de expansão para conversão de volume em biomassa arbórea aérea;

BA = Biomassa arbórea aérea (toneladas); e

V = volume ( $\text{m}^3$ ).

A relação raiz/parte aérea adotada foi de 0,24, *default* do IPCC (2003), para floresta tropical e subtropical úmida primária.

A fração de carbono da matéria seca foi calculada pela média de três amostras de cada porcentagem à altura do estipe (0, 25, 50, 75 e 100% da altura do estipe) e três amostras compostas de folhas verdes e secas. As amostras foram moídas em moinho de faca, para fragmentação do material, e encaminhadas para o Laboratório de Solos da Universidade Federal de Viçosa. A fração de carbono da matéria seca de cada amostra foi determinada pelo método da calcinação em mufla a 500 °C, por três horas, segundo metodologia adotada pelo próprio laboratório.

Pelo fato de as negociações no mercado de créditos de carbono serem efetuadas em função do CO<sub>2</sub> equivalente, tornou-se necessária a conversão do carbono em CO<sub>2</sub>. De acordo com recomendado pelo IPCC (2003), utiliza-se uma taxa de conversão de 44/12 multiplicada pelo estoque de carbono, que corresponde ao peso atômico do CO<sub>2</sub> (44) dividido pelo peso atômico do carbono (12).

### 3. Resultados e discussão

O teste de normalidade de *Kolmogorov-Smirnovi* e *Lilliefors*, tanto para os dados de DAP quanto de altura do estipe, seguiram a distribuição normal (Figura 9).

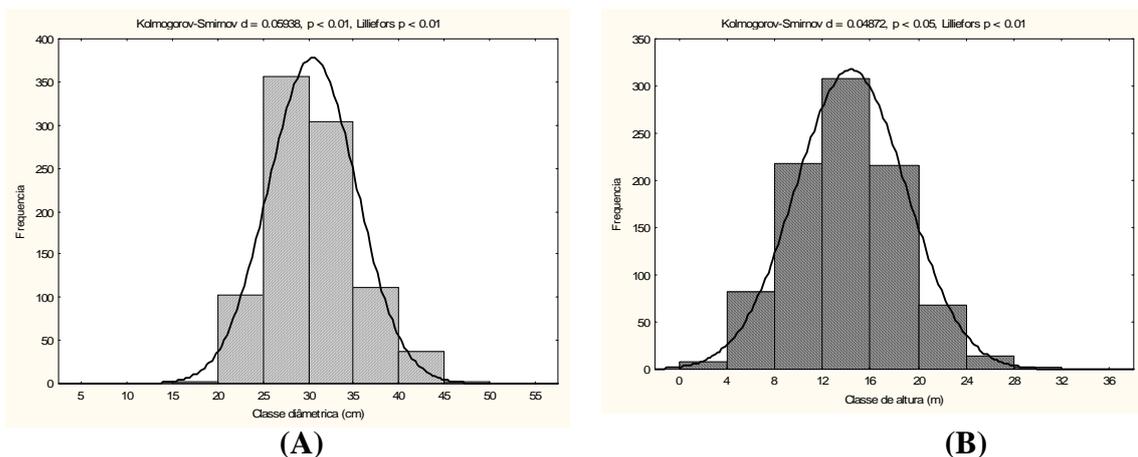


Figura 9 – Distribuição diamétrica (cm) (A) e de altura (m) (B) de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., no município de Jequitibá, MG.

A média dos DAPs foi de 30,5 cm e a das alturas do estipe de 14,4 m. O valor próximo de zero de assimetria observado para a altura mostra que a distribuição é simétrica, desejável para a distribuição normal. Já para o DAP, a distribuição mostrou-

se com tendência de assimetria para valores das classes médias e das maiores classes diamétricas. O valor de curtose, para os dados de altura, próximo de zero indica que a distribuição não apresenta picos ou planos ao longo da árvore, sendo este comportamento típico da distribuição normal. Contudo, para os dados de DAP o valor de *Kurtosis* apresentou inclinação para formação de pico da distribuição normal (Tabela 1).

Tabela 1 – Estatística descritiva dos dados de DAP e altura de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., no município de Jequitibá, MG

Parâmetro	Média	Variância	Desvio-Padrão	Assimetria	Curtose
Altura (m)	14,38	21,36	4,62	0,11	0,01
DAP (cm)	30,48	23,53	4,85	0,50	0,58

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da equação volumétrica ajustada de Schumacher e Hall para árvore individual de macaúba foi de 0,8213, sendo considerado satisfatório para o ajuste. Os parâmetros estimados da equação foram estatisticamente significativos para o teste “t” a 95% de probabilidade, sendo os erros-padrão das estimativas de DAP e altura próximos de zero (Tabela 2).

Tabela 2 – Estimativa dos coeficientes, erro-padrão e significância dos parâmetros da equação volumétrica para árvore individual de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., no município de Jequitibá, MG

Coefficientes	Estimativa	Erro-Padrão da Estimativa	p
$\widehat{\beta}_0$	-8,6651	0,8618	$1,1 \times 10^{-9}$ **
$\widehat{\beta}_1$	1,4025	0,1706	$3,8 \times 10^{-8}$ **
$\widehat{\beta}_2$	1,4270	0,1891	$1,5 \times 10^{-7}$ **

\*\* = Significante pelo teste “t” (Student), a 95,0% de probabilidade.

Os gráficos dos resíduos, em função do DAP e da altura, mostraram-se distribuídos de forma uniforme (Figura 10). A equação volumétrica para estipe da macaúba utilizada neste estudo, para quantificar a biomassa e estoque de carbono com seus parâmetros ajustados é apresentada conforme a equação 5:

$$\begin{aligned} \text{Ln}V &= -8,6651 + 1,40252\text{Ln}DAP + 1,4270 \text{Ln}H & [5] \\ R^2 &= 0,8213 \text{ CV}\% = 15,38 \end{aligned}$$

em que

Ln = logaritmo natural;

V = volume do estipe ( $\text{m}^3$ )

DAP = diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m (cm); e

H = Altura (m).

O volume total da área foi de  $872,55 \pm 0,43 \text{ m}^3$ , tendo sido adotado para o cálculo de estocagem de carbono um volume de  $137,32 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ , referente à soma das três áreas de estudo.

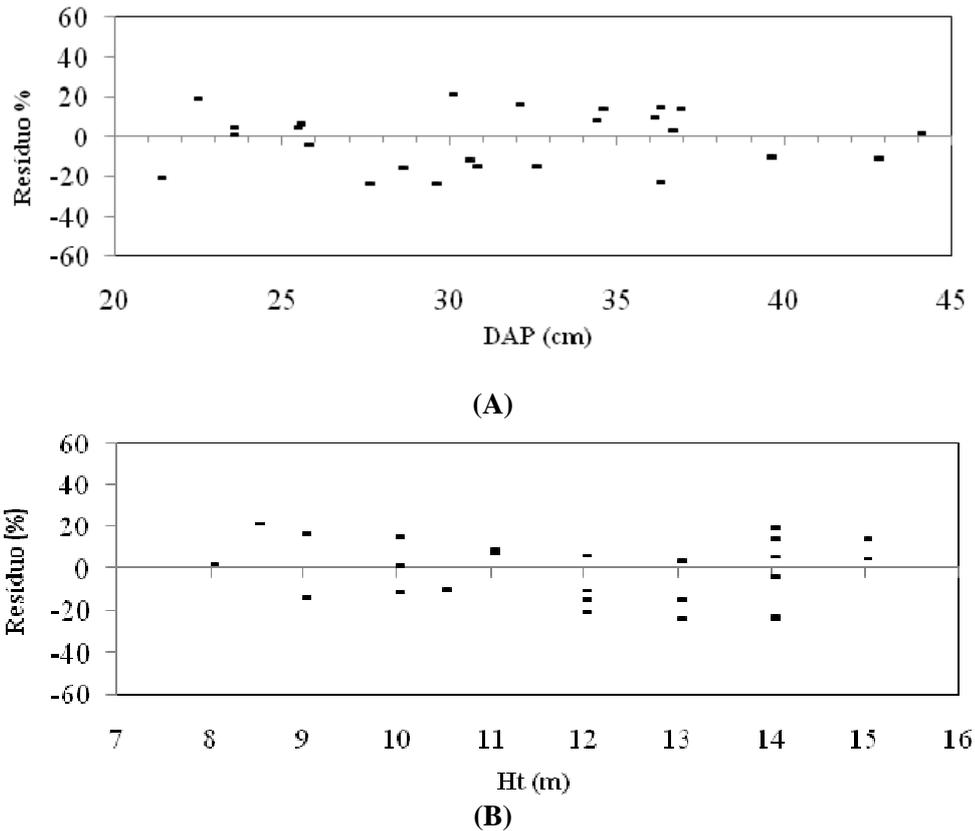


Figura 10 – Dispersão dos resíduos da equação de Schumacher e Hall para o volume total por árvore ( $\text{m}^3$ ), em relação ao DAP (cm) (A) e à altura (m) (B) de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., no município de Jequitibá, MG.

A densidade básica encontrada para a estipe de macaúba foi, em média, de  $0,34926 \pm 0,12334 \text{ g.cm}^{-3}$ . Como pode ser observado na Figura 11, a densidade do estipe diminui em função da sua altura.

Este comportamento pode ser explicado pela influência do maior espessamento de parede celular das camadas de menor altura na árvore e nas áreas periféricas e entre a medula e a casca dos feixes vasculares do estipe da macaúba. O espessamento celular dos feixes vasculares pode conter cristais de sílica, de elevada dureza e durabilidade natural contra organismos xilófagos, que elevaria sua densidade (SCANAVACA JR., GARCIA, 2004; KLOCK *et al.*, 2005; SILVA, 2005) (Figura 12).

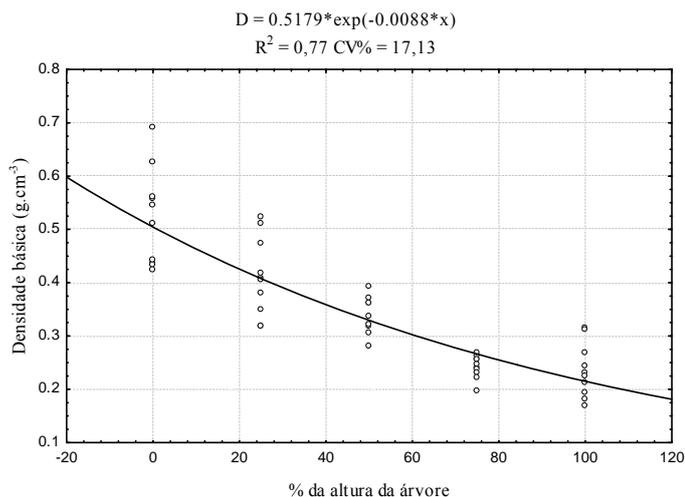


Figura 11 – Dispersão da densidade básica ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) ao longo da altura da árvore de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.

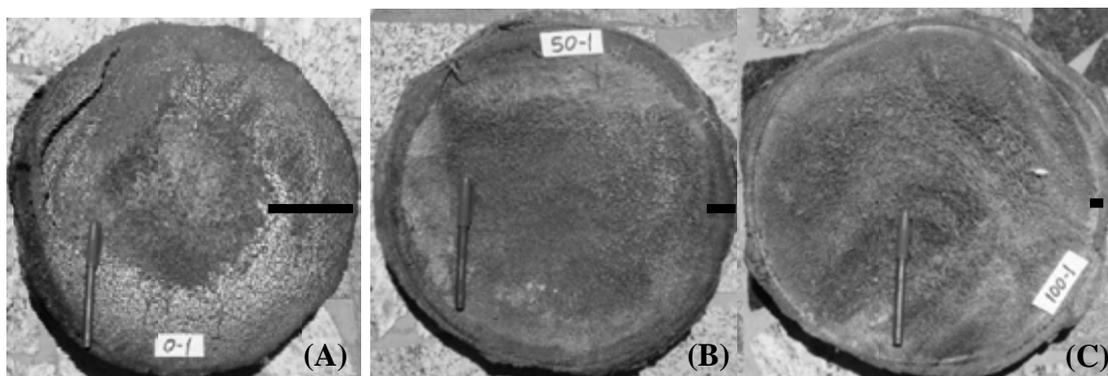


Figura 12 – Amostras de estipe de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. coletadas a 0% (A), 50% (B) e 100% (C) da altura do estipe.

O teor de carbono médio com relação à biomassa encontrado para estipe de *A. aculeata* foi de  $54,73 \pm 0,48\%$ , tendo sido observada a mesma tendência da densidade básica de diminuição do teor de carbono em função da altura do estipe (Figura 13).

Foi observada uma relação diretamente proporcional entre o teor de carbono e a densidade básica do estipe de macaúba, tendo esta relação sido inversamente proporcional à porcentagem de altura da árvore. Assim, nas regiões centrais e de maior altura na árvore são esperadas menores densidades e, conseqüentemente, menores teores de carbono.

De acordo com o observado em campo, o número de folhas secas era, em média, de  $1,78 \pm 0,45$  do número de folhas verdes observadas. Este fator de correção, juntamente com a média de necromassa de  $0,5452 \pm 0,1597$  kg, foi empregado para estimar a necromassa das 25 árvores que foram cubadas tanto com pentaprisma de Wheeler quanto das árvores abatidas.

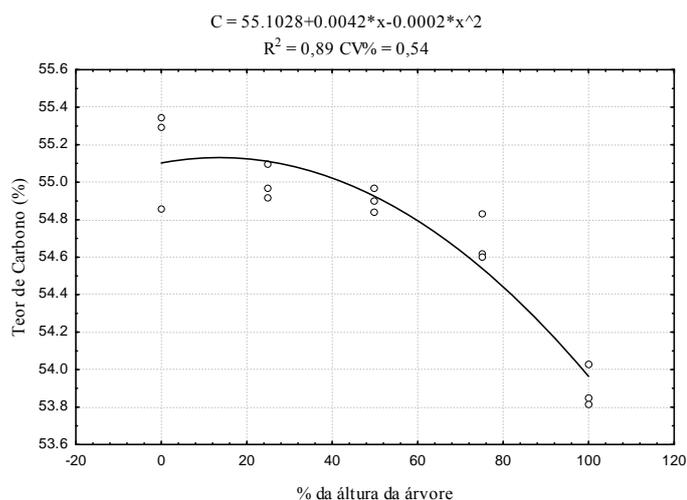


Figura 13 – Dispersão do teor de carbono (%) ao longo da altura da árvore de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.

A média da biomassa de folhas verdes das amostras das árvores cubadas com uso do pentaprisma de Wheeler foi de  $0,8093 \pm 0,1679$  kg, sendo este valor adotado para estimar a biomassa de suas folhas verdes com base no número de folhas observado. A biomassa de folhas verdes das árvores abatidas foi adotada conforme observado na pesagem de todas as folhas em campo e as de suas amostras secas.

A soma da biomassa de folhas verdes com a necromassa de folhas secas foi relacionada com os volumes observados para determinar o fator de expansão para conversão de volume em biomassa arbórea aérea (Tabela 3).

O teor de carbono médio com relação à biomassa encontrado para as folhas de *A. aculeata* foi de  $52,43 \pm 0,23\%$ .

Para efeito de cálculo do estoque de carbono da área de estudo, foi considerado o teor de carbono das folhas e do estipe da planta, sendo o valor médio de  $54,35 \pm 0,98\%$ .

Como descrito na metodologia, o cálculo do estoque de carbono por hectare foi efetuado com os dados encontrados neste estudo e *default* do IPCC (2003), conforme a equação 8. Substituindo os valores na equação, obteve-se:

$$C = (137,3192 * 349,26 * 1,04730) * (1 + 0,24) * 0,5435 = 33851,07 \text{ kgC} \cdot \text{ha}^{-1}$$

Com isto, o estoque de carbono encontrado para a macaúba em área de regeneração natural em Jequitibá, MG foi de  $33,851 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Este valor é inferior ao observado por Ribeiro (2007) para uma área de floresta primária de  $83,34 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$ , contudo, segundo a mesma autora, o valor encontrado é superior à formação de capoeira

Tabela 3 – Estimativa do fator de expansão para conversão de volume em biomassa arbórea aérea (BEF<sub>2</sub>) de árvore individual de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.

Árvore	Volume (m <sup>3</sup> )	BFV (kg)	NFS (kg)	BF (kg)	BEF <sub>2</sub>
1	0,61056	15,37670	18,43866	33,81536	1,05538
2	0,54795	15,37670	18,43866	33,81536	1,06171
3	0,77784	16,99530	20,37958	37,37488	1,04805
4	0,68692	15,37670	18,43866	33,81536	1,04923
5	1,37421	18,61390	22,32049	40,93439	1,02979
6	0,45694	12,13950	14,55684	26,69634	1,05842
7	0,62730	13,75810	16,49775	30,25585	1,04823
8	0,49891	14,56740	17,46821	32,03561	1,06421
9	0,56944	13,75810	16,49775	30,25585	1,05313
10	0,62202	12,94880	15,52730	28,47610	1,04578
11	0,72236	13,75810	16,49775	30,25585	1,04188
12	0,59673	15,37670	18,43866	33,81536	1,05667
13	0,38927	12,94880	15,52730	28,47610	1,07315
14	0,67835	8,90230	10,67502	19,57732	1,02886
15	0,65761	12,94880	15,52730	28,47610	1,04330
16	1,35906	13,75810	16,49775	30,25585	1,02226
17	0,88682	14,56740	17,46821	32,03561	1,03612
18	0,93191	13,75810	16,49775	30,25585	1,03247
19	0,36085	12,13950	14,55684	26,69634	1,07398
20	1,04419	12,94880	15,52730	28,47610	1,02727
21*	0,82989	21,00000	18,43866	39,43866	1,04752
22*	1,07642	23,30876	24,26140	47,57016	1,04419
23*	0,81207	21,05505	17,46821	38,52325	1,04744
24*	0,80779	14,82405	14,55684	29,38089	1,03637
25*	0,71066	21,08677	19,40912	40,49589	1,05698
				<b>Média</b>	1,04730
				<b>s</b>	0,01366

BFV = biomassa de folhas verdes; NFS = necromassa de folhas secas; e BF = biomassa foliar; e \* = árvores abatidas.

de 10,81 MgC.ha<sup>-1</sup>. Este estudo comprova a importância da preservação de macaúba nativos como fonte de mitigação do efeito estufa assim como demonstra a viabilidade ambiental dessas áreas pleitearem créditos de carbono em projetos de preservação que reduzem as emissões, por evitar a conversão dessas áreas em áreas agrícolas ou de pastagens.

O estoque de CO<sub>2</sub> equivalente encontrado foi de 124,120 MgCO<sub>2</sub> eq.ha<sup>-1</sup>, que convertidos em créditos de carbono poderiam chegar a uma receita bruta anual de R\$3.682,14.ha<sup>-1</sup> de áreas que fossem conservadas, evitando assim seu desmatamento, tomando como base o *European Climate Exchange* (2010) com a cotação dos créditos no dia 10 de janeiro de 2010 de € 11,41 e a cotação do euro do mesmo dia (€1,00 igual a R\$ 2,60).

#### 4. Conclusões

A equação de Schumacher e Hall proposta neste trabalho para estimar o volume do estipe de árvore individual de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. pode ser utilizada como referência em outros estudos que visem obter esses dados, sendo o ajuste da equação satisfatório.

O estoque de carbono da área de regeneração natural foi de 33,851 MgC.ha<sup>-1</sup>, que corresponde ao estoque de CO<sub>2</sub> equivalente de 124,120 MgCO<sub>2</sub> eq.ha<sup>-1</sup> e que pode gerar uma renda bruta de R\$3.682,14.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para o produtor rural. A renda dos créditos de carbono contribuiria para a fixação do homem no campo, além de ser um atrativo financeiro para que áreas como a estudada sejam conservadas, contribuindo, conseqüentemente, para a redução de emissões de gases de efeito estufa por desmatamento evitado.

A macaúba mostrou-se atrativa ambientalmente para pleitear créditos de carbono através de projetos de MDL de florestamento/reflorestamento. Contudo, como as metodologias para aprovação de projetos de conservação ainda não estão bem definidas, o mercado de créditos voluntários pode ser uma saída para a captação de recursos para o produtor.

As estimativas de biomassa e estoque de carbono encontrados neste estudo podem servir de base para trabalho de viabilidade da elegibilidade da cultura em projetos de MDL de florestamento/reflorestamento nos moldes de Kyoto, ou em mercados voluntários.

#### 5. Referências bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11941**: Madeira – Determinação da densidade básica. 2003. 6 p.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 2. ed. rev. ampl. Viçosa: Editora UFV, 2006. 470 p.

COTTA, M. K. **Quantificação de biomassa e análise econômica do consórcio seringueira-cacau para geração de créditos de carbono**. 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

ECX – European Climate Exchange. **CER emissions index**. Disponível em: <<http://www.ecx.eu/CERemindx>>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

GEOMINAS. **Zoneamento agroclimático de Minas Gerais - Emater**. Disponível em: <<http://www.geominas.mg.gov.br/>>. Acesso em: 10 de Nov. 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de solos do Brasil**. Disponível em: <<http://www1.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/31072003mapasolos.shtm>>. Acesso em: 10 Nov. 2009.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007: Synthesis report**. 2007. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_topic1.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_topic1.pdf)>. Acesso em: 20 Nov. 2009.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry** 2003. Disponível em: <[http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_contents.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html)>. Acesso em: 20 Nov. 2009.

KLOCK, U. *et al.* **Química da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. 86 p.

LOPES, I. V. (Coord.) **O mecanismo de desenvolvimento limpo - MDL: guia de orientação**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002. 90 p.

LORENZI, G. M. A. C. **Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart. - Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável**. 2006. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

RIBEIRO, S. C. **Quantificação do estoque de biomassa e análise econômica da implementação de projetos visando a geração de créditos de carbono em pastagem, capoeira e floresta primária**. 2007. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

SOARES, C. P. B. *et al.* **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 276 p.

SOARES, C. P. B. *et al.* Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis* na região de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 20, n. 2, p. 179-189, 1996.

TEIXEIRA, L. B. *et al.* **Biomassa vegetal em agroecossistemas de seringueira consorciada com cacaueteiro no Nordeste paranaense**. Belém: EMBRAPA CPATU, 1994. 15 p. (Boletim de pesquisa, 153).

UNEP – United Nations Environment Programme; UNFCCC – United Nations framework convention on climate change. **Climate change: Information kit**. 2002. Disponível em: <[http://unfccc.int/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/climate\\_change\\_information\\_kit/items/305.php](http://unfccc.int/essential_background/background_publications_htmlpdf/climate_change_information_kit/items/305.php)>. Acesso em: 20 Nov. 2009.

SCANAVACA JR., L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 120-129, 2004.

SILVA, J. C. **Anatomia da madeira e suas implicações tecnológicas**. Viçosa: Material didático ENF 351, 2005. 140 p.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p.

### Artigo 3

#### **Produção de briquetes de resíduos de *Jatropha curcas* L. e *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart em mistura com partículas de *Eucalyptus* sp.**

**Resumo:** O objetivo do estudo foi produzir briquetes com misturas de partículas de eucalipto e os resíduos da cadeia produtiva do biodiesel (torta de pinhão-mansão, epicarpo e endocarpo de macaúba). Os briquetes foram produzidos em briquetadeira de laboratório, Lippel modelo LB-32, nas proporções de misturas de 0, 25, 50, 75 e 100% do resíduo das oleaginosas adicionadas às partículas de eucalipto, respectivamente. Os tempos de prensagem foram de cinco e dez minutos e os de resfriamento de seis e nove minutos, à temperatura de 120 °C e pressão de 1.000 PSI. Os testes analisados foram densidade básica, variação volumétrica e resistência à compressão plana dos briquetes. O tempo de prensagem produziu efeito positivo sobre a densidade básica e a resistência à compressão plana dos briquetes. O tempo de resfriamento teve efeito na densidade e na resistência à compressão plana dos briquetes produzidos com misturas de epicarpo de macaúba. O tempo de resfriamento também influenciou a variação volumétrica dos briquetes produzidos com misturas de endocarpo de macaúba com eucalipto. Para os resíduos da macaúba, a adição de até 50% de endocarpo e até 100% de epicarpo melhora a qualidade dos briquetes analisados neste estudo. Os briquetes produzidos com torta de pinhão-mansão podem receber até 75% desta torta, com ganhos na qualidade dos briquetes. Este trabalho demonstra a viabilidade técnica da produção de briquetes a partir de resíduos da indústria de biodiesel como coproduto da mesma.

**Palavras-chave:** briquetagem; macaúba; pinhão-mansão; biodiesel.

**Technical analyses of briquette production with waste of *Jatropha curcas* L. and *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart, in blend with *Eucalyptus* sp. particleboard**

**Abstract:** This study aimed to produce briquettes with blends of eucalyptus particleboards and waste in the production chain of biodiesel (Physic Nut press cake, exocarp and endocarp Oil Palm). The briquettes were produced in briquetter laboratory Lippel model LB-32 in the blends of 0, 25, 50, 75 and 100% of the waste of press oil added to the eucalyptus particleboards, respectively. The time of pressing was 5 and 10 minutes and the cooling of 6 and 9 minutes at 120 ° C at pressure of 1,000 PSI. The tests analyzed were: basic density, volume variation, compressive strength flat of the briquettes. The pressing time produced positive effect on the basic density and compressive strength flat of briquettes. Cooling time had effect on the basic density and compressive strength flat of briquettes produced with blends of epicarp Oil Palm. The cooling time also influenced the volume variation of the core material produced with blends of Oil Palm with eucalyptus particleboards. For the wastes of Oil Palm the addition of up to 50% of core and 100% of epicarp improves the qualities of briquettes analyzed in this study. The briquettes produced with press cake Physic Nut can receive up to 75% of that with gains in the quality of briquettes. This study demonstrates the feasibility of producing briquettes from waste industry as biodiesel coproduct of the same.

**Keywords:** briquettes; oil palm; physic nut; biofuel.

## 1. Introdução

O uso da biomassa vem se tornando uma tendência mundial, em virtude da necessidade de reduzir o consumo de combustíveis fósseis, motivada pela sua crescente escassez e pelo anseio de se tornar independente dos países exportadores (MULLER *et al.*, 2005). Somado a isso, insere-se a necessidade do uso de insumos energéticos que proporcionem menos emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, a fim de contribuir para a mitigação da intensificação do aquecimento global.

Outros aspectos que também colaboram para a utilização da biomassa como insumo energético refere-se à possibilidade de fixação do homem no campo e ao aumento da rentabilidade de empresas, que poderiam vir a gerar energia por meio do uso de seus próprios resíduos. A disposição final desses resíduos costuma ser fonte de problemas ambientais para grande parte das indústrias (WANDER, *apud* CALEGARI *et al.*, 2005).

A geração de resíduos sólidos, como os lignocelulósicos, é consequência de diversas atividades humanas, dentre as quais se destacam as atividades industrial, agrícola e florestal, devido à quantidade e à característica dos resíduos produzidos (FLOHR *et al.*, 2005). Uma alternativa de uso para esses resíduos lignocelulósicos seria o seu aproveitamento energético por meio da briquetagem.

O processo de briquetagem consiste na densificação de resíduos e é aplicável a resíduos de origem vegetal, desde que eles apresentem granulometria e teor de umidade adequados (QUIRINO, 2002). Algumas vantagens do uso de resíduos densificados, como os briquetes, são a diminuição da velocidade de liberação da energia, que chega a ser comparável com a do carvão, evitando perdas pelo não aproveitamento do calor, quando comparado com a liberação rápida de energia dos materiais não compactados; a ocorrência de combustão uniforme; o menor teor de umidade; maior o poder calorífico por unidade de volume; a redução da emissão de material particulado; o transporte, o armazenamento e a alimentação de fornos mais eficientes (WERTHER *et al.*, 2000).

Neste contexto, a utilização de resíduos provenientes da extração de óleo para produção de biodiesel para a briquetagem é uma opção de coproduto na cadeia de produção do biodiesel, contribuindo para a viabilidade de novas espécies oleaginosas, como a macaúba e o pinhão-manso, para que elas se firmem no cenário brasileiro como matérias-primas na produção de biocombustíveis.

## 2. Material e métodos

### 2.1 Caracterização do material

Para produção dos briquetes, foram utilizados torta de pinhão-mansó (*Jatropha curcas* L., cedida pela Refinaria Nacional de Petróleo Vegetal – Fusermann), endocarpo e epicarpo de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart) e partículas de madeira (*Eucalyptus* sp.).

Na caracterização dos materiais foi determinado o teor de lipídios dos resíduos oleaginosos pelo método de Soxhlet do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2005), pelo método de extração com solvente (neste estudo utilizou-se o hexano) e pela metodologia adotada no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) da Universidade Federal de Viçosa.

Os resíduos de macaúba, depois de fragmentados, tiveram sua densidade básica determinada conforme os procedimentos da norma ABNT NBR 11.941. Para determinação da densidade básica da torta de pinhão-mansó utilizou-se a metodologia da proveta adotada no LAPEM. Para tanto, com o uso de uma proveta mediu-se o volume deslocado, e as amostras foram levadas à estufa a  $\pm 100$  °C, até peso constante, para determinar a massa da amostra.

Determinou-se a umidade, base seca, dos diferentes resíduos pelo método da estufa a  $\pm 100$  °C, adotado pelo LAPEM.

O poder calorífico dos materiais utilizados foi determinado conforme a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 out/1984 e pelas normas complementares ABNT NBR NM ISO 3310-1/1997.

### 2.2. Produção dos briquetes

Os resíduos de macaúba e madeira de eucalipto foram transformados em partículas, homogeneizados e triturados em um moinho Renard, para reduzir o tamanho das partículas. As partículas de eucalipto e os resíduos de endocarpo e epicarpo de macaúba passaram por uma sequência de peneiras, a fim de conseguir a homogeneização do material e a granulometria desejadas, entre 1,0 e 4,0 mm. A torta de pinhão-mansó foi utilizada conforme enviado pela Fusermann, pois apresentava granulometria inferior a 1,0 mm, sendo desnecessária sua fragmentação.

Foram produzidos briquetes de cada resíduo puro e misturas do resíduo das espécies estudadas com os de madeira, variando as proporções do resíduo de pinhão-manso e de macáuba com das partículas de madeira. As proporções foram referentes à massa de 20 g para cada briquete.

Para produção dos briquetes utilizou-se uma briquetadeira de laboratório da marca Lippel modelo LB-32, tendo eles sido produzidos à temperatura de 120 °C, pressão de 1.000 PSI e 32 mm de diâmetro (Figura 1).

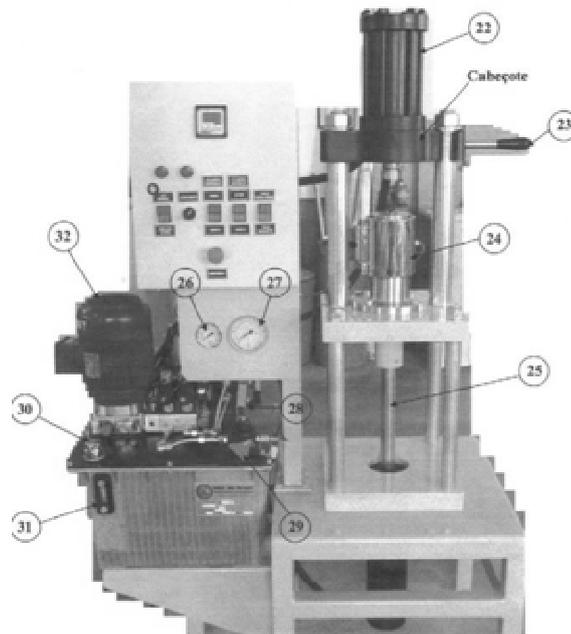


Figura 1 – Briquetadeira de laboratório, Lippel modelo LB-32, utilizada na produção dos briquetes.

Após a produção, os briquetes foram condicionados em câmara climática até atingir a umidade de equilíbrio, nas condições de  $65 \pm 3$  % de umidade e temperatura de  $20 \pm 3$  °C.

### 2.3. Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, tendo sido montado um experimento no esquema fatorial  $5 \times 2 \times 2$ , referentes a cinco misturas de materiais, 0, 25, 50, 75 e 100% do resíduo das espécies oleaginosas (pinhão-manso e macáuba), com 100, 75, 50, 25 e 0% das partículas de eucalipto, respectivamente. Foram testados dois tempos de prensagem, 5 e 10 minutos e dois tempos de resfriamento, 6 e 9 minutos.

Neste trabalho foram montados três experimentos distintos, um para cada resíduo, tendo os dados dos briquetes produzidos com 100% das partículas de eucalipto sido utilizados para os três experimentos. Assim, foram realizados 52 tratamentos e quatro repetições para cada tratamento.

#### **2.4. Propriedade dos briquetes**

Para determinação da densidade básica dos briquetes utilizou-se o método do mercúrio, descrito por Vital (1984) e adotado no LAPEM.

A determinação da variação volumétrica foi feita a partir de metodologia desenvolvida no LAPEM. Os briquetes foram medidos, com o auxílio de um paquímetro, em duas posições: uma no sentido longitudinal, para determinação do comprimento do briquete, e outra no sentido transversal, para medição do diâmetro do briquete. As medidas foram tomadas logo após a produção dos briquetes e após a estabilização em câmara climática, até atingir a umidade de equilíbrio, nas condições de  $65 \pm 3$  % de umidade e temperatura de  $20 \pm 3$  °C. O valor da variação volumétrica foi obtido pela diferença entre o volume após estabilização em câmara climática e o obtido após a prensagem.

Na determinação da resistência à compressão plana foi utilizada a metodologia adaptada da norma NBR 14.351, uma vez que não existe norma específica para briquetes.

Os briquetes foram posicionados na máquina de ensaio, com o sentido longitudinal tangenciando as superfícies de contato da máquina. A célula de carga utilizada foi de 5 toneladas e a velocidade de compressão do teste, de  $6\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ . A resistência à compressão plana foi determinada pela fórmula:

$$CP = \frac{F}{c} \quad [1]$$

em que

CP = resistência à compressão plana ( $\text{kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$ );

F = força máxima resistida (kgf); e

c = comprimento do corpo de prova (cm).

### 3. Resultados e discussão

As características dos materiais briquetados nos experimentos estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características físicas e químicas dos materiais briquetados

Característica	Eucalipto	Pinhão-Manso	Epicarpo Macaúba	Endocarpo Macaúba
PCS (kcal.kg <sup>-1</sup> )	4.407,01 ± 2,40	4.726,30 ± 6,66	4.941,25 ± 6,99	5.043,30 ± 7,10
Teor de lipídeo (%)	-	12,02 ± 1,52	10,17 ± 0,44	12,35 ± 1,64
Umidade (%)	12,22 ± 1,24	10,22 ± 1,69	9,49 ± 2,96	12,15 ± 0,80
Densidade básica (g.cm <sup>-3</sup> )	0,49 ± 0,09	0,33 ± 0,08	0,46 ± 0,01	1,08 ± 0,10

PCS = poder calorífico superior.

Segundo Bhattacharya, *apud* Filippetto (2008), a umidade das partículas deve estar em uma faixa ideal, dependendo do material. Umidades baixas podem dificultar os mecanismos de ligação entre as partículas, enquanto altas umidades podem provocar explosões, devido à formação de vapor d'água.

A faixa de umidade citada para produção de briquetes deve estar entre 8 e 12%, portanto observa-se que os materiais utilizados para produção dos briquetes estavam dentro da faixa ideal, não tendo sido observada a influência da umidade no processo de produção, bem como nas propriedades dos briquetes.

De acordo com Hassuani *et al.* (2005), o poder calorífico, na base seca, do bagaço de cana-de-açúcar é de 18,1 MJ.kg<sup>-1</sup>, correspondendo a 4.323,11 kcal.kg<sup>-1</sup>. Rangel *et al.* (2004) obtiveram um poder calórico de 16.056 J.g<sup>-1</sup>, equivalente a 3.834,91 kcal.kg<sup>-1</sup>, em resíduos de mamona (*Ricinus communis*).

Esses valores mostram que os resíduos utilizados neste estudo são fontes de geração de energia potencialmente utilizáveis na produção de briquetes, comparados com outros resíduos da indústria de biocombustíveis brasileira.

A densidade inicial dos materiais antes da briquetagem foi: a) partículas de eucalipto de 0,485 ± 0,043 g.cm<sup>-3</sup>; b) resíduos de macaúba de 0,456 ± 0,008 e 1,077 ± 0,049 g.cm<sup>-3</sup> para epicarpo e endocarpo, respectivamente; e c) torta de pinhão-manso de 0,330 ± 0,040 g.cm<sup>-3</sup>. A densidade inicial dos materiais pode influenciar a adesão das partículas durante a densificação dos briquetes, podendo as matérias-primas mais densas conferir maior resistência durante a compactação e prejudicar as ligações químicas das

partículas pela menor área de contato disponível em consequência da sua não fragmentação durante a prensagem (ERIKSSON, PRIOR, 1990).

No geral, os resíduos de endocarpo de macaúba mais densos produziram briquetes menos densos, tanto isoladamente quanto nas misturas com eucalipto. Enquanto a torta de pinhão-manso menos densa resultou em briquetes mais densos, tanto isoladamente quanto nas misturas com eucalipto. Este fato se deve à resistência de compactação exercida pelos resíduos, visto sua densidade inicial.

Pela análise de variância do experimento de produção de briquetes com resíduos de epicarpo de macaúba com partículas de eucalipto, observa-se que a densidade dos briquetes sofreu influência dos três fatores, contudo nenhuma interação entre eles foi significativa. A variação volumétrica não sofreu influência de nenhum dos fatores avaliados e a resistência à compressão plana sofreu influência de todos os fatores, tendo a interação entre a porcentagem de mistura e o tempo de prensagem sido significativa (Tabela 5).

Tabela 5 – Análise de variância do experimento de briquetes de misturas de resíduos de epicarpo de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., com partículas de *Eucalyptus* sp.

Fonte de Variação	GL		QM	
		DS	VV	RCP
% M	4	0,01584**	0,373 <sup>NS</sup>	4585,019**
TP	1	0,03444**	0,153 <sup>NS</sup>	7033,555**
TR	1	0,00250**	0,055 <sup>NS</sup>	584,526**
% M*TP	4	0,00025 <sup>NS</sup>	0,263 <sup>NS</sup>	445,374**
% M*TR	4	0,00049 <sup>NS</sup>	0,197 <sup>NS</sup>	169,256 <sup>NS</sup>
TP*TR	1	0,00005 <sup>NS</sup>	0,163 <sup>NS</sup>	29,443 <sup>NS</sup>
% M*TP*TR	4	0,00047 <sup>NS</sup>	0,098 <sup>NS</sup>	120,193 <sup>NS</sup>
Erro	60	0,00032	0,156	78,143
Total	79			

QM = quadrado médio; %M = porcentagem de mistura de resíduos de epicarpo de *A. aculeata* (0 – 100%) com partículas de *Eucalyptus* sp. (100 - 0%); TP = tempo de prensagem (cinco e dez minutos); TR = tempo de resfriamento (seis e nove minutos); DS = densidade básica; VV = variação volumétrica; RCP = resistência a compressão plana; NS = não significativo (teste F); e \*\* = significativo a 95% de probabilidade (teste F).

As densidades básicas médias dos briquetes, em função do tempo de prensagem, foram de  $1,1558 \pm 0,0336$  e  $1,1973 \pm 0,3440$  g.cm<sup>-3</sup>, para cinco e dez minutos de prensagem, respectivamente, o que evidencia que quanto maior o tempo em que o material é submetido à pressão maior é a densidade dos briquetes.

Este fato pode ser explicado pelo maior tempo em que as partículas ficam expostas à temperatura de transição vítrea e em contato entre si, possibilitando a transferência de calor da superfície para o interior do briquete e a plasticização da lignina, o que conseqüentemente, resulta em maior densidade.

Os briquetes que tiveram resfriamento de seis minutos apresentaram densidade média de  $1,1710 \pm 0,040 \text{ g.cm}^{-3}$ , enquanto com 9 minutos de resfriamento a densidade média obtida foi de  $1,182 \pm 0,039 \text{ g.cm}^{-3}$ . Com o maior tempo de resfriamento o briquete tende a não rachar e, conseqüentemente, não aumentar o seu volume, o que acarretaria redução da densidade.

À medida que o resíduo de epicarpo foi misturado às partículas de eucalipto, observou-se o aumento na densidade dos briquetes. O comportamento da curva de densidade em função da porcentagem de misturas de epicarpo é vista no gráfico de dispersão apresentado na Figura 2 (A).

A variação volumétrica média dos briquetes foi de  $0,9510 \pm 0,4123 \text{ cm}^3$ . Neste estudo não foi observada influência das misturas de epicarpo, do tempo de prensagem e do tempo de resfriamento. Contudo, pela observação do gráfico dos resíduos da variação volumétrica em função da adição de epicarpo em eucalipto, observou-se um ligeiro aumento da variação volumétrica (Figura 2 (C)).

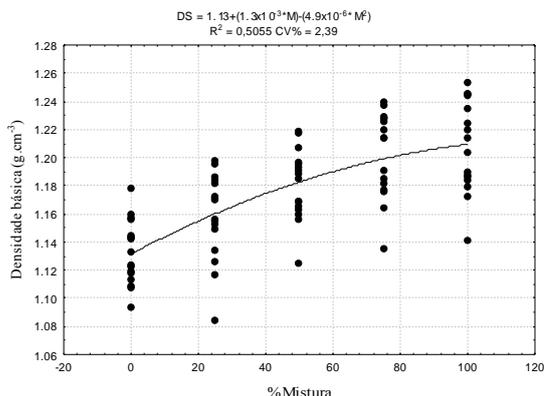
A resistência à compressão plana dos briquetes foi de  $81,7518 \pm 21,1679 \text{ kgf.cm}^{-2}$  e de  $87,1579 \pm 19,972 \text{ kgf.cm}^{-2}$ , respectivamente, para os tempos de resfriamento de seis e nove minutos.

Como a interação entre o tempo de prensagem e as porcentagens de adição de epicarpo de macaúba às de eucalipto foi significativa, descreve-se o comportamento dos dois tempos de prensagem no gráfico de dispersão da variação volumétrica em função das misturas (Figura 2 (E)).

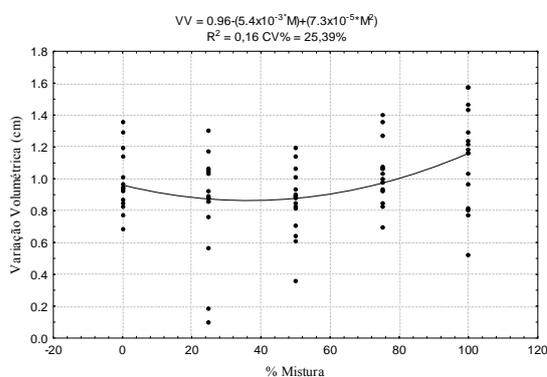
Avaliando os dois tempos de prensagem, observa-se a tendência de diminuição da resistência à compressão plana à medida que se acrescenta epicarpo às partículas de eucalipto. Provavelmente este fato acontece por influência das características geométricas e químicas das partículas de epicarpo, que eram de menor tamanho e espessura, planas e arredondadas, comparadas com as partículas de eucalipto, de maior comprimento e espessura, plana e retangular.

Na análise de variância do experimento de produção de briquetes com resíduos de endocarpo de macaúba com partículas de eucalipto, a densidade dos briquetes sofreu influência das misturas e do tempo de prensagem, sendo a interação entre eles

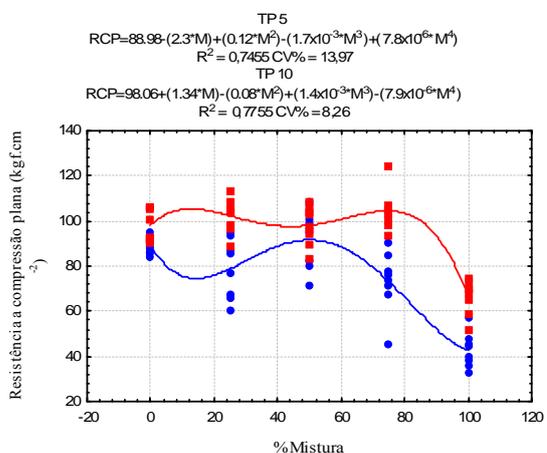
### Epicarpo macaúba



(A)

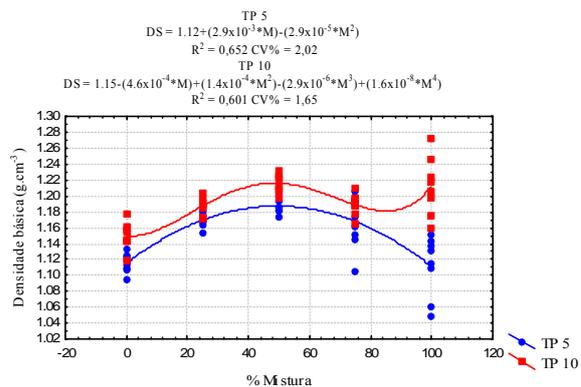


(C)

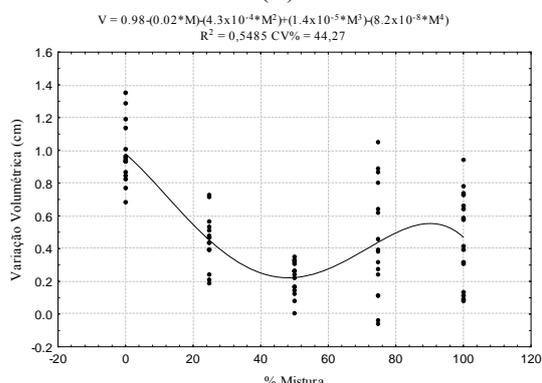


(E)

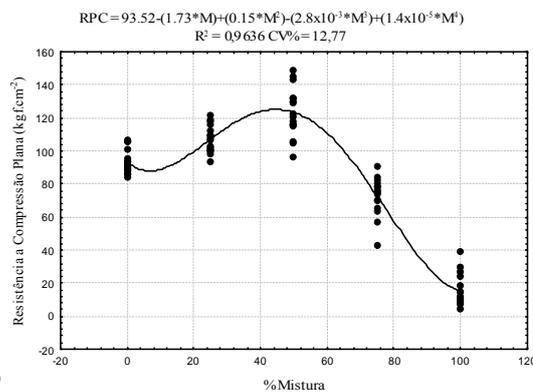
### Endocarpo macaúba



(B)



(D)



(F)

(A) e (B) densidade básica ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ), em função das porcentagens de misturas dos resíduos com partículas de *Eucalyptus* sp.; (C) e (D) variação volumétrica (cm), em função das porcentagens de misturas dos resíduos com partículas de *Eucalyptus* sp.; e (E) e (F) resistência à compressão plana ( $\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$ ), em função das porcentagens de misturas dos resíduos com partículas de *Eucalyptus* sp.

Figura 2 – Gráficos de dispersão dos testes aplicados nos briquetes produzidos com epicarpo e endocarpo de *Acrocomia aculeata*. Os valores de M (% mistura) nas equações só podem assumir valores entre 0 e 100%.

significativa. A variação volumétrica sofreu influência do tempo de resfriamento e das misturas, sem interação, e a resistência à compressão plana foi significativa para as misturas e tempo de prensagem, também sem interação entre os fatores (Tabela 6).

Tabela 6 – Análise de variância do experimento de briquetes de misturas de resíduos de endocarpo de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., com partículas de *Eucalyptus* sp.

Fonte de Variação	GL	QM		
		DS	VV	RCP
% M	4	0,01049**	0,729**	27986,150**
TP	1	0,03276**	0,381 <sup>NS</sup>	2662,482**
TR	1	0,00154 <sup>NS</sup>	0,705**	60,049 <sup>NS</sup>
% M*TP	4	0,00461**	0,177 <sup>NS</sup>	120,599 <sup>NS</sup>
% M*TR	4	0,00022 <sup>NS</sup>	0,061 <sup>NS</sup>	106,832 <sup>NS</sup>
TP*TR	1	0,00004 <sup>NS</sup>	0,363 <sup>NS</sup>	76,862 <sup>NS</sup>
% M*TP*TR	4	0,00063 <sup>NS</sup>	0,083 <sup>NS</sup>	25,419 <sup>NS</sup>
Erro	60	0,00050	0,123	80,005
Total	79			

QM = quadrado médio; F = valor da estatística F calculado; %M = porcentagem de mistura de resíduos de endocarpo de *A. aculeata* (0 – 100%) com partículas de *Eucalyptus* sp (100 - 0%); TP = tempo de prensagem (cinco ou dez minutos); TR = tempo de resfriamento (seis ou nove minutos); DS = densidade básica; VV = variação volumétrica; CM = resistência à compressão plana; NS = não significativo (teste F); e \*\* = significativo a 95% de probabilidade (teste F).

Como a interação entre o tempo de prensagem e as porcentagens de adição de endocarpo em eucalipto foram significativas, descreve-se o comportamento dos dois tempos de prensagem no gráfico de dispersão da densidade em função das misturas (Figura 2 (B)).

A variação volumétrica dos briquetes produzidos com endocarpo no tempo de resfriamento de seis minutos foi, em média, de  $0,3863 \pm 0,4544 \text{ cm}^3$ , enquanto os produzidos com nove minutos tiveram variação volumétrica média de  $0,5739 \pm 0,3313 \text{ cm}^3$ .

À medida que o resíduo de endocarpo foi adicionado às partículas de eucalipto, verificou-se redução da variação volumétrica até 50% de mistura. Acima desta porcentagem houve aumento da variação volumétrica, fato este que pode ser explicado pela quebra e desfragmentação dos briquetes produzidos com porcentagens altas de endocarpo, que por sua densidade inicial alta pode ter influenciado a menor superfície de contato das partículas e, conseqüentemente, a menor adesão entre elas. O comportamento da curva de variação volumétrica em função da porcentagem de misturas de endocarpo está nos gráficos de dispersão dos resíduos apresentados na Figura 2 (D).

Os briquetes produzidos com tempo de prensagem de 5 e 10 minutos tiveram resistência média à compressão plana de  $76,6700 \pm 38,2437$  e  $88,2079 \pm 39,5009$  kgf.cm<sup>-2</sup>, respectivamente. Quanto maior o tempo de prensagem, maior o contato entre as partículas, maior a transferência de calor, maior plasticização da lignina e, consequentemente, maior a densidade, que, por sua vez, tem relação direta com a resistência (Figura 2 (B)).

À medida que se acrescentou porcentagem de resíduo de endocarpo adicionado às partículas de eucalipto aumentou-se também a resistência à compressão plana dos briquetes até a mistura de 50%, ocorrendo redução após este percentual, provavelmente pelo mesmo motivo observado para o comportamento da variação volumétrica. O comportamento da curva de resistência à compressão plana em função da porcentagem de misturas de endocarpo está descrita nos gráficos de dispersão dos resíduos apresentados na Figura 2 (F).

Na análise de variância do experimento de produção de briquetes com resíduos de torta de pinhão-manso com partículas de eucalipto, a densidade dos briquetes sofreu influência das misturas e do tempo de prensagem. A variação volumétrica não sofreu influência de nenhum dos fatores avaliados e a resistência à compressão plana foi significativa para as misturas e o tempo de prensagem. Além disso, não houve interação significativa em nenhuma das interações analisadas (Tabela 7).

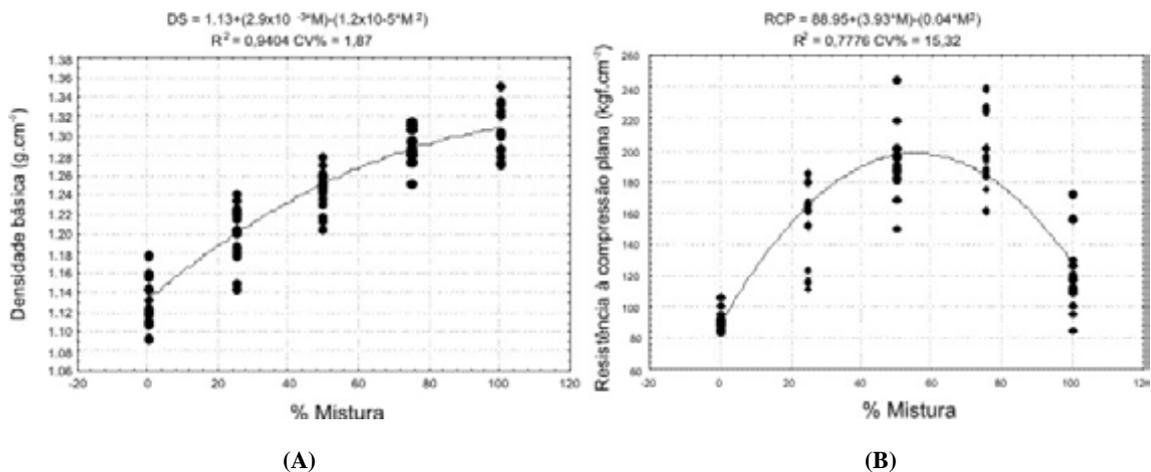
Tabela 7 – Análise de variância do experimento de briquetes de misturas de resíduos de torta de *Jatropha curcas* L. com partículas de *Eucalyptus* sp.

Fonte de Variação	GL	QM		
		DS	VV	CM
% M	4	0,0798**	0,170 <sup>NS</sup>	32567,228**
TP	1	0,0162**	0,001 <sup>NS</sup>	8018,365**
TR	1	0,0001 <sup>NS</sup>	0,460 <sup>NS</sup>	0,082 <sup>NS</sup>
% M*TP	4	0,0003 <sup>NS</sup>	0,153 <sup>NS</sup>	164,629 <sup>NS</sup>
% M*TR	4	0,0002 <sup>NS</sup>	0,122 <sup>NS</sup>	99,736 <sup>NS</sup>
TP*TR	1	0,0001 <sup>NS</sup>	0,197 <sup>NS</sup>	748,095 <sup>NS</sup>
% M*TP*TR	4	0,0002 <sup>NS</sup>	0,084 <sup>NS</sup>	512,899 <sup>NS</sup>
Erro	60	0,0004	0,146	301,396
Total	79			

QM = quadrado médio; %M = porcentagem de mistura de resíduos de torta de *Jatropha curcas* L. (0 – 100%) com partículas de *Eucalyptus* sp (100 - 0%); TP = tempo de prensagem (cinco ou dez minutos); TR = tempo de resfriamento (seis ou nove minutos); DS = densidade básica; VV = variação volumétrica; CM = resistência à compressão plana; NS = não significativo (teste F); e \*\* = significativo a 95% de probabilidade (teste F).

Os briquetes produzidos com tempo de prensagem de 5 e 10 minutos tiveram densidades básicas de  $1,2215 \pm 0,0691$  e  $1,2500 \pm 0,0635 \text{ g.cm}^{-3}$ , para 5 e 10 minutos de prensagem, respectivamente. Estes resultados corroboram com o observado em briquetes de misturas de epicarpo com eucalipto, de que o maior tempo que o material é submetido à pressão resulta em briquetes mais densos.

O comportamento da curva de densidade em função da porcentagem de misturas de *J. curcas* descrita no gráfico de dispersão pode ser visualizado na Figura 3 (A).



(A) densidade básica ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) em função das % de misturas dos resíduos com partículas de *Eucalyptus* sp.; e (B) resistência a compressão plana ( $\text{kgf.cm}^{-2}$ ) em função das % de misturas dos resíduos com partículas de *Eucalyptus* sp.

Figura 3 – Gráficos de dispersão dos testes aplicados nos briquetes produzidos pela torta de *Jatropha curcas* L. Os valores de M (% mistura) nas equações só podem assumir valores entre 0 e 100%.

A variação volumétrica média dos briquetes foi de  $0,8040 \pm 0,3822 \text{ g.cm}^{-3}$ , não tendo sido observada nenhuma influência dos tratamentos sobre essa variável.

Os briquetes produzidos com tempo de prensagem de 5 e 10 minutos tiveram resistência média à compressão plana de  $142,6180 \pm 41,6082$  e  $162,6409 \pm 46,6002 \text{ kgf.cm}^{-2}$ , para 5 e 10 minutos de prensagem, respectivamente. Estes resultados corroboram com o observado em briquetes de misturas de epicarpo com eucalipto, de que o maior tempo que o material é submetido à pressão resulta em briquetes mais densos.

O comportamento da curva de densidade dos briquetes em função da porcentagem de misturas de *J. curcas*, descrita pela equação 9, e o gráfico de dispersão apresentados na Figura 3 (B). Observa-se que a resistência à compressão plana aumenta até 75% de mistura e depois decresce, podendo haver influência do tamanho das

partículas, pois, por serem muito pequenas, podem requerer maiores pressões para garantir a compactação das partículas.

#### 4. Conclusões

O tempo de prensagem dos briquetes das misturas de epicarpo e endocarpo de macaúba e torta de pinhão-manso com as partículas de eucalipto aumentou a densidade básica e a resistência à compressão plana dos briquetes, mostrando ser este um fator de destaque na produção de briquetes.

O tempo de resfriamento teve efeito apenas na densidade e na resistência à compressão plana dos briquetes produzidos com misturas de epicarpo de macaúba e na variação volumétrica daqueles produzidos com misturas de endocarpo de macaúba com eucalipto, sendo esta variável diretamente proporcional aos testes descritos.

A produção de briquetes a partir dos resíduos estudados em misturas com eucalipto é tecnicamente viável e apresenta uma alternativa à geração de coprodutos na cadeia produtiva de biodiesel. Já a produção de briquetes de torta de pinhão-manso e epicarpo de macaúba é viável sem a necessidade de mistura com outro resíduo, resguardando a perda de resistência à compressão plana dos briquetes de torta de pinhão-manso.

O epicarpo de macaúba, por não apresentar alternativa econômica no mercado, dentre os resíduos estudados, merece destaque na produção de briquetes, podendo estes ser produzidos por pequenos produtores em sistemas de associação e cooperativas.

#### 5. Referências bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR NM ISO 3310-1**: Requisitos técnicos e verificação – Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico, 1997.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8633**: Determinação do poder calorífico superior, 1984. 13 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11941**: Madeira – Determinação da densidade básica, 2003. 6 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14351**: Tubetes – Determinação da resistência à compressão plana, 1999.

ERIKSSON, S.; PRIOR, M. **The briquetting of agricultural wastes for fuel**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1990.

FILIPPETTO, D. **Briquetagem de resíduos vegetais: viabilidade técnico-econômica e potencial de mercado**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

HASSUANI, S. J. *et al.* **Biomass power generation: Sugar cane bagasse and trash**. Piracicaba: PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento CTC - Centro de Tecnologia Canavieira, 2005. 217 p.

IAL – Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos IV**. Brasília: Ed. ANVISA, Ministério da Saúde, 2005. p. 117-121.

MULLER, M. D. *et al.* Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa e Energia**, Viçosa, MG, v. 2, n.3, p. 177-186, 2005.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília: LPF/IBAMA, 2002. 35 p.

RANGEL, L. P. *et al.* Estudo da viabilidade técnica para geração de energia elétrica a partir dos resíduos da mamona. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2004, Campina Grande, PB. **Manual do congressista: energia e sustentabilidade**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. p. 36.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p. (SIF, Boletim Técnico, 1)

WANDER, P. R. **Utilização de resíduos de madeira e lenha como alternativas de energias renováveis para o desenvolvimento sustentável da região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre**. 2001. 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, *apud* CALEGARI, L. *et al.* Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no sul do Brasil. **Biomassa e Energia**, Viçosa, MG, v. 2, n. 1, p. 37-46, 2005.

WERTHER, J. *et al.* Combustion of agricultural residues. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 26, p. 1-27, 2000.

**Análise econômica do extrativismo de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart): simulação de uma unidade de multiprodutos**

**Resumo:** O objetivo deste estudo foi analisar a viabilidade econômica do extrativismo de frutos de macaúba na região de Jequitibá, MG. Para tanto, foi simulada uma unidade de fabricação de multiprodutos dos frutos de espécie, tendo esta unidade capacidade de recebimento da produtividade esperada de 200 ha de regeneração natural de macaúba, com densidade de 145 árvores.ha<sup>-1</sup>. A composição dos custos foi referente à compra dos equipamentos necessários, à construção dos galpões industriais e de estocagem dos frutos, à mão-de-obra, à manutenção e à depreciação das máquinas e dos galpões, ao custo de colheita dos frutos e aos custos administrativos. As receitas foram provenientes dos produtos: briquetes de epicarpo, carvão de endocarpo e óleos crus, extraídos do mesocarpo e da amêndoa, vendidos para a indústria de biodiesel. As produtividades esperadas, as porcentagens de cada compartimento dos frutos, os rendimentos de óleo e o rendimento gravimétricos da produção de carvão foram obtidos com os produtores rurais e na literatura. Os indicadores econômicos utilizados foram VPL (valor presente líquido), TIR (taxa interna de retorno) e VAE (valor anual equivalente). A taxa de desconto utilizada neste estudo foi de 10% e o horizonte de planejamento do projeto de 30 anos. Os valores de VPL, TIR e VAE foram, respectivamente, de R\$ 2.667,23, 12,07% e R\$ 282,94.ano<sup>-1</sup>. O projeto apresentado é economicamente viável e contribui para a introdução da macaúba tanto na cadeia produtiva do biodiesel quanto na matriz energética nacional, pela alternativa de produtos de biomassa renovável para queima e geração de energia. Além disto, contribui para a fixação do produtor rural no campo, para a geração de renda extra sem perda de áreas produtivas e para a conservação da espécie.

**Palavras-chave:** biodiesel; briquetes; viabilidade econômica.

**Economic analyses of Oil Palm (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart) extract: simulation of multiproduct production.**

**Abstract:** This study aimed to analyze the economic feasibility of Oil Palm fruit extraction in the region of Jequitibá, MG. For this we simulated a multiproduct manufacturing unit of the species fruits and this unit capable of receiving the expected productivity of 200 ha of oil palm natural regeneration with tree density  $145.\text{ha}^{-1}$ . The composition of costs were related to the purchase of necessary equipment, construction of industrial sheds and storage of fruits, manpower, maintenance and depreciation of machinery and sheds, the cost of harvesting fruit and administrative costs. Revenues were from products: epicarp briquettes, excarp coal and crude oils, extracted from mesocarp and kernel, sold for the biodiesel industry. Yields expected percentages of each compartment of fruits, oil revenues and gravimetric yield of coal production were taken with farmers and with literature data. The economic indicators used were NPV (Net Present Value), IRR (Internal Rate of Return) and LAV (Equivalent Annual Value). The discount rate used in this study was 10% and the project horizon of 30 years. The values of NPV, IRR and LAV were respectively R\$ 2,667.23, 12.07% and R\$ 282.94.yr<sup>-1</sup>. The project presented is economically viable and contributes to the introduction of Oil Palm both the biodiesel production chain and in the national energy matrix, for the alternative products of biomass burning and renewable energy generation. It contributes in establishing the farmer in the field, generating extra income without loss of productive areas, and conservation of the species.

**Keywords:** biofuel; briquettes; economic viability.

## 1. Introdução

O Programa Nacional de uso e Produção do Biodiesel (PNPB), do governo federal, tem como objetivos a implementação da produção e o uso de biodiesel com enfoque na agricultura, promovendo a inclusão social e o desenvolvimento regional, por meio da geração de emprego e renda, incentivo e assessoria técnica aos pequenos produtores (PNPB, 2009).

Atualmente no Brasil a principal fonte de matéria-prima é a soja, que corresponde a 85% da produção de biodiesel no País, sendo necessária a busca de novas alternativas de plantas oleaginosas para suprir a demanda do mercado e contribuir para a evolução do PNPB, que tem o pilar social como seu principal objetivo (PNPB, 2009; BIODIESELBR, 2010).

A exploração de produtos florestais não madeireiros, como a produção de frutos em palmeiras para abastecer a indústria de biodiesel, pode de tornar uma alternativa viável de substituição da soja como fonte de matéria-prima na cadeia de produção. No Brasil este tipo de atividade tem a capacidade de influenciar mudanças significativas em pequenas comunidades (PINHEIRO, 2004).

Assim, o extrativismo de macaúba com vistas ao abastecimento de indústrias de biodiesel contribui para a fixação do homem no campo e atende às premissas do PNPB de sustentabilidade social e ambiental da cadeia produtiva de biocombustíveis. A exploração dos frutos em áreas de regeneração natural sob planos de manejo sustentável contribui para a preservação da espécie e mitigação dos impactos ambientais, comparados com os de outras culturas oleaginosas de plantios extensivos.

Este trabalho visou analisar economicamente o extrativismo de macaúba em uma propriedade rural no município de Jequitibá, MG. Foi observado o beneficiamento dos frutos para produção de óleo cru, carvão vegetal e ração animal explorados pelo agricultor. Neste estudo propôs-se a inclusão de briquetagem dos resíduos de epicarpo como alternativa de coproduto na extração de óleo na propriedade, tendo sido utilizados parâmetros econômicos para determinar a viabilidade do projeto.

Devido à grande gama de utilização e de produtos oriundos da exploração dos frutos de macaúba, citada por Lorenzi (2006), esta pesquisa visa suprir a carência de informações do assunto, contribuir para tomada de decisão dos produtores rurais de utilização e comercialização dos produtos propostos e fornecer insumos para a inclusão da espécie como fonte de matéria-prima na cadeia de produção do biodiesel.

## 2. Material e métodos

### 2.1. Cenário estudado

O cenário adotado neste estudo foi de exploração de 200 ha de regeneração natural de macaúba, ocorrendo na região de Jequitibá, MG. A simulação da unidade de produção e extração de óleo foi considerada única para atender à cooperativa dos produtores da região. Os produtos considerados foram briquetes de epicarpo, carvão vegetal de endocarpo, óleo bruto de amêndoa e mesocarpo e ração animal da amêndoa e do mesocarpo. As rações não seriam vendidas, e sim devolvidas aos produtores para alimentação de gado e aves nas propriedades. O esquema de aproveitamento dos frutos é mostrado na Figura 1.

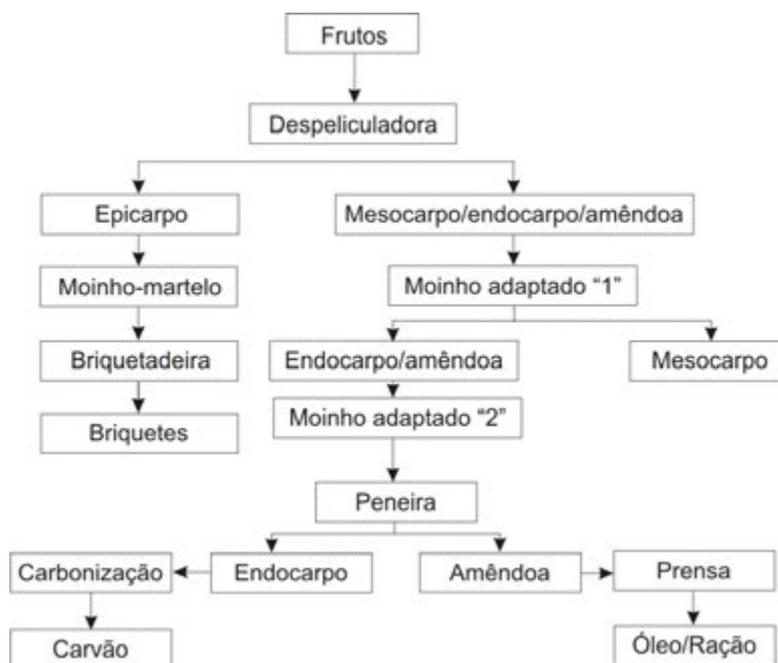


Figura 1 – *Layout* de fabricação dos produtos obtidos dos frutos de macaúba.

### 2.2. Composição dos custos

Os custos que compuseram a análise econômica deste estudo foram referentes a exploração dos frutos, produção de briquetes com epicarpo, produção de carvão vegetal com endocarpo, extração de óleo do mesocarpo e da amêndoa, manutenção dos equipamentos, depreciação dos equipamentos, custos de mão-de-obra e custos administrativos. Os custos de mão-de-obra e administrativos foram considerados em

jornada de dois turnos, para atender à produção dos 200 hectares de frutos e à capacidade de processamento dos equipamentos.

Além desses foi considerada como custos estruturais a construção de um galpão para abrigo das máquinas de 800 m<sup>2</sup> e um galpão de estocagem dos frutos de 200 m<sup>2</sup>, sendo o valor do metro quadrado de R\$440,41, e considerada uma vida útil de 30 anos para os galpões, valor de revenda de 20% do valor de construção e depreciação de 10% (CREA-MG, 2009).

Os custos de exploração dos frutos foram estimados com base na produtividade descrita por produtores da região e corroborada por dados do CETEC (1983). Adotou-se uma produção anual de 60 kg de frutos por plantas colhidos anualmente, durante quatro meses no ano. A densidade do plantio é de, aproximadamente, 145 árvores.ha<sup>-1</sup>, observada em fazendas do município de Jequitibá, MG. Assim, a estimou-se uma produtividade por hectare de 8.700 kg de frutos por ano, com os 200 ha do cenário de estudo produzindo 1.740 toneladas de frutos anualmente. O custo de colheita foi de R\$ 3,00 para cada 30 kg de frutos.

Para separação do epicarpo do restante do fruto é necessária uma máquina despeliculadora de capacidade de 450 kg.hora<sup>-1</sup>, que, neste estudo, foi considerada como a descrita pela Fundação Mussambê (2009) para processamento de babaçu, que custa R\$ 10.000,00.

Antes da briquetagem é necessária a fragmentação do material, que é feita em moinho-martelo. O custo considerado foi de R\$ 20.000,00, sendo este adaptado e utilizado também para quebra do endocarpo para separação do endocarpo da amêndoa.

De acordo com Bhering (2010), cerca de 20% do peso dos frutos é composto pelo epicarpo, representando uma oferta de matéria-prima para produção de briquetes de 348 toneladas por ano. Para produção dos briquetes considera-se a utilização da briquetadeira BIOTOR-R100 de rosca sem-fim, descrita por Filippetto (2007), com capacidade de produção de 120 kg.hora<sup>-1</sup>, sendo adotada uma jornada de dois turnos de 8 horas diárias para produção e 22 dias úteis no mês. O custo do equipamento com silo de abastecimento é de R\$ 38.400,00, conforme Filippetto (2007).

Além da briquetadeira é necessária uma máquina ensacadeira semiautomática para sacos de 10 kg, com uma máquina de costura industrial para fechar a boca dos sacos. De acordo com a produção diária da briquetadeira serão produzidos 2.900 sacos de briquetes de 10 kg por mês. O valor do conjunto de ensacadeira e máquina de costura industrial no mercado é de R\$ 15.000,00. Como a capacidade do conjunto supera a

produção de briquetes, ela pode ser usado para o empacotamento do carvão do endocarpo produzido na unidade e dos sacos de ração animal.

Para separação do endocarpo do mesocarpo considerou-se um moinho adaptado “1”, Como este moinho não é produzido no mercado, considerou-se a aquisição de mais um moinho-martelo de R\$ 20.000,00, que sofreria as adaptações necessárias (Figura 2).



Foto: Diego de Paula Tolêdo.

Figura 2 – Moinho adaptado “1” pelo produtor Syneas Campelo para separação do mesocarpo e endocarpo da macaúba.

Após a separação do mesocarpo, o endocarpo é quebrado em moinho adaptado “2”, sendo o seu valor o mesmo adotado anteriormente, ou seja, de R\$ 20.000 (Figura 3). A separação dos resíduos é feita em peneiras manuais e separação de três estágios, conforme descrito pela Fundação Mussambê (2009), cujo valor é R\$ 500,00.

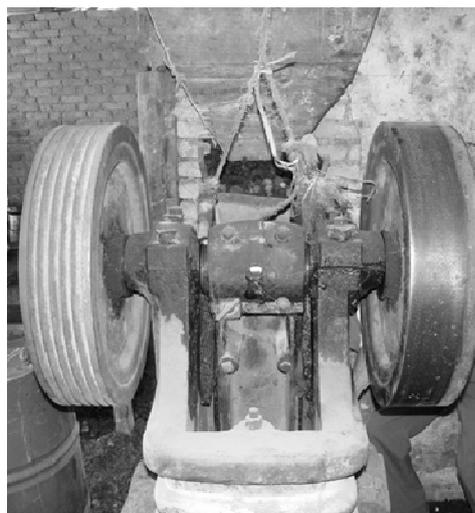


Foto: Diego de Paula Tolêdo.

Figura 3 – Moinho adaptado “2” pelo produtor Syneas Campelo, para separação do endocarpo das amêndoas de macaúba.

Tomando como base o estudo de Bhering (2010), em que 33% do peso dos frutos são compostos por endocarpo, e segundo Silva (1996) e os dados fornecidos pelo produtor, o rendimento gravimétrico na produção do carvão é de 45%. Com isso, considerou-se uma produção anual de, aproximadamente, 258 toneladas de carvão por ano. Em sacos de 50 kg seriam produzidos 430 sacos por mês. Visto que o processo de produção do carvão se dá em tonéis de 200 litros (cerca de 100 kg de endocarpo) e que é necessário um dia para a carbonização e um dia para o resfriamento, serão necessários em torno de 44 tambores de 200 litros, com custo unitário de R\$ 12,00 (tambores reciclados) e uma vida útil de um ano (Figura 4).



Foto: Diego de Paula Tolêdo.

Figura 4 – Processo de carbonização em tambores adaptados pelo produtor Syneas Campelo

Com a produção de 40% de mesocarpo e 7% de amêndoa, considerou-se neste estudo, conforme Bhering (2009), porcentagens de extração de óleo de 60 e 55% para os mesmos resíduos, respectivamente, tem-se uma produção mensal de 34.800 kg de óleo de mesocarpo e 5.582,5 kg de óleo de amêndoa. Para atender a esta demanda será utilizada uma prensa de extração de óleo de capacidade de produção aproximada de 150 a 200 kg.hora<sup>-1</sup>. O valor de mercado desta máquina é em torno de R\$ 55.000,00 (BNDES, 2010).

Os custos de manutenção dos equipamentos adotados neste estudo foram de 15% do seu valor total, envolvendo gastos com energia, óleos, lubrificantes, reposição de peças, entre outros. Para o cálculo da depreciação foi considerada uma vida útil de 10

anos dos equipamentos, sendo o valor de revenda de 20% do valor do equipamento. A depreciação anual dos equipamentos utilizados neste estudo foi de 10%.

Na determinação dos custos de mão-de-obra para a realização das atividades levou-se em consideração o valor do salário mínimo (R\$ 510,00), com acréscimo de 60,0 % referente aos encargos sociais e às contribuições, valor médio adaptado daquele sugerido pelo SEBRAE (SEBRAE, 2002), e 22 dias úteis trabalhados no mês. O número de funcionários necessários para a operação de unidade seria de oito para operação das máquinas e mais dois para serviços gerais, recebendo um salário mínimo mensal, com jornada de 8 horas de trabalho por dia. Os turnos de trabalho seriam divididos em quatro funcionários para operação das máquinas e um funcionário de serviços gerais por turno.

Os custos administrativos foram considerados como sendo de 10% sobre o valor total dos custos do projeto, conforme indicado por SEBRAE (2002).

### **2.3. Composição das receitas**

As receitas foram aquelas provenientes da venda dos briquetes, sendo o valor de mercado adotado de briquetes e madeira de R\$ 0,50.kg<sup>-1</sup> (MFRURAL, 2010). O preço de venda do carvão do endocarpo foi definido como o praticado no mercado de carvão vegetal para siderurgia de R\$ 105,00.mdc<sup>-1</sup> de carvão (CIFLORESTAS, 2010). Um mdc de carvão de eucalipto tem em torno de 200 kg e vale em torno de R\$ 0,52.kg<sup>-1</sup> carvão. Como o carvão de eucalipto possuiu uma densidade menor que a do endocarpo de macaúba, segundo Silva *et al.* (1986), foi considerado um valor de R\$ 0,84.kg<sup>-1</sup> carvão de endocarpo de macaúba.

O valor do óleo bruto, tanto do mesocarpo quanto da amêndoa, praticado no mercado de óleo do mesocarpo de palma é de U\$ 726,00 *metric tonel*, cotação de novembro de 2009 (WB, 2010), e a conversão de dólares para reais pela cotação do dólar no mesmo mês (U\$ 1,00 igual a R\$ 1,72).

Todos os custos e receitas incidentes no projeto foram ordenados anualmente em um fluxo de caixa. Esses valores foram obtidos mediante o uso de fórmulas financeiras, para um horizonte de planejamento de 30 anos.

A taxa de desconto aplicada foi de 10% ao ano. Optou-se por esta taxa por ser bastante utilizada em análises de projetos florestais e também por ser recomendada pelo

Centro de Estudos Integrados sobre o Meio Ambiente e Mudanças Climáticas do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2002).

Para efetuar essa análise econômica do projeto foram utilizados os seguintes critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e valor anual equivalente (VAE). Além disso, foi verificado o tempo de retorno do capital investido pelo acúmulo do saldo do fluxo de caixa.

### 3. Resultados e discussão

Os custos de máquinas e equipamentos utilizados na unidade de produção são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Custo de máquinas e equipamentos utilizados na unidade de produtos da macaúba

Máquinas	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)	Manutenção (R\$)	Depreciação (R\$)
Máquina despeliculadora	1	10.000,00	10.000,00	1.500,00	800,00
Moinho-martelo	3	20.000,00	60.000,00	9.000,00	4.800,00
Briquetadeira	1	38.400,00	38.400,00	5.760,00	3.072,00
Ensacadeira/costura	1	15.000,00	15.000,00	2.250,00	1.200,00
Tambores 200 L	44	12,00	528,00	0	528,00
Prensa extração de óleo	1	55.000,00	55.000,00	8.250,00	4.400,00
<b>Investimento Inicial: R\$ 178.928,00</b>					
<b>Total anual</b>				<b>26.760,00</b>	<b>14.800,00</b>

A manutenção dos tambores de carbonização foi nula, pois sua vida útil foi considerada de um ano, sendo o valor de aquisição dos tambores contabilizados como sua depreciação. O valor total do investimento em máquinas foi de R\$ 178.928,00, que somado ao custo de construção dos galpões de máquinas e de armazenamento dos frutos de R\$ 440.410,00 resulta em um investimento inicial de R\$ 619.338,00.

A manutenção e a depreciação dos equipamentos, somados os gastos de depreciação dos galpões de R\$35.232,80, resultam em gastos anuais de R\$ 76.792,80 durante o horizonte de planejamento do projeto.

O gasto anual com mão-de-obra foi de R\$ 97.920,00. Os custos administrativos, calculados sobre os valores anuais de mão-de-obra e os gastos anuais dos equipamentos, foram de R\$ 17.471,28.

O custo anual de colheita do extrativismo foi de R\$ 174.000,00, com isto, os custos totais anuais do projeto foram de R\$ 366.184,08.

A produção e a composição das receitas dos produtos descritos neste trabalho estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição das receitas da unidade de produtos da macaúba

<b>Produto</b>	<b>Produção Anual</b>	<b>Valor (R\$)</b>	<b>Receita (R\$)</b>
Briquete	348 Mg	R\$ 0,50.kg <sup>-1</sup>	174.000,00
Carvão	258 Mg	R\$ 0,84 .kg <sup>-1</sup>	216.720,00
Óleo	40,38 Mg	R\$ 1.248,72 Mg	50.426,40
<b>Total</b>			<b>441.146,44</b>

Uma das vantagens que foi considerada para atribuir maior receita ao carvão de endocarpo de macaúba, comparado com o carvão de eucalipto, foi que a maior densidade do carvão de macaúba pode ser atrativa em fornos para produção de ferro e gusa. A maior densidade deste produto reduz o volume necessário para ocupar a mesma quantidade de massa de carvão de eucalipto necessário no processo industrial de produção de ferro e gusa. Além disso, podem-se reduzir os custos de transporte, visto que maior massa é transportada para um mesmo volume de carga.

O fluxo de caixa para o projeto de unidade de produção com produtos de macaúba, para um horizonte de planejamento de 30 anos, está na Tabela 3.

Tabela 3 – Fluxo de caixa para o empreendimento de produtos de macaúba

<b>Ano</b>	<b>Atividade</b>	<b>Custo (mil.R\$)</b>	<b>Receita (mil.R\$)</b>	<b>Saldo (mil.R\$)</b>	<b>Acumulado (mil R\$)</b>
0	Galpão/Máquinas/Custos anuais/Produtos	985,522	441,146	-544,376	-544.376
1	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	-469.413
2	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	-394.451
3	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	-319.489
4	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	-244.526
5	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	-169.564
6	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	-94.602
7	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	-19.639
8	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	55.323
9	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	130.286
10	Máquinas/Custos anuais/Produtos	545,112	476,932	-68,180	62.106
11	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	137.068
12	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	212.030
13	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	286.993

Continua...

Tabela 3, cont.

Ano	Atividade	Custo (mil.R\$)	Receita (mil.R\$)	Saldo (mil.R\$)	Acumulado (mil R\$)
14	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	361.955
15	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	436.917
16	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	511.880
17	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	<b>586.842</b>
18	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	<b>661.804</b>
19	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	736.767
20	Máquinas/Custos anuais/Produtos	545,112	476,932	-68,180	668.587
21	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	743.549
22	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	818.511
23	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	893.474
24	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	968.436
25	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	1043.398
26	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	1118.361
27	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	1193.323
28	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	1268.286
29	Custos anuais/Produtos	366,184	441,146	74,962	1343.248
30	Custos anuais/Produtos	366,184	565,014	198,830	1542.078

Segundo os critérios econômicos analisados, o projeto mostrou-se economicamente viável com VPL e VAE positivos e a TIR maior que a taxa de desconto utilizada neste estudo, que foi de 10% (Tabela 4).

Tabela 4 – Viabilidade econômica pelos critérios do VPL, TIR e VAE para um horizonte de planejamento de 30 anos e taxa de desconto de 10%

VPL (R\$)	TIR (%)	VAE (R\$.ano <sup>-1</sup> )
2.667,23	12,07	282,94

O tempo de retorno do capital investido (R\$ 619.338,00) ocorreu entre o 17<sup>o</sup> e o 18<sup>o</sup> ano. Os sete primeiros anos apresentaram saldo acumulado negativo, mostrando que por estas duas análises o projeto pode ser pouco atrativo financeiramente.

Uma análise de sensibilidade, alterando os valores de mão-de-obra descontados em 20%, tornaria o projeto economicamente mais atrativo pelos critérios VPL e VAE positivos e a TIR acima da taxa de desconto utilizada, e o tornaria economicamente inviável se acrescidos 20 % pelos valores negativos de VPL e VAE e de TIR inferior à taxa de desconto utilizada (Tabela 5).

Tabela 5 – Análise de sensibilidade dos valores de mão-de-obra pelos critérios do VPL, TIR e VAE, para um horizonte de planejamento de 30 anos e taxa de desconto de 10%

Mão-de-Obra	VPL (R\$)	TIR (%)	VAE (R\$.ano <sup>-1</sup> )
- 20%	197.737,63	17,17	20.975,86
+ 20%	-192.403,16	7,06	-20.409,98

Aplicando a análise de sensibilidade de 20% de acréscimo e desconto nos valores da receita para cada produto comercializado separadamente, tem-se os seguintes valores descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise de sensibilidade dos valores dos briquetes, do carvão e do óleo pelos critérios do VPL, TIR e VAE, para um horizonte de planejamento de 30 anos e taxa de desconto de 10%

Produto	VPL (R\$)	TIR (%)	VAE (R\$.ano <sup>-1</sup> )
<i>Briquete</i>			
- 20%	-312.453,17	3,89	-33.144,80
+ 20%	317.787,63	20,44	33.710,67
<i>Carvão</i>			
- 20%	-389.820,66	1,72	-41.351,88
+ 20%	395.155,12	22,62	41.917,79
<i>Óleo</i>			
- 20%	-88.656,90	9,73	-9.404,66
+ 20%	93.991,36	14,43	9.970,53

Pela análise apresentada pode-se perceber que o valor do carvão foi o que mais afetou os parâmetros econômicos analisados e o valor do óleo foi o que menos promoveu mudanças nos parâmetros econômicos de VLP, TIR e VAE.

#### 4. Conclusões

A simulação de uma unidade de recebimento de frutos da macaúba e produção de multiprodutos, com capacidade de recebimento de produção e extrativismo de 200 ha, é uma alternativa economicamente viável para formação de cooperativas e associações de produtores rurais no município de Jequitibá, MG.

Contudo, cabe ressaltar que esta simulação mostrou baixa atratividade financeira do negócio, visto que seria necessário o investimento inicial de capital alto,

aproximadamente R\$ 620 mil, para um valor presente líquido em torno do R\$ 2,6 mil. O tempo de retorno do capital investido foi de aproximadamente 18 anos, sendo os sete primeiros anos de saldo acumulado negativo, o que diminuindo a atratividade financeira do projeto.

Este estudo contribui para formação de políticas que visem a fixação do homem no campo, através de iniciativas que agreguem renda às atividades desenvolvidas na propriedade. Ressalta também que com a densidade de plantio adotada no estudo é claramente possível o consórcio da cultura com pastagens, sem prejudicar as áreas disponíveis da propriedade, agregando mais renda aos produtores rurais.

Os equipamentos utilizados possuem capacidade de processamento maior se trabalhados em mais turnos. Assim, a unidade de produção pode receber maior quantidade de frutos de macaúba e seus indicadores econômicos podem melhorar.

Outros fatores que afetam positivamente a atratividade do empreendimento seriam a redução dos custos de mão-de-obra e o aumento nos preços dos produtos, principalmente do carvão do endocarpo, que apresentou maior atratividade dos indicadores econômicos.

O extrativismo da macaúba como forma de agregar renda ao produtor rural é tanto uma alternativa para o produtor quanto para a conservação da espécie, o que a torna economicamente atrativa.

Esta unidade de produção é um projeto viável para fornecimento de óleo para a cadeia de biodiesel. Além disso, os produtos briquetes de epicarpo e carvão de endocarpo também compõem fontes de energia renovável para a matriz energética brasileira.

## 5. Referências bibliográficas

BHERING, L. **Macaúba**: matéria-prima nativa com potencial para produção de biodiesel. EMBRAPA Agroenergia, 4 p. Disponível em: <<http://www.cnpae.embrapa.br/artigos-de-divulgacao/macauaba-materia-prima-nativa-com-potencial-para-producao-de-biodiesel.pdf/view>>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

BIODIESELBR. **Brasil busca novas fontes de biodiesel para crescer**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/biodiesel-materias-primas-crescer-010210.htm>>. Acesso em: 1<sup>o</sup> fev. 2010.

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento. **Cartão BNDES**. Disponível em: <<https://www.cartaobndes.gov.br/cartaobndes/PaginasCartao/Catalogo.asp?Acao=LPCeCTRL=eCod=383>>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

CIFLORESTAS – Centro de Inteligência em Florestas. **Cotações**. Disponível em: <[http://www.ciflorestas.com.br/dado.php?id=16en=preco\\_de\\_produtos\\_carvao\\_plantadas\\_belo\\_horizonte\\_mg](http://www.ciflorestas.com.br/dado.php?id=16en=preco_de_produtos_carvao_plantadas_belo_horizonte_mg)>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Belo Horizonte, v. 2, 1983 (Relatório técnico).

CREA-MG – Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Minas Gerais. Indicadores. **Revista Vértice**, n. 1, p. 31-31, 2009.

FILIPPETTO, D. **Briquetagem de resíduos vegetais: viabilidade técnico-econômica e potencial de mercado**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

FUNDAÇÃO MUSSAMBÊ. – Fundação de Formação, Pesquisa e Difusão Tecnológica para uma Convivência Sustentável com o Semi-Árido. Projeto: Tecnologia Social “**Aproveitamento total do coco-babaçu**”. Disponível em: <<http://www.mussambe.org.br>>. Acesso em: 20 Nov. 2009.

LORENZI, G. M. A. C. ***Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. - Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável**. 2006. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

MFRURAL. **Comprar** – Vender. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/busca.asp?palavras=BRIQUETE>>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade para avaliação de projetos que contribuam para a mitigação das mudanças climáticas e para a promoção do desenvolvimento sustentável**. Brasília, 2002. 42 p.

PINHEIRO, C. U. **A palmeira babaçu (*Orbignya phalerata* Martius) e sua exploração na região dos cocais, Maranhão, nordeste do Brasil**. In: ALEXÍADES, M. N.; SHANLEY, P. (Ed.) *Productos forestales, medios de subsistencia y conservación*. Jakarta: CIFOR. v. 4 p. 163-180, 2004.

PNPB – Programa Nacional de Produção e uso de Biodiesel. **O programa**. 2009. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/>>. Acesso em: 15 de Nov. 2009.

SEBRAE-MG. **Plano de negócios: manual do aprendiz**. Minas Gerais, 2002. 146 p.

SILVA, J. C. *et al.* Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados a madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de carvão vegetal. **IPEF**, n. 34, p. 31-34, 1986.

SILVA, M. L. *et al.* **Economia florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2002. 178 p.

WB – World Bank. **Commodity price data**. Disponível em: <[http://siteresources.worldbank.org/INTDAILYPROSPECTS/Resources/Pnk\\_1209.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTDAILYPROSPECTS/Resources/Pnk_1209.pdf)>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

#### **4. CONCLUSÕES GERAIS**

Com base nos resultados dos trabalhos desenvolvidos nesta dissertação, são apresentadas as seguintes conclusões gerais:

Pelos testes físicos de densidade básica, variação volumétrica e resistência à compressão plana, a produção de briquetes com resíduos de frutos de macaúba e torta de pinhão-mansão são viáveis. Os briquetes de endocarpo de macaúba são viáveis até 50% de sua mistura com partículas de eucalipto. A produção de briquetes de pinhão-mansão sem mistura é viável, porém cabe alertar para a perda de resistência à compressão plana em misturas com mais de 75% do resíduo. Os briquetes de epicarpo de macaúba mostraram-se viáveis com uso de 100% do resíduo.

O tempo de prensagem e as porcentagens de mistura foram os parâmetros que mais influenciaram as propriedades físicas dos briquetes, tendo sido constatado que o maior tempo de prensagem produziu briquetes mais densos, com maior resistência à compressão plana e sem influência na variação volumétrica dos mesmos.

A unidade de fabricação de produtos energéticos dos frutos de macaúba é economicamente viável e contribui para geração de renda de pequenos produtores rurais em sistema de cooperativa ou de associação. Cabe ressaltar que muitos dos equipamentos e processos de produção foram adotados com base na experiência do produtor Syneas Campelo, podendo o desenvolvimento de máquinas apropriadas para os frutos de macaúba melhorar o desempenho da unidade e a sua capacidade de produção.

Os estoques de carbono das culturas foram significativos e plausíveis de pleitearem créditos de carbono nos moldes de Kyoto, tanto em projetos de MDL de florestamento/reflorestamento pela, mudança de uso do solo de pastagem para as culturas, quanto em projetos de conservação florestal de áreas de regeneração natural em mercados voluntários.

Estes projetos contribuem com a mitigação da geração de gases de efeito estufa por fonte de sumidouros, devendo ser ressaltado que os créditos obtidos melhoram a atratividade do projeto para o produtor rural. Estas medidas, além de contribuírem para a sustentabilidade do uso das espécies como fontes de matérias-primas para cadeia do biodiesel, ajudam na sua conservação ambiental.

A geração das equações de biomassa para árvore individual de pinhão-manso e de equação volumétrica de macaúba pode ser utilizada em estudos de quantificação de biomassa e estoque de carbono das culturas.

Não foram encontrados dados de densidade básica do estipe de macaúba na literatura citada neste trabalho e em trabalhos consultados durante a revisão de literatura. Portanto, os resultados aqui obtidos podem ser utilizados em estudos de usos da estufa de usos do estipe, relação desta propriedade física com estocagem de carbono, relações da densidade básica com propriedades físicas e químicas do estipe de macaúba, e demais estudos que contribuam para a conservação da espécie.

As duas espécies são potencialmente viáveis para compor a cadeia produtiva do biodiesel e fornecer, além do óleo para o biocombustível, produtos que podem compor a matriz energética nacional.

Tanto os produtos que podem ser explorados das espécies quanto a aquisição de créditos de carbono em projetos de MDL favorecem a agregação de valor às culturas, tornando-as atrativas e capitalizando os produtores rurais. A geração de capital para os produtores rurais contribui para a fixação do homem no campo, diminui o êxodo rural e distribui melhor a renda no País.