

Bruno Galvêas Laviola
Erina Vítório Rodrigues
Editores técnicos



Pinhão-manso

pesquisas,
conhecimentos
e práticas

Embrapa

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroenergia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*



Pinhão-manso

pesquisas,
conhecimentos
e práticas

*Bruno Galvêas Laviola
Erina Vitório Rodrigues*
Editores técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2019

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na

Embrapa Agroenergia

Parque Estação Biológica (PqEB), s/n
Ed. Embrapa Agroenergia
Caixa Postal 40315
CEP 70770-901, Brasília, DF
Fone: +55 (61) 3448-1581
Fax: +55 (61) 3448-1589
www.embrapa.br/agroenergia
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Unidade responsável pelo conteúdo e edição
Embrapa Agroenergia

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade de seus autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), vinculada ao Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Comitê Local de Publicações

Presidente
Alexandre Alonso Alves

Secretária-executiva
Lorena Costa Garcia Calsing

Membros
Adilson Kenji Kobayashi
André Pereira Leão
Dasciana de Sousa Rodrigues
Emerson Leo Schultz
Felipe Brandão de Paiva Carvalho
Thaís Fabiana Chan Salum
Wesley Gabriel de Oliveira Leal

Supervisão editorial
Luciane Chedid Melo Borges

Revisão de texto
Francisca Elijani do Nascimento
Jane Baptistone de Araujo
Luciane Chedid Melo Borges

Normalização bibliográfica
Rejane Maria de Oliveira

Projeto gráfico, capa e editoração eletrônica
Maria Goreti Braga dos Santos

Foto da capa
Bruno Galvêas Laviola

1ª edição
Publicação digitalizada (2019)

Todos os direitos reservados

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Agroenergia

Pinhão-manso : pesquisas, conhecimentos e práticas / Bruno Galvêas Laviola, Erina Vitória Rodrigues, editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2019.

PDF (420 p.).

ISBN 978-85-7035-925-4

1. *Jatropha curcas*. 2. Biocombustível. 3. Bionergia. 4. BRJATROPHA. 5. Melhoramento genético. 6. Planta oleaginosa. 7. Programa de Biodiesel. I. Embrapa Agroenergia. II. Título.

CDD 633.5

Autores

Abadio Hermes Vieira

Engenheiro florestal, mestre em Ciência Florestal, pesquisador da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO

Alceu Richetti

Administrador, mestre em Administração, analista da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

Alex Caetano Pimenta

Biólogo, doutor em Agronomia (Produção Vegetal), professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Cuiabá, MT

Alexandre Alonso Alves

Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF

Alexandre Magno Brighenti dos Santos

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia (Produção Vegetal), pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Alexei de Campos Dianese

Biólogo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

André Rostand Ramalho

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia (Fitotecnia), pesquisador da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO

Bruno Galvêas Laviola

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia (Produção Vegetal), pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF

Carlos Eugênio Martins

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Carlos Henrique de Oliveira Lima

Engenheiro-agrônomo, mestre em Produção Vegetal, fiscal agropecuário da Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Tocantins, Gurupi, TO

Carlos Hissao Kurihara

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

Cesar José da Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Produção Vegetal), pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

Charles Martins de Oliveira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

Cristiane de Oliveira Veronesi

Engenheira-agrônoma, mestre em Agronomia, professora do Centro Educacional Veronesi, Serra, ES

Cristiano Márcio Alves de Souza

Engenheiro agrícola, doutor em Engenharia Agrícola, professor da Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS

Domingos Sávio Campos Paciullo

Engenheiro-agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Eduardo Andrea Lemus Erasmo

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Produção Vegetal), professor da Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, TO

Erina Vitório Rodrigues

Engenheira-agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, professora da Universidade de Brasília, Brasília, DF

Ernesto Gonzalo Cañarte Bermúdez

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisa Agropecuária (Iniap), Equador

Fábio Araújo dos Santos

Engenheiro florestal, mestre em Ciência Florestal pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP

Fábio Pinto Gomes

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, professor da Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilheus, BA

Flávio Ferreira da Silva Binotti

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Sistemas de Produção), professor da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Cassilândia, MS

Gilmar Souza Santos

Economista, doutor em Engenharia de Produção, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF

Hamilton Kikuti

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Fitotecnia), professor da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG

Joedna Silva

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia (Fitotecnia), Técnica de Laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Gurupi, TO

José Dilcio Rocha

Engenheiro químico, doutor em Engenharia Mecânica, pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas, SP

José Nilton Medeiros da Costa

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências Biológicas (Entomologia), pesquisador da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO

José Roberto Vieira Júnior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO

Katia Christina Zuffellato-Ribas

Bióloga, doutora em Ciências Biológicas (Botânica), professora titular da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Leandro Dias da Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pós-doutorando em Agronomia pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA

Marçal Pedro Neto

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Entomologia), professor da Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, TO

Marcela Venelli Pyles

Engenharia florestal, doutoranda em Ecologia Aplicada, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG

Marcelo Dias Müller

Engenheiro florestal, doutor em Ciência Florestal, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Olga Lima Tavares Machado

Química, doutora em Bioquímica, professora da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ

Oscar Fontão de Lima Filho

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências (Energia Nuclear na Agricultura), pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

Paulo Eduardo Teodoro

Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento, professor da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, MS

Poliana Silvestre Pereira

Bióloga, mestre em Produção Vegetal, doutoranda em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, TO

Priscila Souza de Oliveira

Engenheira-agrônoma, doutora em Produção Vegetal, pesquisadora no Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilheus, BA

Raquel de Souza Braga Silva

Bióloga, mestre em Biotecnologia Vegetal, bolsista da Universidade Estadual do Norte Fluminense - Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ

Renato Almeida Sarmiento

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, professor da Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, TO

Rodrigo Barros Rocha

Biólogo, doutor em Genética e Melhoramento, pesquisador da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO

Tessio Araujo de Santana

Engenheiro florestal, doutor em Genética e Biologia Molecular, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Teixeira de Freitas, BA

Victor Ferreira de Souza

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências Agrárias (Fisiologia Vegetal), pesquisador da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO

Victor Mouzinho Spinelli

Biólogo, doutor em Fisiologia Vegetal, professor da Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, RO

Vinicius de Vito Ros

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia pela Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS

Wadson Sebastião Duarte da Rocha

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Apresentação

O Brasil pode ser considerado um dos países mais privilegiados em termos de vocação agrícola no mundo. O País possui localização privilegiada na região tropical, com alta incidência de energia solar, regime pluviométrico adequado e conta com grandes reservas de terras agricultáveis, o que permite planejar o uso agrícola em bases sustentáveis, sem comprometer os grandes biomas nacionais. Pode-se considerar que o Brasil é um dos únicos países do mundo em que é possível produzir alimento e energia sem que ocorra competição direta por área e recursos naturais. Todas essas condições fazem do Brasil um país com grande capacidade para a produção de alimentos, biocombustíveis e de outros derivados de óleos vegetais para atender tanto o mercado nacional, quanto o internacional.

Nesse contexto, observa-se que há real necessidade de aumento da produção de matéria-prima para o crescente aumento da produção de biocombustíveis, bem como para ampliar a diversificação de matérias-primas, tendo em vista os aspectos negativos da dependência de uma ou de poucas fontes de matérias-primas. Nos últimos anos, a Embrapa Agroenergia coordenou e desenvolveu pesquisas para dar suporte tecnológico ao cultivo de diversas matérias-primas, entre estas o pinhão-manso.

No início do Programa de Biodiesel, o pinhão-manso foi apontado prematuramente como opção de matéria-prima para atender a demanda de óleo para produção do biocombustível. Porém, a espécie ainda não estava domesticada e a maior parte dos plantios comerciais foi descontinuada. Para dar suporte ao cultivo comercial do pinhão-manso, a Embrapa Agroenergia coordenou o projeto “Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de biodiesel (BRJATROPHA)”, financiado com recursos descentralizados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), via Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Participaram da rede de pesquisa 21 instituições de pesquisa de todas as regiões do Brasil, sendo 16 unidades da Embrapa, envolvendo mais de 80 pesquisadores.

O livro *Pinhão-manso: pesquisas, conhecimentos e práticas* representa o resultado do trabalho da rede de pesquisa formada pelo projeto BRJATROPHA, abordando os principais avanços do conhecimento tecnológico para dar suporte ao cultivo do pinhão-manso. No livro estão informações sobre manejo, fenologia, fisiologia, fitopatologia, aspectos nu-

tricionais, usos potenciais, melhoramento genético, além da viabilidade econômica, social e ambiental da cadeia produtiva. Dada a relevância do tema, esperamos possibilitar com esta obra a continuidade das pesquisas com essa oleaginosa como opção de diversificação de fontes de matérias-primas para produção de biocombustíveis.

Guy de Capdeville

Chefe-Geral da Embrapa Agroenergia

Sumário

Pesquisa, desenvolvimento e inovação em pinhão-manso para produção de biodiesel	16
<i>Bruno Galvêas Laviola</i>	
Melhoramento genético do pinhão-manso: estratégias biométricas e biotecnológicas	22
<i>Bruno Galvêas Laviola</i>	
<i>Erina Vítório Rodrigues</i>	
<i>Paulo Eduardo Teodoro</i>	
Melhoramento genético para desenvolvimento de cultivares atóxicas de alto desempenho	52
<i>Bruno Galvêas Laviola</i>	
<i>Alexandre Alonso Alves</i>	
<i>Rodrigo Barros Rocha</i>	
Produção de mudas e aspectos gerais do melhoramento genético de pinhão-manso na região Norte do Brasil	68
<i>Rodrigo Barros Rocha</i>	
<i>Victor Mouzinho Spinelli</i>	
<i>André Rostand Ramalho</i>	
<i>José Roberto Vieira Júnior</i>	
<i>Abadio Hermes Vieira</i>	
<i>Victor Ferreira de Souza</i>	
<i>Bruno Galvêas Laviola</i>	
Germinação de pinhão-manso: morfologia de fruto, semente e plântula	116
<i>Katia Christina Zuffellato-Ribas</i>	
<i>Alex Caetano Pimenta</i>	
Enraizamento de miniestacas de pinhão-manso: propagação e anatomia	136
<i>Katia Christina Zuffellato-Ribas</i>	
Ecofisiologia de <i>Jatropha curcas</i>	154
<i>Fábio Pinto Gomes</i>	
<i>Priscila Souza de Oliveira</i>	
<i>Tessio Araújo de Santana</i>	
<i>Leandro Dias da Silva</i>	

Fenologia, reguladores de crescimento e adubação do pinhão-manso.....176

*Rodrigo Barros Rocha
Victor Mouzinho Spinelli
André Rostand Ramalho
Victor Ferreira de Souza
Bruno Galvêas Laviola*

Aspectos nutricionais em pinhão-manso204

*Carlos Hissao Kurihara
Oscar Fontão de Lima Filho
Cesar José da Silva
Hamilton Kikuti
Flávio Ferreira da Silva Binotti*

Uso do pinhão-manso em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta.....232

*Marcelo Dias Müller
Marcela Venelli Pyles
Domingos Sávio Campos Paciullo
Carlos Eugênio Martins
Alexandre Magno Brighenti dos Santos
Wadson Sebastião Duarte da Rocha*

Estudos em fitopatologia e entomologia na cultura do pinhão-manso no Distrito


Federal e no estado de Rondônia250

*José Nilton Medeiros da Costa
José Roberto Vieira Júnior
Rodrigo Barros Rocha
Alexei de Campos Dianese
Charles Martins de Oliveira
André Rostand Ramalho
Victor Mouzinho Spinelli
Bruno Galvêas Laviola*

Manejo ecológico de ácaros na cultura do pinhão-manso286

*Renato Almeida Sarmiento
Marçal Pedro Neto
Joedna Silva
Carlos Henrique de Oliveira Lima
Poliana Silvestre Pereira
Ernesto Gonzalo Cañarte Bermúdez
Eduardo Andrea Lemus Erasmo
Fábio Araújo dos Santos*

Colheita e beneficiamento do pinhão-manso	308
<i>Cristiano Márcio Alves de Souza</i>	
<i>Cristiane de Oliveira Veronesi</i>	
<i>Vinicius de Vito Ros</i>	
<i>Cesar José da Silva</i>	
Estratégias agronômicas para aproveitamento da torta de pinhão-manso	328
<i>Bruno Galvêas Laviola</i>	
<i>Alexandre Alonso Alves</i>	
<i>Rodrigo Barros Rocha</i>	
Produção e caracterização de briquetes de casca de pinhão-manso	340
<i>José Dilcio Rocha</i>	
Pinhão-manso: fitoquímica, efeitos farmacológicos e usos medicinais.....	352
<i>Olga Lima Tavares Machado</i>	
<i>Raquel de Souza Braga Silva</i>	
Viabilidade econômica, social e ambiental da cadeia produtiva do pinhão- -manso	386
<i>Alceu Richetti</i>	
<i>Gilmar Souza Santos</i>	



**Pesquisa, desenvolvimento
e inovação em pinhão-
-manso para produção
de biodiesel**

Pesquisa, desenvolvimento e inovação em pinhão-manso para produção de biodiesel

Bruno Galvêas Laviola

O pinhão-manso

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) tem sido considerado uma das alternativas de interesse para atender à demanda de óleo vegetal a ser usado na produção de biodiesel e bioquerosene. Essa oleaginosa possui bom rendimento e qualidade de óleo favorável à produção de biodiesel, adaptabilidade às diferentes regiões de cultivo, longevidade, além de constituir alternativa para diversificação. Apesar de suas potencialidades, a espécie está em fase de domesticação, não existindo ainda cultivares e sistema de produção validado para as diferentes regiões produtoras de biodiesel. Para tanto, ações técnico-científicas e investimentos públicos e privados têm focado o estado da arte para o entendimento e a utilização adequada dessa oleaginosa.

O projeto BRJATROPHA

Visando dar suporte técnico-científico ao cultivo de pinhão-manso e à valoração dos resíduos da cadeia de produção, foi constituído o projeto Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Pinhão-Manso para Produção de Biodiesel (BRJATROPHA). A programação de pesquisa do projeto foi elaborada tendo como referência os desafios técnico-científicos do cultivo comercial de pinhão-manso, os quais foram levantados em workshops realizados com representantes da pesquisa e do setor produtivo de empresas públicas e privadas do Brasil. O projeto foi financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) com apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Participam diretamente deste projeto a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig) e 21 instituições de pesquisa de todas as regiões do Brasil: 16 unidades da Embrapa (Embrapa Agroenergia, Embrapa Meio Norte, Embrapa Gado de

Leite, Embrapa Agroindústria de Alimentos, Embrapa Informática Agropecuária, Embrapa Cerrados, Embrapa Clima Temperado, Embrapa Rondônia, Embrapa Agropecuária Oeste, Embrapa Milho e Sorgo, Embrapa Florestas, Embrapa Solos, Embrapa Algodão, Embrapa Semiárido, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia e Embrapa Meio Ambiente) e 5 universidades – Universidade Federal do Tocantins (UFT), Universidade Estadual do Norte Fluminense (Uenf), Universidade de Brasília (UnB), Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Universidade Federal de Lavras (Ufla). O BRJATROPHA conta com o envolvimento de mais de 80 pesquisadores e 60 bolsistas.

Objetivos

- Instalar um banco de germoplasma de pinhão-mansão, com acessos oriundos de diversas localidades do Brasil e do exterior, visando garantir a máxima variabilidade em população de ampla base genética.
- Executar a caracterização básica dos acessos ao banco de germoplasma, abrangendo a fenotipagem, a definição de descritores botânicos, a genotipagem e a definição de marcadores moleculares para viabilizar o registro de cultivares e subsidiar o melhoramento genético.
- Instalar, definir e validar os sistemas de produção (tecnologia agrônoma) de pinhão-mansão para as diversas regiões com potencial de produção no Brasil, definir mapa de aptidão edafoclimática, promover ajustes do processo de produção de biodiesel (tecnologia industrial) e ampliar as possibilidades de uso econômico de seus resíduos e coprodutos.
- Desenvolver estudos de viabilidade e sustentabilidade na cadeia produtiva do pinhão-mansão.

Estratégia de ação

O projeto foi composto por 30 metas físicas e mais de 130 atividades de pesquisa, as quais estão agrupadas nos seguintes planos de ação (PA):

- PA1: Gestão Geral
- PA2: Melhoramento genético

- PA3: Produção de sementes e mudas
- PA4: Sistemas de produção e tratos culturais
- PA5: Nutrição mineral e adubação
- PA6: Ecofisiologia e irrigação
- PA7 : Plantas daninhas
- PA8: Controle de pragas
- PA9: Controle de doenças
- PA10 : Colheita, pós-colheita e qualidade
- PA11 : Processos industriais e coprodutos
- PA12 : Estudos socioeconômico-ambientais

Principais resultados

Recursos genéticos e melhoramento

Entre as ações-chave do projeto está a constituição do banco de germoplasma com ampla base genética, que possui atualmente mais de 220 acessos e se encontra com 36 meses de idade (Figura 1). Estudos de diversidade genética com utilização de marcadores moleculares (RAPD e SSR) revelaram que os acessos de pinhão-manso originados do Brasil apresentam ancestralidade comum (estreita base genética), e é importante o enriquecimento do banco de germoplasma com procedências do centro de origem (América Central).

Apesar da existência de baixa diversidade genética, a caracterização fenotípica tem revelado a existência de variabilidade genética para diversos caracteres quantitativos de interesse ao programa de melhoramento, tais como: produção e peso de grãos, porte, teor de óleo, arquitetura de plantas e resistência a oídio. Estudos preliminares de ganho genético predito têm apontado o potencial de ganho acima de 90% na produção com a seleção precoce. Além disso, foram identificados na coleção de germoplasma acessos que não

possuem ésteres de forbol nos grãos, que podem ser fonte de variabilidade genética para o desenvolvimento de cultivares comerciais não tóxicas, cuja torta, que é rica em proteína, pode ser usada na nutrição animal (maior valor econômico).

Sistema de produção

Pesquisas para validar sistemas de produção para pinhão-manso foram desenvolvidas em diversas regiões do Brasil. As ações foram embasadas em conhecimentos básicos de ecofisiologia e fenologia para melhor adequar os diferentes ambientes às necessidades de cultivo do pinhão-manso. Estudos com propagação sexual e assexuada, sistema de plantio, espaçamentos para cultivo solteiro e consorciado têm sido desenvolvidos e já possuem resultados parciais e conclusivos. Curvas de acúmulo de nutrientes foram determinadas e doses de fertilizantes testadas para se conhecer a exigência nutricional do pinhão-manso.

Por meio de resultados parciais, tem-se verificado que a correta fertilização das plantas de pinhão-manso contribui para aumentar em até 300% a produção de grãos, quando comparado com plantas não fertilizadas. As podas de formação e manutenção (poda alta) se apresentaram como técnicas de manejo promissoras para uniformizar o plantio e aumentar a produção de frutos. Diversas pragas, doenças e plantas daninhas da cultura já foram identificadas, e as pesquisas buscam o estabelecimento de manejos integrados de controle com eficiência e menor custo possível.

Para a colheita de frutos, cuja maturação é desuniforme, a pesquisa buscou alternativas para concentrar e uniformizar a colheita, bem como adaptar derrigadeiras costais e máquinas colheitadeiras, que são comumente utilizadas em outras culturas, como, por exemplo, na colheita do café, visando aumentar rendimento e diminuir custo de colheita.

Aproveitamento econômico da torta

A torta resultante da extração do óleo das sementes de pinhão-manso constitui excelente adubo orgânico, rico em nitrogênio, fósforo e potássio, além de ser uma potencial fonte proteica para o suplemento de animais (maior valor econômico). No entanto, a presença de fatores limitantes tóxicos, alergênicos e antinutricionais, como os ésteres de forbol, que são os principais componentes tóxicos, restringem o uso da torta para nutrição

animal. Processos físicos, químicos e biológicos isolados e combinados estão sendo testados, e algumas combinações de tratamento têm causado redução acima de 90% no teor de ésteres na torta. Outra estratégia que tem sido abordada é a genética, pela exploração da variabilidade genética para ausência de ésteres de forbol nos grãos. Resultados da substituição do farelo de soja por torta originada de pinhão-manso não tóxico (sem ésteres de forbol nos grãos) na suplementação de carneiros foram promissores e não causaram danos aos animais tratados.

Estudos socioeconômico-ambientais

As ações de pesquisa buscaram desenvolver estudos de cenários da cadeia produtiva do pinhão-manso, além de estudar impactos econômicos, sociais, ambientais, desenvolver estudos de viabilidade e sustentabilidade, ciclo de vida, balanço energético e crédito de carbono. Com os resultados dos estudos, foram obtidos índices técnicos confiáveis e informações sobre a viabilidade econômica, social e ambiental do cultivo de pinhão-manso, a fim de atender ao mercado de biodiesel em curto, médio e longo prazo, nas diversas regiões do Brasil onde há iniciativas (ou potencial) de cultivo comercial. Aplicando-se o conceito de ciclo de vida, sistemas de produção com diferentes níveis tecnológicos foram avaliados, cujos resultados irão contribuir para melhoria ambiental e econômica do cultivo de pinhão-manso no Brasil.

Foto: Bruno Laviola



Figura 1. Banco de germoplasma de pinhão-manso com acessos oriundos de diversas partes do Brasil.



**Melhoramento genético
do pinhão-manso:
estratégias biométricas
e biotecnológicas**

Melhoramento genético do pinhão-manso: estratégias biométricas e biotecnológicas

*Bruno Galvêas Laviola
Erina Vítório Rodrigues
Paulo Eduardo Teodoro*

Introdução

A matriz energética mundial se destaca por maior participação de fontes não renováveis quando comparada à matriz energética brasileira que, apesar do consumo de energia ser maior do que o de renováveis, usamos mais fontes renováveis que no resto do mundo. Apesar do baixo crescimento da economia mundial, a demanda global por energias renováveis tende a crescer. Os países têm se empenhado na busca por fontes alternativas de energia, e esse fato tem se tornado mais forte a cada ano (Cremones et al., 2015; Kumar et al., 2016). Além disso, têm-se intensificado as discussões acerca das questões relacionadas ao impacto ambiental negativo, por causa das altas taxas de emissão de gases que aumentam o efeito estufa.

Nesse contexto, a produção de biocombustíveis desponta como alternativa ao uso do combustível fóssil, constituindo uma promessa para a matriz energética mundial e, principalmente, para o cenário brasileiro. O uso de biodiesel apresenta algumas vantagens em comparação aos combustíveis fósseis, uma vez que ele é atóxico, biodegradável, não polui o ambiente, tem ponto de fulgor e pode ser adicionado ao diesel em razão das suas propriedades semelhantes (Takase et al., 2015).

Em virtude da ampla diversidade do ecossistema nacional, há diversas fontes potenciais de oleaginosas no Brasil para a produção de biodiesel. Entre as culturas potenciais para essa finalidade, observa-se um destaque relevante para a soja, que representa, em média, 71,6% de toda a matéria-prima usada na produção de biocombustível. A gordura animal é a segunda fonte de matéria-prima, seguida do óleo de algodão e de outros materiais graxos, que possuem 11,3% de participação na cadeia de produção do biodiesel (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2018). Uma das maneiras

eficazes para solucionar a quantidade limitada de matérias-primas tradicionais e seus preços elevados é o investimento na melhoria da produção de biodiesel a partir de óleo vegetal não comestível (Dharma et al., 2016). Além disso, é importante ressaltar os impactos sociais que a inserção dessa cadeia proporcionaria, como a geração de empregos e renda.

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) vem sendo amplamente estudado por causa de sua elevada produtividade de óleo (1.200 kg ha⁻¹ a 1.500 kg ha⁻¹) a partir do 4º ano (Laviola et al., 2014), com características físico-químicas que permitem uma fácil conversão em biocombustível líquido, que atende aos padrões americanos e europeus (Tiwari et al., 2007). Apesar de promissora, a carência por variedades geneticamente melhoradas que garantam tamanha potencialidade, bem como a heterogeneidade dos genótipos cultivados, ainda faz desta espécie uma promessa para o plantio em larga escala (Rocha et al., 2012). O pinhão-manso ainda é considerado uma espécie não domesticada no Brasil, portanto são importantes os estudos sobre seu germoplasma para a seleção de plantas e desenvolvimento de uma variedade comercial (Achten et al., 2010).

Os melhoristas de plantas perenes almejam encurtar os ciclos seletivos e minimizar o tempo para lançamento de cultivares. Para isso, uma alternativa que vem sendo empregada com bastante êxito é a Seleção Genômica Ampla (GWS – do inglês *Genome wide selection*). Essa é considerada uma das ferramentas mais modernas e promissoras cujo objetivo é aumentar a eficiência na seleção, diminuir custos no lançamento de cultivares, reduzir o ciclo de melhoramento via seleção precoce e aumentar o ganho genético entre as gerações de melhoramento (Resende et al., 2012b; Alves et al., 2015). A GWS é uma estratégia que foi aplicada inicialmente em programas de melhoramento animal e, mais recentemente, em programas de melhoramento vegetal (Grattapaglia; Resende, 2011). Trata-se de um método que permite selecionar genótipos superiores em fase ultraprecoce, reduzindo a necessidade de se avaliarem os testes de progênies (Resende et al., 2012b).

Assim, o objetivo desse capítulo foi integrar as diversas informações disponíveis na literatura e relatar as estratégias mais promissoras para o progresso genético e biotecnológico do pinhão-manso.

Melhoramento genético do pinhão-mansô

Citogenética e biologia reprodutiva

O pinhão-mansô é uma espécie perene, que se desenvolve em regiões tropicais e subtropicais. Pertence à família *Euphorbiaceae*, a qual compreende aproximadamente 8 mil espécies. É uma espécie diploide ($2n = 22$) com cromossomos pequenos, que variam de $1,71 \mu\text{m}$ a $1,24 \mu\text{m}$, dos quais cinco são metacêntricos e seis submetacêntricos (Figura 1) (Soontornchainaksaeng; Jenjittikul, 2003; Paramathma et al., 2007). Sua composição de bases ajustada é $\text{AT} = 61,3\%$ e $\text{GC} = 38,7\%$ (Carvalho et al., 2008).



Figura 1. Cromossomos de pinhão-mansô, formação dos pares 1-2, 3-4, 5-6, 7-8 e 9-10, que são idênticos. Cromossomos metacêntricos (1, 2, 5, 6 e 11) e submetacêntricos (3, 4, 7, 8, 9 e 10). Barra = $5 \mu\text{m}$

Fonte: Carvalho et al., 2008.

O florescimento ocorre durante a estação chuvosa e, comumente, pode ocorrer duas vezes no ano, durante o verão e/ou outono (Divakara et al., 2010). Esse é um dos

estádios fenológicos mais importantes para produção de óleo em pinhão-mansão, pois o número de flores femininas e sua fecundação indicam quantos frutos e sementes serão desenvolvidos. As inflorescências são do tipo cimosa, na qual a ramificação é sempre terminal; em forma de dicásio, apresentando dois eixos secundários opostos sob o eixo primário; com prefloração valvar reduplicada e margens dobradas para fora, com pequenas brácteas persistentes tanto no pedúnculo como no pedicelo. O cálice do fruto é dialissépalo, enquanto sua corola é caduca ao fruto e apresenta pétalas fusionadas até a porção mediana, caracterizando-se por ser do tipo gamopétala (Lucena et al., 2014).

O pinhão-mansão apresenta monoicéia e protândria, com flores unissexuais; ocasionalmente ocorrem flores hermafroditas, que podem ser autofecundadas (Kumar; Sharma, 2008). Lucena et al. (2014) verificaram que tanto as flores masculinas quanto as flores femininas possuem perianto esverdeado com cálice de cinco sépalas e corola com cinco pétalas. O androceu é do tipo homodínamo e possui dez estames, dos quais cinco são livres (dialistêmones) e cinco unidos (gamostêmones). Os estames possuem aproximadamente a mesma altura pétalas. Estas últimas encontram-se livres entre si e em número de dois, denominadas bitecas e de cor variando de amarela a marrom-clara. Na base do androceu, constata-se cinco glândulas nectaríferas livres de coloração amarela que proporcionam néctar às abelhas, principal polinizador dessa espécie (Kumar; Sharma, 2008; Lucena et al., 2014).

O tempo de vida das flores masculina e feminina é de aproximadamente 2 e 12 dias, respectivamente, e a receptividade do estigma é alta durante os primeiros 4 dias, começando a diminuir após o 5º dia até ser nula em 9 dias (Changwei et al., 2007). Essas informações são importantes para determinar as estratégias de melhoramento a serem empregadas no pinhão-mansão e direcionar a forma como as hibridações devem ser realizadas e o número de polinizações artificiais a serem feitas.

Recursos genéticos

O centro de origem do pinhão-mansão é o México e a América Central (Belize, Costa Rica, El Salvador, Honduras, Nicarágua e Panamá) (Achten et al., 2010). A espécie foi introduzida nas ilhas de Cabo Verde e Guiné Bissau em meados do século XVI após os portugueses verificarem seu potencial medicinal. Após essa introdução, a cultura do pinhão-mansão foi se espalhando por outras colônias portuguesas na África (Moçambique, Angola) e, pos-

teriormente, na Ásia (Índia, China e Indonésia) (Silitonga et al., 2011). O pinhão-manso é abundantemente encontrado em regiões tropicais por causa de sua variabilidade genética, que possibilita o seu cultivo em condições climáticas distintas.

A variabilidade genética é a principal ferramenta para iniciar um programa de melhoramento genético de uma espécie, pois, a partir dela, é possível selecionar genótipos divergentes para um ou mais caracteres de interesse. Assim, a primeira etapa para dispor de variabilidade genética é um estudo sobre a diversidade da espécie para implementação do banco de germoplasma (Bhering et al., 2011; Alves et al., 2015), o qual deve ser constituído por genótipos de diferentes regiões a fim de aumentar a probabilidade de compor o máximo da variabilidade disponível na espécie.

No Brasil, vários bancos ativos de pinhão-manso foram implementados: a Embrapa Agroenergia, em parceria com a Embrapa Cerrados, mantém um banco de germoplasmas com genótipos provenientes de algumas regiões do Brasil e do México (Laviola et al., 2010); a Embrapa Algodão possui genótipos de diferentes estados do Brasil; a Embrapa Rondônia detém 236 genótipos (Spinelli et al., 2010); o Banco de Germoplasma da palmeira macaúba (BAG-Macaúba) do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa contempla 78 acessos com ampla variabilidade já relatada para diversos caracteres juvenis e teor de óleo (Freitas et al., 2011).

Para uso efetivo dos recursos genéticos do banco de germoplasma em um programa de melhoramento, deve ser realizada a caracterização morfoagronômica de acordo com descritores botânicos herdáveis preestabelecidos para a cultura, os quais permitam detecção de diversidade genética. Além disso, é importante a realização da genotipagem por meio de marcadores moleculares, a fim de auxiliar na detecção de diversidade existente e na identificação de possíveis duplicatas no banco de germoplasma. A quantificação da diversidade genética auxilia no planejamento de estratégias mais eficazes que venham maximizar os ganhos genéticos no melhoramento.

Vários estudos têm abordado a diversidade genética de pinhão-manso tanto fenotípica quanto molecular. As avaliações com base no fenótipo são úteis para estabelecer as relações filogenéticas no gênero *Jatropha*, porém são insuficientes para definir as relações e a diversidade genética dentro da espécie *Jatropha curcas* (Ovando-Medina et al., 2011). Além disso, os valores fenotípicos sofrem forte influência do ambiente. Dessa forma, avaliações de genótipo são mais eficientes.

Neste contexto, Aguilera-Cauich et al. (2015) avaliaram a diversidade fenotípica e contrastes agrônômicos em genótipos americanos de *J. curcas*. Os resultados obtidos indicaram maior diversidade entre os genótipos avaliados quando comparados com aqueles da Índia e da Malásia. Foram observadas semelhanças fenotípicas entre os acessos e os seus locais de coleta, a partir das quais se pôde inferir que o efeito sobre o genótipo pode estar relacionado com as barreiras geográficas. Genótipos americanos apresentam potencial para serem usados na produção de energia na América ou para desenvolver um programa de melhoramento.

Com a utilização de marcadores moleculares, foi possível a identificação e caracterização de germoplasma, a construção de mapas genéticos e a estimativa da distância genética entre indivíduos e/ou populações de várias espécies. Essas ferramentas podem contribuir para otimizar as estimativas de ganho genético e minimizar o tempo despendido na avaliação das populações, principalmente em culturas perenes. Entre os marcadores de DNA, os que têm sido mais usados na cultura do pinhão-mansão são os seguintes: o *Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD)*, o *ISSR (Inter Simple Sequence Repeat)* (ISSR) e o *Simple Sequence Repeats (SSR)*.

Trebbi et al. (2015) estimaram a diversidade genética entre 273 genótipos de *J. curcas* de 15 países em três continentes com base nos marcadores SSR (*Simple Sequence Repeats*), EST-SSR (*Expressed Sequence Tag-derived-Simple Sequence Repeats*) e SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*). A análise de agrupamento revelou a presença de dois grupos genéticos principais com uma elevada uniformidade genética e alta homozigose em todos os países da África, Ásia, América do Sul e em alguns estados do México. Contudo, foi observado um aumento da variabilidade genética e da heterozigosidade em outros estados do México e da Guatemala. Os resultados foram importantes para explorar o germoplasma da espécie, bem como otimizar a eficiência de seleção assistida por marcadores para os programas de melhoramento.

A identificação da causa da variabilidade genética em bancos de germoplasma e populações de melhoramento de pinhão-mansão é um passo importante que irá fornecer a visão sobre o futuro dos programas de melhoramento genético da espécie. Além disso, pode ajudar a identificar coleções com alta variabilidade genética que pode ser explorada no melhoramento (Santos et al., 2016). Alguns estudos, em diversas populações de *Jatro-*

pha, têm reportado o baixo nível de variabilidade genética (Aguilera-Cauich et al., 2015; Maghuly et al., 2015; Sanou et al., 2015; Santos et al., 2016).

Sanou et al. (2015) estudaram a perda de variabilidade genética, com uso de marcadores SSR, em *Jatropha*, por meio da domesticação, bem como suas implicações no melhoramento. Os autores relataram baixo nível de diversidade observada entre algumas populações, sugerindo que os programas de melhoramento devem avaliar características quantitativas e utilizar metodologias capazes de estimar os ganhos com base na seleção de forma acurada.

Além dos estudos inerentes à quantificação da variabilidade genética existente entre genótipos de pinhão-mansão, outro segmento importante que constitui um dos objetivos do programa de melhoramento genético é relacionado à discriminação de genótipos tóxicos e atóxicos. Dessa forma, Pamidimarri et al. (2009) caracterizaram genótipos tóxicos e atóxicos, oriundos do México, por marcadores moleculares, com o objetivo de obter marcas específicas para cada um dos genótipos, para posterior uso de seleção assistida por marcadores moleculares. Os genótipos tóxicos e atóxicos foram amplificados com marcadores de RAPD (*Random Amplification of Polymorphic DNA*) e AFLP (*Amplified fragment length polymorphism*). A similaridade genética entre os genótipos foram de 0,9, indicando baixa diversidade entre eles. Testaram-se ainda 12 marcadores microssatélites, dos quais sete apresentaram polimorfismo. O *primer jcms21* se destacou por amplificar um alelo em homozigose nos genótipos tóxicos.

Estratégias de melhoramento em pinhão-mansão

As estratégias de melhoramento adotadas em cada espécie de plantas perenes apresentam estreita relação com o sistema de propagação. Em geral, o melhoramento dessas espécies segue as seguintes etapas: a) pré-melhoramento, em que as coleções de germoplasma são avaliadas para estabelecimento das populações de melhoramento com base na informação genética e desempenho individual; b) fase de melhoramento, na qual os indivíduos superiores da população de melhoramento são recombinados para obter as progênes promissoras, as quais são avaliadas em campo para características de interesse e, posteriormente, são selecionadas com base no seu valor genético; e c) lançamento de variedades-elite, fase em que os indivíduos, previamente selecionados com base nos seus valores genéticos, são propagados para estabelecimento dos testes clonais, de modo que

os clones são selecionados de acordo com seu desempenho para que sejam lançados comercialmente como variedades-elite (Alves et al., 2015).

De posse das informações acerca da variabilidade genética da espécie, o próximo passo é a formação da população de melhoramento. Assim, os esforços devem-se concentrar em uma combinação de estratégias de melhoramento, delineamento genético de cruzamentos para obtenção de progênies a serem avaliadas e métodos de seleção para identificação dos genótipos superiores.

O pinhão-mansô pode ser multiplicado por meio da propagação vegetativa, bem como por meio de sementes, considerando as diferentes estratégias de melhoramento, as quais envolvem melhoramento clonal, uso de linhagens, híbridos e melhoramento populacional. Além disso, pode-se associar sua propagação a outras técnicas como seleção recorrente, seleção assistida por marcadores, seleção genômica, mutação, engenharia genômica. Montes e Melchinger (2016) abordam essas categorias de melhoramento relatando as vantagens e desvantagens de cada uma.

Delineamentos genéticos

O êxito de um programa de melhoramento consiste na seleção e avaliação de genitores, com ênfase naqueles com elevada média e ampla variabilidade genética, assegurando o potencial genético da população. O uso de delineamentos genéticos na formação da população de melhoramento permite quantificar a variabilidade genética dos caracteres avaliados, a importância relativa dos efeitos genéticos aditivos expressos para os efeitos associados à capacidade geral de combinação (CGC), bem como os efeitos devidos aos desvios da dominância, associados à capacidade específica de combinação (CEC).

A análise dialélica tem sido utilizada rotineiramente em programas de melhoramento genético para a avaliação de genitores, possibilitando obter informações úteis nas diferentes estratégias de seleção. No entanto, a principal limitação no uso de cruzamentos dialélicos ocorre quando se dispõe de um grande número de genitores envolvidos, pois a probabilidade de se encontrar genitores com alelos favoráveis para o caráter desejado é muito pequena. Além disso, a contribuição dos alelos de cada genitor seria tão pequena que a maioria seria perdida após os primeiros ciclos seletivos. No entanto, se o número for muito pequeno, a probabilidade de associar a maioria dos alelos favoráveis para o ca-

ráter sob seleção é também pequena (Ramalho et al., 2012a). Assim, para solucionar esse desafio, podem ser empregados delineamentos parciais circulantes (Bhering et al., 2011).

Aminul Islam et al. (2015) realizaram análise dialélica para produtividade de sementes e caracteres relacionados com a produção de energia em seis genótipos de pinhão-manso e verificaram a ação genética aditiva e de dominância na expressão dos caracteres avaliados. O maior efeito da capacidade específica de combinação para produtividade de sementes por plantas foi observado para o cruzamento entre os genótipos CPP06 x CPP01. Os genitores CPP01, CPP06, CPP07 e CPP18 foram considerados promissores para componentes de produtividade de sementes. As combinações híbridas CPP06 x CPP18, CPP06 x CPP01, CPP18 x CPP07 e CPP05 x CPP04 apresentaram superioridade fenotípica sobre os seus genitores para os caracteres inflorescência por planta, frutos por inflorescência, frutos por planta e peso de 100 sementes, respectivamente.

A importância das estimativas de parâmetros genéticos consiste, tradicionalmente, na obtenção de subsídios para o planejamento de eficientes estratégias de melhoramento. As estimativas da variância genotípica e da herdabilidade são os parâmetros mais importantes para a quantificação do potencial de melhoramento da população e para o mérito da estratégia de seleção utilizada, visando à alteração dos alelos favoráveis. As estimativas de herdabilidade são importantes quanto à magnitude da variação de um determinado caráter: se ele é de origem genética, ou seja, herdável, ou ocorre devido aos efeitos ambientais. Os ganhos genéticos dependem do tipo e do grau da variabilidade genética existente na população. Assim sendo, estudos dessa natureza têm sido realizados na cultura do pinhão-manso (Bhering et al., 2013; Laviola et al., 2013b).

Na avaliação do banco de germoplasma de pinhão-manso para produção de grãos por planta, tem sido encontrada herdabilidade individual de 30%. Por sua vez, para seleção de famílias, a herdabilidade tem variado entre 30% e 60%, o que corresponde a uma boa perspectiva para a seleção de plantas (Laviola et al., 2012, 2013b).

Os principais objetivos do melhoramento genético de plantas oleaginosas são os seguintes: a obtenção de cultivares homogêneas, estáveis, produtivas, com elevado teor de óleo, maior tolerância a patógenos e maior adaptabilidade às condições edafoclimáticas adversas. Para o teor de óleo nos grãos, tem sido obtida herdabilidade de alta magnitude (>70%), porém com baixa variação fenotípica em torno da média da população (Rocha et

al., 2012). Ainda para o caráter teor de óleo, Kaushik et al. (2007) e Rao et al. (2008), ao estimarem herdabilidade em pinhão-manso, encontraram valores equivalentes a 99%.

Nesse sentido, visando ao aumento da produção de óleo por hectare, as estratégias terão maior potencial para gerarem impacto sobre a concentração da produção de fruto dessa oleaginosa (Spinelli et al., 2015). Além disso, os autores ressaltam que ganhos genéticos relacionados à produtividade de grãos no cultivo de genótipos selecionados no 2º, 3º e 4º anos foram de 33,3%, 41,6% e 56,7%, respectivamente. Além disso, a obtenção de novos genótipos deve considerar as estratégias de geração de variabilidade com cruzamentos entre plantas divergentes e de características agrônômicas desejáveis.

Entretanto, vale ressaltar que esses parâmetros variam de acordo com a estrutura genética da população e com as condições edafoclimáticas nas quais a população foi avaliada (Ramalho et al., 2012b). Dessa forma, tais estimativas terão pouca importância quando se pretende buscar estratégias de melhoramento para uma população específica, ou seja, somente parâmetros estimados na própria população e local possibilitam fazer inferências reais. Nesse caso, considerando espécies perenes, como o pinhão-manso, os estudos da interação entre genótipos, locais e anos são imprescindíveis para o planejamento do programa de melhoramento genético.

Estratégias de seleção

A seleção é a etapa que demanda mais tempo em um programa de melhoramento genético, principalmente em culturas perenes, desde os cruzamentos até a recomendação de cultivares, e ela só será eficiente se a população de melhoramento contiver variabilidade genética. Assim sendo, tem-se buscado aplicar estratégias eficientes no processo seletivo, a fim de se obter sucesso em programas de melhoramento genético desta espécie.

A maioria dos caracteres de interesse agrônômico é controlada por vários genes, o que torna impossível a obtenção de sucesso em um único ciclo seletivo. Dessa forma, uma das estratégias eficientes é o uso da seleção recorrente, que consiste em um processo cíclico de melhoramento que envolve obtenção de progênies, avaliação e recombinação das superiores. Em consequência, espera-se aumento na frequência dos alelos favoráveis que se expressam por meio da melhoria do caráter sob seleção (Ramalho et al., 2012a). Portanto, é essencial que a população tenha variabilidade genética e que haja estratégia

de seleção e recombinação, o que possibilita obter ganhos com a seleção, sem exaurir a variabilidade genética (Hallauer et al., 2010).

A seleção recorrente pode ser abordada para o melhoramento intrapopulacional do pinhão-mansão, que consiste em melhorar a performance *per se* da população. O melhoramento intrapopulacional pode ser realizado com base na seleção massal e/ou na avaliação de famílias. A seleção massal é o método mais simples e barato, em que as plantas são selecionadas apenas com base no seu desempenho fenotípico, e as sementes provenientes das plantas selecionadas são utilizadas para compor a próxima geração de melhoramento genético (Divakara et al., 2010). Entretanto, a seleção massal não é eficiente, principalmente quando os caracteres apresentam baixas estimativas de herdabilidade. Já a seleção de famílias é mais eficiente, pois é baseada na avaliação de progênies, o que possibilita a realização de testes com repetições conduzidos em diferentes ambientes, tendo como consequência menor variância fenotípica e, dessa forma, contribuindo para aumentar o ganho genético (Borém; Miranda, 2009).

Se o melhoramento visa a caracteres sem dominância alélica, a seleção recorrente intrapopulacional é suficiente. Entretanto, se existe dominância, a seleção recorrente interpopulacional é a estratégia mais indicada. Nesse caso, o método ideal é a seleção recorrente recíproca de genitores com híbridos intermediários (Resende; Barbosa, 2005). Esse método baseia-se na seleção de genitores com base na progênie híbrida entre genitores de duas populações divergentes, seguida por novo direcionamento – via cruzamento dos genitores com maior capacidade geral de combinação com a população recíproca – dos cruzamentos para gerar nova população experimental híbrida simultaneamente à recombinação dos genitores. Dessa forma, os híbridos superiores são gerados antes que se complete o ciclo de seleção recorrente interpopulacional.

No caso do pinhão-mansão, após os ciclos de seleção, é possível trilhar por dois caminhos para dar continuidade ao programa de melhoramento: pela via assexuada, em que os indivíduos selecionados são clonados, submetidos a testes e lançados como clones melhorados, ou pela via sexuada, em que se realiza a produção de sementes e são lançados os genótipos melhorados. Segundo Punia (2007), 15 variedades de polinização aberta de *Jatropha* foram desenvolvidas, empregando-se, na Índia, a seleção massal e a seleção recorrente. Após obtenção dos caracteres de interesse, da produtividade de sementes, do

conteúdo e da qualidade do óleo, bem como da resistência a pragas e doenças, os genótipos superiores são lançados como cultivar.

A predição do ganho genético permite orientar o programa de melhoramento, prever o seu sucesso, selecionar ou descartar populações e concentrar esforços na medição de caracteres de maior importância que apresentem maior potencial de ganho. Além disso, com o *ranking* dos indivíduos, com base no valor genético predito, é possível equilibrar os ganhos esperados com o tamanho efetivo da população, evitando assim que a população sofra endogamia em poucos ciclos de seleção.

O principal interesse do melhorista baseia-se no valor genotípico do indivíduo e não em suas médias fenotípicas, uma vez que elas não se repetem. Nesse sentido, o *Best Linear Unbiased Prediction* (Blup) deve ser o método seletivo escolhido, pois ele maximiza a acurácia seletiva, minimiza a diferença entre os valores genéticos preditos e os verdadeiros, aumenta a probabilidade de selecionar indivíduos superiores e amplia o ganho genético esperado por ciclo de seleção (Resende, 2002).

Além disso, Resende e Duarte (2007) consideram ainda que o Blup permite o uso simultâneo de várias fontes de informações, tais como aquelas advindas de experimentos instalados em um ou em vários locais e avaliados em uma ou em várias colheitas. Além disso, considera o desbalanceamento; usa todos os efeitos do modelo; utiliza o parentesco genético entre indivíduos sob avaliação e considera a coincidência entre unidade de seleção e unidade de recombinação.

Na literatura, são reportadas diversas estratégias de seleção de indivíduos superiores nessa espécie. Bhering et al. (2013) compararam a eficiência dos diferentes métodos de seleção a fim de identificar o mais adequado para ser aplicado no melhoramento do pinhão-mansão. Os autores constataram que, com base nos ganhos preditos, a seleção combinada é o método mais adequado para o melhoramento da espécie e, com base nessa estratégia, os genótipos com maior produtividade podem ser selecionados e testados para serem lançados como variedade melhorada.

No processo seletivo, principalmente de plantas perenes, é essencial considerar vários anos de avaliação, uma vez que os indivíduos são submetidos a condições edafoclimáticas diferentes. Quando várias medições são realizadas no mesmo indivíduo e um genótipo promissor é selecionado, espera-se que sua superioridade inicial seja mantida

durante todo o seu ciclo de vida. No entanto, a veracidade dessa expectativa só poderá ser validada pelo coeficiente de repetibilidade do caráter estudado (Cruz et al., 2012).

A estimativa da repetibilidade é essencial no melhoramento de plantas perenes, pois permite prever o valor genotípico do indivíduo, o número mínimo de avaliações na seleção de genótipos, além de minimizar recursos e tempo na seleção de indivíduos promissores. Esse parâmetro é de suma importância tanto na predição de valores genéticos e genotípicos quanto na inferência sobre o aumento da eficiência seletiva, pois um determinado número de avaliações por indivíduos é utilizado, fator esse que permite determinar o número de colheitas a ser adotado em um programa de melhoramento genético (Viana; Resende, 2014).

Nesse sentido, Spinelli et al. (2015) estimaram parâmetros genéticos com seleção entre famílias de meios-irmãos em *Jatropha* e dentro dessas famílias, em 3 anos de cultivo, visando quantificar o ganho genético a partir da seleção de plantas. Evidenciou-se que a estratégia de seleção entre famílias e dentro delas usando medidas repetidas é adequada para seleção de indivíduos superiores

Estratégias biotecnológicas no melhoramento de plantas

Tradicionalmente, a maioria das cultivares melhoradas foram obtidas por métodos de melhoramento convencional, em sucessivas avaliações com base no valor fenotípico. É válido mencionar que esse método tem dado uma contribuição imensa para a sociedade, lançando no mercado cultivares que atendem a diversos interesses, tais como aumento de produtividade, maturação precoce, resistência a pragas e doenças, tolerância à seca e ao frio e diversas características de interesse econômico. Contudo, esse procedimento é lento, principalmente no caso de culturas perenes como o pinhão-mansão.

Diante do exposto, os melhoristas têm empregado o uso de ferramentas biotecnológicas visando aumentar a eficiência na avaliação e seleção de progênies, uma vez que a seleção é feita pelo genótipo. Entretanto, é importante enfatizar a necessidade de haver integração entre o melhoramento convencional e o emprego de ferramentas biotecnológicas, pois, dessa forma, é possível obter êxito no processo seletivo, bem como diminuir o tempo para lançamento de cultivares que, por exemplo, no melhoramento de pinhão-mansão, demora cerca de 10 a 14 anos (Alves et al., 2015). Assim, há algumas téc-

nicas que são úteis no encurtamento dos ciclos seletivos, tais como a seleção assistida por marcadores e a seleção genômica ampla. Entretanto, a aplicação dessas técnicas ainda é escassa no melhoramento de pinhão-manso (Moniruzzaman et al., 2016).

Ferramentas moleculares

O desenvolvimento de marcadores moleculares proporcionou um salto qualitativo e quantitativo em estudos da estrutura populacional e do sistema reprodutivo das espécies. Os primeiros trabalhos usados na caracterização molecular do pinhão-manso foram baseados, principalmente, em RAPD, AFLP e SSR, que são eficientes na caracterização da diversidade. Porém, por causa de sua baixa reprodutibilidade (RAPD) e do baixo número de marcadores polimórficos gerados na genotipagem, são pouco eficientes para uso na predição de valores genéticos (seleção assistida por marcadores) para caracteres de variação quantitativa ou complexos (Bernardo, 2008).

Com a adoção dessa ferramenta nos estudos do germoplasma do pinhão-manso, Ovando-Medina et al. (2011) realizaram um levantamento sobre essa temática na espécie e mencionaram que os marcadores moleculares são aplicados levando em conta duas abordagens: a investigação das relações filogenéticas no gênero *Jatropha* e o estudo da variabilidade genética em genótipos de pinhão-manso de diferentes origens para auxiliar programas de melhoramento genético assistido por marcadores.

Em uma revisão sobre biologia e melhoramento genético do pinhão-manso, Divakara et al. (2010) reúnem em uma tabela nove trabalhos que utilizaram marcadores moleculares para caracterizar genótipos de pinhão-manso. Entre eles, vale citar o trabalho de Basha et al. (2009), que avaliaram 42 genótipos de pinhão-manso de diferentes regiões da Índia. Os autores usaram RAPD e ISSR para determinar a diversidade genética desses genótipos e contataram a necessidade de ampliar a base genética do pinhão-manso naquele país. Além disso, registraram algumas marcas específicas para determinadas regiões, conseguindo diferenciar especificamente genótipos de origens diferentes.

Com a evolução das tecnologias de sequenciamento, atualmente é possível realizar a genotipagem com grande número de marcadores a custos relativamente baixos. Laviola et al. (2013a) identificaram mais de 4.500 marcadores DArTs (*Diversity Arrays Technology*) (dominantes) e 750 SNPs (codominantes) na genotipagem de 96 genótipos de pinhão-

-manso. Esses resultados abrem novas perspectivas para uso operacional de marcadores na seleção de caracteres quantitativos e, principalmente, na redução do tempo gasto na seleção de genótipos superiores de pinhão-manso em programas de melhoramento, além de acelerar a domesticação da espécie (Resende Jr. et al., 2012).

Além dessas técnicas, outras intervenções biotecnológicas podem ser aplicadas no melhoramento de pinhão-manso, tais como: cultura de tecidos visando à micropropagação (Kumar et al., 2011); organogênese (Khurana-Kaul et al., 2010; Varshney; Johnson, 2010); embriogênese (Nindita et al., 2014); e transformação genética (Qu et al., 2012; Maftuchah et al., 2015). A transformação genética é uma técnica importante para o melhoramento de caracteres que têm baixa ou ausente variabilidade genética na população de melhoramento de pinhão-manso. Duas dessas características que podem ser foco da transformação genética são as seguintes: o número de frutos por cacho e a uniformização da maturação. Juntas, essas características podem trazer alto incremento na produção de frutos e diminuir substancialmente o custo de produção.

Seleção genômica ampla

Por se tratar de uma cultura perene, o pinhão-manso, apresenta longos ciclos de melhoramento, apesar do enorme potencial para ser utilizado como fonte de matéria-prima na produção de biocombustíveis. Assim, é importante a implementação de estratégias que possibilitem maior rapidez e eficiência no processo seletivo. Dessa forma, com a diminuição do ciclo de melhoramento, há a possibilidade de maior agilidade no lançamento de cultivares para atender à demanda crescente de fontes alternativas de energia. Nesse contexto, a seleção genômica ampla é uma estratégia promissora no aumento da eficiência na seleção, diminuindo custos no lançamento de cultivares, reduzindo o ciclo de melhoramento e aumentando o ganho genético entre as gerações de melhoramento (Resende et al., 2012a; Alves et al., 2015).

A GWS (*Genome wide selection*) foi proposta por Meuwissen et al. (2001), visando aumentar a eficiência e acelerar o melhoramento genético e, no caso de culturas perenes, é extremamente atraente por causa da possibilidade de aumentar o ganho por unidade de tempo e, possivelmente, de melhorar a precisão na seleção para características de baixa herdabilidade. Ela enfatiza a seleção simultânea para centenas ou milhares de marcadores, os quais cobrem o genoma de uma maneira densa, de forma que todos os genes de um ca-

ráter quantitativo estejam em desequilíbrio de ligação com pelo menos um dos marcadores (Grattapaglia; Resende, 2011; Massman et al., 2013).

A GWS ganhou mais visibilidade a partir de 2007, quando vários trabalhos abordaram o método e sua acurácia no melhoramento animal e vegetal (Goddard; Hayes, 2007; Meuwissen, 2007; Resende, 2007). Essa técnica vem sendo bastante empregada no melhoramento de plantas perenes, provando que é possível aumentar ganhos no que tange à genética em culturas como: eucalipto (Resende et al., 2012a), caju (Cavalcanti et al., 2012), maçã (Kumar et al., 2012), pera (Iwata et al., 2013); pinhão-manso (Laviola et al., 2014) e uva (Viana et al., 2016). Acredita-se que a GWS impactará positivamente os métodos e as estratégias de melhoramento genético de plantas e animais (Viana; Resende, 2014).

Em termos operacionais da GWS, são necessárias três populações: 1) a população de treinamento; b) a população de validação; 3) a população de seleção (Figura 2). A população de treinamento deve ter um número moderado de indivíduos (800-1.000), analisados com um grande número de marcadores moleculares (750-4.500, dependendo do tamanho do genoma e da estrutura do DL) e também fenotipados para os caracteres de interesse (Grattapaglia; Resende, 2011; Oliveira et al., 2012; Resende et al., 2012a; Massman et al., 2013).

No caso do programa de melhoramento genético de pinhão-manso, os dados fenotípicos e genotípicos da população de melhoramento podem ser usados para elaborar as equações de predição de valores genético-genômicos para os caracteres de interesse, como caracteres vegetativos, rendimento de grãos e óleo. As equações de predição podem ser testadas nessa população de modo que suas acurácias possam ser avaliadas em amostras independentes. Esse processo pode ser realizado na mesma população de treinamento em um esquema de reamostragem *Jackknife* (tomando-se uma amostra de 800 indivíduos para estimação/treinamento do modelo e 200 para validação). Por fim, existe a população de seleção, que consiste em indivíduos independentes que são somente analisados com os marcadores moleculares, uma vez que os fenótipos serão previstos usando as equações validadas. Essas equações são usadas para prever o valor genético genômico de cada indivíduo candidato à seleção em idade precoce, e a acurácia desse processo é equivalente à acurácia estimada na população de validação.

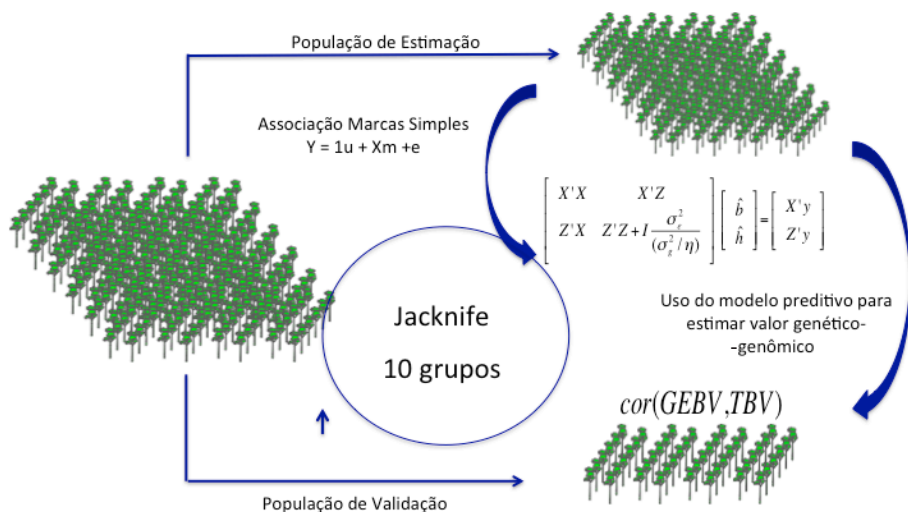


Figura 2. Esquema proposto para estimativa e validação de modelos preditivos de seleção genômica (GEBV: valor genético genômico estimado; TBV: valores genéticos obtidos via fenotipagem).

Ilustração: Marcio Resende

Na cultura do pinhão-mansão, estima-se que a GWS poderá encurtar o ciclo de melhoramento de 8 a 10 anos para 2 anos, o que causaria um alto impacto na liberação de novas cultivares para o plantio dos agricultores (Alves et al., 2015). Laviola et al. (2014) avaliaram o caráter peso de 100 grãos em 79 indivíduos de pinhão-mansão que foram genotipados com a plataforma DArTseq. A seleção genômica foi modelada por meio da abordagem RR-Blup, usando-se 47 indivíduos selecionados aleatoriamente como a população de melhoramento e os demais como uma população de validação cruzada. Para efeito de comparação, foi calculada a acurácia da seleção fenotípica, por meio da abordagem REML/Blup. A herdabilidade do caráter avaliado foi estimada em 37%, enquanto a acurácia de seleção fenotípica foi estimada em 60%. Considerando-se a seleção genômica, as acurácias de seleção foram calculadas em 63% e 71% ao serem usados marcadores SNP ou silico-DArTs, respectivamente. Tais resultados se mantiveram para outras características importantes. Os valores genéticos genômicos puderam ser estimados em fases de mudas, com redução de pelo menos 5 anos (7 anos/ciclo com seleção genômica vs 12 anos/ciclo sem seleção genômica).

Embora a GWS tenha se mostrado uma estratégia excelente no melhoramento genético vegetal, ela contempla alguns desafios, tais como a escolha de um método adequado para predição dos valores genéticos genômicos. Assim sendo, vários métodos têm sido propostos, os quais diferem entre si pelo tipo de suposição sobre o modelo genético associado ao caráter quantitativo, seja com valores reais ou valores simulados. Diversos estudos vêm abordando esses métodos, seja via modelo misto, com enfoque em RR-Blup e G-Blup (Bernardo; Yu, 2007; Endelman, 2011; Cavalcanti et al., 2012), com inferência bayesiana (Campos et al., 2009; Limón et al., 2012), seja via estudos que integram essas duas abordagens (Habier et al., 2007; Crossa et al., 2010; Silva et al., 2013; Azevedo et al., 2015). O método mais eficiente de predição genômica é aquele que reflete melhor a natureza biológica do caráter quantitativo sob análise, no que se refere a efeitos gênicos (Resende et al., 2008).

Seleção recorrente genômica: estratégia futura para o melhoramento de pinhão-manso

As fases iniciais do método de melhoramento intrapopulacional de pinhão-manso por meio de progênies de meios-irmãos já começaram no Brasil. Laviola et al. (2014) verificaram um ganho fenotípico médio de 63% para a produtividade de grãos com a seleção massal das dez melhores progênies da população C_1 , em comparação ao desempenho da população C_0 . No entanto, como é uma espécie perene, não domesticada e que possui desuniformidade na maturação dos frutos, são necessárias quatro avaliações em seu ciclo para avaliação acurada da produtividade de grãos (Teodoro et al., 2016). Assim, considerando-se que a recombinação das famílias pode ser realizada simultaneamente com a quarta avaliação, são necessários no mínimo 5 anos para que se complete apenas um ciclo de seleção recorrente intrapopulacional.

Contudo, a utilização da GWS associada à seleção recorrente intrapopulacional pode aumentar a acurácia da seleção pela alteração nos quatro componentes envolvidos na expressão do ganho genético: 1) prática de maior intensidade de seleção por meio da avaliação de grande número de famílias; 2) maior acurácia de seleção em razão da alta precisão; 3) detecção de maior variância genética entre famílias, em função da genotipagem com alta densidade de marcadores; 4) redução do intervalo de tempo necessário para completar cada ciclo seletivo por meio da seleção precoce (Resende et al., 2012b).

Na seleção recorrente recíproca genômica, as populações segregantes seriam geradas pela recombinação das melhores famílias e/ou indivíduos superiores por meio de delineamentos genéticos. Após sua obtenção, elas são semeadas em campo e, de cada planta em estágio juvenil, retira-se uma amostra foliar para extração de DNA. Em seguida, realiza-se a genotipagem com os marcadores identificados no processo de estimação e validação. As plantas são, então, classificadas em razão dos seus valores genéticos genômicos estimados (GEBV) pelos métodos de seleção genômica. Plantas consideradas superiores para a composição de híbridos interpopulacionais são identificadas antes do florescimento; e as demais, eliminadas.

Com isso, há coincidência entre as unidades e gerações de seleção e de recombinação em apenas um ciclo a campo. Além disso, a seleção é realizada no indivíduo (genitores femininos e masculinos selecionados), tornando o controle parental igual a 1, não havendo a necessidade de realização no ambiente ideal de avaliação ou cultivo. Desse modo, há aumento na acurácia de seleção, nos ganhos por unidade de tempo e, consequentemente, na eficiência do processo de melhoramento.

Os métodos tradicionais de seleção recorrente em pinhão-mansinho utilizam apenas 1/4 ou 1/2 da variação genética aditiva, quando se usam progênies de meios-irmãos ou irmãos germanos, respectivamente, demandando 5 anos para o término de apenas um ciclo de seleção. O uso da seleção recorrente intrapopulacional genômica pode maximizar o ganho genético por unidade de tempo, constituindo uma estratégia promissora para exploração da maioria da fração genética aditiva presente em uma população e para obtenção de genótipos melhorados com menor tempo e recursos financeiros.

Recomendação de variedades

Na fase final de um programa de melhoramento, especificamente na recomendação de cultivares, o conhecimento do componente da interação genótipo x ambiente ($G \times A$) é essencial nesse processo, pois analisa a existência de desempenho diferencial de genótipos em diferentes ambientes (Verissimo et al., 2012). De acordo com Eberhart e Russell (1966), a ocorrência da interação $G \times A$ é um processo natural que faz parte da evolução das espécies, e seus efeitos permitem o surgimento de genótipos estáveis e aptos a um ambiente específico, ou de desempenho geral, ou seja, aptos a vários ambientes.

Vencovsky e Barriga (1992) mencionam que não basta apenas detectar a presença de interações, deve-se também considerar a sua natureza. Segundo Pereira et al. (2010), a interação G x A pode ser observada em três situações: ausência de interação, interação simples e interação complexa. A observação de plantios comerciais de pinhão-manso em diferentes regiões edafoclimáticas tem evidenciado principalmente a ocorrência de interação do tipo complexa no desempenho das plantas nos ambientes. A interação do tipo complexa caracteriza-se pela inversão do ordenamento das plantas quanto ao desempenho em cada ambiente (Cruz et al., 2012).

Laviola et al. (2014) avaliaram o desempenho agrônomico e o ganho genético pela seleção de famílias de meios-irmãos de pinhão-manso cultivados em três regiões do Brasil. Trata-se de um dos primeiros trabalhos a avaliar o desempenho agrônomico de um grupo de genótipos selecionados de pinhão-manso, em diferentes condições ambientais, trazendo a primeira quantificação da interação G x A em pinhão-manso. Verificou-se que houve interação G x A significativa quanto à produção de grãos, a qual deve ser considerada na recomendação de genótipos de pinhão-manso para ambientes distintos.

Estudos a respeito da interação G x A, apesar de serem de grande importância para o melhoramento, não fornecem informações sobre o desempenho de cada genótipo diante das variações ambientais. Para tal objetivo, realizam-se análises de adaptabilidade e estabilidade pelas quais se torna possível a identificação de genótipos de desempenho previsível, os quais sejam responsivos às variações ambientais, em condições específicas ou amplas, tornando a recomendação de cultivares o mais confiável possível (Cruz et al., 2012).

Nesse contexto, Rocha et al. (2016) avaliaram a adaptabilidade e estabilidade de progênies de pinhão-manso e o progresso genético obtido com a seleção. Foram identificadas 8 progênies de adaptabilidade geral, 3 progênies de baixa adaptabilidade, 2 progênies de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e 2 progênies de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, em diferentes regiões do Brasil. As estimativas de progresso genético indicaram eficiência da seleção massal, com ganhos de 28%, 76% e 177%, nos municípios de Planaltina, DF, Nova Porteirinha, MG, e Pelotas, RS, respectivamente. Purwati e Sudarmo (2015) também avaliaram a adaptabilidade dos genótipos de pinhão-manso para bioenergia. Os autores verificaram genótipos com ampla adaptabilidade nos três locais avaliados.

De posse das informações quanto à adaptabilidade e estabilidade, é possível fazer uma recomendação de forma segura, uma vez que, além da busca por genótipos com excelente potencial produtivo, espera-se que haja desempenho previsível em uma determinada região e/ou para uma amplitude maior de ambientes.

Considerações finais

O pinhão-manso é uma das culturas mais promissoras para a produção de biodiesel por sua elevada produtividade de óleo e características físico-químicas que permitem uma fácil conversão em biocombustível líquido, que atenda aos padrões americanos e europeus. No Brasil, ainda não existem variedades geneticamente melhoradas que garantam potencialidade, o que faz dessa espécie uma promessa para o plantio em larga escala. Uma das principais dificuldades encontradas pelos programas de melhoramento genético conduzidos no Brasil é a variabilidade genética estreita dos acessos brasileiros, o que sugere que a introdução de germoplasma é um método de melhoramento a ser considerado para a formação de populações-base para prática da seleção.

Este capítulo reportou os principais trabalhos que estão sendo conduzidos no Brasil sob a coordenação da Embrapa Agroenergia em parceria com a Embrapa Cerrados, os quais propuseram estratégias biométricas e biotecnológicas para auxiliar os processos de seleção de genótipos superiores de pinhão-manso. A integração entre a seleção genômica ampla e a seleção recorrente pode ser uma estratégia eficiente para os programas de melhoramento genético de pinhão-manso, pois maximiza o ganho genético por unidade de tempo.

Referências

ACHTEN, W. M. J.; NIELSEN, L. R.; AERTS, R.; LENGKEEK, A. G.; KJÆR, E. D.; TRABUCCO, A.; HANSEN, J. K.; MAES, W. H.; GRAUDAL, L.; AKINNIFESI, F. K. Towards domestication of *Jatropha curcas*. **Biofuels**, v. 1, n. 1, p. 91-107, 2010. DOI: 10.4155/bfs.09.4.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. 2018. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/anuario-estatistico/2018/anuario_2018.pdf>. Acesso em: 07 out. 2019.

- AGUILERA-CAUICH, E. A.; PÉREZ-BRITO, D.; YABUR, A. N.; LÓPEZ-PUC, G.; CASTANÓN NAJERA, G.; RIVERO, J. C. S.; ATOCHE, C. R.; UC-VÁRGUEZ, A.; GÓNGORA-CANUL, C.; MIJANGOS-CORTES, J. O. Assessment of phenotypic diversity and agronomic contrast in American accessions of *Jatropha curcas* L. **Industrial Crops and Products**, v. 77, p. 1001-1003, Dec. 2015. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.09.063.
- ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; FORMIGHIERI, E. F.; CARELS, N. Perennial plants for biofuel production: bridging genomics and field research. **Biotechnology Journal**, v. 10, n. 4, p. 505-507, 2015. DOI: 10.1002/biot.201400201.
- AMINUL ISLAM, A. K. M.; ANUAR, N.; YAAKOB, Z.; GHANI, J. A.; OSMAN, M. Diallel analysis for seed yield and related traits in an energy crop *Jatropha curcas*. **Sains Malaysiana**, v. 44, n. 7, p. 979-986, 2015. DOI: 10.17576/jsm-2015-4407-09.
- AZEVEDO, C. F.; RESENDE, M. D. V. de; SILVA, F. F. e; VIANA, J. M. S.; VALENTE, M. S. F.; RESENDE JR, M. F. R.; MUÑOZ, P. Ridge, lasso and bayesian additive-dominance genomic models. **BMC Genetics**, v. 16, n. 1, 2015. DOI: 10.1186/s12863-015-0264-2.
- BASHA, S. D.; FRANCIS, G.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K.; SUJATHA, M. A comparative study of biochemical traits and molecular markers for assessment of genetic relationships between *Jatropha curcas* L. germplasm from different countries. **Plant Science**, v. 176, n. 6, p. 812-823, June 2009. DOI: 10.1016/j.plantsci.2009.03.008.
- BERNARDO, R. Molecular markers and selection for complex traits in plants: learning from the last 20 years. **Crop Science**, v. 48, n. 5, p. 1649-1664, 2008. DOI: 10.2135/cropsci2008.03.0131.
- BERNARDO, R.; YU, J. Prospects for genomewide selection for quantitative traits in maize. **Crop Science**, v. 47, n. 3, p. 1082-1090, May 2007. DOI: 10.2135/cropsci2006.11.0690.
- BHERING, L. L.; BARRERA, C. F.; ORTEGA, D.; LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A.; ROSADO, T. B.; CRUZ, C. D. Differential response of *Jatropha* genotypes to different selection methods indicates that combined selection is more suited than other methods for rapid improvement of the species. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 260-265, Jan. 2013. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.04.026.
- BHERING, L.; CRUZ, C.; LAVIOLA, B. Biometria aplicada ao melhoramento de espécies alternativas para produção de biodiesel. In: CARDOSO, D. L.; LUZ, L. N. da; PEREIRA, T. N. S. (Ed.). **Estratégias em melhoramento de plantas**. Viçosa, MG: Arka, 2011. p. 90-129.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 5. ed. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2009. 529 p.
- CAMPOS, G. de los; NAYA, H.; GIANOLA, D.; CROSSA, J.; LEGARRA, A.; MANFREDI, E.; WEIGEL, K.; COTES, J. M. Predicting quantitative traits with regression models for dense molecular markers and pedigree. **Genetics**, v. 182, n. 1, p. 375-385, May 2009. DOI: 10.1534/genetics.109.101501.

CARVALHO, C. R.; CLARINDO, W. R.; PRAÇA, M. M.; ARAÚJO, F. S.; CARELS, N. Genome size, base composition and karyotype of *Jatropha curcas* L., an important biofuel plant. **Plant Science**, v. 174, n. 6, p. 613-617, June 2008. DOI: 10.1016/j.plantsci.2008.03.010.

CAVALCANTI, J. J. V.; RESENDE, M. D. V. de; SANTOS, F. H. C. dos; PINHEIRO, C. R. Simultaneous prediction of the effects of molecular markers and genome wide selection in cashew. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 840-846, set. 2012. DOI: 10.1590/S0100-29452012000300025.

CHANGWEI, L.; KUN, L.; YOU, C.; YONGYU, S.; WENYUN, Y. Pollen viability, stigma receptivity and reproductive features of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica**, v. 27, p. 1994-2001, 2007.

CREMONEZ, P. A.; FEROLDI, M.; NADALETI, W. C.; ROSSI, E. de; FEIDEN, A.; CAMARGO, M. P. de; CREMONEZ, F. E.; KLAJN, F. F. Biodiesel production in Brazil: current scenario and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 415-428, Feb. 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2014.10.004.

CROSSA, J.; CAMPOS, G. de los; PÉREZ, P.; GIANOLA, D.; BURGUEÑO, J.; ARAUS, J. L.; MAKUMBI, D.; SINGH, R. P.; DREISIGACKER, S.; YAN, J.; ARIEF, V.; BANZIGER, M.; BRAUN, H.-J. Prediction of genetic values of quantitative traits in plant breeding using pedigree and molecular markers. **Genetics**, v. 186, n. 2, p. 713-724, Oct. 2010. DOI: 10.1534/genetics.110.118521.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2012.

DHARMA, S.; MASJUKI, H. H.; ONG, H. C.; SEBAYANG, A. H.; SILITONGA, A. S.; KUSUMO, F.; MAHLIA, T. M. I. Optimization of biodiesel production process for mixed *Jatropha curcas*-*Ceiba pentandra* biodiesel using response surface methodology. **Energy Conversion and Management**, v. 115, p. 178-190, May 2016. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.02.034.

DIVAKARA, B.; UPADHYAYA, H.; WANI, S.; GOWDA, C. L. L. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: a review. **Applied Energy**, v. 87, n. 3, p. 732-742, Mar. 2010. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.07.013.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, n. 1, p. 36-40, Jan. 1966. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x.

ENDELMAN, J. B. Ridge regression and other kernels for genomic selection with R package rrBLUP. **The Plant Genome**, v. 4, n. 3, p. 250-255, Nov. 2011. DOI: 10.3835/plantgenome2011.08.0024.

FREITAS, R. G.; MISSIO, R.; MATOS, F. S.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S. Genetic evaluation of *Jatropha curcas*: an important oilseed for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research**, v. 10, n. 3, p. 1490-1498, 2011. DOI: 10.4238/vol10-3gmr1146.

- GODDARD, M. E.; HAYES, B. J. Genomic selection. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 124, n. 6, p. 323-330, Dec. 2007. DOI: 10.1111/j.1439-0388.2007.00702.x.
- GRATTAPAGLIA, D.; RESENDE, M. D. V. Genomic selection in forest tree breeding. **Tree Genetics & Genomes**, v. 7, n. 2, p. 241-255, Apr. 2011. DOI: 10.1007/s11295-010-0328-4.
- HABIER, D.; FERNANDO, R. L.; DEKKERS, J. C. M. The impact of genetic relationship information on genome-assisted breeding values. **Genetics**, v. 177, n. 4, p. 2389-2397, Dec. 2007. DOI: 10.1534/genetics.107.081190.
- HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. D. Testers and combining ability. In: HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. New York: Springer, 2010. DOI: 10.1007/978-1-4419-0766-0_8.
- IWATA, H.; HAYASHI, T.; TERAKAMI, S.; TAKADA, N.; SAITO, T.; YAMAMOTO, T. Genomic prediction of trait segregation in a progeny population: a case study of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia*). **BMC genetics**, v. 14, n. 1, 2013. DOI: 10.1186/1471-2156-14-81.
- KAUSHIK, N.; KUMAR, K.; KUMAR, S.; KAUSHIK, N.; ROY, S. Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) accessions. **Biomass and Bioenergy**, v. 31, n. 7, p. 497-502, July 2007. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.01.021.
- KHURANA-KAUL, V.; KACHHWAHA, S.; KOTHARI, S. Direct shoot regeneration from leaf explants of *Jatropha curcas* in response to thidiazuron and high copper contents in the medium. **Biologia Plantarum**, v. 54, n. 2, p. 369-372, June 2010. DOI: 10.1007/s10535-010-0066-3.
- KUMAR, A.; SHARMA, S. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): a review. **Industrial Crops and Products**, v. 28, n. 1, p. 1-10, July 2008. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.01.001.
- KUMAR, N.; ANAND, K. V.; REDDY, M. P. Plant regeneration of non-toxic *Jatropha curcas* – impacts of plant growth regulators, source and type of explants. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 20, n. 1, p. 125-133, Jan. 2011. DOI: 10.1007/s13562-011-0037-6.
- KUMAR, S.; CHAGNÉ, D.; BINK, M. C. A. M.; VOLZ, R. K.; WHITWORTH, C.; CARLISLE, C. Genomic selection for fruit quality traits in apple (*Malus × domestica* Borkh.). **PloS One**, v. 7, e36674, May 2012. DOI: 10.1007/s13562-011-0037-6.
- KUMAR, Y.; RINGENBERG, J.; DEPURU, S. S.; DEVABHAKTUNI, V. K.; LEE, J. W.; NIKOLAIDIS, E.; ERSEN, B.; AFJEH, A. Wind energy: trends and enabling technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 209-224, Jan. 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0036674.
- LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A.; GURGEL, F. de L.; ROSADO, T. B.; COSTA, R. D.; ROCHA, R. B. Estimate of genetic parameters and predicted gains with early selection of physic nut families. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, n. 2, p. 163-170, Mar./Apr. 2012. DOI: 10.1590/S1413-70542012000200004.

LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A.; ROSADO, T. B.; SANTOS, R. F.; BHERING, L. L.; FORMIGHIERI, E. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Estudo da diversidade genética em pinhão-mansão com alta densidade de marcadores moleculares DArT e SNP**. Brasília-DF: Embrapa Agroenergia, 2013a.

LAVIOLA, B. G.; BARROS, R. B.; KOBAYASHI, A. K.; ROSADO, T. B.; BHERING, L. Genetic improvement of jatropha for biodiesel production. **Ceiba**, v. 51, n. 1, p. 1-10, 2010. DOI: 10.5377/ceiba.v51i1.640.

LAVIOLA, B. G.; OLIVEIRA, A. M. C. e; BHERING, L. L.; ALVES, A. A.; ROCHA, R. B.; GOMES, B. E. L.; CRUZ, C. D. Estimates of repeatability coefficients and selection gains in *Jatropha* indicate that higher cumulative genetic gains can be obtained by relaxing the degree of certainty in predicting the best families. **Industrial Crops and Products**, v. 51, p. 70-76, Nov. 2013b. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.08.016.

LAVIOLA, B. G.; ROCHA R. B.; KOBAYASHI, A. K.; ROSADO, T. B.; BHERING, L. L. Genetic improvement of *Jatropha* for biodiesel production. **Ceiba**, v. 51, n. 1, p. 1-10, Jan./June 2010. DOI: 10.5377/ceiba.v51i1.640.

LAVIOLA, B. G.; SILVA, S. D. dos A. e; JUHÁSZ, A. C. P.; ROCHA, R. B.; OLIVEIRA, R. J. P. de; ALBRECHT, J. C.; ALVES, A. A.; ROSADO, T. B. Desempenho agrônômico e ganho genético pela seleção de pinhão-mansão em três regiões do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 5, p. 356-363, maio 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000500005.

LIMÓN, J.; RODRIGUEZ, M. A.; SÁNCHEZ, J.; TLAPA, D. A. Metodología bayesiana para la optimización simultánea de múltiples respuestas. **Información Tecnológica**, v. 23, n. 2, p. 151-166, 2012. DOI: 10.4067/S0718-07642012000200017.

LUCENA, A. M. A.; VASCONCELOS, G. C. L.; MEDEIROS, K. A. A. de L.; MEDEIROS, N. I.; MEDEIROS, O. S.; ARRIEL, N. H. C. Características morfológicas de peças reprodutivas de acessos de *Jatropha curcas* L. **Scientia Plena**, v. 10, n. 4, 2014.

MAFTUCHAH; ZAINUDIN, A.; PAHLEVI, R. W.; ANGGRIAWAN, A. Molecular and histochemical analysis of *Jatropha Curcas* Linn. transgenic using tolerance antibiotics hygromycin (*hpt*) and -Glucuronidase (*gus-A*) gene. **Energy Procedia**, v. 65, p. 194-203, 2015. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.01.020.

MAGHULY, F.; JANKOWICZ-CIESLAK, J.; PABINGER, S.; TILL, B. J.; LAIMER, M. Geographic origin is not supported by the genetic variability found in a large living collection of *Jatropha curcas* with accessions from three continents. **Biotechnology Journal**, v. 10, n. 4, p. 536-551, Apr. 2015. DOI: 10.1002/biot.201400196.

MASSMAN, J. M.; JUNG, H.-J. G.; BERNARDO, R. Genomewide selection versus marker-assisted recurrent selection to improve grain yield and stover-quality traits for cellulosic ethanol in maize. **Crop Science**, v. 53, n. 1, p. 58-66, 2013. DOI: 10.2135/cropsci2012.02.0112.

MEUWISSEN, T. Genomic selection: marker assisted selection on a genome wide scale. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 124, n. 6, p. 321-322, 2007. DOI: 10.1111/j.1439-0388.2007.00708.x.

MEUWISSEN, T. H. E.; HAYES, B. J.; GODDARD, M. E. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. **Genetics**, v. 157, n. 4, p. 1819-1829, Apr 2001. ISSN 0016-6731. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000168223400036 > .

MONIRUZZAMAN, M.; YAAKOB, Z.; KHATUN, R. Biotechnology for *Jatropha* improvement: a worthy exploration. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 1262-1277, Feb. 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.074.

MONTES, J. M.; MELCHINGER, A. E. Domestication and breeding of *Jatropha curcas* L. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 12, p. 1045-1057, Dec. 2016. DOI: 10.1016/j.tplants.2016.08.008.

NINDITA, A.; PURWOKO, B. S.; EFENDI, D.; DEWI, I. S. Somatic embryogenesis media optimization study of physic nut (*Jatropha curcas*) as biodiesel feedstock. **Energy Procedia**, v. 47, p. 21-28, 2014. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.01.192.

OLIVEIRA, E. J. de; RESENDE, M. D. V. de; SANTOS, V. da D.; FERREIRA, C. F.; OLIVEIRA, G. A. F.; SILVA, M. S. da; OLIVEIRA, L. A. de; AGUILAR-VILDOSO, C. I. Genome-wide selection in cassava. **Euphytica**, v. 187, n. 2, p. 263-276, Sept. 2012. DOI: 10.1007/s10681-012-0722-0.

OVANDO-MEDINA, I.; ESPINOSA-GARCÍA, F.; NÚÑEZ-FARFÁN, J.S.; SALVADOR-FIGUEROA, M. State of the art of genetic diversity research in *Jatropha curcas*. **Scientific Research and Essays**, v. 6, n. 8, p. 1709-1719, Apr. 2011. DOI: 10.5897/SRE10.994.

PAMIDIMARRI, D. S.; SINGH, S.; MASTAN, S. G.; PATEL, J.; REDDY, M. P. Molecular characterization and identification of markers for toxic and non-toxic varieties of *Jatropha curcas* L. using RAPD, AFLP and SSR markers. **Molecular Biology Reports**, v. 36, n. 6, p. 1357-1364, July 2009. DOI: 10.1007/s11033-008-9320-6.

PARAMATHMA, M.; VENKATACHALAM, P.; SAMPATHRAJAN, A. **Jatropha improvement, management and production of biodiesel**. Coimbatore: Tamil Nadu Agricultural University, 2007.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C. de; DEL PELOSO, M. J.; DÍAZ, J. L. C.; WENDLAND, A. Indicação de cultivares de feijoeiro-comum baseada na avaliação conjunta de diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 6, p. 571-578, jun. 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000600006.

PUNIA, M. S. Current status of research and development on jatropha (*Jatropha curcas*) for sustainable biofuel production in India. In: USDA GLOBAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL BIOFUELS: RESEARCH AND ECONOMICS, 2007, Minneapolis. Disponível em: <<https://www.ars.usda.gov/meetings/Biofuel2007/presentations/index.htm>> . Acesso em: 5 maio 2019.

- PURWATI, R. D.; SUDARMO, H. Adaptability of potential genotypes of *Jatropha curcas* L. as bioenergy source in three locations. **Energy Procedia**, v. 65, p. 317-323, 2015. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.01.059.
- QU, J.; MAO, H.-Z.; CHEN, W.; GAO, S.-Q.; BAI, Y.-N.; SUN, Y.-W.; GENG, Y.-F.; YE, J. Development of marker-free transgenic *Jatropha* plants with increased levels of seed oleic acid. **Biotechnology for Biofuels**, v. 5, n. 1, 2012. DOI: 10.1186/PREACCEPT-7182246976252291.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, J. B. dos; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ed. da UFLA, 2012a.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; PINTO, C. A. B. P.; SOUZA, E. A. de; GONÇALVES, F. M. A.; SOUZA, J. C. de. **Genética na agropecuária**. 5. ed. Lavras: Ufla, 2012b. 565 p.
- RAO, G.; KORWAR, G.; SHANKER, A. K.; RAMAKRISHNA, Y. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. **Trees**, v. 22, n. 5, p. 697-709, Jan. 2008. DOI: 10.1007/s00468-008-0229-4.
- RESENDE JR., M. F. R.; MUÑOZ, P.; ACOSTA, J. J.; PETER, G. F.; DAVIS, J. M.; GRATTAPAGLIA, D.; RESENDE, M. D. V.; KIRST, M. Accelerating the domestication of trees using genomic selection: accuracy of prediction models across ages and environments. **New Phytologist**, v. 193, n. 3, p. 617-624, 2012. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2011.03895.x.
- RESENDE, M. D. de; SILVA, F.; LOPES, P.; AZEVEDO, C. **Seleção genômica ampla (GWS) via modelos mistos (REML/BLUP), inferência bayesiana (MCMC), regressão aleatória multivariada e estatística espacial**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2012b.
- RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 975 p.
- RESENDE, M. D. V. de. **SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 359 p.
- RESENDE, M. D. V. de; BARBOSA, M. H. P. **Melhoramento genético de plantas de propagação assexuada**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005.
- RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.
- RESENDE, M. D. V. de; LOPES, P. S.; SILVA, R. L. da; PIRES, I. E. Seleção genômica ampla (GWS) e maximização da eficiência do melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 63-77, jan./jun. 2008.

- RESENDE, M. D. V. de; RESENDE JR., M. F. R.; SANSALONI, C. P.; PETROLI, C. D.; MISSIAGGIA, A. A.; AGUIAR, A. M.; ABAD, J. M.; TAKAHASHI, E. K.; ROSADO, A. M.; FARIA, D. A.; PAPPAS JR., G. J.; KILIAN, A.; GRATAPAGLIA, D. Genomic selection for growth and wood quality in *Eucalyptus*: capturing the missing heritability and accelerating breeding for complex traits in forest trees. **New Phytologist**, v. 194, n. 1, p. 116-128, Apr. 2012a. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2011.04038.x.
- ROCHA, R. B.; LAVIOLA, B. G.; SILVA, S. D. dos A. e; JUHÁZ, A. C. P.; ALBRECHT, J. C.; ROSADO, T. B. Adaptabilidade e estabilidade de famílias de meios irmãos de pinhão-mansão em diferentes regiões do Brasil. **Ceres**, v. 63, n. 2, p. 174-182, mar./abr. 2016. DOI: 10.1590/0034-737X201663020008.
- ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; TEIXEIRA, A. L.; LAVIOLA, B. G.; SILVA, F. C. G. da; MILITÃO, J. S. L. T. Eficiência da seleção para incremento do teor de óleo do pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 44-50, jan. 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000100007.
- SANOU, H.; ANGULO-ESCALANTE, M. A.; MARTÍNEZ-HERRERA, J.; KONÉ, S.; NIKIEMA, A.; KALINGANIRE, A.; HANSEN, J. K.; KJÆR, E. D.; GRAUDAL, L.; NIELSEN, L. R. Loss of genetic diversity of *L.* through domestication: implications for its genetic improvement. **Crop Science**, v. 55, n. 2, p. 749-759, Feb. 2015. DOI: 10.2135/cropsci2014.02.0165.
- SANTOS, D. N.; FERREIRA, J. L.; PASQUAL, M.; GENEROSO, A. L.; SETOTAW, T. A.; CANÇADO, G. M. A.; VENDRAME, W. A. Population structure of *Jatropha* and its implication for the breeding program. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 1, 2016. DOI: 10.4238/gmr.15017770.
- SILITONGA, A. S.; ATABANI, A. E.; MAHLIA, T. M. I.; MASJUKI, H. H.; BADRUDDIN, I. A.; MEKHILEF, S. A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 3733-3756, 2011. DOI: 10.1016/j.rser.2011.07.011.
- SILVA, M.; PETERNELLI, L.; NASCIMENTO, M.; DA SILVA, F. L. Modelos mistos na seleção de famílias de cana-de-açúcar aparentadas sob o enfoque clássico e bayesiano. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 31, p. 1-12, 2013.
- SOONTORNCHAINAKSAENG, P.; JENJITTIKUL, T. Karyology of *Jatropha* (Euphorbiaceae) in Thailand. **Thai Forest Bulletin**, v. 31, p. 105-112, 2003.
- SPINELLI, V. M.; DIAS, L. A. S.; ROCHA, R. B.; RESENDE, M. D. V. Estimates of genetic parameters with selection within and between half-sib families of *Jatropha curcas* L. **Industrial Crops and Products**, v. 69, p. 355-361, July 2015. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.02.024.
- SPINELLI, V. M.; ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; MARCOLAN, A. L.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; FERNANDES, C. de F.; MILITÃO, J. S. L. T.; DIAS, L. A. dos S. Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-mansão. **Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1752-1758, ago. 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782010005000129.

TAKASE, M.; ZHAO, T.; ZHANG, M.; CHEN, Y.; LIU, H.; YANG, L.; WU, X. An expatiate review of neem, jatropha, rubber and karanja as multipurpose non-edible biodiesel resources and comparison of their fuel, engine and emission properties. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 495-520, Mar. 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2014.11.049.

TEODORO, P. E.; COSTA, R. D.; ROCHA, R. B.; LAVIOLA, B. G. Número mínimo de medições para a avaliação acurada de características agrônômicas de pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 2, p. 112-119, fev. 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000200003.

TIWARI, A. K.; KUMAR, A.; RAHEMAN, H. Biodiesel production from jatropha oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: an optimized process. **Biomass and Bioenergy**, v. 31, n. 8, p. 569-575, Aug. 2007. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.03.003.

TREBBI, D.; PAPAZOGLU, E. G.; SAADAQUI, E.; VISCHI, M.; BALDINI, M.; STEVANATO, P.; CETTUL, E.; SANZONE, A. P.; GUALDI, L.; FABBRI, A. F. Assessment of genetic diversity in different accessions of *Jatropha curcas*. **Industrial Crops and Products**, v. 75, part. B., p. 35-39, Nov. 2015. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.06.051.


VARSHNEY, A.; JOHNSON, T. S. Efficient plant regeneration from immature embryo cultures of *Jatropha curcas*, a biodiesel plant. **Plant Biotechnology Reports**, v. 4, n. 2, p. 139-148, Apr. 2010. DOI: 10.1007/s11816-010-0129-0.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

VERISSIMO, M. A. A.; SILVA, S. D. dos A. e; AIRES, R. F.; DAROS, E.; PANZIERA, W. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos precoces de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 561-568, abr. 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000400012.

VIANA, A. P.; RESENDE, M. D. V. de. **Genética quantitativa do melhoramento de fruteiras**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. 282 p.

VIANA, A. P.; RESENDE, M. D. V. de; RIAZ, S.; WALKER, M. A. Genome selection in fruit breeding: application to table grapes. **Scientia Agricola**, v. 73, n. 2, p. 142-149. Mar./Apr. 2016. DOI: 10.1590/0103-9016-2014-0323.



**Melhoramento genético
para desenvolvimento
de cultivares atóxicas
de alto desempenho**

Melhoramento genético para desenvolvimento de cultivares atóxicas de alto desempenho

*Bruno Galvêas Laviola
Alexandre Alonso Alves
Rodrigo Barros Rocha*

Introdução

Na agricultura moderna, torna-se importante o desenvolvimento de cultivares que apresentem alto rendimento para o produto final, mas também que possuam outras características que melhorem sua adaptação a diferentes regiões, valorizem o produto final e/ou agreguem valor à cadeia. No caso do pinhão-manso, o cenário não é diferente. Embora os esforços por melhoramento da cultura sejam recentes, vem-se buscando aumentar a produção de grãos e, ao mesmo tempo, introduzir outras características de interesse, a exemplo da resistência a doenças (antracnose e oídio) e da ausência de toxidez (ésteres do forbol) nos grãos (Laviola et al., 2011). Nesse contexto, cabe destacar que o desenvolvimento de cultivares comerciais atóxicas, ou mesmo que apresentem baixa toxidez, pode contribuir para agregar valor à cadeia produtiva da espécie, uma vez que a torta poderá ser usada como fonte direta de proteína em rações de ruminantes e monogástricos, com maior valor agregado.

Os métodos de destoxificação desenvolvidos até o momento apresentam eficiências limitadas e/ou alto custo e/ou dificuldades de escalonamento, (Gonçalves et al., 2009; Mendonça; Laviola, 2009; Durães et al., 2011; Saetae; Suntornsuk, 2011; Xiao et al., 2011; Akinleye et al., 2012), o que dificulta sua aplicação em larga escala. Diante disso, o melhoramento genético apresenta menor custo, além de ser uma estratégia segura para a produção de torta de pinhão-manso livre de ésteres de forbol, com alta qualidade, podendo ser usada na suplementação proteica de animais. Para tanto, são necessários alguns passos: 1) identificação de genótipos atóxicos; 2) determinação da herança da característica (a fim de subsidiar a definição das estratégias de melhoramento); 3) geração de progê-

nies superiores provenientes do cruzamento entre genótipos superiores tóxicos e atóxicos; 4) seleção e clonagem de genótipos não tóxicos superiores.

Identificação de genótipos não tóxicos

Genótipos atóxicos ou com baixos teores de ésteres de forbol já foram identificados em diferentes países (Durães et al., 2011). O centro de origem dos genótipos atóxicos provavelmente é o México, em que se observa ampla diversidade genética (Ovando-Medina et al., 2011; Pecina-Quintero et al., 2011). Em um estudo da caracterização de áreas agroclimáticas de ocorrência de pinhão-manso no México, foi verificado que as variedades não tóxicas ocorrem em uma região específica do país, diferentemente dos genótipos tóxicos (Núñez-Colín; Goytia-Jiménez, 2009), cuja dispersão é grande. No México, as sementes de genótipos atóxicos presentes nas regiões de Totonacapan em Puebla e Veracruz são usadas tradicionalmente pelas comunidades locais, inclusive na alimentação humana.

A existência de variabilidade genética para ausência de toxidez abre caminho para o melhoramento por técnicas convencionais com a exploração da característica em programas de melhoramento genético. No Brasil, genótipos atóxicos foram identificados no banco de germoplasma de pinhão-manso da Embrapa, que apresenta atualmente mais de 200 procedências de pinhão-manso de diferentes regiões do Brasil (Laviola et al., 2011). Em estudo de diversidade genética de 192 acessos do banco de germoplasma com marcadores moleculares, verificou-se que os quatro acessos atóxicos são os mais divergentes em relação aos demais acessos do banco de germoplasma, o que dá suporte à hipótese de que os genótipos atóxicos são originados de introduções mais recentes (Rosado et al., 2010).

Na Tabela 1, são apresentados os teores de ésteres de forbol de 11 acessos do banco de germoplasma, incluindo os acessos atóxicos. Além da concentração de éster de forbol, os acessos atóxicos também apresentam características morfológicas diferentes dos acessos tóxicos, como formato do limbo foliar e dos frutos (Figura 1), o que os diferenciam dos demais materiais genéticos. Porém, apesar de essas características serem de fácil reconhecimento e atualmente representarem marcador morfológico para os genótipos atóxicos, espera-se que, com os cruzamentos, as características morfológicas passem a não ser mais associadas à toxidez.

Tabela 1. Análise preliminar de 11 acessos de pinhão-manso quanto à concentração de éster de forbol nos grãos.

Nº do acesso	Éster de forbol (mg g ⁻¹)
CNPAE-1001	3,09
CNPAE-1002	ND
CNPAE-1003	4,01
CNPAE-1004	3,69
CNPAE-1005	3,53
CNPAE-1006	ND
CNPAE-1007	5,41
CNPAE-1008	ND
CNPAE-1009	3,18
CNPAE-1010	ND
CNPAE-1011	4,21



Figura 1. Descritores morfológicos dos acessos atóxicos: formato foliar e dos frutos.

Nas avaliações agronômicas do banco de germoplasma tem-se verificado que os acessos atóxicos apresentam menor vigor que os genótipos tóxicos (Figura 2), além de serem susceptíveis a doenças que não são observadas em genótipos tóxicos (Laviola et al., 2011). A produção de grãos dos genótipos atóxicos também é inferior à de maior parte dos genótipos tóxicos. Na Tabela 2, observa-se que a produção de grãos dos genótipos atóxicos é inferior à média do banco de germoplasma aos 42 meses de idade. O menor vigor, a suscetibilidade a doenças e a menor produção indicam que os genótipos atóxicos

não devem ser usados diretamente para plantio comercial sem antes passar por ciclos de melhoramento que visem contornar os problemas relatados.



Figura 2. Vigor vegetativo de genótipos atóxicos (A) comparado a genótipos tóxicos (B) no banco de germoplasma aos 42 meses.

Tabela 2. Produção de grãos (g por planta) de acessos tóxicos e atóxicos do banco de germoplasma aos 42 meses.

10 melhores genótipos	Média geral (200 acessos)	Genótipo atóxico 1	Genótipo atóxico 2	Genótipo atóxico 3
2.039	869	730	242	497

Estratégias de melhoramento clássico visando ausência de toxidez

Ao se estabelecerem as estratégias de melhoramento genético de pinhão-mansão para ausência de toxidez nos grãos, é fundamental o conhecimento das bases da herança dos ésteres de forbol, ou seja, a forma como a ausência de ésteres de forbol é repassada de uma geração para outra. Dados atuais indicam que a toxidez, no que se refere à concentração de ésteres de forbol, parece ser expressa qualitativamente, isto é, ou os genótipos são tóxicos ou apresentam concentrações não detectáveis de ésteres de forbol nos grãos. Desse modo, especula-se que o caráter possa ser regulado por um ou poucos genes. No que se refere ao melhoramento genético, esse cenário é obviamente interessante, pois

indica que a transferência do caráter de interesse (ausência de toxidez) de genótipos pouco produtivos para genótipos altamente produtivos pode ser efetuada com maior facilidade.

Sujatha et al. (2005), no entanto, sugeriram que o caráter pode ter herança materna, isto é, o fenótipo da progênie é sempre herdado da mãe. Esse modo de herança ainda precisa ser comprovado, mas possíveis explicações são as seguintes: a) a ocorrência de apoximia (reprodução ocorre sem que haja fertilização); b) a existência de genes supressos nos genomas plastídicos (cloroplasto e/ou mitocôndria), cujo produto inibe a via de biossíntese dos ésteres de forbol; c) o envolvimento de genes plastídicos na referida via de biossíntese e a ocorrência de uma mutação nesses(s) gene(s). A fim de corroborar essa hipótese (herança materna), cruzamentos recíprocos envolvendo genótipos tóxicos e não tóxicos do banco ativo de gemoplasma da Embrapa foram realizados e avaliados.

Os resultados deste trabalho demonstram que a concentração de ésteres de forbol em cruzamentos que tiveram o genótipo atóxico como genitor masculino ($1,95 \text{ mg g}^{-1}$) quase não difere da concentração de ésteres de forbol em cruzamentos que tiveram o genótipo não tóxico como genitor feminino ($2,05 \text{ mg g}^{-1}$) (Figura 3). Desse modo, parece ser improvável que a característica apresente herança materna. A fim de elucidar o modo de herança, novos cruzamentos entre genótipos atóxicos e genótipos tóxicos foram realizados

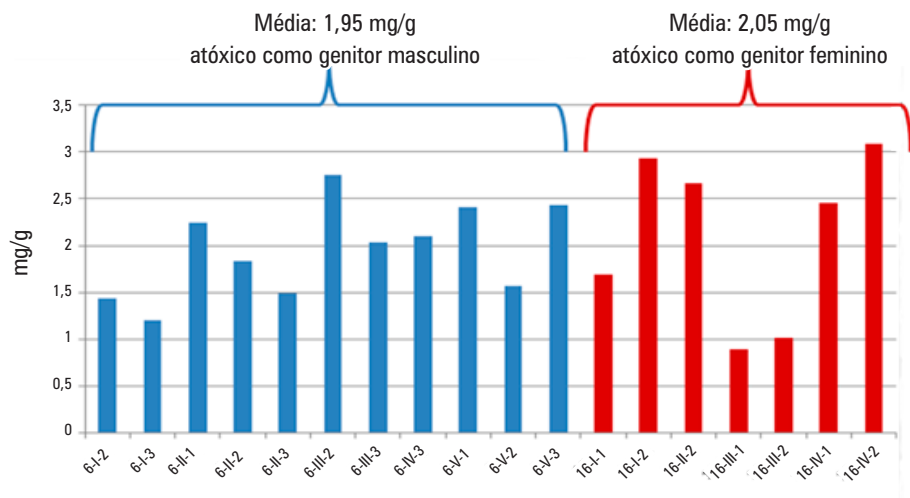


Figura 3. Concentração de ésteres de forbol nos grãos em cruzamentos recíprocos (F1s) de genótipos tóxicos e atóxicos.

em esquema dialélico que permite a avaliação de todas as combinações e dos recíprocos. Além disso, retrocruzamentos dos F1s gerados entre as combinações de genitores masculinos e femininos podem ser usados para confirmar a herança.

A expectativa é que o caráter tenha controle genético simples, como, por exemplo, recessividade de um gene. Essa hipótese fundamenta-se no fato de os genótipos naturalmente não tóxicos ocorrerem em apenas uma região mexicana. Isso indica que provavelmente tenha ocorrido uma mutação pontual (ou poucas mutações) em genes envolvidos na rota biossintética dos ésteres de forbol. No entanto, ainda não se pode descartar a possibilidade de a herança ocorrer por meio de outros mecanismos, a exemplo da oligogenia e da poligenia.

Uma vez identificado o modelo de herança, podem ser definidas estratégias de melhoramento que busquem simultaneamente a obtenção de genótipos superiores no que se refere à produção de grãos/óleo e não toxidez. A título de exemplo, na Figura 4 verifica-se um possível plano de cruzamento considerando-se um modelo de herança simples, em

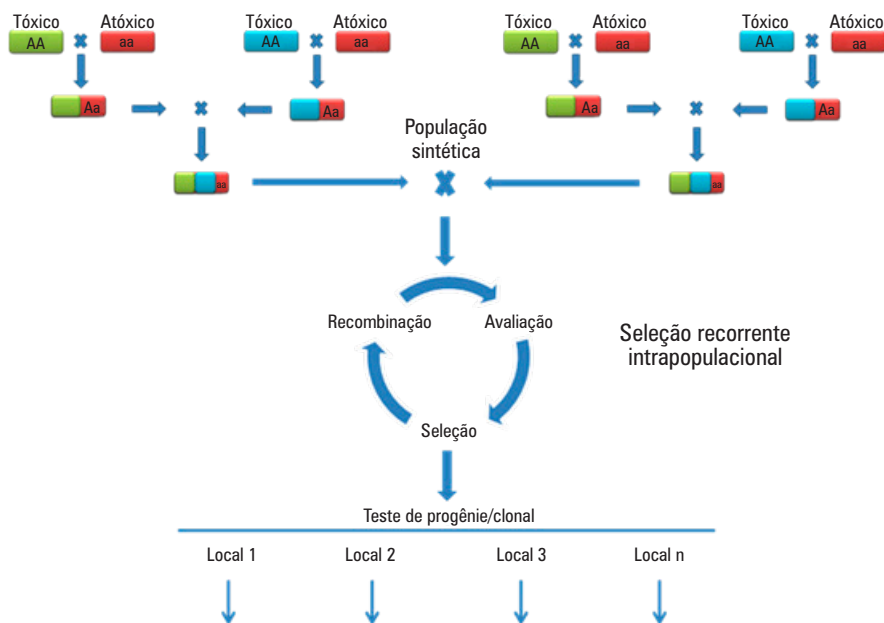


Figura 4. Estratégia de melhoramento genético para ausência de toxidez (herança simples e recessiva) baseada em seleção recorrente intrapopulacional.

que a ausência de toxidez seja devida a alelos recessivos. O esquema proposto, além de buscar a recuperação do caráter ausência de toxidez, visa, nas primeiras gerações, à recuperação de 2/3 dos alelos favoráveis dos genótipos tóxicos, a capitalização da heterose entre genótipos tóxicos e atóxicos e também entre genótipos tóxicos. Com a fixação do caráter ausência de toxidez na população sintética, a partir da segunda geração, pode-se seguir o esquema de seleção recorrente intrapopulacional, com foco apenas no aumento de produtividade de grãos e/ou óleo.

Estratégias de melhoramento genômico aplicadas ao desenvolvimento de genótipos superiores atóxicos

Além dos métodos tradicionais de melhoramento anteriormente descritos, o melhoramento de pinhão-manso visando à ausência de toxidez nos grãos pode se beneficiar da aplicação de estratégias baseadas em ferramentas genômicas, por exemplo o uso de marcadores moleculares em esquemas de seleção assistida por marcadores (SAM) (Grattapaglia; Kirst, 2008) e seleção genômica (Grattapaglia; Resende, 2011). Tendo em vista que baterias robustas de marcadores estão em desenvolvimento para pinhão-manso (Silva-Junior et al., 2011), poder-se-ia fazer uso das populações de melhoramento para mapear locos de características quantitativas (QTLs) para toxidez e eventualmente desenvolver kits diagnósticos que serviriam para triagem rápida de genótipos não tóxicos em qualquer grupo/conjunto de plantas. Nesse caso, as progênies devem ser grandes (i.e. > 200 indivíduos cada), genotipadas com os marcadores em desenvolvimento e fenotipadas para ausência de toxidez. O desenvolvimento de marcadores em forte desequilíbrio de ligação com os QTLs responsáveis pela determinação da toxidez seria extremamente útil para novos ciclos de seleção e outros programas de melhoramento genético da espécie.

Embora essa estratégia tenha o potencial de dar maior dinamismo ao programa de melhoramento de pinhão-manso, há que se considerar que as plantas não tóxicas superiores deverão ser inter cruzadas entre si para gerar uma população sintética que servirá como base (Figura 4). Dado o notório baixo vigor de plantas não tóxicas, uma etapa inicial de seleção deverá ser realizada nas progênies resultantes. Para que essa seleção seja realizada, as plantas devem ser avaliadas quando adultas e por, no mínimo, três anos consecutivos (Laviola et al., 2012).

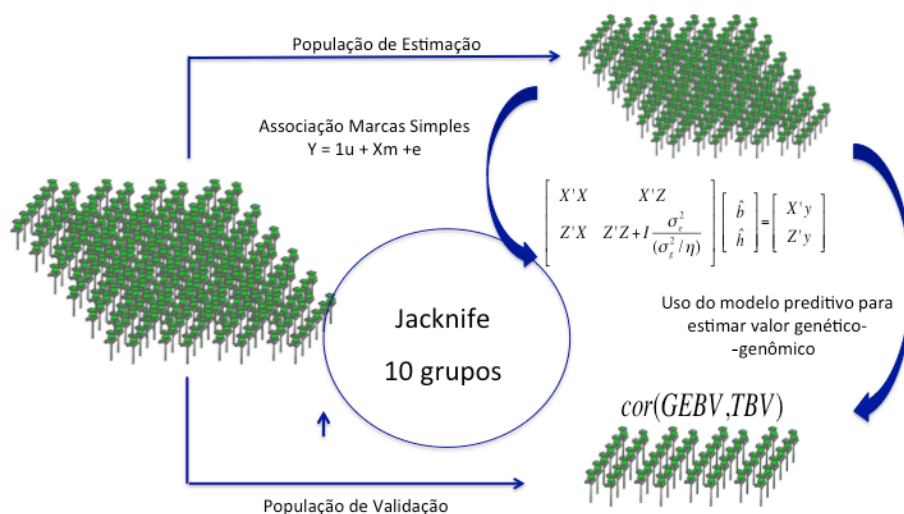


Figura 5. Esquema proposto para estimativa e validação de modelos preditivos de seleção genômica. As populações de estimativa e validação seriam compostas por uma amostra representativa da população, sob melhoramento de tamanho efetivo entre (N_e) 20-60. Essas populações devem ser selecionadas quando do intercruzamento entre genótipos tóxicos e não tóxicos; genotipadas com marcadores moleculares em densidade condizente com o nível de desequilíbrio de ligação da população; e fenotipadas para todas as características de interesse (inclusive ausência de toxidez) para que modelos preditivos do valor genético genômico dos indivíduos sejam elaborados e validados.

Ilustração: Marcio Resende

Após a recombinação dos genótipos não tóxicos superiores, a seleção em população sintética deverá seguir essas mesmas etapas, ou seja, somente após 6-8 anos plantas superiores poderão ser selecionadas e clonadas para posterior avaliação em testes clonais (que também deve ser avaliado por um período de 6-8 anos). A fim de encurtar os ciclos de melhoramento e de seleção/liberação de clones superiores, algumas estratégias podem ser adotadas, por exemplo o uso de seleção genômica (Figura 5). Essa metodologia permite que genótipos superiores sejam selecionados em fase ultraprecoce, eliminando assim a necessidade de avaliar os testes de progênie por 6-8 anos. De posse dos modelos preditivos acurados e validados, a seleção dos melhores genótipos não tóxicos (que serão intercruzados para formar a população sintética) poderá ser feita com base nos dados genômicos com plantas em fase de mudas, encurtando sensivelmente o ciclo de melhoramento. Nos ciclos seguintes, baseados na população sintética, os modelos de seleção

genômica devem permanecer acurados, uma vez que essa população descende daquela em que os modelos foram estimados/validados.

Conclusões e perspectivas

O pinhão-mansão é uma oleaginosa que apresenta potencial para produção de biocombustíveis, porém ainda está em fase de domesticação. Entre os desafios para viabilizar o cultivo comercial do pinhão-mansão, está o aproveitamento econômico da torta, já que permite agregar valor à cadeia de produção e equacionar custos.

O melhoramento genético apresenta o menor custo, além de ser uma estratégia segura para a produção de torta de pinhão-mansão livre de ésteres de forbol, com alta qualidade, podendo ser usada na suplementação proteica de monogástricos e/ou ruminantes. Porém, essa não deve ser a única estratégia a ser buscada no momento, tendo em vista que os acessos atóxicos apresentam baixo vigor, o que irá demandar tempo para seleção de materiais genéticos de alta produtividade e livre de ésteres de forbol nos grãos.

Referências

AKINLEYE, A. O.; KUMAR, V.; MAKKAR, H. P. S.; ANGULO-ESCALANTE, M. A.; BECKER, K. *Jatropha platyphylla* kernel meal as feed ingredient for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.): growth, nutrient utilization and blood parameters. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 96, n. 1, p. 119-129, Feb. 2012. DOI: 10.1111/j.1439-0396.2011.01137.x.

DURÃES, F. O. M.; LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A. Potential and challenges in making physic nut (*Jatropha curcas* L.) a viable biofuel crop: the Brazilian perspective. **Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v. 6, n. 43, 2011. DOI: 10.1079/PAVSNNR20116043.

GONÇALVES, S. B.; MENDONÇA, S.; LAVIOLA, B. G. **Substâncias tóxicas, alergênicas e antinutricionais presentes no pinhão-mansão e seus derivados e procedimentos adequados ao manuseio**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009. 5 p. (Embrapa Agroenergia. Circular técnica, 001).

GRATTAPAGLIA, D.; KIRST, M. *Eucalyptus* applied genomics: from gene sequences to breeding tools. **New Phytologist**, v. 179, n. 4, p. 911-929, Aug. 2008. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02503.x.

GRATTAPAGLIA, D.; RESENDE, M. D. V. Genomic selection in forest tree breeding. **Tree Genetics and Genomes**, v. 7, n. 2, p. 241-255, Oct. 2011. DOI: 10.1007/s11295-010-0328-4.

LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A.; GURGEL, F. de L.; ROSADO, T. B.; ROCHA, R. B.; ALBRECHT, J. C. Estimates of genetic parameters for physic nut traits based in the germplasm two years evaluation. **Ciência Rural**, v. 42, n. 3, p. 429-435, Mar. 2012. DOI: 10.1590/S0103-84782012000300008.

LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L.; MENDONÇA, S.; ROSADO, T. B.; ALBRECHT, J. C. Morpho-agronomic characterization of the germplasm bank of *Jatropha* young stage. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 3, p. 371-379, May 2011.

MENDONÇA, S.; LAVIOLA, B. G. **Uso potencial e toxidez da torta de pinhão-manso**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009. 8 p. (Embrapa Agroenergia. Comunicado técnico, 1).

NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; GOYTIA-JIMÉNEZ, M. A. Distribution and agroclimatic characterization of potential cultivation regions of physic nut in Mexico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1078-1085, Sept. 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000900002.

OVANDO-MEDINA, I.; ESPINOSA-GARCÍA, F.; NÚÑEZ-FARFÁN, J.; SALVADOR-FIGUEROA, M. Genetic variation in mexican *Jatropha curcas* L. estimated with seed oil fatty acids. **Journal of Oleo Science**, v. 60, n. 6, p. 301-311, 2011. DOI: 10.5650/jos.60.301.

PECINA-QUINTERO, V.; ANAYA-LÓPEZ, J. L.; COLMENERO, A. Z.; GARCÍA, N. M.; COLÍN, C. A. N.; BONILLA, J. L. S.; AGUILAR-RANGEL, M. R.; LANGARICA, H. R. G.; BUSTAMANTE, D. J. M. Molecular characterisation of *Jatropha curcas* L. genetic resources from Chiapas, Mexico through AFLP markers. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 5, p. 1897-1905, May 2011. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.01.027.

ROSADO, T. B.; LAVIOLA, B. G.; FARIA, D. A.; PAPPAS, M. R.; BHERING, L. L.; QUIRINO, B.; GRATAPAGLIA, D. Molecular markers reveal limited genetic diversity in a large germplasm collection of the biofuel crop *Jatropha curcas* L. in Brazil. **Crop Science**, v. 50, n. 6, p. 2372-2382, 2010. DOI: 10.2135/cropsci2010.02.0112.

SAETA, D.; SUNTORNSUK, W. Toxic compound, anti-nutritional factors and functional properties of protein isolated from detoxified *Jatropha curcas* seed cake. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, n. 1, p. 66-77, 2011. DOI: 10.3390/ijms12010066.

SILVA-JUNIOR, O. B.; ROSADO, T. B.; LAVIOLA, B. G.; PAPPAS, M. R.; PAPPAS JR, G. J.; GRATAPAGLIA, D. Genome-wide SNP discovery from a pooled sample of accessions of the biofuel plant *Jatropha curcas* based on whole-transcriptome Illumina resequencing. **BMC Proceedings**, v. 5, P57, 2011. Supplement 7. DOI: 10.1186/1753-6561-5-S7-P57.

SUJATHA, M.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Shoot bud proliferation from axillary nodes and leaf sections of non-toxic *Jatropha curcas* L. **Plant Growth Regulation**, v. 47, n. 1, p. 83-90, Sept. 2005. DOI: 10.1007/s10725-005-0859-0.

XIAO, J. H.; ZHANG, H.; NIU, L.; WANG, X. G.; LU, X. Evaluation of detoxification methods on toxic and antinutritional composition and nutritional quality of proteins in *Jatropha curcas* meal. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 8, p. 4040-4044, Mar. 2011. DOI: 10.1021/jf200104b.

Literatura recomendada

AREGHEORE, E. M.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Assessment of lectin activity in a toxic and a non-toxic variety of *Jatropha curcas* using latex agglutination and haemagglutination methods and inactivation of lectin by heat treatments. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 77, n. 3, p. 349-352, July 1998. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199807)77:3<349::AID-JSFA49>3.0.CO;2-A.

BARROS, C. R. M. de; FERREIRA, L. M. M.; NUNES, F. M.; BEZERRA, R. M. F.; DIAS, A. A.; GUEDES, C. V.; CONE, J. W.; MARQUES, G. S. M.; RODRIGUES, M. A. M. The potential of white-rot fungi to degrade phorbol esters of *Jatropha curcas* L. seed cake. **Engineering in Life Sciences**, v. 11, n. 1, p. 107-110, Feb. 2011. DOI: 10.1002/elsc.201000040.

BECKER, K.; MAKKAR, H. P. S. Effects of phorbol esters in carp (*Cyprinus carpio* L). **Veterinary and Human Toxicology**, v. 40, n. 2, p. 82-86, 1998.

BHERING, L. L.; CRUZ, C. D.; LAVIOLA, B. G. Biometria aplicada ao melhoramento de espécies alternativas para produção de biodiesel. In: CARDOS, D. L.; LUZ, L. N.; PEREIRA, T. N. S. (Ed.). **Estratégias de melhoramento de plantas**. Campos dos Goytacazes: Arka, 2011. v. 1, p. 134.

BRJATROPHA: pesquisa, desenvolvimento e inovação em pinhão-manso para produção de biodiesel. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, [2011?]. 1 folder. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/51057/1/BR-Jatropha-2011.pdf>>. LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A. Matérias-primas oleaginosas para biorrefinarias. In: VAZ JUNIOR, S. (Ed.). **Biorrefinarias: cenários e perspectivas**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2011. p. 29-43.

CARELS, N. Chapter 2 *Jatropha curcas*: a review. **Advances in Botanical Research**, v. 50, p. 39-86, 2009. DOI: 10.1016/S0065-2296(08)00802-1.

CONAB (Brasil). **Monitoramento das iniciativas com pinhão manso no Brasil**. Brasília, DF: Câmara setorial de oleaginosas e Biodiesel, 2011. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Oleaginosas_e_biodiesel/11RO/App_CONAB.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2013.

DERENZINI, M.; BONETTI, E.; MARIONOZZI, V.; STIRPE, F. Toxic effects of ricin: studies on pathogenesis of liver-lesions. **Virchows Archiv B-Cell Pathology Including Molecular Pathology**, v. 20, n. 1, p. 15-28, Feb. 1976.

- DEVAPPA, R. K.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Biodegradation of *Jatropha curcas* phorbol esters in soil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 12, p. 2090-2097, Sept. 2010a. DOI: 10.1002/jsfa.4056.
- DEVAPPA, R. K.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. *Jatropha* diterpenes: a review. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 88, n. 3, p. 301-322, Mar. 2011. DOI: 10.1007/s11746-010-1720-9.
- DEVAPPA, R. K.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. *Jatropha* toxicity: a review. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: critical reviews**, v. 13, n. 6, p. 476-507, 2010b. DOI: 10.1080/10937404.2010.499736.
- DHYANI, S. K.; KUMAR, R. V.; AHLAWAT, S. P. *Jatropha curcas*: a potential biodiesel crop and its current R&D status. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 81, n. 4, p. 295-308, Apr. 2011.
- DIAS, L. A. dos S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI, A.; PEREIRA, O. L.; DIAS, D. C. F. S.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S. dos; SOUSA, L. C. A. de; OLIVEIRA, T. S. de; PRETTI, L. A. **Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG: L. A. S. Dias, 2007. 40 p.
- DRUMOND, M. A.; SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V. R. de; MARTINS, J. C.; ANJOS, J. B. dos; EVANGELISTA, M. R. V. Desempenho agrônômico de genótipos de pinhão manso no Semiárido pernambucano. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 44-47, jan./fev. 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782009005000229.
- FREITAS, R. G.; MISSIO, R. F.; MATOS, F. S.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S. Genetic evaluation of *Jatropha curcas*: an important oilseed for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research**, v. 10, n. 3, p. 1490-1498, 2011. DOI: 10.4238/vol10-3gmr1146.
- GOEL, G.; MAKKAR, H. P. S.; FRANCIS, G.; BECKER, K. Phorbol esters: structure, biological activity, and toxicity in animals. **International Journal of Toxicology**, v. 26, n. 4, p. 279-288, 2007. DOI: 10.1080/10915810701464641.
- HARTER, T.; BUHRKE, F.; KUMAR, V.; FOCKEN, U.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Substitution of fish meal by *Jatropha curcas* kernel meal: effects on growth performance and body composition of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Aquaculture Nutrition**, v. 17, n. 5, p. 542-548, Jan. 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2010.00845.x.
- JOSHI, C.; MATHUR, P.; KHARE, S. K. Degradation of phorbol esters by *Pseudomonas aeruginosa* PseA during solid-state fermentation of deoiled *Jatropha curcas* seed cake. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 7, p. 4815-4819, Apr. 2011. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.01.039.
- KING, A. J.; HE, W.; CUEVAS, J. A.; FREUDENBERGER, M.; RAMIARAMANANA, D.; GRAHAM, I. A. Potential of *Jatropha curcas* as a source of renewable oil and animal feed. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 10, p. 2897-2905, July 2009. DOI: 10.1093/jxb/erp025.

KUMAR, V.; AKINLEYE, A. O.; MAKKAR, H. P. S.; ANGULO-ESCALANTE, M. A.; BECKER, K. Growth performance and metabolic efficiency in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed on a diet containing *Jatropha platyphylla* kernel meal as a protein source. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 96, n. 1, p. 37-46, Feb. 2012. DOI: 10.1111/j.1439-0396.2010.01118.x.

KUMAR, V.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Detoxified *Jatropha curcas* kernel meal as a dietary protein source: growth performance, nutrient utilization and digestive enzymes in common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, n. 3, p. 313-326, June 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2010.00777.x.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. dos S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, set./out. 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000500018.

LAVIOLA, B. G.; ROSADO, T. B.; BHERING, L. L.; KOBAYASHI, A. K.; RESENDE, M. D. V. de. Genetic parameters and variability in physic nut accessions during early developmental stages. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 45, n. 10, p. 1117-1123, Oct. 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010001000010.

MAKKAR, H. P. S.; ADERIBIGBE, A. O.; BECKER, K. Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. **Food Chemistry**, v. 62, n. 2, p. 207-215, June 1998. DOI: 10.1016/S0308-8146(97)00183-0.

MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K.; SPORER, F.; WINK, M. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 8, p. 3152-3157, 1997. DOI: 10.1021/jf970036j.


MAKKAR, H. P. S.; KUMAR, V.; BECKER, K. Detoxified *Jatropha curcas* kernel meal as a dietary protein source: growth performance, nutrient utilization and digestive enzymes in common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, n. 3, p. 313-326, June 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2010.00777.x.

MAKKAR, H.; MAES, J.; DE GREYT, W.; BECKER, K. Removal and degradation of phorbol esters during pre-treatment and transesterification of *Jatropha curcas* oil. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 86, n. 2, p. 173-181, Feb. 2009. DOI: 10.1007/s11746-008-1327-6.

MASTAN, S. G.; SUDHEER, P. D. V. N.; RAHMAN, H.; REDDY, M. P.; CHIKARA, J. Development of SCAR marker specific to non-toxic *Jatropha curcas* L. and designing a novel multiplexing PCR along with nrDNA ITS primers to circumvent the false negative detection. **Molecular Biotechnology**, v. 50, n. 1, p. 57-61, Jan. 2012. DOI: 10.1007/s12033-011-9415-5.

MENDONÇA, S.; SALDIVA, P. H.; CRUZ, R. J.; ARÉAS, J. A. G. Amaranth protein presents cholesterol-lowering effect. **Food Chemistry**, v. 116, n. 3, p. 738-742, Oct. 2009. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.03.021.

- OSKOUKIAN, E.; ABDULLAH, N.; SAAD, W. Z.; OMAR, A. R.; BIN PUTEH, M.; HO, Y. W. Anti-Nutritional metabolites and effect of treated *Jatropha curcas* kernel meal on rumen fermentation in vitro. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 10, n. 2, p. 214-220, 2011. DOI: 10.3923/javaa.2011.214.220.
- PRADHAN, S.; NAIK, S. N.; KHAN, M. A. I.; SAHOO, P. K. Experimental assessment of toxic phytochemicals in *Jatropha curcas*: oil, cake, bio-diesel and glycerol. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 3, p. 511-519, Feb. 2012. DOI: 10.1002/jsfa.4599.
- RAKSHIT, K. D.; DARUKESHWARA, J.; RAJ, K. R.; NARASIMHAMURTHY, K.; SAIBABA, P.; BHAGYA, S. Toxicity studies of detoxified *Jatropha* meal (*Jatropha curcas*) in rats. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 12, p. 3621-3625, Dec. 2008. DOI: 10.1016/j.fct.2008.09.010.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.
- ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; TEIXEIRA, A. L.; LAVIOLA, B. G.; SILVA, F. C. G. da; MILITÃO, J. S. L. T. Selection efficiency for increasing physic nut oil content. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 44-50, Jan. 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000100007.
- RUG, M.; RUPPEL, A. Toxic activities of the plant *Jatropha curcas* against intermediate snail hosts and larvae of schistosomes. **Tropical Medicine & International Health**, v. 5, n. 6, p. 423-430, June 2000. DOI: 10.1046/j.1365-3156.2000.00573.x.
- SAETAE, D.; KLEEKAYAI, T.; JAYASENA, V.; SUNTORNSUK, W. Functional properties of protein isolate obtained from physic nut (*Jatropha curcas* L.) seed cake. **Food Science and Biotechnology**, v. 20, n. 1, p. 29-37, Feb. 2011. DOI: 10.1007/s10068-011-0005-x.
- SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N. Cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.
- SILVA, T. O.; PRIMO, C. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, J. O. Crescimento inicial e absorção de nutrientes por mudas de pinhão-mansão submetidas à adubação orgânica em solos distintos. **Scientia Plena**, v. 7, n. 8, p. 83-101, 2011.
- WANG, H. F.; CHEN, Y.; ZHAO, Y. N.; LIU, H. Y.; LIU, J. X.; MAKAR, H. P. S.; BECKER, K. Effects of replacing soybean meal by detoxified *Jatropha curcas* kernel meal in the diet of growing pigs on their growth, serum biochemical parameters and visceral organs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 170, n. 1-2, p. 141-146, Nov. 2011. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2011.08.004.



**Produção de mudas
e aspectos gerais do
melhoramento genético
de pinhão-manso na
região Norte do Brasil**

Produção de mudas e aspectos gerais do melhoramento genético de pinhão-mansso na região Norte do Brasil

*Rodrigo Barros Rocha
Victor Mouzinho Spinelli
André Rostand Ramalho
José Roberto Vieira Júnior
Abadio Hermes Vieira
Victor Ferreira de Souza
Bruno Galvêas Laviola*

Introdução

O Brasil tem se destacado no cenário internacional pelo seu pioneirismo no desenvolvimento de pesquisas sobre o biodiesel, incluindo a prospecção de espécies com potencial para produção de óleo vegetal. Por meio do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), criado em 2004, o governo tem incentivado pesquisas com “plantas oleaginosas alternativas”, entre elas o pinhão-mansso (*Jatropha curcas* L.).

Além do incentivo à pesquisa, foi criada uma grande expectativa que resultou no plantio de pinhão-mansso em algumas regiões sem a devida tecnologia para produção validada. A baixa produtividade dos materiais cultivados e a inexistência de uma cadeia produtiva foram os fatores que mais contribuíram para o insucesso desses plantios, que foram sendo reduzidos com o passar dos anos.

A partir da execução do projeto BRJatropha, financiado pela Finep, e do projeto Desenvolvimento de Tecnologia para a Produção Agrícola Energética no Estado de Rondônia, financiado pelo CNPq, a Embrapa Rondônia contribuiu para o avanço no conhecimento do pinhão-mansso, que será apresentado a seguir na forma de tópicos que abordam conhecimentos básicos e aplicados da cultura.

Apesar da geração de conhecimento ocorrida nos últimos anos, muitos desafios ainda precisam ser superados para aumentar a sustentabilidade econômica, social e ambiental desse cultivo. O aumento da produtividade por área, a seleção de materiais não tóxicos e o manejo mais apropriado do plantio, considerando-se a desuniformidade de produção e a incidência de pragas e doenças, são desafios atuais que direcionam as pesquisas contemporâneas com essa oleaginosa.

Por ser tratar de uma oleaginosa perene, ou seja, uma espécie com potencial para produção de óleo vegetal por longo período, a velocidade com que a pesquisa gera seus resultados é impactada pelo seu longo ciclo de vida. Atualmente estão sendo avaliadas em campo plantas provenientes do primeiro ciclo de seleção do pinhão-manso com as melhores práticas de manejo testadas nesses últimos anos. A seguir serão apresentados resultados obtidos para a região Norte do País, no que se refere aos seguintes fatores: produção de mudas, critérios de seleção de materiais, desempenho produtivo e progresso genético com a seleção de plantas.

Produção de mudas

Assim como a fenologia, o domínio da produção de mudas é um conhecimento básico e fundamental para instalação de novos plantios. O plantio do pinhão-manso pode ser realizado pelo semeio direto no campo ou por meio de mudas formadas a partir de sementes ou estacas enraizadas. O plantio de mudas é a prática que proporciona melhores condições para o crescimento inicial das plantas. O tamanho do recipiente é determinante para a qualidade das mudas, o que, por sua vez, impacta diretamente a sobrevivência, homogeneidade e produtividade do plantio.

A avaliação da relação de custo-benefício para a produção de mudas consiste em determinar o recipiente de volume mínimo ideal que não limite o crescimento das plantas durante o tempo em que essas permanecerem em viveiro. Visando quantificar o efeito dos diferentes volumes de recipiente, foram conduzidos experimentos considerando-se o desenvolvimento das mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas*) em viveiro e seu crescimento em campo. A produção de mudas foi realizada no viveiro da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO, no período de fevereiro a maio de 2008, com delineamento inteiramente

casualizado com 6 tratamentos e 4 repetições de 25 plantas (Figura 1). Na montagem do experimento, as mudas foram dispostas em parcelas quadradas, e as bordaduras foram descartadas na avaliação. Os tratamentos consistiram em seis recipientes disponíveis no comércio local, com dimensões e volumes de substrato diferenciados (Tabela 1).

Tabela 1. Dimensões e volumes dos recipientes utilizados na produção de mudas de pinhão-mansão.

Recipientes	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Volume (dm ³)
I	15	6	0,40
II	20	10	1,60
III	22	10	1,70
IV	20	11	1,90
V	22	11	2,10
VI	22	15	3,90

O substrato para enchimento das sacolas de polietileno foi preparado conforme recomendações de (Gomes; Paiva, 2004). Aos 30 dias após a emergência, foram avaliados os seguintes aspectos: o comprimento de raízes, a massa da parte aérea e o diâmetro caulinar das plântulas normais. Os resultados médios foram expressos em centímetros (Figura 1). Em seguida, realizou-se a separação das raízes e partes aéreas, as quais foram submetidas à secagem em estufa a 80 °C, por 24 horas, para obtenção dos dados médios, em gramas, das massas de matéria seca de ambas as partes (Nakagawa, 1999).

As avaliações foram realizadas por meio da análise de variância, teste de agrupamento de média de Scott Knott e ajuste do modelo de regressão para a produção de matéria seca total em função do volume do recipiente. Foram apresentados os coeficientes de regressão linear significativos a 5% de probabilidade.

Após a avaliação das mudas em viveiro, foram selecionadas plantas dos recipientes com os volumes de 0,4 dm³, 2,1 dm³ e 3,9 dm³ para plantio. Aos 35 dias após a semeadura, as mudas foram plantadas em covas abertas manualmente, no espaçamento de 2,0 m x 3,0 m, com dimensões de 20 cm x 20 cm x 20 cm, e preenchidas com uma mistura de 200 g de superfosfato triplo, 50 g de FTE e 50 g de cloreto de potássio.



Fotos: Rodrigo Barros Rochas

Figura 1. Montagem e avaliação do experimento realizado no período de fevereiro a maio de 2008. Montagem do experimento no viveiro do campo experimental da Embrapa Rondônia (A e B) e detalhe das parcelas experimentais utilizadas na avaliação (C e D).

O delineamento estatístico utilizado para avaliação de campo foi o de blocos casualizados com três repetições e seis plantas por parcela, para quantificação do crescimento em campo das mudas produzidas em três recipientes de diferentes volumes: $0,4 \text{ dm}^3$, $2,1 \text{ dm}^3$ e $3,9 \text{ dm}^3$. As plantas foram avaliadas no sexto mês após o plantio quanto aos seguintes fatores: sobrevivência, altura e diâmetro do colo. Os principais tratos culturais realizados durante o período foram o combate das formigas cortadeiras e as capinas.

Os volumes dos substratos avaliados resultaram em diferenças significativas pelo teste F a 1% de probabilidade para todas as características de crescimento avaliadas (Tabela 2). Os valores dos coeficientes de variação são compatíveis com a condução do experimento e indicam boa precisão experimental.

Tabela 2. Análise de variância (ANOVA) para o diâmetro do coleto (DC), altura (ALT), comprimento de raiz (CR), matéria verde da parte aérea (MVPA), matéria verde da raiz (MVR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR).

ANOVA	GL ⁽¹⁾	DC (cm)	ALT (cm)	CR (cm)	MVPA (g)	MVR (g)	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)
Recipientes	5	4,11**	11,31**	14,34**	38,90**	7,39**	7,30**	2,91*	7,10**
Resíduo	18								
Total	23								
Média Geral		0,72	21,21	19,06	158,11	27,74	32,16	6,22	38,38
CV%		10,53	7,50	9,21	10,54	13,36	16,52	9,89	14,84

⁽¹⁾GL = graus de liberdade.

*Significativo a 5% de probabilidade. **Significativo a 1% de probabilidade.

O recipiente VI foi o que apresentou as maiores médias para todas as características avaliadas diferindo significativamente dos demais para a produção de matéria seca total (Tabela 3). O efeito no crescimento das mudas pode ser constatado pelo incremento observado com a utilização do maior recipiente em relação ao menor: 19,67 g para massa da matéria seca total, 18,75 g para massa seca da parte aérea e 1,20 g para massa seca da raiz (Tabela 3). Resultados semelhantes foram obtidos por Severino et al. (2007).

O diâmetro do coleto foi a característica menos influenciada pelo volume do recipiente, sendo por esse motivo a menos indicada para inferir sobre o vigor das mudas aos 30 dias de desenvolvimento em viveiro. Os parâmetros de crescimento da parte aérea – altura (ALT) e massa seca da parte aérea (MSPA) – indicam que os recipientes V e VI foram os menos limitantes ao crescimento em comparação aos demais (Tabela 3). O comprimento da raiz (CR) e a massa seca da raiz (MSR) indicaram que os recipientes IV, V e VI não limitaram o crescimento da raiz, tendo sido observado um incremento linear na produção de biomassa com o aumento do volume do recipiente.

Tabela 3. Comparação de médias de tratamentos pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade das seguintes características: diâmetro do coleto (DC), altura (ALT), comprimento de raiz (CR), matéria verde da parte aérea (MVPA), matéria verde da raiz (MVR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), matéria seca total (MS).

Recipientes	Volume (dm ³)	DC (cm)	ALT (cm)	CR (cm)	MVPA (g)	MVR (g)	MSPA (g)	MSR (g)	MS (g)
I	0,40	0,60b	18,90b	13,88c	99,43c	21,48b	26,00c	5,73b	31,73c
II	1,60	0,68b	19,60b	17,68b	127,08b	26,48b	27,40c	5,83b	33,23c
III	1,70	0,73a	19,93b	17,30b	131,18b	24,10b	27,20c	5,94b	33,14c
IV	1,90	0,75a	19,60b	21,85a	146,60b	26,93b	31,75c	6,40a	38,15c
V	2,10	0,80a	24,00a	22,38a	217,93a	34,275a	35,90b	6,67a	42,57b
VI	3,90	0,80a	25,22a	21,28a	226,48a	33,175a	44,75a	6,92a	51,67a

a, b, c: médias seguidas pelas mesmas letras na vertical não diferem entre si.

Neves et al. (2005) demonstraram que o uso de recipientes com tamanhos inadequados pode resultar em deformações radiculares e em desuniformidade, implicando atraso no crescimento das plantas no campo. Recipientes de 20 cm e 22 cm de altura mostraram-se adequados para acondicionar as raízes das mudas de pinhão-manso pelo período de 30 dias após a emergência (Tabela 3).

Associada às avaliações de qualidade de mudas no viveiro, a avaliação de crescimento em campo, após 6 meses de plantio, permitiu quantificar os efeitos permanentes no desenvolvimento individual das plantas. O crescimento em campo indicou que as mudas produzidas nos recipientes de 2 L e de 4 L de volume apresentaram melhores condições de crescimento do que no menor recipiente (Tabela 4). O crescimento em campo das mudas produzidas em recipientes com volume próximo a 2 L de substrato foi equivalente ao crescimento de mudas produzidas em volume maior.

Tabela 4. Médias dos diâmetros do coleto (DC) e da altura (ALT) das mudas produzidas nos recipientes com os volumes de 0,4 dm³, 2,10 dm³ e 2,10 dm³ aos 6 meses após o plantio.

Tratamento	Volume do recipiente (dm ³)	DC (cm)	ALT (cm)
Recipiente I	0,40	34,86b	66,75b
Recipiente V	2,10	42,29a	91,08a
Recipiente VI	3,90	45,24a	101,21a
F		135,08**	41,02**
CV		11,84	18,41
Média geral		40,79	86,35

** : significativo a 1% de probabilidade

a, b: médias seguidas pelas mesmas letras na vertical não diferem entre si

F: teste F da análise de variância

CV: coeficiente de variação

A opção pelo volume de recipiente mais apropriado têm impacto de ordem técnica e econômica, devendo proporcionar a melhor qualidade de muda pelo menor custo de produção possível. O crescimento semelhante das mudas produzidas nos recipiente de 2 L e de 4 L indica que o recipiente de 2 L de volume pode ser utilizado para a produção de mudas de pinhão-manso, por resultar em menor custo.

Critério de seleção de plantas

Pelo fato de o pinhão-manso ainda ser considerado uma espécie em domesticação, não existem variedades comerciais para plantio. Assim, o estabelecimento dos critérios mais apropriados para a seleção de plantas é importante para o melhoramento dessa oleaginosa (Rao et al., 2009). A definição dos critérios para seleção subsidia a caracterização das plantas mais adequadas para plantio assim como a quantificação do progresso genético com a prática da seleção.

A análise de trilha, proposta originalmente por Wright (1934), permite desdobrar os coeficientes de correlação em seus efeitos diretos e indiretos sobre uma caracterís-

tica principal e sua utilização depende da elaboração de um diagrama de causa e efeito, que representa a relação dos caracteres sobre uma característica principal (Cruz et al., 2004). O óleo vegetal é a principal matéria-prima desse cultivo. O volume de óleo produzido pela planta depende da expressão de características produtivas e vegetativas em um determinado ambiente.

Excetuando-se questões analíticas do processo de extração do óleo, seja pela prensagem seja pelo uso de solventes, o rendimento depende essencialmente do teor de óleo e do volume da matéria-prima utilizado na extração. Já em campo, o rendimento de óleo depende da associação conjunta de características vegetativas e produtivas que influenciam seu potencial produtivo.

As características vegetativas do pinhão-mansinho diferenciam-se principalmente em relação aos seguintes aspectos: número de ramos, projeção da copa, altura e volume de copa por árvore. Entre as características de qualidade da matéria-prima, destacam-se o peso de grãos, o peso de amêndoas, o peso de casca e o teor de óleo nos grãos. Visando quantificar os efeitos diretos e indiretos de características vegetativas e de qualidade da matéria-prima sobre o rendimento de óleo, foram caracterizadas 236 plantas selecionadas ao acaso dentro de uma população de pinhão-mansinho com 38 meses de cultivo, em plantio localizado no município de Ariquemes, RO (latitude 9° 55' 24.50 S; longitude 63° 7' 15.58 O e 142 m de altitude).

O clima da região é tropical do tipo Aw, quente e úmido, com período seco bem definido e ocorrência de déficit hídrico nos meses de junho, julho, agosto e setembro. A temperatura média anual é de 25 °C, precipitação média anual de 2.354 mm e evapotranspiração média anual de 851 mm (Normais..., 1992). O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, de textura muito argilosa. O espaçamento adotado no cultivo foi de 2 m x 3 m, e o plantio foi efetuado em covas com mudas de 1 mês de crescimento em viveiro, formadas em sacolas plásticas de 2 L. Os tratamentos culturais, descritos em detalhe por Spinelli et al. (2010), basearam-se nas recomendações de Dias et al. (2007a), com adaptações.

Antes da colheita, aos 38 meses de cultivo, os seguintes caracteres vegetativos foram medidos: altura de plantas (m por árvore), número de ramos secundários, número de ramos terciários, projeção da copa no sentido do maior espaçamento

(m por árvore), projeção da copa no sentido do menor espaçamento (m por árvore) e volume de copa (m³ por árvore). O volume de copa foi estimado pela aproximação do volume de um cilindro de base elíptica:

$$V_{\text{copa}} = \left(\pi \cdot \frac{D_1}{2} \cdot \frac{D_2}{2} \right) h ,$$

em que:

V_{copa} = volume de copa (m³);

h = 3,14159;

D_1 = projeção da copa no maior espaçamento (m);

D_2 = projeção da copa no menor espaçamento (m);

h : altura (m).

Na ocasião da colheita, foram avaliadas individualmente as seguintes características: produtividade de grãos (kg por árvore), peso de casca (g por grão), peso de amêndoas (g por grão), teor de óleo (%) e rendimento de óleo por árvore (mL por árvore) (Figura 2).

As características de qualidade foram avaliadas no Laboratório de Extração de Óleos da Universidade Federal de Rondônia (Unir), em Porto Velho, RO. Os procedimentos de extração de óleo foram realizados com o tritramento das sementes inteiras e dos albúmenes, separadamente, com quantificação gravimétrica. Ambos foram caracterizados segundo normas do Instituto Adolf Lutz (Zenebon et al., 2008) que compreendem umidade e cinzas.

As estimativas da correlação fenotípica entre as características foram calculadas pelos valores do quadrado médio esperado (QME) obtidos na análise de variância, e a sua significância foi avaliada por meio do teste t com $n-2$ graus de liberdade, sendo n o número de genótipos avaliados Cruz et al. (2004). Foi interpretado o grau de multicolinearidade da matriz singular $X'X$ com base no número de condição (NC), de acordo com classificação proposta por Montgomery e Peck (1981).

As estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável principal foram obtidas conforme descrito por Cruz et al. (2004). As relações entre os componentes de produção foram interpretadas de acordo com um diagrama causal que contempla componentes primários e secundários de produção considerando a relação lógica, aditiva entre as variáveis (Figura 3).

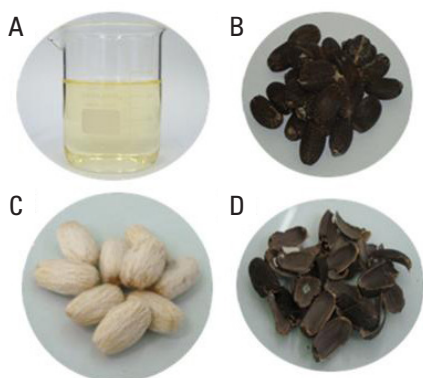


Figura 2. Principais características da planta associadas à produção de óleo. Rendimento de óleo (A), produtividade de grãos (B), peso de amêndoa (C), peso de casca (D) e características vegetativas (E): D_1 = diâmetro 1; D_2 = diâmetro 2; h = altura; RP = ramos primários; RS = ramos secundários.



Fotos: Rodrigo Barros Rocha

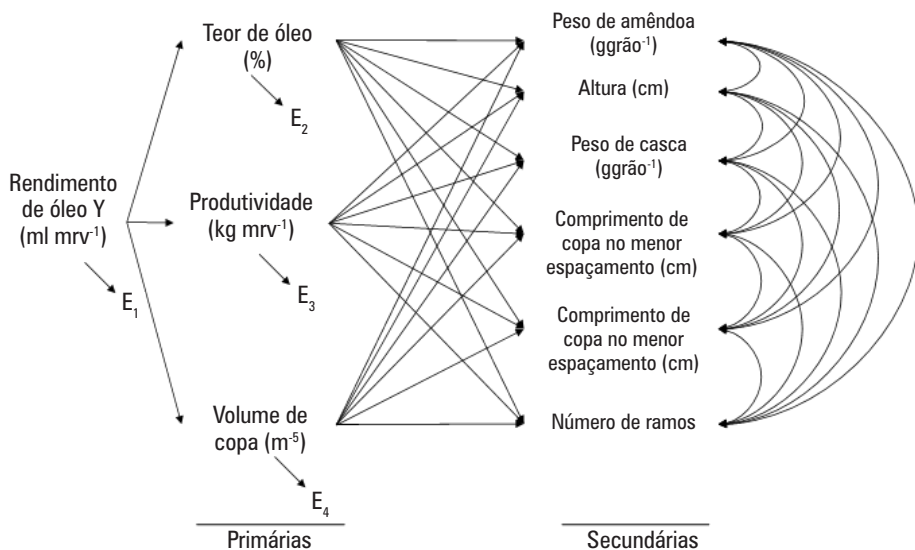


Figura 3. Diagrama ilustrativo que representa nas setas unidirecionais os efeitos diretos de três variáveis explicativas sobre a variável principal – rendimento de óleo. As setas bidirecionais representam os efeitos indiretos quantificados pelos coeficientes de correlação fenotípica.

O NC indicou a ocorrência de multicolinearidade severa no conjunto inicial de características (NC = 5.022). O descarte das características “peso de óleo nos grãos” e “peso de grãos” resultou na redução do número condição (NC = 96), que, segundo Montgomery e Peck (1981), não indica problemas para a análise de trilha.

No diagrama causal, as setas que partem do rendimento do óleo indicam os componentes primários, definidos pelo teor de óleo, pela produtividade de grãos e pelo volume de copa. As setas que se inter-relacionam (Figura 3) representam a relação entre os componentes secundários: peso da amêndoa, peso da casca, altura, projeção da copa no sentido de menor espaçamento, projeção da copa e número de ramos.

Observou-se que os componentes de produção influenciaram, de maneira direta ou indireta, o produto principal do cultivo (Tabela 5). A produtividade de grãos e o peso de amêndoas apresentaram efeito direto e positivo sobre a característica principal. A soma dos efeitos diretos e indiretos da produtividade de grãos foi superior à soma dos efeitos das outras características, seguido pelo teor de óleo e pelo volume de copa (Tabela 5).

A magnitude do efeito direto da produtividade de grãos sobre o rendimento de óleo mostrou que a produção de grãos é a característica mais importante para a seleção de plantas de maior rendimento de óleo. O valor observado do coeficiente de determinação indica que a maior parte da variabilidade da característica principal do cultivo foi explicada pela variação das características primárias do diagrama, indicando eficiência na decomposição das relações de causa e efeito dos componentes de produção dessa oleaginosa.

Dos três componentes primários de produção, o volume de copa apresentou o menor efeito direto sobre o rendimento de óleo. Caracteres com valores de correlação considerados elevados (acima de 0,7), mas com baixo efeito direto, indicam que a seleção truncada na característica auxiliar pode não proporcionar ganhos satisfatórios na característica principal, no caso o rendimento de óleo (Resende, 2002). Nesses casos devem-se utilizar índices de seleção, considerando-se os caracteres de efeito indiretos significativos.

Apesar do pequeno efeito direto sobre o rendimento de óleo, o volume de copa foi a característica mais importante para a produtividade de grãos (Tabela 6). Em geral, a arquitetura de copa é considerada uma característica importante para o cultivo do pinhão-manso, e trabalhos vêm sendo realizados com o objetivo de descrever práticas de poda mais apropriadas para esse cultivo. No entanto, poucos trabalhos avaliaram a diferença entre a arquitetura das plantas, considerando-se conjuntamente a relação entre a projeção e a altura da copa.

Tabela 5. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos componentes primários “produtividade”, “teor de óleo” e “volume de copa” sobre o rendimento de óleo em pinhão-manso.

Característica	Efeito direto	Efeitos indiretos			Efeitos totais
		Produtividade de grãos	Teor de óleo	Volume de copa	
Produtividade de grãos	0,923		-0,006	-0,002	0,915
Teor de óleo	0,176	-0,035		0,001	0,142
Volume de copa	-0,005	0,429	-0,021		0,403
R ²	0,9048				
Efeito residual	0,0724				

R² = coeficiente de determinação.

Tabela 6. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das características secundárias (altura, projeção da copa no sentido do menor espaçamento, projeção da copa no sentido do maior espaçamento, número de ramos, peso de casca, peso de amêndoas) sobre as características primárias (produtividade, teor de óleo e volume) de copa do pinhão-manso.

Característica	Efeito direto	Efeitos indiretos					Efeitos totais	
		Altura	P ₁	P ₂	Ramos	Peso de casca		Peso de amêndoas
Produtividade de grãos								
Altura	0,059		-0,074	0,218	0,091	-0,001	-0,007	0,286
P1	-0,142	0,031		0,2552	0,102	0,008	-0,003	0,252
P2	0,353	0,033	-0,102		0,107	-0,001	-0,006	0,384
Ramos	0,211	0,025	-0,068	0,178		-0,014	-0,012	0,320
Peso de casca	0,162	-0,001	-0,007	-0,001	-0,019		0,080	0,214
Peso de amêndoas	0,097	-0,004	0,001	-0,022	-0,027	0,1337		0,178
R ²	0,236							
Efeito residual	0,874							
Teor de óleo								
Altura	0,094		-0,096	0,682	-0,116	0,003	-0,04	-0,087
P1	-0,082	0,0493		0,0866	-0,129	-0,023	-0,079	-0,178
P2	0,121	0,0533			-0,135	0,001	-0,0364	0,004
Ramos	-0,268	0,041	-0,088	0,061		0,043	-0,076	-0,287
Peso de casca	-0,480	-0,001	-0,009	-0,001	0,238		0,496	0,243
Peso de amêndoas	0,600	-0,006	0,006	-0,007	0,034	-0,397		0,230
R ²	0,414							
Efeito residual	0,685							

Continua...

Tabela 6. Continuação.

Característica	Efeito direto	Efeitos indiretos					Efeitos totais
		Altura	P ₁	P ₂	Ramos	Peso de casca	
Volume de copa							
Altura	-0,082	0,2132	0,3488	0,0221	-0,001	0,004	0,505
P1	0,405	-0,043	0,443	0,025	0,004	0,002	0,836
P2	0,614	-0,047	0,2927	0,0258	-0,001	0,004	0,889
Ramos	0,051	-0,036	0,195	0,3101	-0,008	0,007	0,519
Peso de casca	0,091	0,0191	-0,001	-0,005	0,001	-0,047	0,058
Peso de amêndoas	-0,057	0,006	-0,012	-0,038	-0,007	0,075	-0,033
R ²	0,877						
Efeito residual	0,351						

R² = coeficiente de determinação; P₁ = projeção da copa no menor espaçamento; P₂ = projeção da copa no maior espaçamento.

A avaliação do volume de copa permitiu quantificar o crescimento das plantas tendo em vista a variabilidade observada em campo e o efeito da compensação de crescimento da árvore, uma vez que foram observadas árvores altas de copas estreitas e árvores baixas de copas mais largas. O volume de copa apresentou efeito direto superior ao dos seus componentes individuais sobre a produtividade de grãos, mostrando-se mais importante do que a altura e a projeção da copa para seleção de plantas.

Em relação aos efeitos dos componentes secundários sobre os primários, observou-se que estes últimos explicam com bom ajuste a variação do volume de copa e com menor ajuste o teor de óleo e a produtividade de grãos. A projeção da copa no sentido do maior espaçamento apresentou o maior efeito direto tanto para volume de copa quanto para a produtividade de grãos, comparado com a projeção da copa no sentido do menor espaçamento (Tabela 6). A utilização do espaçamento desigual entre linhas (3 m x 2 m) resultou no maior desenvolvimento de ramos e crescimento desigual da copa no sentido do maior espaçamento.

Uma das estratégias que vem sendo considerada para reduzir os custos de colheita do pinhão-manso é o aumento da produtividade por árvore. A limitação no crescimento da planta provocada pelo menor espaçamento do plantio indica que práticas de manejo que objetivam o aumento da produtividade por árvore em plantios com três ou mais anos de cultivo devem considerar a utilização de espaçamentos mais amplos, visando ao maior desenvolvimento da copa da árvore.

Entre os componentes secundários, o peso de casca e o peso de amêndoas apresentaram associação com o componente primário teor de óleo (Tabela 6). De maneira geral, observou-se que os caracteres vegetativos não apresentaram associação com esse componente. No entanto, a variabilidade dessas características deve ser mantida na seleção dos materiais mais produtivos para permitir ganhos em novos ciclos de seleção (Tabela 7).

Tabela 7. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das características secundárias (altura, projeção da copa no sentido do menor espaçamento, projeção da copa no sentido do maior espaçamento, número de ramos, peso de casca e peso de amêndoas) sobre a variável principal (rendimento de óleo).

Característica	Efeito direto	Efeitos indiretos					Efeitos totais
		Altura	P ₁	P ₂	Ramos	Peso de casca	
Rendimento de óleo							
Altura	0,08	-0,086	0,201	0,0746	-0,0001	-0,013	0,256
P ₁	-0,064	0,042	0,156	0,083	0,004	-0,006	0,215
P ₂	0,353	0,045	-0,012	0,087	-0,001	-0,012	0,354
Ramos	0,172	0,035	-0,079	0,1787	-0,008	-0,024	0,275
Peso de casca	0,092	-0,001	-0,007	-0,007	-0,015	0,15668	0,149
Peso de amêndoas	0,189	-0,005	0,0049	-0,022	-0,022	0,0765	0,222
R ²	0,32						
Efeito residual	0,78						

R² = coeficiente de determinação; P₁ = projeção da copa no menor espaçamento; P₂ = projeção da copa no maior espaçamento.

A quantificação da resposta correlacionada com a prática da seleção é um dos principais benefícios do estudo da associação de características produtivas, permitindo utilizar as estimativas dos efeitos diretos e indiretos na confecção de índice de seleção para obtenção de ganhos em rendimento de óleo, pelo aumento da produtividade, do volume de copa e mantendo a variabilidade genética para teor de óleo.

A partir desses resultados, foi possível observar que a seleção de plantas mais produtivas e a utilização de práticas de manejo que favoreçam maior desenvolvimento da copa são importantes para alcançar maiores rendimentos de óleo. Observou-se também que a seleção de plantas deve considerar, além da maior relevância dessas características na atribuição de pesos, a manutenção da variabilidade das características de qualidade, tais como o teor de óleo na semente, visando subsidiar a obtenção de ganhos futuros.

Desempenho produtivo

A baixa produção de grãos e a desuniformidade na maturação dos frutos de pinhão-manso limitam a viabilidade desse cultivo. A decomposição dos componentes de produção dessa oleaginosa mostrou que mais de 90% do rendimento de óleo depende da produtividade de grãos. Da expectativa inicial de produção de grãos de 4 t ha⁻¹ ou mais, produções inferiores a 2 t ha⁻¹ estão sendo observadas em diferentes condições edafoclimáticas, em razão de limitações hídricas, ataques de pragas e doenças e, sobretudo, inexistência de cultivares melhorados.

Apesar da baixa diversidade genética molecular quantificada em acessos da Índia (Basha et al., 2009) e do Brasil (Rosado et al., 2010), fontes de variabilidade para resistência ao oídio, para ausência de toxidez nas sementes e para a proporção de flores masculinas e femininas têm sido relatadas e caracterizadas em campo (Juhász et al., 2009; Laviola et al., 2010). Outros trabalhos têm confirmado uma expressiva faixa de variação na produção de grãos dessa oleaginosa, entre 0,2 kg a 2 kg por planta (Francis et al., 2005; Jongschaap et al., 2009).

A caracterização dos acessos de maior produção de grãos tem sido objeto de vários trabalhos de pesquisa. Drumond et al. (2010) caracterizaram acessos responsivos à melhoria ambiental que produziram, aos 12 meses de plantio, 2,12 kg por planta de grãos em sistema irrigado. Por sua vez, em condições de Cerrado e sem irrigação, Laviola et

al. (2010) observaram variação na produção de grãos entre 0 kg a 0,18 kg por planta no primeiro ano de avaliação de 110 acessos. Com base nos parâmetros genéticos, Laviola et al. (2012) concluíram sobre a necessidade de avaliações do rendimento de grãos em indivíduos com idade superior a 12 meses para a seleção de genótipos superiores.

Rao et al. (2009) observaram valores de correlação positiva entre a produtividade e a altura da planta e entre o número de ramos e a proporção de flores masculinas e femininas. O número de ramos foi a característica que apresentou maior associação com a produção de grãos em acessos no 3º ano de plantio. Por sua vez, Freitas et al. (2011) também descreveram associações entre a altura, o diâmetro da copa e o número de ramos das plantas.

Com o objetivo de quantificar o desempenho produtivo e sua estabilidade, foi avaliada a produção de grãos em população estruturada em família de meias-irmãs, no 1º, 2º e 3º ano de cultivo. O experimento foi instalado em fevereiro de 2008, no campo experimental do Centro de Pesquisas Agroflorestais (Cpafro) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Porto Velho, RO. O ensaio está representado por famílias de meias-irmãs de pinhão-manso, oriundas de uma população composta de sementes crioulas, sem origem genética conhecida, selecionadas visualmente no município de Ariquemes, RO. O manejo do plantio foi realizado conforme recomendações de Dias et al. (2007a) com adaptações. Uma descrição detalhada foi apresentada por Spinelli et al. (2015).

Pelo fato de a maturação desuniforme dos frutos ser uma característica dessa oleaginosa, na região a planta frutifica durante todo o período chuvoso, que vai de novembro a início de junho (Figura 4). O rendimento de grãos foi avaliado em três anos agrícolas (2009, 2010 e 2011), com a realização de seis colheitas (dez./2009, fev./2009, jun./2009, jan./2010, jun./2010, dez./2011). A colheita de junho de 2011 não foi realizada por causa do ataque de cigarrinha (*Empoasca* spp.) ocorrido no período de florescimento e enchimento de grãos, de março a maio de 2011, o qual comprometeu a produção.

Os frutos em estágio final de maturação foram colhidos nas árvores e nas projeções das suas copas. Os frutos colhidos foram secos à sombra por aproximadamente 7 dias, quando foram beneficiados. Após o beneficiamento, a umidade das sementes foi mensurada em determinador Dole 500. Lotes de sementes com teor de umidade inferior a 9% tiveram seu peso avaliado.



Figura 4. A) diferentes estágios de maturação dos frutos de pinhão-mansô; B) fruto maduro em estágio final de maturação contendo três sementes.

Na interpretação dos dados, foram consideradas as avaliações realizadas nos três anos agrícolas. Os dados de produção de grãos foram submetidos à análise de variância em modelo de parcela subdividida, alocando-se blocos e famílias na parcela e anos de produção na subparcela. As médias de produção foram agrupadas com o teste de Scott & Knott (1974), a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do programa computacional Genes (Cruz; Regazzi, 2001). Na análise de estabilidade, foi utilizado o método de Lin & Binns, modificado por (Carneiro, 1998).

Utilizado para inferir a precisão experimental, o coeficiente de variação (CV) apresentou magnitude menor do que o observado em outros trabalhos. Valores entre 25% e 35% foram obtidos por Juhász et al. (2009) e por Laviola et al. (2010) em diferentes condições edafoclimáticas. A menor estimativa do coeficiente de variação observado neste trabalho deve-se à avaliação de médias de famílias na interpretação do desempenho produtivo do pinhão-mansô.

Segundo Jongschaap et al. (2009), a grande variação observada na produção de grãos dessa oleaginosa deve-se principalmente a diferenças nas condições edafoclimáticas dos seus plantios, estabelecidos em uma extensa faixa entre as latitudes de 30° N e 35° S. No entanto, mesmo em um único ambiente, observa-se grande variação na produção de grãos. Os resultados da análise de variância indicam que os efeitos de famílias e de anos de produção foram significativos, a 1% de probabilidade, para a produção de grãos desse cultivo. Por sua vez, o efeito da interação famílias x anos não foi significativo,

indicando que as famílias mantiveram seu desempenho relativo ao longo do tempo e que os fatores avaliados, famílias e anos, podem ser interpretados separadamente (Tabela 8).

Em contraste com a baixa diversidade genética quantificada por técnicas de marcadores moleculares (Rosado et al., 2010), avaliações agronômicas têm mostrado variabilidade dos componentes da produção do pinhão-mansão (Mishra, 2009). Brittain e Litaladio (2010) e Jongschaap et al. (2009) reportaram acessos que apresentaram variação em sua produtividade de 0,2 kg a 2 kg por planta de grãos. Embora a utilização de marcadores moleculares permita uma rápida quantificação da diversidade genética, a caracterização de variações aleatórias do genoma da planta não está necessariamente associada aos caracteres de interesse agrônomo (Resende; Duarte, 2007). A existência de variabilidade genética é condição básica para obtenção de ganhos com a seleção. Segundo Resende (2002), a interpretação de medições ao longo do tempo é fundamental para a caracterização do desempenho produtivo de espécies vegetais perenes que apresentam longo ciclo reprodutivo e expressão diferenciada dos caracteres ao longo do tempo.

De acordo com Brittain e Litaladio (2010), o pinhão-mansão necessita de 3 a 4 anos para atingir a idade produtiva, e poucos trabalhos quantificaram a produção de árvores com mais de 3 anos de plantio. A interpretação das médias de produção das famílias no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio evidencia uma tendência das famílias mais produtivas em manter sua superioridade ao longo do tempo e uma redução na produção de grãos no 4º ano de plantio (Tabela 8 e Figura 5).

O desempenho produtivo das famílias foi comparado pelo teste de Scott e Knott (1974) a 1% de probabilidade para classificar o desempenho em grupos mutuamente exclusivos (Tabela 8). Os resultados do teste indicam que as médias das famílias se diferenciaram nos três anos e que a produtividade foi reduzida significativamente no 4º ano, igualando-se à produtividade do 2º ano.

É importante considerar que, além das diferenças observadas nas médias das famílias nos três anos de produção, podem existir plantas que se destacam individualmente dentro das famílias. Segundo Resende (2002), os métodos de seleção de plantas perenes devem priorizar os indivíduos, como unidade de seleção, em relação às famílias, visando maximizar o ganho, pela propagação vegetativa das plantas de valor genético superior.

Tabela 8. Resumo da análise de variância da produção de grãos de *Jatropha curcas* L., avaliada no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio.

FV	gl	SQ	QM	F
Blocos	2	179.210		
Famílias	15	709.139	47.275	2,17**
Erro a	30	531.997		
Anos	2	4.193.366	2.096.683	353,64**
Famílias x anos	30	177.862	5.928	1,44 ^{NS}
Erro b	64	263.438		
Total	143			
Média	590,26			
CVa (%)	22,56			
CVb (%)	10,87			

** Significativo a 1% de probabilidade.

FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma de quadrados, QM: quadrado médio, CVa: coeficiente de variação da parcela, CVb: coeficiente de variação da subparcela.

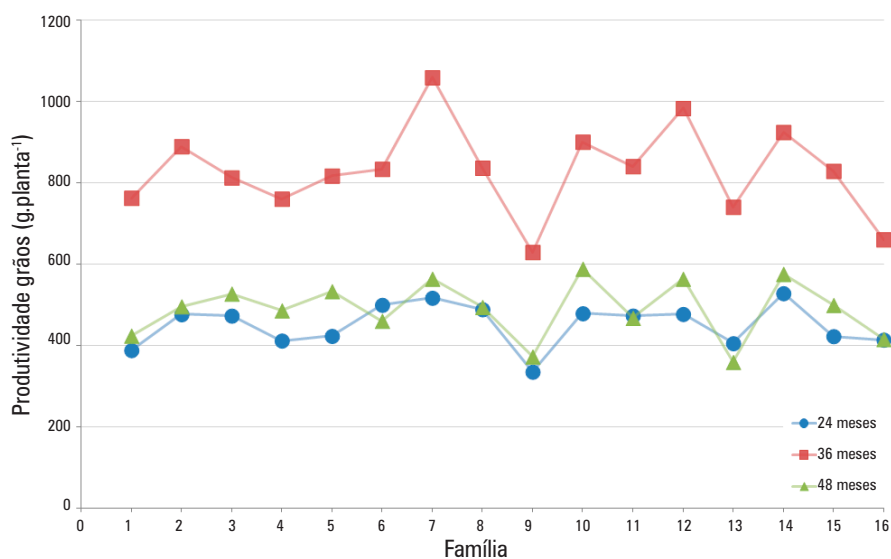


Figura 5. Representação gráfica das médias de produção de grãos das 16 famílias de *Jatropha curcas* L., no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio.

Progresso genético: Características agronômicas

Embora a expectativa inicial fosse de 4 t ha⁻¹ de grãos ou mais, produções inferiores a 2 t ha⁻¹ estão sendo observadas em diferentes condições edafoclimáticas, seja por limitações hídricas seja por ataques de pragas e doenças. A incidência de oídio (*Oidium* sp.) em regiões de cerrado e o ataque da cigarrinha-verde (*Empoasca* spp.) têm sido observados em plantios em diversas regiões do mundo, inclusive no Brasil (Dias et al., 2007b; Laviola et al., 2010).

Fontes de variabilidade para resistência a oídio, para ausência de toxidez nas sementes e para proporção de flores masculinas e femininas têm sido caracterizadas (Laviola et al., 2012). Diferentes estratégias vêm sendo utilizadas para a seleção de materiais. Drummond et al. (2010) caracterizaram acessos responsivos à melhoria ambiental que produziram, no 1º ano pós-plantio, 2,1 kg de grãos por planta em sistema irrigado. Por sua vez, em condições de Cerrado e sem irrigação, Laviola et al. (2010) observaram variação na produção de grãos de 0 g a 180 g por planta no 1º ano de avaliação.

A utilização de medidas repetidas e a avaliação de plantas em idade produtiva são importantes para obtenção de estimativas mais acuradas da produção de grãos. Nesse caso, a estimação do coeficiente de repetibilidade, que mensura a capacidade do indivíduo de manter sua superioridade ao longo do tempo, é especialmente útil (Cruz; Regazzi, 2001). Segundo Resende e Duarte (2007), a utilização de medidas repetidas e a estratificação ambiental aumentam a acurácia da seleção massal, subsidiando a obtenção de estimativas do progresso genético e do número mínimo de avaliações. Na seleção de plantas de maior estabilidade e adaptabilidade, tem sido utilizado o método da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos preditos (MHPRVG). Esse método permite realizar a seleção simultânea de plantas de desempenho superior e de estabilidade produtiva, porém agrega as vantagens dos modelos mistos (Resende, 2002).

A seleção de plantas baseia-se nos valores genéticos aditivos das matrizes que serão recombinadas e nos valores genotípicos dos genótipos que podem ser propagados vegetativamente. Para a predição dos ganhos com a seleção, é necessário estimar a variância genética aditiva e a variância genética não aditiva, dependendo do método de propagação utilizado. O sucesso do melhoramento genético depende da acurácia da seleção dos indivíduos portadores de maior número de alelos favoráveis. Entre os principais

procedimentos para a estimação dos parâmetros genéticos, destaca-se a máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viesada (REML/Blup). Esse procedimento tem-se consolidado na avaliação genética de espécies perenes, por permitir a predição de valores genéticos associada às observações fenotípicas, ajustando-se os dados aos efeitos fixos e ao número desigual de informações por parcela.

No intuito de caracterizar o progresso genético com a seleção de plantas, foram estimados os parâmetros genéticos de características produtivas e de qualidade da matéria-prima no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio. Para isso foi instalado um experimento em fevereiro de 2008, no campo experimental do Cpafr, na Embrapa-, em Porto Velho, RO. O ensaio está representado por famílias de meias-irmãs de pinhão-manso, oriundas de uma população composta de sementes crioulas de origem genética desconhecida, a partir de plantas selecionadas visualmente no município de Ariquemes, RO. Avaliaram-se 16 famílias de meias-irmãs, no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio, instaladas em blocos ao acaso com três repetições, parcelas lineares de oito plantas e espaçamento de 3,0 m x 2,0 m. O manejo do plantio foi realizado conforme recomendações de Dias et al. (2007a) com adaptações. A colheita e o manejo do experimento foram realizados conforme descrito no tópico anterior. Spinelli et al. (2015) descrevem de forma detalhada o manejo e as condições edafoclimáticas.

Os frutos em estágio final de maturação foram colhidos nas árvores e nas projeções das suas copas, secos à sombra por aproximadamente 7 dias e depois beneficiados. Após o beneficiamento, a umidade das sementes foi mensurada. Lotes de sementes com teor de umidade inferior a 9% foram pesados e anotados, resultando na produção de grãos (PG). O número de frutos maduros foi interpretado como um índice de maturação de frutos (IM), estimado pela razão do número de frutos maduros e o total de frutos produzidos. Também foi avaliado o número de frutos por cachos (F/C). Os seguintes caracteres vegetativos foram medidos em nível de indivíduo: a) altura de plantas (ALT), em m; b) número de ramos (NR), contados aqueles acima de 1 m de altura da planta a partir do solo; c) projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P_1), em m; d) projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P_2), em m.

Para estimação dos componentes de variância, utilizou-se o método REML, enquanto a predição dos valores genéticos foi processada com o método Blup, conforme descrito por Resende (2002). A herdabilidade em sentido restrito mensura a proporção

relativa dos efeitos genotípicos na expressão das características. É um dos componentes mais importantes da expressão do progresso genético com a seleção de plantas:

$$h_a^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2 + \sigma_p^2}$$

em que:

h_a^2 = herdabilidade em sentido restrito;

σ_a^2 = variância genética aditiva;

σ_e^2 = variância ambiental;

σ_p^2 = variância entre parcelas.

A avaliação de medidas repetidas no tempo é de grande importância para o melhoramento de espécies perenes, pois permite quantificar a manutenção da superioridade de um genótipo ao longo do tempo. Nesses casos, a seleção deve se basear em modelos que considerem o efeito permanente do ambiente e a correlação fenotípica entre medidas repetidas de mesmo indivíduo, denominada de repetibilidade (Resende, 2002).

Para seleção entre famílias e dentro delas, foi considerado o procedimento da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRVG), visando selecionar, simultaneamente, para produtividade e estabilidade. Este método baseia-se em uma propriedade da média harmônica que favorece os genótipos de valor genético superior que apresentam menor variação entre as colheitas (Resende 2002).

Nos programas modernos de melhoramento vegetal, o planejamento e a condução dos experimentos se fundamentam na interpretação das estimativas dos parâmetros genéticos que permitem inferir a qualidade experimental, a proporção da variância total decorrente das diferenças genéticas e a predição do ganho com a seleção de plantas. Em plantas perenes, a estimação dos parâmetros genéticos deve considerar medições ao longo do tempo, plantio adensado e plantas em idade produtiva.

A variância genética aditiva é um dos componentes mais importantes da variância genotípica. A relação entre a variância genética aditiva (V_a) e a variância fenotípica (V_f), denominada de herdabilidade em sentido restrito, mensura a contribuição dos genes na

expressão das características. No 2º ano pós-plantio, maiores estimativas de herdabilidade em sentido restrito foram observadas na maioria das características avaliadas (Tabela 9). De maneira geral, observa-se coincidência com o ordenamento das estimativas de herdabilidade no 3º ano pós-plantio ($F/C \geq NR \geq PG \geq ALT \geq P1 \geq NC \geq P2 \geq IM$) (Tabelas 9 e 10). Esse ordenamento indica a utilidade dessas características para a seleção de plantas, uma vez que a variância genética aditiva está associada ao efeito médio de substituição gênica obtido com a recombinação das plantas selecionadas.

Tabela 9. Parâmetros genéticos estimados no 2º ano pós-plantio, dos principais componentes de produção em *Jatropha curcas*.

Parâmetro ⁽²⁾	Componentes de produção ⁽¹⁾							
	PG	NC	F/C	IM	NR	ALT	P ₁	P ₂
V _a	7.908,79	35,51	1,84	0,00264	10,55	0,0170	0,045	0,0005
V _{parc}	524,12	0,208	0,27	0,00025	0,46	0,0001	0,001	0,0001
V _e	12.540,38	78,65	1,39	0,03327	13,44	0,0270	0,034	0,0720
V _f	20.973,29	114,37	3,50	0,03616	24,45	0,0441	0,080	0,0725
h ² _a	0,38	0,31	0,52	0,07	0,43	0,39	0,56	0,01
	[0,18]	[0,16]	[0,20]	[0,07]	[0,18]	[0,18]	[0,30]	[0,01]
c ² _{parc}	0,024	0,001	0,077	0,01	0,018	0,002	0,016	0,00012
Acurácia	0,49	0,45	0,56	0,22	0,51	0,5	0,57	0,72
CV _g	19,73	15,16	33,06	7,34	30,16	6,45	24,99	2,66
CV _e	31,72	27,18	43,85	27,07	45,48	10,38	33,11	32,05
CV _r	0,62	0,56	0,75	0,27	0,66	0,62	0,75	0,08
Média geral	450,85	39,31	4,1	0,70	10,77	2,02	0,85	0,84

⁽¹⁾ PG = produção de grãos; NC = número de cachos da primeira colheita do ano; F/C = número de frutos por cacho da primeira colheita do ano; IM = índice de maturação; NR = número de ramos; ALT = altura de plantas; P₁ = projeção de copa no menor espaçamento; P₂ = projeção de copa no maior espaçamento.

⁽²⁾ V_a = variância genética aditiva; V_{parc} = variância ambiental entre parcelas; V_e = variância residual; V_f = variância fenotípica individual; h²_a = herdabilidade individual no sentido restrito; c²_{parc} = coeficiente de determinação dos efeitos da parcela; CV_g = coeficiente de variação genético; CV_e = coeficiente de variação residual; CV_r = coeficiente de variação relativo.

No 2º ano pós-plantio, as características ALT, NR e P_1 apresentaram valores de herdabilidade em sentido restrito entre 0,39, 0,43 e 0,56, indicando a importância do componente genético aditivo na sua expressão (Tabela 9). Laviola et al. (2010) observaram que características vegetativas apresentaram maiores estimativas de herdabilidade em sentido restrito. No entanto, observou-se tendência de redução nessas estimativas com o passar do tempo.

A utilização de espaçamento de 2 m entre plantas reduziu o crescimento da projeção de copa das plantas a partir do 2º ano pós-plantio, tendo limitado a avaliação dessa característica nos anos subsequentes. A avaliação de plantas em espaçamentos menos restritos mostra tendência contrária à observada, no caso de aumento da herdabilidade com o passar dos anos. Ginwal et al. (2005) quantificaram estimativa de herdabilidade em sentido amplo de 0,89 para a altura em plantas avaliadas aos 6 meses de idade, e 0,97 aos 24 meses de plantio. Rao et al. (2009) encontraram herdabilidade em sentido amplo de 0,88 para altura de planta aos 34 meses de plantio.

Ainda considerada uma planta em fase de domesticação, a sustentabilidade desse cultivo depende de aumento qualitativo da produtividade. Associações positivas entre o número de ramos e a altura de plantas com produtividade foram observadas por Rao et al. (2009) e por Spinelli et al. (2015). Os coeficientes de variação da produção de grãos indicam que a magnitude do erro experimental é semelhante ao observado em outros trabalhos (Juhász et al., 2009; Laviola et al., 2010). Características provenientes de contagens, tais como número de ramos e índice de maturação, tendem a apresentar maiores valores de coeficiente de variação (Cruz; Regazzi, 2001). De maneira geral, para essas características, observa-se tendência de redução dos valores do coeficiente de variação ambiental a partir do 2º ano pós-plantio.

O coeficiente de variação genética expressa a magnitude da variação genética em relação à média do caráter, além de indicar a presença de variabilidade genética na população avaliada (Tabelas 9 e 10). Já o coeficiente de variação relativa (CV_r) mensura a relação entre o coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação ambiental. No 2º ano pós-plantio, maiores relações entre os coeficientes de variação genético e experimental foram observadas para as seguintes características: $P1 = F/C \geq NR \geq ALT = PG \geq NC \geq IM \geq P2$ (Tabela 9). O maior valor dessa estimativa está associado às características com maiores possibilidades de obtenção de ganhos com a seleção.

O índice de maturação dos frutos, que representa o percentual de frutos maduros no momento da colheita, indica predominância do efeito ambiental no desenvolvimento dos frutos dessa oleaginosa (Tabelas 9 e 10). A desuniformidade de maturação dos frutos é uma característica dessa oleaginosa que floresce constantemente durante o período das chuvas, e a colheita é realizada após o acúmulo de três a quatro floradas de maior vigor. A predominância do componente ambiental em relação ao componente genético indica pequenos ganhos com a seleção dessa característica.

Tabela 10. Estimativas de parâmetros genéticos estimados no 3º ano pós-plantio, dos principais componentes de produção em *Jatropha curcas*.

Parâmetro ⁽²⁾	Componentes de produção(1)							
	PG	NC	F/C	IM	NR	ALT	P ₁	P ₂
V _a	36.175,26	12,9405	0,4025	0,0001	20,05	0,021	0,021	0,0005
V _{parc}	9.037,61	2,459	0,009	0,0000	0,029	0,0000	0,00018	0,0001
V _e	45.144,74	53,148	0,326	0,0160	19,87	0,047	0,0567	0,081
V _f	90.357,61	68,55	0,7375	0,0161	39,949	0,068049	0,07788	0,0816
h ² _a	0,40	0,19	0,55	0,01	0,50	0,31	0,27	0,01
	[0,18]	[0,12]	[0,21]	[0,01]	[0,19]	[0,15]	[0,15]	[0,01]
c ² _{parc}	0,10	0,03	0,01	0,00	0,07	0,01	0,02	0,01
Acurácia	0,50	0,35	0,57	0,07	0,54	0,44	0,43	0,06
CV _g	22,90	13,66	17,10	1,57	17,91	5,31	4,88	0,78
CV _e	34,34	30,86	23,01	18,94	25,27	9,55	9,39	9,95
CV _r	0,67	0,44	0,74	0,08	0,71	0,56	0,52	0,08
Média geral	830,53	26,34	3,71	0,67	25,00	2,73	2,97	2,87

⁽¹⁾ PG = produção de grãos; NC = número de cachos da primeira colheita do ano; F/C = número de frutos por cacho da primeira colheita do ano; IM = índice de maturação; NR = número de ramos; ALT = altura de plantas; P₁ = projeção de copa no menor espaçamento; P₂ = projeção de copa no maior espaçamento. ⁽²⁾ V_a = variância genética aditiva; V_{parc} = variância ambiental entre parcelas; V_e = variância residual; V_f = variância fenotípica individual; h²_a = herdabilidade individual no sentido restrito; c²_{parc} = coeficiente de determinação dos efeitos da parcela; CV_g = coeficiente de variação genético; CV_e = coeficiente de variação residual; CV_r = coeficiente de variação relativo.

Por sua vez, o número de frutos por cacho apresentou maior potencial para seleção do que o número de cachos por planta, diferentemente do observado por Borges et al. (2014). Em população estruturada em procedências, esse autor não observou variabilidade genética para número de frutos por cacho. No presente estudo, a avaliação de famílias de meias-irmãs permite explorar a variância genética aditiva na seleção de plantas para obtenção de ganhos em características de menor herdabilidade, aumentando a possibilidade de obter ganhos com a seleção (Tabela 11).

Tabela 11. Estimativas de parâmetros genéticos da produção de grãos (g por planta) e das principais características de arquitetura de copa avaliadas em *Jatropha curcas*, no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio.

Parâmetro ⁽²⁾	Componentes de produção ⁽¹⁾			
	PG	ALT	P ₁	P ₂
V _a	17.842,89	0,01463	0,0023	0,0001
V _{parc}	8.053,09	0,01097	0,04479	0,00001
V _{perm}	3.715,24	0,00004	0,00006	0,00006
V _e	27.449,98	0,04016	0,074	0,018
V _f	57.061,2	0,0658	0,12115	0,01817
h ² _a	0,31	0,22	0,02	0,01
	[0,10]	[0,08]	[0,01]	[0,01]
r	0,52	0,39	0,38	0,02
	[0,06]	[0,05]	[0,06]	[0,06]
c ² _{parc}	0,14	0,16	0,36	0,16
c ² _{perm}	0,06	0,0007	0,0005	0,001
Média geral	222,96	2,78	2,40	2,19

⁽¹⁾ PG = produção de grãos; ALT = altura de plantas; P₁ = projeção de copa no menor espaçamento; P₂ = projeção de copa no maior espaçamento.

⁽²⁾ V_a = variância genética aditiva; V_{parc} = variância ambiental entre parcelas; V_{perm} = variância dos efeitos permanentes de ambiente; V_e = variância residual; V_f = variância fenotípica individual; h²_a = herdabilidade individual no sentido restrito; r = repetibilidade individual; c²_{parc} = coeficiente de determinação dos efeitos da parcela; c²_{perm} = coeficiente de determinação dos efeitos permanentes de ambiente.

Avaliações agrônômicas têm mostrado variabilidade dos componentes da produção de pinhão-mansó (Mishra, 2009). No entanto, mesmo em um único ambiente, observou-se que o plantio de materiais não selecionados é um importante fator de variação da produção de grãos. Dos 384 genótipos avaliados no presente estudo, 40 deles (10%) produziram menos de 300 g de frutos por ano, sem apresentar resposta à melhoria do ambiente. A seleção de genótipos responsivos à melhoria ambiental é fator determinante para o aumento da produtividade dessa oleaginosa. Melhorias nas condições do experimento foram obtidas pela calagem em área total e adubação química por cobertura realizada antes das principais colheitas, conforme resultados das análises de solo realizadas de agosto de 2008 a setembro de 2010 (Tabela 12).

Tabela 12. Atributos químicos do solo na camada de 0 cm a 20 cm, avaliados em 2009, 2010 e 2011, na área experimental localizada no município de Porto Velho, RO.

Data	pH	P mg/dm ³	K	Ca ----- mmol _c dm ⁻³ -----	Mg ----- mmol _c dm ⁻³ -----	Al + H ----- -----	Al	MO g kg ⁻¹	V %
9/2009	4,4	3,0	2,54	13,1	9,7	174,9	33,6	23,1	13
9/2010	4,8	2,0	1,03	26,3	17,0	108,9	14,8	25,2	29
9/2011	5,0	2,0	1,23	45,1	21,5	90,8	6,8	27,4	43

P = fósforo (Mehlich⁻¹); K = potássio trocável (Mehlich⁻¹); Ca = cálcio trocável; Mg = magnésio trocável; Al + H = acidez titulável; Al = alumínio trocável; MO = matéria orgânica; V = saturação por bases.

De acordo com Brittain e Lotaladio (2010), o pinhão-mansó necessita de 3 a 4 anos para atingir a idade produtiva. Jongschaap et al. (2009) e Laviola et al. (2012) observaram coeficiente de repetibilidade entre 0,4 e 0,6 para produção de grãos de *J. curcas*, valores esses compatíveis com a estimativa obtida neste trabalho ($\rho=0,52$). A correlação entre os valores genotípicos verdadeiros e os valores estimados, interpretada como a acurácia do procedimento de seleção, quantifica a eficácia da inferência do valor genotípico em função do número de colheitas avaliadas. Segundo classificação de Resende (2002), o valor da acurácia da seleção evidenciou precisão satisfatória nas inferências dos valores genotípicos ($r_{gg}=0,68$), indicando que a condução experimental foi apropriada e as avaliações das cinco colheitas suficientes para a caracterização dos genótipos superiores.

A seleção de plantas de maior potencial produtivo é considerada uma das melhores alternativas para o aumento da produtividade, sem elevação de custos adicionais. Projeções de produtividade baseadas em observações isoladas, ou de plantas com pou-

cos meses de plantio, contribuíram para criar expectativas de produtividade que não têm sido observadas em campo. Dois critérios foram considerados para a seleção de matrizes: a intensidade de seleção, definida pela maximização do limite inferior do intervalo de confiança do ganho genético corrigido para endogamia, e o número efetivo. O ganho genético é diretamente proporcional à intensidade de seleção. A maximização do limite inferior do intervalo de confiança do ganho genético ocorreu com a seleção das 12 melhores plantas provenientes de apenas 7 famílias. O progresso genético na produção acumulada estimado com a seleção desses indivíduos foi de 42% (Tabela 13). Além desse critério, também foi considerada a necessidade de trabalhar com maior número de indivíduos, a fim de assegurar um número efetivo mínimo, que permita a manutenção da variabilidade nas etapas seguintes de seleção (Resende, 2002). Pela associação desses dois critérios, além dos 12 indivíduos de melhor desempenho, também foram selecionados os melhores indivíduos de cada família, permitindo a elevação do número efetivo de 7,7 para 18,2. O progresso genético na produção acumulada estimado com a seleção desses indivíduos foi de 25% (Tabela 14).

A seleção de plantas nas condições edafoclimáticas dos trópicos favorece a caracterização local de genótipos adaptados a temperatura e umidade elevadas, menor irradiação solar e período seco bem definido. A clonagem das plantas, seja pelo plantio de estacas da haste vegetativa seja por cultura de tecidos, permite a exploração do valor genotípico completo do indivíduo. Entre os genótipos de desempenho superior para produção, foram agrupados os 12 melhores clones que maximizam o ganho genético (Tabela 13).

Os ganhos genéticos percentuais para a produção de grãos com o plantio dos genótipos selecionados no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio foram, respectivamente, 33,3, 41,6 e 56,7, o que equivale a uma produção de 1,0 t ha⁻¹, 2,0 t ha⁻¹ e 1,3 t ha⁻¹ (Tabela 13). O ganho de seleção obtido com o plantio de clones foi menor do que o observado em outros cultivos. A ocorrência de diferentes níveis de endogamia nas famílias, resultantes de autofecundações, é a hipótese mais provável para os valores moderados estimados. Observação de segregação de plantas albinas na proporção de 3:1 reforçam a hipótese de avaliação de plantas aparentadas (Figura 6). Segundo Rosado et al. (2010), o cultivo por vários anos de plantas isoladas de pinhão-mansão em território brasileiro tem favorecido a autofecundação entre plantas. Utilizando marcadores moleculares, Laviola et al. (2012) observaram que, mesmo em plantios adensados, essa oleaginosa apresenta uma taxa natural de 30% de autofecundação.



Figura 6. Segregação de albinismo em mudas produzidas a partir de sementes provenientes de acesso isolado de *J. curcas*, 22 plantas normais e 8 plantas albinas. As letras A e E identificam as plantas sadias, e as letras B, C e D as plantas albinas.

Tabela 13. Estimativas de valores genotípicos acrescidos à média geral de produção de grãos (g por planta) de *Jatropha curcas*, relativas a 12 plantas selecionadas para serem propagadas vegetativamente.

Ordem	Bloco	Família	Planta	Anos pós-plantio			PG	MHPRVG
				2º	3º	4º		
1	1	10	7	541,83	1.501,53	1.004,34	3.047,70	1,60
2	3	8	7	693,21	1.158,55	713,86	2.565,62	1,46
3	1	7	4	570,68	1.297,20	736,39	2.604,26	1,43
4	3	12	1	644,69	1.138,45	721,14	2.504,29	1,42
5	3	12	4	564,67	1.302,04	719,83	2.586,54	1,42
6	3	7	5	657,40	1.107,90	681,75	2.447,05	1,39
7	2	6	2	684,15	1.061,67	686,63	2.432,46	1,39
8	1	14	3	604,57	1.029,22	809,57	2.443,36	1,39
9	1	1	6	623,03	988,42	806,69	2.418,15	1,38
10	1	7	8	461,43	1.212,33	880,02	2.553,77	1,35
11	2	10	2	625,11	1.138,02	751,41	2.354,53	1,35
12	3	7	1	540,75	1.176,67	689,13	2.406,54	1,34
Média geral				450,85	830,53	489,27	1.773,07	
Nova média				600,96	1.176,00	766,73	2530,36	
Ganho de seleção (%)				33,29	41,60	56,71	42,71	

PG = produção de grãos; MHPRVG = média harmônica da performance relativa dos valores genéticos; Ne = tamanho efetivo populacional.

Em alguns aspectos, os resultados do presente estudo levantam mais questões do que oferecem respostas quanto à melhor maneira de uso do pinhão-mansão para produção de biodiesel. A constatação de que a uniformidade de maturação apresenta efeito ambiental predominante indica que práticas de manejo têm maior potencial para concentrar a colheita dessa oleaginosa. Alguns trabalhos indicam resultados promissores com a utilização de reguladores de crescimento para aumento da uniformidade de maturação e produção dessa oleaginosa (Abdelgadir et al., 2010; Ghosh et al., 2010). Também se destaca a boa adaptação dessa oleaginosa à região que se caracteriza pela alta pluviosidade e déficit hídrico bem definido, os quais contribuem para uma colheita antecipada em relação a outras regiões do País, fora da época de incidência das principais pragas desse cultivo.

Tabela 14. Estimativas de valores genéticos aditivos acrescidos à média geral da produção de grãos (g por planta) de *Jatropha curcas*, relativas a 23 plantas selecionadas para compor uma unidade de recombinação.

Ordem	Bloco	Família	Planta	Anos pós-plantio			PG	MHPRVG	Ne
				2º	3º	4º			
1	1	10	7	513,43	1.254,3	828,89	2.596,62	1,41	1,0
2	1	7	4	541,4	1.179,29	660,54	2.381,23	1,31	2,0
3	3	12	1	574,64	1.061,4	651,35	2.287,38	1,29	3,0
4	3	7	5	593,44	1.065,71	627,75	2.286,91	1,29	3,5
5	3	12	4	526,63	1.159,55	650,56	2.336,74	1,29	4,1
6	3	8	7	607,02	1.029,33	625,8	2.262,15	1,28	5,1
7	1	14	3	564,87	978,09	708,1	2.251,06	1,28	6,1
8	1	7	8	475,86	1.128,37	746,71	2.350,94	1,28	6,3
9	3	7	1	523,45	1.106,98	632,18	2.262,6	1,26	6,3
10	2	14	3	529,08	1.007,17	665,47	2.201,73	1,24	6,9
11	2	10	2	563,4	976,19	641,13	2.180,72	1,24	7,6
12	3	7	8	529,46	1.056,21	628,69	2.214,37	1,24	7,7
13	1	1	6	536,8	905,0	667,2	2.109,0	1,20	8,6
14	2	2	1	514,7	1.032,5	561,7	2.108,9	1,20	9,5
15	2	3	2	524,4	1.033,1	576,8	2.134,2	1,20	10,4
16	2	4	7	443,7	952,5	669,0	2.065,3	1,10	11,4
17	3	5	8	514,4	918,7	679,2	2.112,4	1,20	12,3

Continua...

Tabela 14. Continuação.

Ordem	Bloco	Família	Planta	Anos pós-plantio			PG	MHPRVG	Ne
				2º	3º	4º			
18	2	6	2	604,6	970,3	599,0	2.173,9	1,20	13,3
19	3	9	5	391,8	786,0	399,0	1.576,8	0,90	14,3
20	2	11	5	506,3	945,5	599,7	2.051,5	1,20	15,2
21	2	13	4	471,1	812,3	432,3	1.715,7	1,00	16,2
22	2	15	1	475,2	1.002,5	601,7	2.079,5	1,20	17,2
23	2	16	3	467,8	880,5	543,5	1.891,8	1,10	18,2
Média geral				450,85	830,53	489,27	1.773,07		
Nova média				526,33	1.047,32	643,517	2.217,17		
Ganho de seleção (%)				16,74	26,10	31,53	25,05		

PG = produção de grãos; MHPRVG = média harmônica da performance relativa dos valores genéticos; Ne = tamanho efetivo populacional.

Progresso genético: Teor de óleo

As características de qualidade da matéria-prima de *J. curcas* diferenciam-se principalmente em relação ao peso de grãos, de amêndoas, de casca e ao teor de óleo dos grãos (Rao et al., 2009). As sementes do pinhão-mansinho possuem tegumento rijo e quebradiço, que reveste a amêndoa de albúmen branco e oleaginoso. Segundo Heller (1996), quando secas as sementes apresentam tamanho de 1,5 cm a 2,0 cm de comprimento, 1,0 cm a 1,5 cm de largura e peso individual de 0,5 g a 0,8 g, dependendo da variedade e dos tratamentos culturais. De acordo com Heller (1996), a semente apresenta em média as proporções de 45% de casca e 55% de amêndoa. Segundo Arruda et al. (2004), as sementes de pinhão-mansinho apresentam faixa de variabilidade para teor de óleo entre 25% e 40%.

A magnitude e o sentido das correlações genéticas fazem com que a seleção baseada em uma única característica resulte em alterações não desejadas nos componentes de produção dessa oleaginosa. Essas alterações são chamadas de respostas correlacionadas, e o seu sentido deve ser considerado na seleção de plantas (Cruz et al., 2004). Kaushik et al. (2007) observaram a ocorrência de correlação positiva e de alta magnitude entre peso das sementes e teor de óleo.

Outros trabalhos objetivaram determinar o teor de óleo a partir de amostragens aleatórias de várias regiões, inferindo acerca do efeito ambiental sobre essa característica (Ginwal et al., 2005). No entanto, poucos trabalhos quantificaram os componentes genéticos e o ganho com a seleção considerando medidas repetidas e a avaliação de plantas em idade produtiva. Assim, objetivou-se estimar os parâmetros genéticos de características de qualidade de grãos de pinhão-mansão aos 36 e 48 meses de plantio e quantificar o progresso genético da seleção de plantas.

Foram caracterizadas amostras de frutos de 120 plantas selecionadas ao acaso dentro de uma população de pinhão-mansão, aos 36 e 48 meses de cultivo, em plantio comercial localizado no município de Ariquemes, RO (latitude 9° 55' 24.50 S; longitude 63° 7' 15.58 O e 142 m de altitude). Rocha et al., 2012 descreveram de forma detalhada o manejo e as condições edafoclimáticas.

As características de qualidade dos grãos, peso de grãos, peso de casca, peso de amêndoas e teor de óleo foram avaliadas no Laboratório de Extração de Óleos da Universidade Federal de Rondônia (UNIR), em Porto Velho, RO. Os procedimentos de extração de óleo foram realizados segundo as normas do Instituto Adolfo Lutz (Zenebon et al., 2008), que compreendem umidade e cinzas. Descrição detalhada é apresentada por (Rocha et al., 2012).

Observou-se efeito significativo da interação genótipos x anos para todas as características avaliadas, indicando que existem genótipos de desempenho diferenciado aos 36 e 48 meses de plantio (Tabela 15). Os valores do coeficiente de variação indicam que a magnitude do erro experimental é compatível com uma adequada avaliação experimental (Zenebon et al., 2008).

O desempenho diferenciado dos genótipos ao longo dos anos é uma característica típica das espécies perenes, causada pela influência do ambiente na expressão dos caracteres. Especificamente, o efeito de medições foi significativo para peso da amêndoa e teor de óleo (Tabela 15). O peso de amêndoas e o teor de óleo dos grãos dependem da taxa de acúmulo de matéria seca durante o estágio de enchimento de grãos, a qual é determinado pela expressão dos genes influenciada pelo ambiente.

O teor de óleo nos grãos mostrou variabilidade genética significativa pelo teste F a 1% de probabilidade (Tabela 15). Em outras populações de pinhão-mansão, resultados

semelhantes foram encontrados, como os observados por Kaushik et al. (2007), que verificaram diferenças significativas no teor de óleo de 24 acessos provenientes da Índia. A ocorrência de variabilidade genética significativa entre as plantas é fundamental para o progresso genético da prática da seleção e depende da contribuição significativa do efeito do genótipo para a expressão da característica.

Tabela 15. Resumo da análise de variância das características de qualidade dos grãos de *Jatropha curcas* avaliados aos 36 e 48 meses de plantio.

Variáveis		Peso de casca	Peso de amêndoa	Peso de grãos	Teor de óleo
FV	GL	F			
Genótipos	119	8,859**	13,56**	14,33**	11,37**
Medição	1	0,481 ^{NS}	4,391**	1,838 ^{NS}	76,49**
G x M	119	3,035**	5,378**	5,41**	6,38**
Resíduo	240				
Total	479				
Média		4,349	7,218	11,57	0,326

FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; F = Teste F.

** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS} = não significativo.

A média geral do teor de óleo observada no plantio (35%) é comparável com a média de 34,5% quantificada por Heller (1996), tendo sido obtidos valores mínimos e máximos de 23,3% e 39,0% aos 36 meses e de 27,1% e 40,2% aos 48 meses. Kaushik et al. (2007) observaram uma faixa de variabilidade entre 28,77% e 38,88%. A média e a dispersão dos valores indicam representatividade dos materiais avaliados em relação à variabilidade descrita para a espécie. Recentemente novos acessos têm sido caracterizados na América Central, centro de origem dessa oleaginosa. Pecina-Quintero et al. (2011) descreveram genótipos provenientes da América Central que apresentam teor de óleo superior a 50%.

As estimativas do efeito aleatório de genótipo e do efeito permanente de ambiente permitem quantificar a proporção de variação total que se deve à diferença entre os genótipos (Rocha et al., 2012). O coeficiente de variação genético, que mensura a fração da variância total devida à variação genotípica entre plantas, indicou predominância do componente genético na expressão das características de qualidade. Segundo Resende

e Duarte (2007), os valores de herdabilidade observados podem ser considerados de alta magnitude e acurados, uma vez que os valores de desvio-padrão observados são inferiores a 20% do valor das estimativas (Tabela 16). A repetibilidade que representa o limite superior da herdabilidade individual, indica a possibilidade de selecionar genótipos de maior adaptabilidade e estabilidade, ou seja, responsivos à melhoria do ambiente e que mantêm sua superioridade ao longo dos anos.

Tabela 16. Parâmetros genéticos estimados das características de qualidade dos grãos de *Jatropha curcas* avaliadas aos 36 e 48 meses de plantio.

Parâmetros genéticos ⁽¹⁾	Peso de casca	Peso de amêndoa	Peso de grãos	Teor de óleo
36 meses				
$\hat{\sigma}_g^2$	0,0690	0,3571	0,7206	0,00033
$\hat{\sigma}^2$	0,0259	0,1649	0,2604	0,00008
$\hat{\sigma}_f^2$	0,0948	0,5221	0,9810	0,000412
h_g^2	0,727+-0,1570	0,684+-0,1523	0,734+-0,1578	0,795+-0,1642
CV_g	6,0238	8,3687	7,3810	5,7265
CV_e	3,6898	5,6879	4,4373	2,9048
μ	4,3598	7,1406	11,5005	0,3160
48 meses				
$\hat{\sigma}_g^2$	0,0904	0,6797	1,2398	0,0005
$\hat{\sigma}^2$	0,0385	0,0798	0,1816	0,0001
$\hat{\sigma}_f^2$	0,1290	0,7596	1,4214	0,0006
h_g^2	0,700+-0,1441	0,894+-0,1742	0,872+-0,1720	0,787+-0,1634
CV_g	6,9296	11,2981	9,5686	6,3617
CV_e	4,5262	3,8722	3,6616	3,3056
μ	4,3397	7,2972	11,6368	0,3365

⁽¹⁾ $\hat{\sigma}_g^2$ = variância genotípica; $\hat{\sigma}^2$ = variância residual; $\hat{\sigma}_f^2$ = variância fenotípica; $\hat{\rho}_i$ = repetibilidade individual; ρ_{im} = repetibilidade média; r_{pp2} = acurácia de seleção; μ = média do experimento.

A acurácia de seleção definida pela correlação entre o valor genético verdadeiro do indivíduo e o índice fenotípico utilizado para obtenção das estimativas dos componentes genéticos foi interpretada para estimar o número mínimo de avaliações necessárias à seleção de plantas. Valores de acurácia seletiva acima de 80% são adequados para a obtenção de ganhos com a seleção. Maior acréscimo no valor dessa estimativa foi observado com a seleção baseada na informação de duas colheitas. Duas medições foram necessárias para obtenção de estimativas de acurácia de seleção próximas a 80% (Tabela 17).

Tabela 17. Estimativas de repetibilidade e acurácia seletiva das características de qualidade dos grãos de *Jatropha curcas* avaliadas aos 36 e 48 meses de plantio.

Parâmetros genéticos ⁽¹⁾	Peso de casca	Peso de amêndoa	Peso de grãos	Teor de óleo
$\hat{\sigma}_g^2$	0,0580	0,3398	0,6560	0,0002
$\hat{\sigma}^2$	0,0539	0,3000	0,5440	0,0003
$\hat{\sigma}_f^2$	0,1119	0,6399	1,2001	0,0005
$\hat{\rho}_i$	0,516+-0,094	0,531+-0,085	0,546+-0,096	0,425+-0,084
ρ_m	0,6830	0,6937	0,7069	0,5970
r_{pp}^*	0,8264	0,8329	0,8408	0,7726
μ	4,3498	7,2186	11,5686	0,3262

⁽¹⁾ $\hat{\sigma}_{gp}^2$ = variância genotípica adicionada aos efeitos permanentes de ambiente; $\hat{\sigma}^2$ = variância residual; $\hat{\sigma}_f^2$ = variância genotípica; $\hat{\rho}_i$ = repetibilidade individual; ρ_{im} = repetibilidade média; r_{pp}^* = acurácia de seleção; μ = média do experimento.

A decomposição das relações de causa e efeito entre as características produtivas e de qualidade de grãos tem mostrado que não existe associação entre esses componentes do rendimento de óleo (Spinelli et al., 2010). Com o objetivo de selecionar matrizes de qualidade superior de grãos para serem recombinadas com genótipos de maior produção de grãos, considerou-se uma intensidade de seleção de 10%.

A seleção de genótipos superiores pode basear-se em uma única característica ou considerar um conjunto de atributos favoráveis para o desenvolvimento de um produto final de qualidade superior. O ganho da seleção direta em todos os caracteres foi superior ao ganho indireto, ficando próximo nas situações em que as características são correlacionadas,

como peso de amêndoa e teor de óleo (Tabela 18). Segundo Falconer e Mackay (1996), se o caráter auxiliar apresentar maior herdabilidade que o principal, o que não foi observado, a seleção indireta pode promover ganhos maiores do que a seleção direta. Os maiores ganhos individuais foram estimados para peso de amêndoa e teor de óleo.

Os ganhos totais obtidos pelos índices foram semelhantes aos obtidos pela seleção direta, com uma pequena vantagem (Tabela 18). Notadamente, observou-se que os índices permitiram selecionar plantas de maior teor de óleo e maior peso de grãos. O índice genótipo-ideótipo foi o que resultou em maior ganho total (20,68%), tendo promovido alteração mais equilibrada na média das características, uma vez que os ganhos indiretos foram semelhantes aos obtidos pela seleção direta. Os maiores ganhos totais utilizando esse índice foram verificados para peso de amêndoa (9,65%) e teor de óleo (6,28%).

A seleção direta utilizando o peso de amêndoa como caráter principal resultou em ganhos totais semelhantes aos obtidos com a utilização dos índices de seleção (Tabela 18). A associação da maior facilidade de avaliação dessa característica aos ganhos indiretos estimados contribui para que o peso de amêndoa se torne importante critério de seleção.

Tabela 18. Estimativas do progresso genético com o uso de índices de seleção e com a seleção univariada direta e indireta. O ganho com a seleção direta está realçado em negrito na diagonal da tabela.

Característica principal	Ganhos de seleção diretos e indiretos				Ganhos totais
	Peso de casca	Peso de amêndoa	Peso de grãos	Teor de óleo	
Peso de casca	-11,47	-15,42	-14,12	1,83	-16,24
Peso de amêndoa	6,17	11,95	9,91	4,94	20,63
Peso total	6,69	11,83	10,04	4,53	19,71
Teor de óleo	0,86	2,95	2,19	10,06	14,34
Índices	Ganhos de seleção utilizando índices de seleção				
Genótipo-ideótipo	3,27	9,65	8,02	6,28	20,68
Elston (1963)	5,10	10,08	8,44	3,52	16,94
Mulamba & Mock (1978)	3,25	8,29	6,56	4,78	16,38

Em contraste com a baixa diversidade genética quantificada por técnicas de marcadores moleculares (Rosado et al., 2010), avaliações agrônômicas têm mostrado variabilidade genética para os principais componentes da produção do pinhão-mansinho (Mishra, 2009). Na seleção para produtividade de grãos, ganhos de seleção superiores a 80% foram estimados por Laviola et al. (2010) e Drumond et al. (2010). No entanto, embora os parâmetros genéticos indiquem predominância da variação genotípica, o progresso genético com a seleção para qualidade de grãos pode ser considerado limitado, indicando a necessidade de avaliação de novos acessos e realização de cruzamentos para produção de variabilidade e seleção de plantas que reúnam um conjunto de caracteres favoráveis.

A produção de grãos é uma característica de controle genético complexo, cuja expressão é influenciada pela ação de milhares de genes e pelo efeito do ambiente (Cruz; Regazzi, 2001). Expectativas não verificadas da produtividade do pinhão-mansinho baseadas em observações de plantas isoladas, as quais não consideram a redução no crescimento da planta que ocorre em plantios adensados, fazem da caracterização do potencial produtivo desse cultivo relevante objeto de pesquisa. Contrariando a expectativa de que a produtividade aumenta com o crescimento das plantas, a produção de grãos observada no 4º ano foi menor do que a do 3º (Tabela 19).

Tabela 19. Médias da produção de grãos das famílias de meias-irmãs de *Jatropha curcas* L., avaliadas no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio.

Famílias	2º ano	3º ano	4º ano
1	388,40 bB	763,00 cA	424,03 bB
2	476,60 aB	890,20 bA	495,97 aB
3	473,13 aB	813,06 cA	527,60 aB
4	411,87 bB	760,87 cA	486,03 aB
5	423,20 bB	817,93 cA	533,30 aB
6	499,70 aB	834,30 cA	460,40 bB
7	517,13 aB	1059,67 aA	563,93 aB
8	488,90 aB	837,13 cA	494,60 aB

Continua...

Tabela 19. Continuação.

Famílias	2º ano	3º ano	4º ano
9	335,03 bB	629,57 dA	372,57 bB
10	479,03 aB	901,07 bA	588,70 aB
11	473,23 aB	840,83 cA	467,67 bB
12	477,20 aB	984,20 aA	563,80 aB
13	405,27 bB	741,23 cA	359,10 bB
14	528,33 aB	925,00 bA	575,87 aB
15	422,63 bB	829,67 cA	499,40 aB
16	414,03 bB	660,80 dA	415,50 bB
Média	450,85	830,53	489,27

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha constituem grupo estatisticamente homogêneo entre anos. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna constituem grupo estatisticamente homogêneo de famílias dentro de anos.

O severo ataque de cigarrinha-verde (*Empoasca* spp.) e o menor espaçamento entre plantas limitaram a produção do 4º ano. A cigarrinha-verde é praga-chave do pinhão-manso na Região Amazônica, com incidência entre os meses de março a junho. O amarelecimento e o encarquilhamento das folhas causados pelo ataque de cigarrinhas resultam na redução da eficiência fotossintética da planta com abortamento de flores e frutos (Paiva Neto et al., 2010). A colheita de junho de 2011 foi totalmente comprometida pelo ataque dessa praga, o que reduziu a produção do 4º ano.

A restrição no crescimento vegetativo observada nas plantas que tocaram suas copas no menor espaçamento, logo a partir do 2º ano, foi considerada também um importante fator limitante da produtividade. Avaliações dos componentes de produção do pinhão-manso indicam que a produção de grãos é influenciada principalmente pelo desenvolvimento de copa das plantas (Spinelli et al., 2010). Além da redução na produtividade, observou-se redução acentuada no crescimento das principais características vegetativas entre o 3º e o 4º ano de plantio (Figura 7).

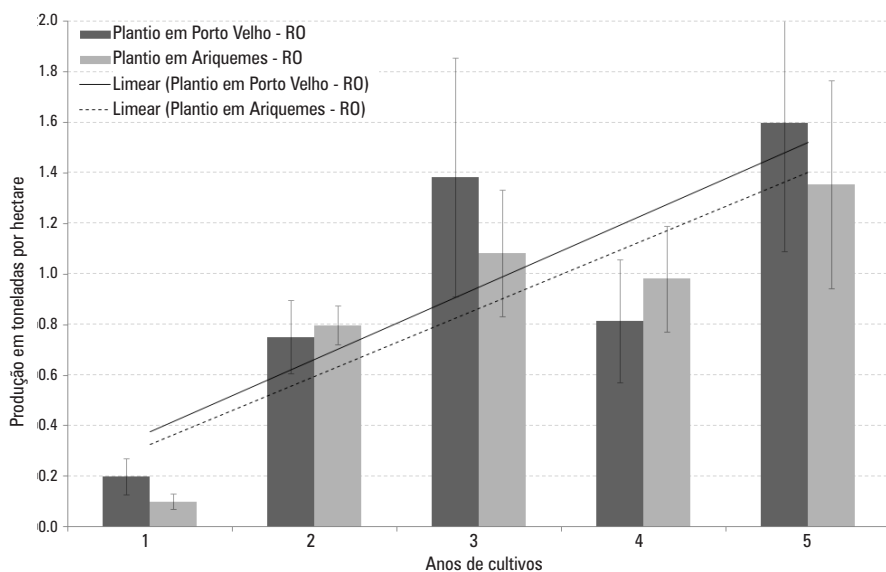


Figura 7. Médias da produção de grãos de plantios de *Jatropha curcas* L., avaliados no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio nos municípios de Porto Velho e Ariquemes, RO.

Resposta semelhante foi observada por Borges et al. (2014) em plantio em espaçamento de 3 m x 2 m, em que a média de produção das plantas reduziu de 0,84 kg por planta para 0,55 kg por planta, dos 36 para os 48 meses de plantio. Müller et al. (2015) verificaram correlação entre diferentes espaçamentos e o crescimento de plantas aos 24 meses de plantio. O espaçamento de 3 m x 2 m apresentou os menores crescimentos em altura e diâmetro, e o número de ramos por planta tende a se reduzir com o aumento da densidade de plantio. Laviola et al. (2010) observaram que plantas avaliadas aos 10, 20 e 30 meses após plantio apresentaram menor crescimento no espaçamento 3 m x 1 m. De maneira geral, nesses trabalhos, os maiores espaçamentos testados resultaram em maiores diâmetros de copa, em razão da maior incidência de luz, que estimulou o crescimento lateral das plantas (Müller et al., 2015).

Além da melhoria das condições de plantio, o aumento da produtividade de grãos dessa oleaginosa depende da identificação de materiais genéticos superiores, com maior eficiência em produção de frutos. A avaliação do desempenho de famílias de meias-irmãs é importante por causa da possibilidade de se utilizar a semelhança entre parentes, mensurada pela variância genética aditiva, na seleção de plantas, aumentando a possibilidade

de obtenção de ganhos de seleção em características de menor herdabilidade, como a produção de grãos. As famílias 7, 10, 12 e 14 apresentaram o melhor desempenho médio.

Com o objetivo de verificar a existência de famílias de maior produtividade e estabilidade temporal de produção, utilizou-se a medida não paramétrica P_i de Linn & Binns, modificada por Carneiro (1998). Estimativas não paramétricas se distinguem pela facilidade de interpretação e por se fundamentarem em poucas pressuposições de análise. O método de Linn & Binns fundamenta-se na estimativa de P_i calculado pelo quadrado da diferença entre as famílias avaliadas e a máxima resposta nas medições avaliadas, ponderada por duas vezes o número de medições. Ao estratificar as medições, o método permite a avaliação do ordenamento das melhores famílias nos anos mais e menos favoráveis para a produção de grãos (Tabela 20). De maneira geral, observou-se consistência no ordenamento das famílias, e as famílias 7, 14, 12 e 10 apresentaram melhor desempenho e adaptabilidade em todos os anos de colheita.

Tabela 20. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade temporal, obtidas pelo método de Linn & Binns, modificado por Carneiro (1998) para produção de grãos em *Jatropha curcas* L., no 2º, 3º e 4º anos de plantio.

Família	Média	P_i geral	Família	P_i (+)	Família	P_i (-)
7	713,6	123,1	7	0,0	14	41,2
12	675,1	1.488,3	12	2.847,6	7	184,7
14	676,4	3.050,0	14	9.067,6	10	607,6
10	656,3	4.597,4	10	12.577,0	12	808,7
2	620,9	6.665,8	2	14.359,5	3	1.695,1
8	606,9	9.988,5	11	23.944,0	8	2.602,4
11	593,9	10.928,9	8	24.760,5	2	2.819,0
3	604,6	11.265,3	6	25.395,1	5	3.530,5
6	598,1	11.345,2	15	26.450,0	6	4.320,2
15	583,9	12.007,8	5	29.217,5	11	4.421,3
5	591,5	12.092,9	3	30.405,8	15	4.786,7
4	552,9	18.897,7	1	44.005,6	4	6.026,2
1	525,1	22.451,3	4	44.640,7	16	10.765,7
13	501,9	28.210,2	13	50.699,9	1	11.674,1
16	496,8	33.692,9	16	79.547,3	13	16.965,4
9	445,7	44.844,1	9	92.493,0	9	21.019,6

Fundamentado nas avaliações ao longo dos anos, acredita-se que o pinhão-mansinho tenha potencial para alcançar maiores produtividades com a seleção de plantas e adaptação das práticas de manejo. Abdelgadir et al. (2010) relataram resultados promissores com o uso de reguladores de crescimento em *J. curcas*. Ghosh et al. (2010) observaram aumento no rendimento de grãos dessa cultura por meio da aplicação de paclobutrazol aos 24 meses após o plantio.

Considerações finais

Segundo Karl Popper e Thomas Kuhn, reconhecidos pensadores e filósofos da teoria científica, a ciência não evolui de maneira linear e progressiva, mas por saltos em que grandes avanços são obtidos após períodos de estagnação. Após grande produção científica, constatada com o grande número de trabalhos desenvolvidos nos últimos anos, as pesquisas visando à produção de óleo a partir do pinhão-mansinho passam por um momento de mudança de foco e de estratégia, uma vez que grandes desafios ainda devem ser resolvidos para aumentar a viabilidade ambiental, econômica e social desse cultivo.

Altamente adaptada a climas áridos, o pinhão-mansinho apresenta uma série de características que favorecem sua sobrevivência e sua perpetuação em regiões marginais para os cultivos tradicionais. Sua capacidade de retenção de água, sua fisiologia caducifolia e sua produção perene favorecem a produção de frutos durante quase todos os meses do ano, aumentando a possibilidade de deixar descendentes em épocas que as outras plantas não estão em sua fase reprodutiva. Seu longo ciclo de vida e sua capacidade de se propagar vegetativamente e de se autopolinizar propiciam sua multiplicação mesmo em regiões mais isoladas. Na natureza, a produção de ésteres de forbol em suas sementes é considerada uma defesa eficiente que diminui a herbivoria de aves e de animais.

Sob outra ótica, no entanto, constatou-se que as mesmas características que favorecem a adaptação do pinhão-mansinho na natureza limitam o cultivo dessa espécie em diferentes aspectos. A desuniformidade de produção e a presença de ésteres de forbol nas sementes oneram os custos de produção desse cultivo, o que resulta em altos custos de colheita e de detoxificação da torta dessa oleaginosa. O longo ciclo de vida dessa oleaginosa perene faz da seleção de plantas um processo demorado e laborioso. A propagação vegetativa de poucos acessos em regiões isoladas do território nacional resultou em menor variabilidade genética dessa cultura. E, mesmo considerando a introdução de novos

acessos, a baixa variabilidade genética para algumas características fundamentais para o cultivo e a associação negativa entre os componentes de produção, tais como a uniformidade de maturação dos frutos, que não apresentou variabilidade genética, e o menor vigor apresentado pelos acessos menos tóxicos, tem limitado os ganhos obtidos com a seleção de plantas.

No entanto, não é possível deixar de reconhecer a importância do banco de germoplasma do pinhão-manso com acessos provenientes de diferentes regiões do mundo e dos resultados de pesquisa obtidos, os quais, se estivessem disponíveis há 4 ou 5 anos, iriam melhor direcionar os investimentos realizados nesse cultivo. Desde questões básicas de um sistema de produção, tais como produção de mudas, adubação, espaçamento e pragas e doenças, a questões mais aplicadas, como o uso de reguladores de crescimento, a produtividade ao longo do tempo e ganhos com a seleção, mereceram a dedicação de equipes de diferentes centros de pesquisa nesses últimos anos.

Referências

- ABDELGADIR, H. A.; JÄGER, A. K.; JOHNSON, S. D.; VAN STADEN, J. Influence of plant growth regulators on flowering, fruiting, seed oil content, and oil quality of *Jatropha curcas*. **South African Journal of Botany**, v. 76, n. 3, p. 440-446, Aug. 2010. DOI: 10.1016/j.sajb.2010.02.088.
- ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas*) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 8-1, p. 789-799, 2004.
- BASHA, S. D.; FRANCIS, G.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K.; SUJATHA, M. A comparative study of biochemical traits and molecular markers for assessment of genetic relationships between *Jatropha curcas* L. germplasm from different countries. **Plant Science**, v. 176, n. 6, p. 812-823, June 2009. DOI: 10.1016/j.plantsci.2009.03.008.
- BORGES, C. V.; FERREIRA, F. M.; ROCHA, R. B.; SANTOS, A. R. dos; LAVIOLA, B. G. Capacidade produtiva e progresso genético de pinhão-manso. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 64-70, jan. 2014. DOI: 10.1590/S0103-84782014000100011.
- BRITTAINE, R.; LUTALADIO, N. **Jatropha**: a smallholder bioenergy crop: the potential for pro-poor development. Rome: Food and Organization of the United Nations, 2010. 96 p. (Integrated crop management, v. 8).
- CARNEIRO, P. C. S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2001. 390 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2004. v. 1, 480 p.

DIAS, D. C. F. S.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUZA, L. C. A.; OLIVIERA, T. S.; PRETTI, L. A. **Cultivo de Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2007a. 40 p.

DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI, A.; PEREIRA, O. L.; DIAS, D. C. F. S.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUZA, L. C. A.; OLIVEIRA, T. S.; PRETTI, L. A. **Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**: para produção de óleo combustível. Viçosa: Ed. da UFV, 2007b. 40 p.

DRUMOND, M. A.; SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V. R. de; MARTINS, J. C.; ANJOS, J. B. dos; EVANGELISTA, M. R. V. Desempenho agrônômico de genótipos de pinhão manso no semiárido pernambucano. **Ciencia Rural**, v. 40, n. 1, p. 44-47, jan./fev. 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782009005000229.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. Edinburgh: Longman Group Limited, 1996. 463 p.

FRANCIS, G.; EDINGER, R.; BECKER, K. 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, n. 1, p. 12-24, Feb 2005. DOI: 10.1111/j.1477-8947.2005.00109.x.

FREITAS, R. G.; MISSIO, R. F.; MATOS, F. S.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S. Genetic evaluation of *Jatropha curcas*: an important oilseed for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research**, v. 10, n. 3, p. 1490-1498, 2011. DOI: 10.4238/vol10-3gmr1146.

GHOSH, A.; CHIKARA, J.; CHAUDHARY, D. R.; PRAKASH, A. R.; BORICHA, G.; ZALA, A. Paclobutrazol arrests vegetative growth and unveils unexpressed yield potential of *Jatropha curcas*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 29, n. 3, p. 307-315, Sept. 2010. DOI: 10.1007/s00344-010-9137-0.

GINWAL, H. S.; PHARTYAL, S. S.; RAWAT, P. S.; SRIVASTAVA, R. L. Seed source variation in morphology, germination and seedling growth of *Jatropha curcas* (L.), in Central India. **Silvae Genetica**, v. 54, n. 1-6, p. 76-80, 2005. DOI: 10.1515/sg-2005-0012.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. de. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2004. 116 p. (Série didática).

HELLER, J. **Physic nut (*Jatropha curcas*): promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Rome: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, 1996. 66 p.

- JONGSCHAAP, R. E. E.; BLESGRAAF, R. A. R.; BOGAARD, T. A.; VAN LOO, E. N.; SAVENIJE, H. H. G. The water footprint of bioenergy from *Jatropha curcas* L. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 35, p. E92-E92, Sept. 2009. DOI: 10.1073/pnas.0907272106.
- JUHÁSZ, A. C. P.; PIMENTA, S.; SOARES, B. O.; MORAIS, D. de L. B.; RABELLO, H. de O. Biologia floral e polinização artificial de pinhão-mansô no norte de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1073-1077, set. 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000900001.
- KAUSHIK, N.; KUMAR, K.; KUMAR, S.; KAUSHIK, N.; ROY, S. Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) accessions. **Biomass and Bioenergy**, v. 31, n. 7, p. 497-502, 2007. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.01.021.
- LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A.; GURGEL, F. D.; ROSADO, T. B.; COSTA, R. D.; ROCHA, R. B. Estimate of genetic parameters and predicted gains with early selection of physic nut families. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 36, n. 2, p. 163-170, Mar./Apr. 2012. DOI: 10.1590/S1413-70542012000200004.
- LAVIOLA, B. G.; ROCHA, R. B.; KOBAYASHI, A. K.; ROSADO, T. B.; BHERING, L. L. Genetic improvement of *Jatropha* for biodiesel production. **Ceiba**, v. 51, n. 1, p. 1-10, 2010. DOI: 10.5377/ceiba.v51i1.640.
- MISHRA, D. K. Selection of candidate plus phenotypes of *Jatropha curcas* L. using method of paired comparisons. **Biomass & Bioenergy**, v. 33, n. 3, p. 542-545, Mar. 2009. DOI: 10.1016/j.biombioe.2008.08.004.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1981. 504 p.
- MÜLLER, M. D.; BRIGHENTI, A. M.; PACIULLO, D. S. C.; MARTINS, C. E.; ROCHA, W. S. D. da; OLIVEIRA, M. H. S. de. Produção de plantas de pinhão mansô em diferentes espaçamentos e tipos de consórcio. **Ciência Rural**, 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20131624.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999. p. 21-24.
- NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C.; AZEVEDO, M. C. B.; HIGA, A. R.; SIMON, A. Efeitos de substratos e recipientes utilizados na produção das mudas sobre a arquitetura do sistema radicular de árvores de acácia-negra. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 897-905, 2005. DOI: 10.1590/S0100-67622005000600008.
- NORMAIS climatológicas (1961-1990). Brasília, DF: Departamento Nacional de Meteorologia, 1992. 84 p.

PAIVA NETO, V. B. de; BRENHA, J. A. M.; FREITAS, F. B. de; ZUFFO, M. C. R.; ALVAREZ, R. de C. F. Aspectos da biologia reprodutiva de *Jatropha curcas* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 558-563, May/June 2010. DOI: 10.1590/S1413-70542010000300005.

PECINA-QUINTERO, V.; ANAYA-LÓPEZ, J. L.; COLMENERO, A. Z.; GARCÍA, N. M.; NÚÑEZ COLÍN, C. A.; SOLIS BONILLA, J. L.; AGUILAR-RANGEL, M. R.; GILL LANGARICA, H. R.; MÉJIA BUSTAMANTE, D. J. Molecular characterisation of *Jatropha curcas* L. genetic resources from Chiapas, México through AFLP markers. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 5, p. 1897-1905, 2011. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.01.027.

RAO, M. R. G.; RAMESH, S.; RAO, A. M.; GANGAPPA, E. Genetic diversity in *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.). **Research on Crops**, v. 10, n. 2, p. 420-425, Aug 2009.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, set. 2007.

ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; TEIXEIRA, A. L.; LAVIOLA, B. G.; SILVA, F. C. G. da; MILITÃO, J. S. L. T. Eficiência da seleção para incremento do teor de óleo do pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 44-50, jan. 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000100007.

ROSADO, T. B.; LAVIOLA, B. G.; FARIA, D. A.; PAPPAS, M. R.; BHERING, L. L.; QUIRINO, B.; GRATAPAGLIA, D. Molecular markers reveal limited genetic diversity in a large germplasm collection of the biofuel crop *Jatropha curcas* L. in Brazil. **Crop Science**, v. 50, n. 6, p. 2372-2382, Nov./Dec. 2010. DOI: 10.2135/cropsci2010.02.0112.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. Cluster analyses method for grouping means in the analyses of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974. DOI: 10.2307/2529204.

SEVERINO, L. S.; LIMA, R. de L. S. de; BELTRÃO, N. E. de M. **Avaliação de mudas de pinhão manso em recipientes de diferentes volumes**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. (Embrapa Algodão. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 81).

SPINELLI, V. M.; DIAS, L. A. S.; ROCHA, R. B.; RESENDE, M. D. V. Estimates of genetic parameters with selection within and between half-sib families of *Jatropha curcas* L. **Industrial Crops and Products**, v. 69, p. 355-361, July 2015. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.02.024.

SPINELLI, V. M.; ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; MARCOLAN, A. L.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; FERNANDES, C. de F.; MILITAO, J. S. L. T.; DIAS, L. A. dos S. Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-manso. **Ciencia Rural**, v. 40, n. 8, p. 1752-1758, ago. 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782010005000129.

WRIGHT, S. The method of path coefficients. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 5, n. 3, p. 161-215, 1934. DOI: 10.1214/aoms/1177732676.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. (Coord.). Procedimentos e determinações gerais. In: ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. (Coord.). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. v. 4, p. 83-158.



**Germinação de pinhão-
-manso: morfologia de
fruto, semente e plântula**

Germinação de pinhão- -manso: morfologia de fruto, semente e plântula

*Katia Christina Zuffellato-Ribas
Alex Caetano Pimenta*

Introdução

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L. – Euphorbiaceae) é uma planta arbustiva, nativa da América tropical, que apresenta alta plasticidade adaptativa, e é cultivada em diferentes regiões de clima tropical e subtropical do planeta (Openshaw, 2000). Trata-se de uma espécie que se configura como alternativa para a produção de óleo destinado para fins energéticos por causa da quantidade de óleo existente nos grãos (Openshaw, 2000; Arruda et al., 2004).

Nesse contexto, ao lançar o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), o governo federal apoiou-se na crescente demanda por combustíveis de fontes renováveis e no potencial brasileiro para atender parte expressiva dessas necessidades, gerando empregos e renda na agricultura familiar, além de contribuir para a economia de divisas (Biodiesel..., 2007). Porém, a carência de conhecimentos técnico-científicos sobre a espécie gera demanda por pesquisas que viabilizem a implantação do pinhão-manso como cultura agrícola no País (Arruda et al., 2004), incluindo aquelas que se referem ao conhecimento do material propagativo, tendo em vista o aumento da comercialização de sementes da espécie em questão. Tal condição resultou na necessidade do estabelecimento de padrões metodológicos adequados à avaliação da qualidade das sementes (Martins et al., 2008).

Estudos relativos à estrutura, à fenologia e ao comportamento de uma espécie dependem da sua correta identificação, o que em determinadas circunstâncias, é dificultado pela ausência do conjunto de órgãos ou partes da planta, os quais são necessários para descrevê-la. Muitas vezes, o pesquisador ou o produtor possui apenas o fruto, a semente ou a plântula para o reconhecimento das espécies, ou apenas a semente e/ou fruto, como ocorre nos laboratórios de análise de sementes (Kuniyoshi, 1983). Paralelamente, a concei-

tuação de frutos baseada na literatura botânica apresenta grande dificuldade, uma vez que existem inúmeras variações nas estruturas carpológicas das famílias, dos gêneros e das espécies, além de relativa escassez de dados referentes ao assunto (Barroso et al., 1999). Tais condições se aplicam também às sementes e às plântulas, haja vista a heterogeneidade morfológica por causa da plasticidade adaptativa das espécies, em determinados ambientes ou condições, conforme descrito por Rao et al. (2008), os quais constataram variações morfológicas em sementes, na germinação e em plântulas de pinhão-manso de diferentes populações.

O conhecimento prévio da espécie referente às características morfológicas do desenvolvimento da plântula é fundamental para a interpretação de testes de germinação conduzidos em laboratórios (Nunes et al., 2009; Lima Jr. et al., 2010), pois o acompanhamento do processo germinativo possibilita a interpretação das estruturas finais referentes à normalidade de plântulas (Oliveira; Pereira, 1987b). A caracterização dessas estruturas, segundo Oliveira e Pereira (1987b), pode trazer segurança, confiabilidade, além de eliminar o caráter subjetivo da análise quando minuciosamente descritas e acompanhadas de fotos, ilustrações ou esquemas. A identificação das estruturas reprodutivas e dos estádios de desenvolvimento permite a compreensão de fatores que podem influenciar no estabelecimento, no desenvolvimento inicial e na distribuição geográfica da espécie (Cosmo et al., 2010), bem como no entendimento do ciclo biológico da planta (Nunes et al., 2009).

A absorção de água pelas sementes, sob condições ótimas, é regida pelos diferentes componentes do potencial hídrico e ocorre de acordo com um padrão, normalmente trifásico. A fase I, denominada fase de embebição, é caracterizada pela transferência de água do substrato para a semente em razão das diferenças de potencial hídrico entre a semente e o meio, constituindo um processo puramente físico, que se relaciona basicamente às propriedades coloidais dos seus constituintes. Em geral, essa fase é rápida e ocorre em qualquer material que tenha sítios de ligação ou afinidade pela água, independentemente de atividade metabólica, sendo comum em sementes viáveis e inviáveis (Castro; Hilhorst, 2004; Marcos Filho, 2005; Guimarães et al., 2008). Ao final da fase de embebição, sementes endospermáticas atingem grau de umidade de 25% a 30% (Guimarães et al., 2008).

A fase II ou fase de ativação metabólica se inicia quando a velocidade de absorção de água é reduzida drasticamente (Marcos Filho, 2005), em razão do aumento do potencial hídrico e da redução do gradiente de embebição da semente. Os potenciais hídricos do

substrato e da semente ficam semelhantes e o conteúdo de água na semente tende a se estabilizar, podendo aumentar pouco e lentamente. Essa fase é relativamente longa em relação à fase I, por causa da ativação de processos metabólicos pré-germinativos (Cardoso, 2004; Castro; Hilhorst, 2004; Guimarães et al., 2008).

Na fase III, ou fase da germinação propriamente dita, observa-se um aumento no conteúdo de água da semente devido à absorção associada ao alongamento e à divisão celular, resultando em crescimento do embrião e protrusão da raiz primária; portanto, é alcançada apenas por sementes vivas e não dormentes (Castro; Hilhorst, 2004; Marcos Filho, 2005; Guimarães et al., 2008). Em sementes endospermáticas, o grau de umidade é de 35% a 40%, momento em que acontece a protrusão da raiz primária (Guimarães et al., 2008).

O conhecimento da curva de absorção de água pelas sementes, com delimitação das diferentes fases, é importante para a determinação da duração de processos como condicionamento osmótico ou pré-hidratação e subsidia a aplicação de tratamentos de sementes (Albuquerque et al., 2000). Porém, resultados de diversas pesquisas cujo objetivo foi estabelecer a curva de absorção de água em sementes de pinhão-mansão são divergentes, como observado nos trabalhos de Borges et al. (2009), Evencio et al. (2011) e Braga et al. (2012).

A germinação de sementes pode ser considerada como o reinício do crescimento do embrião, que fora interrompido na fase final de maturação, na planta matriz (Albrecht et al., 2003; Cardoso, 2004). No sentido mais amplo, a germinação de sementes pode ser entendida como uma sequência de eventos fisiológicos influenciados por fatores externos, relacionados ao ambiente, e fatores internos, relativos à fisiologia, à constituição genética, física e sanitária, bem como à presença de inibidores e promotores da germinação (Albrecht et al., 2003).

Fisiologicamente, a germinação é considerada completa quando uma parte do embrião, em geral a radícula, penetra e ultrapassa os tecidos que o envolvem, ou quando a plântula emerge da superfície do solo, sendo este último um critério agrônomico (Marcos Filho, 2005). Ambas as correntes consideram que a germinação tem início com a embebição; entretanto, para o conceito agrônomico, cuja natureza é tecnológica, o desenvolvimento da estrutura embrionária e a formação de uma plântula, com suas partes evidentes,

é essencial para se avaliar o potencial de estabelecimento desse novo indivíduo no campo (Marcos Filho, 2005).

O objetivo principal dos testes relativos à germinação de sementes conduzidos em laboratório é estabelecer o potencial máximo de germinação de um lote de sementes, uma vez que, em condições de campo, os resultados nem sempre são satisfatórios pela variação das condições ambientais (Regras..., 2009). Tais testes têm suas metodologias regulamentadas pelas Regras para Análise de Sementes (RAS) (Regras..., 2009) e pelas Regras Internacionais para Análise de Sementes (Handbook..., 1981). Nas RAS, encontram-se os padrões e as metodologias a serem utilizados para cada espécie, em diferentes testes como germinação, vigor, pureza e sanidade, entre outros, bem como as condições específicas de temperatura, substratos ou qualquer condição específica para o tratamento das sementes (Regras..., 2009). Contudo, as RAS não contemplam as metodologias para o estudo da germinação de sementes de pinhão-manso.

O conhecimento das condições ideais para germinação de sementes é de fundamental importância, principalmente pelas respostas diferenciadas que elas podem apresentar em razão de diversos fatores. Viabilidade, dormência, condições de ambiente, água, luz, temperatura, oxigênio e ausência de agentes patogênicos são alguns deles (Carvalho; Nakagawa, 2000; Regras..., 2009).

As sementes só germinam em uma faixa de temperatura própria para cada espécie, em decorrência de sua influência sobre a velocidade de absorção de água e sobre as reações bioquímicas envolvidas no processo, que culminam com o transporte das substâncias de reserva para o eixo embrionário, possibilitando seu desenvolvimento (Bewley; Black, 1994; Carvalho; Nakagawa, 2000; Andrade et al., 2006; Neves et al., 2009). Temperaturas altas aumentam a velocidade de germinação, entretanto apenas as sementes mais vigorosas conseguem germinar (Carvalho; Nakagawa, 2000). Por sua vez, a redução da temperatura gera efeitos fisiológicos e bioquímicos na semente que provocam a diminuição da germinação (Marcos Filho, 2005). A temperatura ótima para a germinação da semente de determinada espécie é a combinação entre a porcentagem e a velocidade de germinação e pode ser configurada como aquela na qual a maior porcentagem de germinação é obtida em menor tempo (Bilia et al., 1998).

O substrato é outro fator importante que deve ser considerado, uma vez que influencia diretamente a germinação. Um bom substrato deve proporcionar boa capacidade

de retenção de água, aeração e baixo grau de infestação de patógenos, podendo favorecer ou prejudicar a germinação das sementes (Figliolia et al., 1993). O equilíbrio desses fatores torna-se essencial para o sucesso do processo germinativo, sendo considerado bom o substrato que proporciona condições adequadas à germinação e ao desenvolvimento do sistema radicular. Não deve, por exemplo, ser umedecido em excesso, a fim de evitar que a película de água envolva completamente a semente, restringindo a entrada e absorção de oxigênio, e nem pouco umedecido, para evitar o ressecamento da semente (Popinigis, 1977; Vázquez-Yanes; Orozco-Segovia, 1982).

Assim, dada a carência de informações disponíveis na literatura, bem como as divergências entre os resultados já publicados, associados à importância do pinhão-mansão e ao crescente interesse pelo seu cultivo, esta pesquisa, parte integrante do Projeto BRJATROPHA, coordenado pela Embrapa Agroenergia (Brasília, DF), foi realizada visando ao estudo do processo de absorção de água pelas sementes de pinhão-mansão, bem como à avaliação da germinação e do vigor entre diferentes lotes de sementes, além da caracterização morfológica dos órgãos reprodutivos (fruto e semente) e das plântulas.

Resultados e considerações

O grau de umidade das sementes de pinhão-mansão do presente estudo foi de 7,0%, que é considerado normal, uma vez que sementes com reserva lipídica possuem grau de umidade inferior a 10,0% (Neves et al., 2009). O peso de mil sementes de pinhão-mansão foi de 663,9 g.

O pinhão-mansão possui frutos (Figuras 1A a 1C) do tipo seco e simples, pedunculados, esquizocarpáceos, com três cocas (tricarpetalar) unisseminadas formadas por valvas cuja constituição agrega duas metades de cada um dos carpelos adjacentes, conforme classificação de Barroso et al. (1999). Quando maduros, de acordo com Pimenta et al. (2014a), os frutos são ovais, de superfície rugosa, glabra, marrom e opaca, formada por tecido de consistência cartácea; possuem em média $2,82 \text{ cm} \pm 0,18 \text{ cm}$ de comprimento e $2,15 \text{ cm} \pm 0,12 \text{ cm}$ de diâmetro; contêm sempre três sementes (Tabela 1), exceto em casos de má formação (aborto de óvulos ou de carpelos); e são deiscentes com abertura longitudinal da sutura dorsal, que se inicia pelo ápice dos carpelos. Externamente, as cocas possuem as características determinantes à superfície do fruto e, internamente, são formadas por tecidos amarelos e opacos sobrepostos, com parte espessa e reticulada, cons-

tituída por cordões fibrosos arranjados em forma de rede de malhas e outra parte membranácea, lisa e rija. O carpóforo é uma coluna central do pericarpo, prolongada a partir do pedúnculo, ao qual permanece íntegra e presa mesmo após a separação dos carpelos.

A deiscência explosiva observada nos frutos de pinhão-mansão (Figuras 1B a 1C) ocorre naturalmente quando eles estão secos, fazendo com que as cocas se fendam e liberem suas sementes. Esse mesmo sistema de abertura de frutos também foi observado em *Jatropha elliptica* (Añes et al., 2005) e, segundo Barroso et al. (1999), trata-se de uma característica complexa, provavelmente originada uma única vez na história evolutiva das angiospermas. Tal mecanismo é um eficiente meio de dispersão de sementes, comum à família Euphorbiaceae, muito embora não seja único, pois existem outras formas de dispersão para propágulos dessa família (Webster, 1994).

Tabela 1. Comprimento e diâmetro de frutos, número de sementes por fruto, comprimento, largura e espessura de sementes de *Jatropha curcas* L. (Pimenta et al., 2014a).

Variável	Mínimo	Média	Máximo	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (%)	Teste de Bartlett (²)
Frutos						
Comprimento (cm)	2,39	2,82	3,18	0,18	6,3	0,2268 ^{ns}
Diâmetro (cm)	1,86	2,15	2,47	0,12	5,5	2,2540 ^{ns}
Número de sementes	3,0	3,0	3,0	0,0	0,0	-
Sementes						
Comprimento (cm)	1,62	1,75	1,87	0,06	3,3	0,7492 ^{ns}
Largura (cm)	0,92	1,09	1,29	0,05	4,5	10,8864 ^{ns}
Espessura (cm)	0,71	0,87	1,02	0,05	5,4	7,5911 ^{ns}

As sementes maduras e secas de pinhão-mansão são relativamente uniformes com médias de 1,75 cm ± 0,06 cm de comprimento, 1,09 cm ± 0,05 cm de largura e 0,87 cm ± 0,05 cm de espessura (Tabela 1), forma ovoide, dorso convexo levemente arredondado e face ventral convexa levemente triangulada (Figuras 1D e 1E); seu tegumento é

seco, rijo, espesso, sendo externamente glabro, liso e de coloração preta com estrias finas, irregulares (Figura 1D) e amareladas e internamente liso e marrom; possuem carúncula semicircular, levemente cônica e diminuta, localizada na parte ventral, próxima ao ápice da semente (Figura 1E); a rafe é formada por uma linha reta, longitudinal e ventral, que se estende do hilo à base da semente (Figura 1E); o hilo constitui um pequeno ponto de difícil visualização, situado na parte ventral apical da semente, e a micrópila se localiza abaixo da carúncula e é fechada por um tecido membranoso (Figura 1G); o tecido de reserva é o endosperma (Figura 1F), de consistência firme e coloração branca, o qual envolve o embrião espatulado, axial (Martin, 1946) e branco, formado por eixo hipocótilo-radícula cilíndrico e reto (Figuras 1F e 1G); os cotilédones, de acordo com a classificação proposta por Damiano Filho e Môro (2005), são membranáceos, lisos, ovais arredondados e apresentam nervuras (Figuras 1F e 1G).

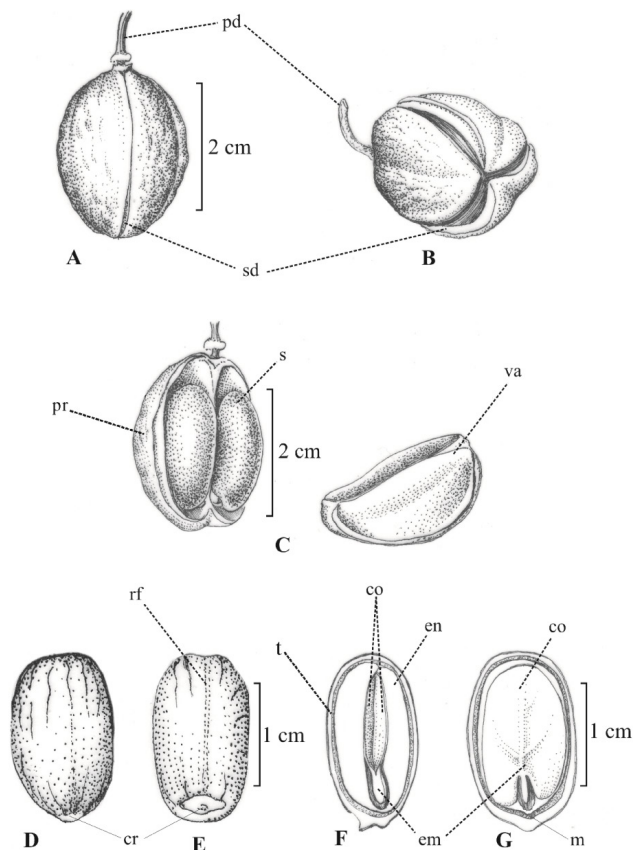


Figura 1. *Jatropha curcas* L. Fruto em vista lateral (A); ápice do fruto (B); lóculos, sementes e valva (C); semente em vista dorsal (D); semente em vista ventral (E); semente em corte perpendicular à face ventral (F); semente em corte paralelo à face ventral (G).

pd = pedúnculo; sd = sutura dorsal; pr = pericarpo; s = semente; va = valva; rf = rafe; cr = carúncula; t = tegumento; co = cotilédone; en = endosperma; em = embrião; m = micrópila.

Fonte: Pimenta et al. (2014a).

A germinação de sementes de pinhão-mansó se iniciou entre 3 e 4 dias após a sementeira, pela protrusão da raiz primária (Figura 2A), que rompeu o tegumento próximo da região do hilo e findou com 90% de plântulas normais ao final do teste. De 4 a 5 dias após a sementeira, o tegumento encontra-se aberto, expondo o endosperma e, nesse estágio, são observadas normalmente cinco raízes, que crescem da região do coleto (Figura 2B). A raiz principal central é reta e pivotante e as demais periféricas, porém todas são semelhantes, com forma cilíndrica e coloração branca. A formação de uma raiz primária e de outras raízes que surgem do coleto também foi observada por Oliveira e Pereira (1987a) em *Aleurites fordii* e *Cnidoscylus polyanthus* e por Oliveira e Pereira (1987b) em *Jatropha mollissima* e em *Omphalea diandra*. Segundo esses autores, a raiz primária tem origem na radícula do embrião e as demais, originadas a partir do colo, devem ser classificadas como raízes adventícias. Essa mesma classificação foi adotada por Añes et al. (2005) ao observar caracteres semelhantes em *Jatropha elliptica*.

As ilustrações e as descrições que se seguem foram baseadas nas plântulas que cresceram no substrato vermiculita por causa das diferenças morfológicas entre as plântulas cultivadas nos diferentes substratos, decorrentes da velocidade do desenvolvimento, que se manifestaram a partir do sexto dia após o início do teste. Para as plântulas sementeiras no substrato papel-toalha, o endosperma está contido no tegumento que apresenta rachaduras; por sua vez, naquelas sementeiras no substrato vermiculita, o endosperma está livre do tegumento e expandido, formando um tecido fino, hialino e gelatinoso que recobre os protofilos (Figura 2C). Nesse estágio, o hipocótilo é carnoso, cilíndrico, glabro, liso e curvo e é possível observar o coleto bem definido pela diferença de espessura entre o sistema radicular e o hipocótilo.

No 7º dia após o início do teste, os protofilos estavam livres do resíduo do endosperma, expandidos em posição oposta e eram verdes, sendo possível classificá-los como paracotilédones, baseando-se na sua forma e coloração, pois, segundo Vogel (1980), a adoção do termo paracotilédone se dá quando os protofilos forem homólogos às primeiras folhas verdadeiras. Segundo Glossário... (2009), os cotilédones são folhas embrionárias e podem ser classificados como órgão de reserva, de função haustorial, e como órgãos fotossintetizantes. Este último é comum em plantas fanerocotiledonares, quando então são denominados paracotilédones. Nesse estágio, também se observou que o hipocótilo assumiu forma retilínea, e a raiz axial tinha cerca de 4 cm de comprimento, sendo menor em relação às raízes periféricas.

Desse modo, por causa da exposição dos cotilédones em relação ao endosperma e ao tegumento e da sua elevação acima do substrato, provocada pelo alongamento do hipocótilo, é possível classificar o desenvolvimento das plântulas de pinhão-manso, segundo Glossário... (2009) e Souza (2009), como epígeo e fanerocotiledonar. Esse tipo de germinação é comum em espécies do gênero *Jatropha*, como constatado por Oliveira e Pereira (1987b) em *Jatropha molissima* e por Añes et al. (2005) em *Jatropha elliptica*.

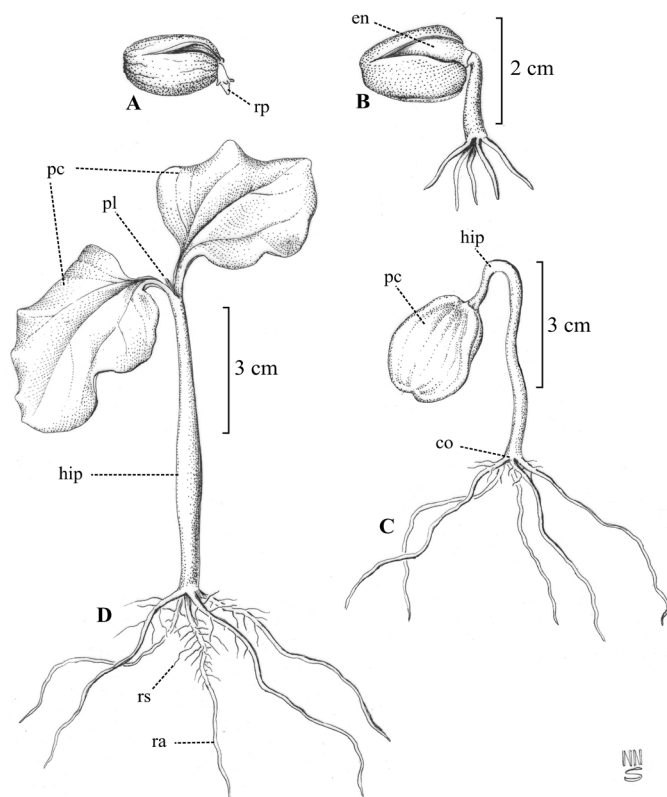


Figura 2. Plântula de *Jatropha curcas* L. Protrusão da raiz primária (A); abertura do tegumento de 4 a 5 dias após a sementeira (B); plântula com 6 dias (C); plântula com 11 dias (D).

rp = raiz primária; en = endosperma; pc = paracotilédones; hip = hipocótilo; co = coleto; pl = plúmula; rs = raiz secundária; ra = raiz axial.

Fonte: Pimenta et al. (2014a).

Onze dias após o início do teste de germinação, a plântula está formada, podendo ser classificada como plântula normal (Figura 2D), conforme critérios de Glossário... (2009). A plúmula pouco desenvolvida localiza-se entre os paracotilédones que estão completamente expandidos, são verdes, peciolados, ovados, de margem lisa, ápice e base

obtusos e com nervação penínérveas, concordando com os resultados obtidos por Nunes et al. (2009) para a mesma espécie. As raízes são brancas, cônicas, pilosas e espessas próximas ao coleto, afilando-se à medida que se aproximam da coifa; e o hipocótilo é cilíndrico, glabro, liso, esverdeado e levemente espesso abaixo da região mediana. Segundo Glossário... (2009), hipocótilo grosso é característico de plântulas anormais, entretanto essa característica foi observada em várias espécies da família Euphorbiaceae, como em *Hura crepitans*, *Jathopha mollissima* e *Omphalea diandra* (Oliveira; Pereira, 1987b) e em *Jatropha elliptica* (Añes et al., 2005). Estes últimos constataram a formação de plantas normais a partir dessas plântulas de hipocótilo espesso.

A curva de absorção de água foi determinada em duas subamostras de sementes de pinhão-mansinho, na qual uma foi morta por autoclavagem e a outra mantida intacta. Após determinação da massa inicial das subamostras, as sementes foram dispostas em substrato de papel-toalha umedecido, e mantido na forma de rolo de papel, em germinador tipo “Mangelsdorf”, com luz constante e temperatura de 25 °C. Realizaram-se 15 avaliações (pesagens das sementes), com intervalos de 3 horas no primeiro dia, 6 no segundo dia e 12 no terceiro dia, encerrando-se quando constatada a protrusão de raiz primária em todas as repetições.

Os graus de umidade iniciais das sementes de pinhão-mansinho foram de 7,0% e 7,4% para sementes vivas e mortas, respectivamente. Valores semelhantes foram encontrados por Braga et al. (2012) em sementes da mesma espécie e, segundo Neves et al. (2009), esse grau de umidade permite concluir que as sementes estavam secas e dentro da normalidade, considerando que possuem reserva lipídica. As diferenças quanto aos graus de umidade iniciais encontrados entre sementes vivas e mortas não influenciaram na obtenção e na interpretação da curva de absorção de água, uma vez que após 3 horas do início do teste essas diferenças deixaram de existir (Tabelas 2). Essa condição é importante para a realização dos testes, uma vez que a relativa uniformidade quanto à umidade das subamostras estudadas possibilita consistência de resultados e é fundamental para a padronização das avaliações (Marcos Filho, 1999).

Na Figura 3, são apresentados os resultados de absorção de água para sementes vivas e mortas, em que é possível observar rápida embebição durante as primeiras 12 horas do teste, com queda acentuada da intensidade de embebição a partir de 15 horas. Constatou-se que, após 15 horas do início dos testes, a magnitude da absorção de água

se torna diferenciada entre sementes vivas e mortas, e que as sementes vivas atingiram grau de umidade de 29,7% (Tabela 2). Possivelmente, as similaridades de embebição entre sementes vivas e mortas durante as primeiras horas do teste e as diferenças a partir de 15 horas se devem às grandezas físicas que governam o processo de embebição. Inicialmente, a embebição se deve às diferenças de potencial hídrico entre as sementes e o meio. Quanto maior for essa diferença, maior e mais veloz é a passagem de água ao longo do gradiente de concentração e/ou para o meio de menor potencial hídrico (Taiz; Zeiger, 2013), que, nesse caso, foi do substrato para a semente.

Observando os dados (Figura 3), aparentemente a fase I se encerra após 24 horas de embebição, quando há leve estabilidade na absorção de água. Porém, considerando que a fase I é rápida e ocorre independentemente de atividade metabólica, que é comum em sementes viáveis e inviáveis (Castro; Hilhorst, 2004; Marcos Filho, 2005; Guimarães et al., 2008), tendo geralmente duração de 8 a 16 horas (Marcos Filho, 2005) e que, em seu final, sementes endospermáticas atingem grau de umidade de 25% a 30% (Guimarães et al., 2008), é possível admitir que a fase I da embebição teve duração aproximada de 15 horas. Evencio et al. (2011) estudaram a absorção de água em sementes de pinhão-mansão e concluíram que a fase I se encerra após 15 horas de embebição, semelhante ao resultado obtido no presente trabalho.

A fase II teve permanência de cerca de 45 horas. Iniciou-se após 15 horas de embebição e finalizou depois de 60 horas do início do teste, quando surgiu a protrusão de raiz primária em algumas sementes (Figura 3). Esses valores confirmam os resultados obtidos por Evencio et al. (2011) em sementes de pinhão-mansão, porém divergem dos resultados descritos por Borges et al. (2009), os quais afirmam que a fase II da absorção de água em sementes dessa espécie inicia-se após 9 horas do início do processo.

A suposição de que a fase II se iniciou entre 12 e 15 horas de embebição baseia-se na drástica redução da absorção de água durante esse intervalo (Marcos Filho, 2005) e nas diferenças estatísticas existentes entre sementes vivas e mortas a partir de 15 horas (Tabela 2). Normalmente espera-se estabilidade de absorção de água pelas sementes na fase II; contudo, sabe-se que a velocidade de embebição durante a fase II é diminuída, por causa da hidratação plena das matrizes absorventes e do aumento do potencial hídrico; porém, ela não é totalmente interrompida. Nesse estágio, o potencial osmótico passa a ser a principal força responsável pelo movimento da água para dentro da semente até

que se atinja um nível platô. A partir daí, esse nível passa a ser relativamente constante ou aumenta pouco e lentamente (Castro; Hilhorst, 2004; Marcos Filho, 2005). Contudo, é possível admitir a sobreposição das fases I e II, uma vez que o início da fase II não implica necessariamente paralização da fase anterior (Marcos Filho, 2005).

As forças resultantes dos potenciais osmótico e matricial possivelmente são as responsáveis pela continuidade da embebição nas sementes mortas durante a fase II (Figura 3), pois a dissolução de moléculas apolares origina moléculas polares. Com isso, há aumento dos sítios de ligação de água, gerando menor potencial hídrico nessas sementes. Essa catálise ocorrida nos tecidos mortos das sementes é um processo natural, potencializado pela ação de microrganismos saprofitos, provavelmente instalados nas sementes durante o teste, em decorrência do seu constante manuseio. Segundo Marcos Filho (2005), a condição é ótima para a proliferação de fungos, dada a liberação de exsudatos ricos em açúcares durante a embebição.

Tabela 2. Médias do grau de umidade em sementes de *Jatropha curcas* L. vivas e mortas durante 72 horas.

Avaliações	Sementes vivas (%)	Sementes mortas (%)	Coefficiente de Variação (%)
0h	7,0 b	7,4 a	0,0
3h	17,4 a	17,1 a	2,3
6h	21,9 a	21,1 a	2,7
9h	25,7 a	24,2 a	3,2
12h	28,2 a	26,4 a	2,6
15h	29,7 a	26,0 b	4,1
18h	31,8 a	27,6 b	4,2
21h	33,7 a	28,9 b	4,3
24h	35,2 a	30,3 b	4,4
30h	37,1 a	32,6 b	2,7
36h	38,8 a	34,2 b	2,6
42h	39,2 a	34,0 b	3,3
48h	39,7 a	35,5 b	3,2
60h	42,3 a	36,3 b	2,2
72h	44,1 a	36,6 b	2,3

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,01$).

Fonte: Pimenta et al. (2014b).

Após 60 horas de duração do teste, observou-se crescente aumento de embebição para as sementes vivas (Figuras 3), além do surgimento de algumas sementes com raiz primária aparente. Contudo, a protrusão de raiz primária em todas as repetições foi verificada somente após 72 horas de embebição. Esse aumento do conteúdo de água nas sementes vivas é devido ao alongamento e à divisão celular, os quais são necessários ao crescimento do eixo embrionário que ocorre apenas nas sementes vivas e não dormentes (Castro; Hilhorst, 2004; Marcos Filho, 2005; Guimarães et al., 2008).

A umidade verificada nas sementes de pinhão-mansinho no momento da protrusão da raiz primária foi de 44,1% (Tabela 2), relativamente acima dos valores estabelecidos para sementes endospermáticas, que é de 35% a 40% (Guimarães et al., 2008). Por sua vez, esses valores são inferiores aos observados por Evencio et al. (2011), que obtiveram protrusão de raiz primária em sementes de pinhão-mansinho quando essas apresentavam 52,7% de umidade. Essas diferenças podem estar associadas à umidade inicial das sementes, uma vez que aquelas utilizadas por Evencio et al. (2011) tinham umidade inicial de aproximadamente 15%. De modo geral, os dados obtidos no presente experimento corroboram aqueles obtidos por Evencio et al. (2011), pela similaridade de duração das fases de embebição de sementes de pinhão-mansinho.

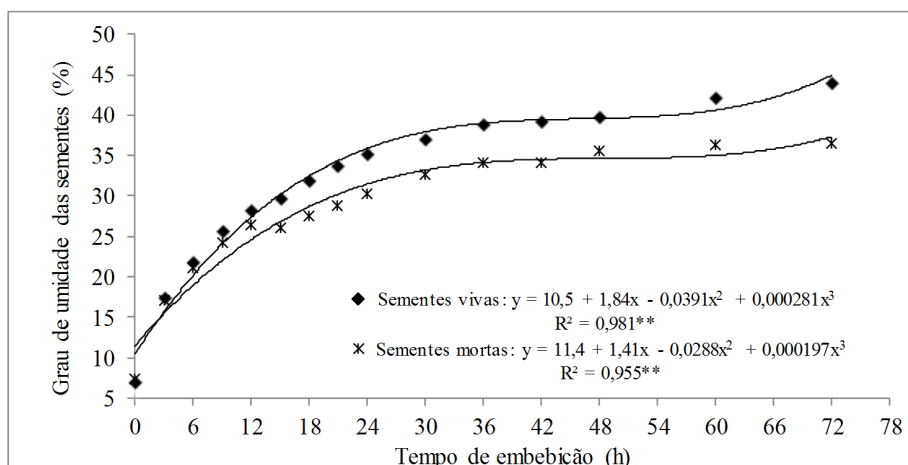


Figura 3. Curva de absorção de água em sementes vivas e mortas de *Jatropha curcas* durante 72 horas.

Fonte: Pimenta et al. (2014b).

A germinação das sementes de pinhão-mansão em laboratório depende da temperatura em que são submetidas e do tipo de substrato utilizado para o teste. Na temperatura de 20 °C, em todos os substratos utilizados foram observadas as menores médias de germinação (Tabela 3). Os melhores percentuais de germinação foram verificados utilizando-se temperaturas constantes de 25 °C e 30 °C em todos os substratos estudados, com valores iguais ou superiores a 84%, exceto no substrato areia, em que foram observadas diferenças estatísticas significativas entre as temperaturas de 25 °C e 30 °C, cujos valores foram de 76% e 87% de germinação, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Comparação de médias para porcentagem de germinação de sementes de *Jatropha curcas* L. submetidas a diferentes temperaturas e substratos.

Temperatura	Substrato		
	Rolo de papel	Vermiculita	Entre areia
20 °C	32 b A	07 b AB	27 c A
25 °C	91 a A	84 a AB	76 b B
30 °C	86 a A	84 a AB	87 a A
Coefficiente de variação (%)	8,4		

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Tagliani (2011).

Foram verificadas diferenças no vigor nas plântulas em relação às temperaturas e aos substratos utilizados (Tabela 4 e Figura 4). Plântulas que se desenvolveram em rolo de papel, na temperatura de 30 °C, e na areia, em 25 °C, apresentaram maiores comprimentos de raiz primária, com 6,90 cm e 5,27 cm, respectivamente.

Tabela 4. Resultados do teste de comparação de médias do comprimento da raiz primária (cm) em plântulas de *Jatropha curcas* L. submetidas a diferentes temperaturas e substratos.

Temperatura	Substrato		
	Rolo de papel	Vermiculita	Entre areia
20 °C	1,38 c A	1,42 a A	1,38 c A
25 °C	3,70 b B	2,69 a B	5,27 a A
30 °C	6,90 a A	2,26 a B	3,27 b B
Coefficiente de variação (%)	23,4		

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade.

Fonte: Tagliani (2011).



Figura 4. Comprimento de raiz primária em plântulas de *Jatropha curcas* L. submetidas a diferentes temperaturas e substratos. Rolo papel (RP), vermiculita (VRM) e entre areia (EA).

Fonte: Tagliani (2011).

Considerações finais

As características referentes à morfologia de frutos, sementes e plântulas de pinhão-manso descritas e ilustradas neste trabalho são homogêneas e confiáveis o suficiente para auxiliar na identificação da espécie e compreender a germinação e o início de seu ciclo biológico. As características morfológicas da plântula podem ser utilizadas na interpretação de testes de germinação cujo critério de avaliação seja a plântula normal.

Sementes de pinhão-manso seguem o padrão trifásico de absorção de água, e a fase I é compreendida entre 0 e 15 horas, a fase II entre 15 e 60 horas, e a fase III inicia-se após 60 horas de embebição.

Temperaturas de 25 °C a 30 °C viabilizam a germinação de sementes de pinhão-manso, sendo recomendada a temperatura de 25 °C com a utilização do substrato rolo de papel e de 30 °C quando o substrato utilizado for areia.

Referências

- ALBRECHT, J. M. F.; SANTOS, A. A.; ARRUDA, T. P. M.; CALDEIRA, S. F.; LEITE, A. M. P.; ALBUQUERQUE, M. C. F. E. **Manual de produção de sementes de espécies florestais nativas**. Cuiabá: Ed. da UFMT, 2003. 88 p.
- ALBUQUERQUE, M. de C. F. e; RODRIGUES, T. de J. D.; MENDONÇA, E. A. F. Absorção de água por sementes de *Crotalaria spectabilis* Roth. determinada em diferentes temperaturas e disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 1, p. 206-215, 2000. DOI: 10.17801/0101-3122/rbs.v22n1p206-215.
- ANDRADE, A. C. S. e; PEREIRA, T. S.; FERNANDES, M. de J.; CRUZ, A. P. M.; CARVALHO, A. S. da R. Substrato, temperatura de germinação e desenvolvimento pós-seminal de sementes de *Dalbegia nigra*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 517-523, mar. 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000300020.
- AÑES, L. M. M.; COELHO, M. F. B.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; DOMBROSKI, J. L. F. Caracterização morfológica dos frutos, das sementes e do desenvolvimento das plântulas de *Jatropha elliptica* Müll. Arg. (Euphorbiaceae). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 563-568, jul./set. 2005. DOI: 10.1590/S0100-84042005000300012.
- ARRUDA, F. P. de; BELTRÃO, N. E. de M.; ANDRADE, A. P. de; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curca* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 8, n. 1, p. 789-799, jan./abr. 2004.

- BARROSO, G. M.; MORIM, M. P.; PEIXOTO, A. L.; ICHASO, C. L. F. **Frutos e sementes**: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 1999. 443 p.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds**: physiology and development and germination. 2nd ed. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.
- BILIA, D. A. C.; BARBEDO, C. J.; MALUF, A. M. Germinação de diásporas de canela (*Ocotea corymbosa* (Meissn) Mez - lauraceae) em função da temperatura, do substrato e da dormência. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 20, n. 1, p. 189-194, 1998. DOI: 10.17801/0101-3122/rbs.v20n1p189-194.
- BIODIESEL: o novo combustível do Brasil. [Brasília, DF]: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007. Palestra.
- BORGES, R. C. F.; COLLAÇO, JÚNIOR, J. C.; SCARPARO, B.; NEVES, M. B.; CONEGLIAN, A. Caracterização da curva de embebição de sementes de pinhão manso. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 8, n. 13, p. 36-43, 2009.
- BRAGA, N. da S.; MORAIS, C. S. B. de; ROSSETTO, C. A. V. Hidratação controlada de sementes de pinhão manso. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 589-597, jul./set. 2012. DOI: 10.1590/S1806-66902012000300023.
- CARDOSO, V. J. M. Germinação. In: KERBAUY, G. B. (Org.). **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 386-408.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes**: ciência, tecnologia e produção. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2000. 588 p.
- CASTRO, R. D.; HILHORST, H. W. M. Embebição e reativação do metabolismo. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (Org.). **Germinação**: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 149-162.
- COSMO, N. L.; NOGUEIRA, A. C.; LIMA, J. G. de; KUNIYOSHI, Y. S. Morfologia de fruto, semente e plântula de *Sebastiania commersoniana*, Euphorbiaceae. **Floresta**, v. 40, n. 2, p. 419-428, abr./jun. 2010. DOI: 10.5380/ufv.v40i2.17837.
- DAMIÃO FILHO, C. F.; MÔRO, F. V. **Morfologia vegetal**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2005. 172 p.
- EVENCIO, T.; BRANDÃO JUNIOR, D. da S.; NEVES, J. M. G.; BRANDÃO, A. de A.; MAGALHÃES, H. M.; COSTA, C. A. da; MARTINS, E. R. Curva de absorção de água em sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 193-197, mar./abr. 2011. DOI: 10.1590/S0100-67622011000200003.
- FIGLIOLIA, M. B.; OLIVEIRA, E. C.; PIÑA RODRIGUES, F. C. M. Análise de sementes. In: AGUIAR, I. B.; PIÑA RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B. **Sementes florestais tropicais**. Brasília, DF: Abrates, 1993. p. 137-174.

GLOSSÁRIO ilustrado de morfologia. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. 406 p.

GUIMARÃES, M. A.; DIAS, D. C. F. S.; LOUREIRO, M. E. Hidratação de sementes. **Revista Trópica**, v. 2, n. 1, p. 31-39, 2008.

HANDBOOK of vigour test methods. Zurich: International Seed Testing Association, 1981. 72 f.

KUNIYOSHI, Y. S. **Morfologia da semente e da germinação de 25 espécies arbóreas de uma floresta com Araucária**. 1983. 233 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LIMA JR., M. J. V.; FIGLIOLIA, M. B.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; GENTIL, D. F. O.; SOUZA, M. M.; SILVA, V. S. Análise de pureza. In: LIMA JR., M. de J. da (Ed.). **Manual de procedimentos para análise de sementes florestais**. Manaus: Ed. da UFAM, 2010. p. 27-38.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. de B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999. p. 1-3.24.

MARTIN, A. C. The comparative internal morphology of seeds. **The American Midland Naturalist**, v. 36, n. 3, p. 513-660, Nov. 1946. DOI: 10.2307/2421457.

MARTINS, C. C.; MACHADO, C. G.; CAVASINI, R. Temperatura e substrato para o teste de germinação de sementes de pinhão-mansô. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 3, p. 863-868, maio/jun. 2008. DOI: 10.1590/S1413-70542008000300024.


NEVES, J. M. G.; SILVA, H. P. da; BRANDÃO JUNIOR, D. da S.; MARTINS, E. R.; NUNES, U. R. Padronização do teste de germinação par sementes de pinhão-mansô. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 76-80, 2009. DOI: 10.5771/0040-117X-2009-1-80.

NUNES, C. F.; SANTOS, D. N. dos; PASQUAL, M.; VALENTE, T. C. T. Morfologia externa de frutos, sementes e plântulas de pinhão-mansô. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 207-210, fev. 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000200014.

OLIVEIRA, E. de C.; PEREIRA, T. S. Euphorbiaceae, morfologia da germinação de algumas espécies, I. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 9, n. 1, p. 9-29, 1987a. DOI: 10.17801/0101-3122/rbs.v9n1p9-29.

OLIVEIRA, E. de C.; PEREIRA, T. S. Euphorbiaceae, morfologia da germinação de algumas espécies II. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 9, n. 1, p. 31-51, 1987b. DOI: 10.17801/0101-3122/rbs.v9n1p31-51.

- OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled. **Biomass and Bioenergy**, v.19, n. 1, p. 1-15, July 2000. DOI: 10.1016/S0961-9534(00)00019-2.
- PIMENTA, A. C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; LAVIOLA, B. G. Morfologia de frutos, sementes e plântulas de *Jatropha curcas*. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 73-80, 2014a. DOI: 10.5380/ufv.v44i1.30878.
- PIMENTA, A. C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; LAVIOLA, B. G.; PANOBIANCO, M. Curva de absorção de água em sementes de pinhão-manso. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 3, p. 295-301, 2014b. DOI: 10.14295/cs.v5i3.480.
- POPINIGIS, F. **Fisiologia de sementes**. Brasília, DF: Agiplan, 1977. 289 p.
- RAO, G. R.; KORWAR, G. R.; SHANKER, A. K.; RAMAKRISHNA, Y. S. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. **Trees**, v. 22, n. 2, p. 697-709, Oct. 2008. DOI: 10.1007/s00468-008-0229-4.
- REGRAS para análise de sementes. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. 399 p.
- SOUZA, L. A. **Morfologia e anatomia vegetal**: células, tecidos, órgãos e plântulas. Ponta Grossa: Ed. da UEPG, 2009. 259 p.
- TAGLIANI, M. C. **Propagação do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) por sementes e miniestacas**. 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.
- VÁZQUEZ-YANES, C.; OROZCO-SEGOVIA, A. Seed germination of a tropical rain forest pioneer tree (*Heliocarpus donnell Smithii*) in response to diurnal fluctuations of temperature. **Physiologia Plantarum**, v. 56, n. 3, p. 295-298, Nov. 1982. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1982.tb00341.x.
- VOGEL, E. F. **Seedlings of dicotyledons**: structure, development, types, descriptions of 150 woody Malesian taxa. Wageningen: Centre for Publishing and Documentation, 1980.
- WEBSTER, G. L. Classification of the Euphorbiaceae. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 81, n. 1, p. 3-32, 1994. DOI: 10.2307/2399908.



**Enraizamento de
miniestacas de pinhão-
-manso: propagação
e anatomia**

Enraizamento de miniestacas de pinhão-manso: propagação e anatomia

Katia Christina Zuffellato-Ribas

Introdução

Há muito tempo a propagação vegetativa é utilizada no intuito de solucionar uma série de problemas relacionados à produção de mudas em escala comercial. Matrizes mais produtivas, resistentes a doenças, mais adaptadas a certos ambientes, entre outros objetivos particulares, podem ser selecionadas e multiplicadas por meio da clonagem.

A propagação vegetativa baseia-se na multiplicação assexuada de partes de plantas, sejam elas tecidos, células, órgãos ou propágulos, tendo como objetivo a obtenção de indivíduos geneticamente idênticos à planta matriz (Wendling et al., 2000). O sucesso desse tipo de propagação depende fundamentalmente do sucesso do processo de enraizamento. Para isso, fatores intrínsecos relacionados à própria planta e extrínsecos relacionados às condições ambientais exercem papéis fundamentais nesse processo (Hartmann et al., 2011).

A estaquia é um método que possui a vantagem de garantir a seleção de genótipos superiores, além da maior produção de mudas em menor espaço de tempo. Suas desvantagens incluem a dificuldade de se induzir a produção de raízes adventícias em muitas espécies, bem como a diminuição da capacidade de enraizamento (Neves et al., 2005). De acordo com Taiz e Zeiger (2013), as plantas possuem hormônios vegetais do grupo das auxinas, os quais podem induzir a formação de raízes em estacas. As auxinas estimulam a divisão celular nos meristemas primários e secundários, contribuindo para o subsequente alongamento das células, em virtude de sua influência sobre as paredes celulares que se tornam plásticas e facilmente extensíveis (Nachtigal, 1999).

O ácido indol acético (IAA) é a auxina natural mais conhecida que atua na indução do sistema radicial, sendo sintetizado principalmente em regiões meristemáticas, ápices caulinares e radiculares, flores, frutos e folhas jovens, degradado na planta pelo sistema enzimático IAA-oxidase/peroxidase (Taiz; Zeiger, 2013). Contudo, para acelerar e promover o enraizamento, são empregadas na propagação vegetativa diversas substâncias sintéticas que induzem a formação de raízes adventícias, e o ácido indol butírico (IBA) é a auxina mais eficiente para essa finalidade, seguido do ácido naftaleno acético (NAA) (Fachinello et al., 1995; Hartmann et al., 2011).

Fatores exógenos também podem influenciar o processo de enraizamento, como a época de coleta das estacas, a juvenildade, a presença de folhas e gemas, a idade da planta matriz, a disponibilidade de água, a luminosidade, o substrato, entre outros fatores (Zuffellato-Ribas; Rodrigues, 2001; Hartmann et al., 2011).

A miniestaquia é uma técnica de propagação vegetativa derivada da estaquia convencional, que consiste na utilização de brotações de plantas propagadas pelo processo de estaquia ou mudas produzidas por sementes (Alfenas et al., 2004). Na miniestaquia, que dispensa o rejuvenescimento in vitro (Wendling et al., 2000), as plantas matrizes são mantidas em condições de poda permanente, originando assim as minicepas, as quais são supridas periodicamente por adubação via solução nutritiva no substrato.

A utilização da miniestaquia acarretou a redução da área dos jardins clonais, os quais passaram a ser chamados de minijardins clonais. Esses podem ser implantados em sistema de recipientes, variando de vasos de polipropileno de diferentes volumes, caixas de fibra de vidro das mais variadas formas e dimensões, ou sistemas de canaletões de fibra-cimento (Higashi et al., 2000). Essa técnica pode ainda ser adaptada à realidade de pequenos e médios proprietários rurais para produção de mudas destinadas a plantios dirigidos ou para utilização em processos de recuperação de áreas degradadas, gerando incremento de renda (Ferriani, 2009).

O desenvolvimento dessa técnica teve seu início na década de 1990 para o gênero *Eucalyptus* (Higashi et al., 2000), em razão das limitações impostas pelo cultivo in vitro (Wendling et al., 2000; Almeida et al., 2007). Sua aplicação tem possibilitado a propagação de genótipos de difícil enraizamento, com ampliação da porcentagem de miniestacas enraizadas e melhoria do sistema radicial, diminuição do período de enraizamento e aclimação, além da redução da utilização de reguladores vegetais, influenciando diretamente o

desempenho das mudas em campo (Higashi et al., 2000; Xavier et al., 2003; Alfenas et al., 2004; Wendling et al., 2005; Ferriani, 2009).

A propagação sexuada do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L. – Euphorbiaceae) é viável e a técnica é usual. Suas sementes não apresentam dormência e a germinabilidade delas é alta. No entanto, o estudo da propagação assexuada por meio de estacas e miniestacas foi desenvolvido a fim de, uma vez elaborados os protocolos de propagação vegetativa, possibilitar a produção massal de genótipos selecionados, com precocidade de produtividade. O material vegetativo a ser coletado de plantas adultas e maduras já em estágio de florescimento confere características adultas à muda formada, a qual não passa pela fase juvenil, inerente à propagação seminal, entrando assim rapidamente em sua fase reprodutiva, com a formação de flores, frutos e sementes, objeto de particular interesse para a extração do óleo do pinhão-mansão.

Em 2007, quando do início do Projeto BRJatropha, muito pouco se sabia sobre a propagação vegetativa do pinhão-mansão. Desde então, vários testes foram realizados pelo Grupo de Estudo e Pesquisa em Estaquia (Gepe), que utilizou estacas oriundas de plantas adultas e miniestacas oriundas de mudas de sementes. Criado em 2003 pela Prof.^a Dra. Kátia Christina Zuffellato-Ribas, o Gepe tem por objetivo desde sua idealização e instituição, inclusive como grupo de pesquisa do CNPq, agregar pesquisadores e professores de Fisiologia Vegetal e Anatomia Vegetal, profissionais da área de Propagação de Plantas, bem como alunos de graduação e pós-graduação, os quais, motivados à investigação da indução da rizogênese, unem esforços para contribuir para a solução de problemas relativos à propagação vegetativa de várias espécies, desenvolvendo protocolos de enraizamento e produção de mudas para os mais diversos fins.

A parceria da Embrapa Agroenergia bem como da Embrapa Florestas com o Gepe já rendeu frutos, os quais foram colhidos por meio de diversas defesas de dissertações de mestrado e teses de doutorado, bem como da divulgação dessas informações em artigos científicos publicados em revistas da área.

Lotes de estacas caulinares de pinhão-mansão foram enviados da Embrapa Agroenergia (Brasília, DF) ao Laboratório de Macropropagação da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR. No entanto, muito material foi perdido por oxidação das estacas, possivelmente pela forma de acondicionamento e pelo tempo de deslocamento entre o local de origem e o laboratório, minimizando a unidade amostral a ser avaliada. Como o Sul

do País é uma região inadequada ao plantio da espécie, em virtude das geadas frequentes no inverno, optou-se por estudar a propagação vegetativa via miniestaquia, a partir das mudas formadas com os testes de germinação de sementes.

A partir do recebimento de lotes de sementes de genótipos selecionados de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) oriundos do Banco de Germoplasma da Embrapa Agroenergia, em Brasília, DF, foi formado um minijardim no Laboratório de Propagação de Espécies Florestais da Embrapa Florestas, em Colombo, PR. Segundo classificação de Köppen, o clima da região de Colombo é do tipo Cfb, isto é, clima caracterizado como temperado úmido com temperatura média dos meses mais quentes acima de 10 °C, com verões suaves e inverno com geadas frequentes e tendência de concentração de chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida.

Em linhas gerais, com algumas peculiaridades pertinentes aos diferentes experimentos realizados nesse período de execução do Projeto BRJatropha, as mudas foram desenvolvidas em recipientes plásticos, com volume de 1.800 cm³, preenchidos com terra como substrato ou com substrato comercial (composto de 50% de fibra de casca de coco, 50% de casca de Pinus), acrescido de adubo 18-05-09 de liberação lenta (1,3 kg m⁻³ substrato). As mudas foram acondicionadas em estufa sem controle de temperatura e com três irrigações diárias de 10 minutos cada. Quinzenalmente, foi aplicada solução nutritiva básica (aproximadamente 10 mL por planta) composta por sulfato de amônio (4 g L⁻¹), superfosfato simples (4 g L⁻¹), FTE BR-12 (1 g L⁻¹) e cloreto de potássio (4 g L⁻¹). As mudas foram podadas a aproximadamente 10 cm da região acima do colo das minicepas e foram mantidas ao menos três folhas na planta matriz para manutenção do processo fotossintético (Figuras 1A e 1B). Sempre que os novos brotos atingiam tamanho mínimo para coleta, aproximadamente a cada 60 dias, eles eram colhidos para a produção das miniestacas, com 4 cm a 6 cm de comprimento e diâmetro aproximado de 0,8 cm. Um corte reto foi realizado no ápice e um corte em bisel na base, mantendo-se um par de folhas na porção apical com sua área reduzida pela metade, a fim de evitar perda excessiva de água por transpiração (Figuras 1C e 1D).

Não foi realizada desinfestação com hipoclorito de sódio, uma vez que o material vegetal não se encontrava em campo, era tenro e mantinha boas condições fitossanitárias. As bases das miniestacas foram imersas por 10 segundos em soluções hidroalcoólicas

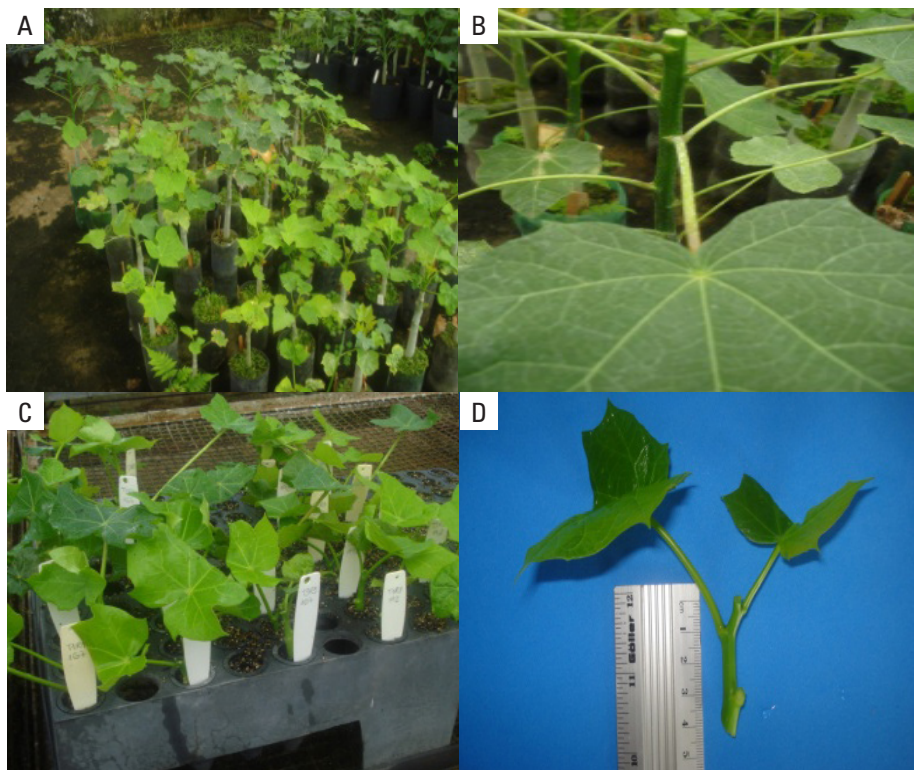


Figura 1. Mudas de *Jatropha curcas* L. antes da primeira poda de formação das minicepas (A). Detalhe das plantas matrizes após a primeira poda (B). Miniestaca confeccionada (C). Plantio em tubetes de enraizamento (D).

Fonte: Tagliani (2011).

(50% v/v), em IBA, nas concentrações de 0 mg L⁻¹, 250 mg L⁻¹, 500 mg L⁻¹ e 1.000 mg L⁻¹, e plantadas em tubetes de polipropileno com capacidade de 280 cm³, tendo como substrato vermiculita de granulometria média e casca de arroz carbonizada (1:1, v/v). O material foi mantido em casa de vegetação climatizada com nebulização intermitente (90% de umidade relativa e 24 °C ± 2 °C).

Após 60 dias da instalação dos experimentos, foram avaliadas as seguintes variáveis:

- Enraizamento: miniestacas vivas que apresentaram raízes com pelo menos 1 mm de comprimento (%).

- Miniestacas com calos: miniestacas vivas, sem raízes, com formação de massa celular indiferenciada na base (%).
- Número de raízes por miniestaca.
- Comprimento das três maiores raízes por miniestaca (cm).
- Sobrevivência: miniestacas vivas que não apresentavam nem indução radicial nem formação de calos (%).
- Mortalidade: miniestacas com tecidos necrosados (%).
- Miniestacas com brotações (%).
- Miniestacas que mantiveram o par de folhas inicial (%).

Realizou-se ainda a avaliação da produtividade de brotações por minicepa em cada coleta de miniestacas, o que resultou na produtividade de miniestacas por minicepa por coleta e por m².

As coletas das miniestacas foram realizadas em diversas épocas do ano ao longo dos experimentos desenvolvidos: março/2009, setembro/2009, novembro/2009, abril/2010, janeiro/2014 e março/2014.

No intuito de caracterizar as miniestacas de pinhão-manso e identificar possíveis barreiras à indução radicial, foram realizadas análises anatômicas por meio de amostras das bases das miniestacas, com cerca de 3 cm de comprimento, as quais foram fixadas em formol, ácido acético e álcool etílico (FAA) a 70% (Johansen, 1940), durante 24h e conservadas em álcool 70% até o início das atividades no Laboratório de Anatomia Vegetal, no Departamento de Botânica, UFPR, em Curitiba, PR. As lâminas foram montadas em gelatina glicerizada e, posteriormente, vedadas com esmalte incolor. As fotomicrografias foram realizadas em microscópio Zeiss com câmera digital Sony Cyber-Shot P72 acoplada.

Resultados e considerações

Os altos percentuais de enraizamento obtidos nas coletas de março/2009 (83,3%), setembro/2009 (78,1%) e abril/2010 (85,0%), sem a aplicação de IBA (Tabela 1), possivelmente estão relacionados à condição fisiológica das minicepas, nas quais, provavelmente, havia concentração hormonal favorável ao efeito de rizogênese promovido por auxina,

ausência de inibidores e presença de cofatores, conforme proposto por Hartmann et al. (2011). A queda dos percentuais de enraizamento com aplicação de IBA para essas coletas indica que as miniestacas já possuíam auxina endógena em quantidades suficientes para a indução radicial.

Em condição antagonica, nas miniestacas coletadas em novembro/2009, foi necessária a aplicação de IBA para a complementação da auxina endógena e estabelecimento das correlações hormonais desejáveis ao enraizamento, uma vez que os resultados alcançados pelas miniestacas dos tratamentos que continham IBA em relação à testemunha (Tabela 1) terem sido estatisticamente superiores. Isso ocorre porque a concentração de auxina encontra-se intimamente relacionada à formação de raízes adventícias e porque as concentrações abaixo do nível crítico não são eficazes para o enraizamento e, acima desse nível, são prejudiciais ao processo de formação de raízes (Janick, 1966).

Em termos práticos, apesar de a análise estatística não evidenciar diferença significativa entre a testemunha e a aplicação de 250 mg L⁻¹ de IBA, em março e em setembro de 2009, constatou-se que, em valores absolutos, as maiores taxas de miniestacas de pinhão-manso enraizadas ocorreram sem a necessidade da aplicação do regulador vegetal (Tabela 1). Considerando-se a produção de mudas em larga escala, essa diferença numérica pode tornar-se economicamente importante para o produtor (Pimenta et al., 2014).

Tabela 1. Percentuais de miniestacas de *Jatropha curcas* L. enraizadas em experimentos instalados em quatro épocas de coleta (março, setembro e novembro de 2009 e abril de 2010). Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, 2010.

Época de coleta	Concentração de ácido indol butírico (mg L ⁻¹)			
	0	250	500	1.000
Março/2009	83,3 a A	61,1 bc AB	45,4 ab B	57,0 a B
Setembro/2009	78,1 ab A	65,6 ab AB	25,0 b C	43,8 ab BC
Novembro/2009	56,3 b B	86,3 a A	63,8 a AB	66,3 a AB
Abril/2010	85,0 a A	38,3 c B	30,0 b B	26,7 b B
Coefficiente de variação (%)	22,1			

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Pimenta et al. (2014).

Durante o início do processo de enraizamento adventício, é necessário o acúmulo de auxina na base das estacas e/ou miniestacas para que haja indução da divisão celular. Após alguns dias, essa concentração auxínica deve diminuir pela ação do sistema enzimático IAA-oxidase/peroxidase, o que faz com que o aumento das concentrações endógenas de ácido abscísico e etileno auxiliem no crescimento e na diferenciação das células em primórdios radiciais (Jarvis, 1986).

Nesse momento, a rizogênese pode ser direta ou indireta. Na rizogênese direta, células do câmbio, da parênquima ou de qualquer outro tecido têm a capacidade de se diferenciar em primórdios radiciais. Já na rizogênese indireta, primeiramente será formado um conjunto de células indiferenciadas, as quais são chamadas de calos, que podem ou não vir a se diferenciar em raízes, dependendo do balanço hormonal interno do material vegetal.

O pinhão-mansão pode ser considerado uma espécie de fácil enraizamento, cuja concentração endógena de auxinas é suficiente para a indução radicial e para o alongamento e a divisão celular (Figura 2).

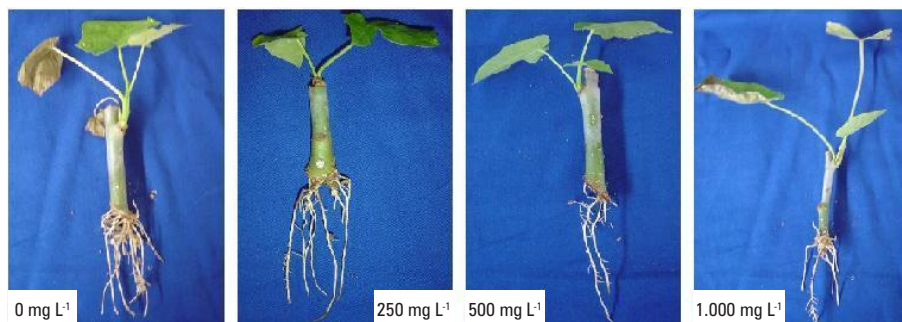


Figura 2. Miniestacas de *Jatropha curcas* L. enraizadas em diferentes concentrações de ácido indol butírico (IBA) de 0, 250 mg L⁻¹, 500 mg L⁻¹ e 1.000 mg L⁻¹, coletadas em setembro de 2009.

Fonte: Tagliani (2011).

Nas análises anatômicas realizadas nas miniestacas de pinhão-mansão (Figura 3), não se observou presença de amido, lipídios e fibras esclerenquimáticas, provavelmente em razão da origem das miniestacas, que foram retiradas de minicepas seminais, após intensas podas (Tagliani, 2011). Hartmann et al. (2011) propuseram que material juvenil ou rejuvenescido apresenta, em sua grande parte, parede celular primária e pouco lignificada,

o que pode explicar elevada indução radicial das miniestacas de pinhão-manso, uma vez que as raízes adventícias não encontram barreiras estruturais para seu desenvolvimento.

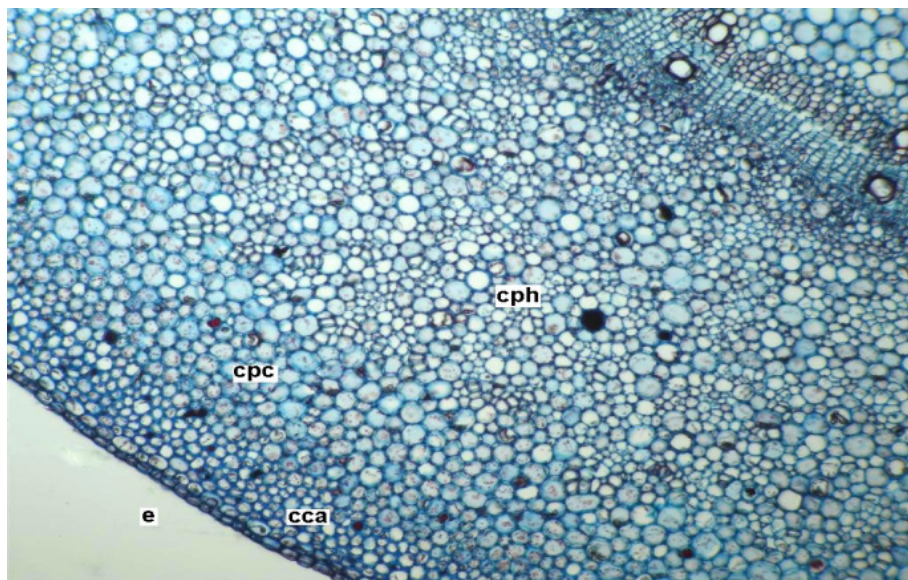


Figura 3. Secção transversal de miniestaca de *Jatropha curcas* L. coletada em junho de 2010. Vista geral evidenciando a epiderme unisseriada (e), região cortical com camadas de células colenquimáticas angulares (cca), células parenquimáticas clorofiladas (cpc) e ampla camada de células parenquimáticas heterogêneas (cph).

Fonte: Tagliani (2011).

Em relação aos percentuais de estacas com calos, houve interação significativa entre a aplicação de IBA e a época em que as miniestacas foram coletadas. Na Tabela 2, são apresentados os resultados em que se verifica a formação de calos em três das quatro épocas estudadas (março e novembro de 2009 e abril de 2010). Destaca-se que, na testemunha, as épocas mais propícias à formação de calos foram novembro de 2009 (32,5%) e abril de 2010 (15,0%). Na coleta realizada em março de 2009, verificaram-se diferenças significativas entre a testemunha e as concentrações de IBA utilizadas; em abril de 2010, a testemunha diferiu somente da concentração de 250 mg L⁻¹ de IBA (51,7%).

Visto a baixa porcentagem de miniestacas de pinhão-manso que apresentaram formação de calos em suas bases, pode-se afirmar que a rizogênese dessa espécie é direta.

Tabela 2. Percentuais de miniestacas de *Jatropha curcas* L. com calos nos experimentos instalados em quatro épocas de coleta (março, setembro e novembro de 2009 e abril de 2010). Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, 2010.

Época de coleta	Concentração de ácido indol butírico (mg L ⁻¹)			
	0	250	500	1.000
Março/2009	2,8 b B	30,5 ab A	52,3 a A	43,1 a A
Setembro/2009	0,0 b A	0,0 c A	0,0 c A	0,0 b A
Novembro/2009	32,5 a A	5,0 bc A	22,5 bc A	17,5 ab A
Abril/2010	15,0 ab B	51,7 a A	31,7 a b AB	35,0 a AB
Coefficiente de variação (%)	66,8			

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Pimenta et al. (2014).

Quanto ao número médio de raízes por miniestaca, também foram verificadas interações entre os fatores estudados. O efeito da aplicação de IBA foi constatado somente nas coletas de setembro de 2009 (2,9) e abril de 2010 (6,1), com diminuição do número de raízes por miniestaca nas concentrações de 500 mg L⁻¹ de IBA e 1.000 mg L⁻¹ de IBA, respectivamente. A coleta realizada em abril de 2010, sem a aplicação do regulador vegetal, foi a que propiciou maior número de raízes formadas (9,7), diferindo estatisticamente das demais épocas (Tabela 3). Possivelmente, esse resultado foi devido à alta concentração de reservas acumuladas nas miniestacas durante as estações de crescimento vegetativo, como consequência das altas taxas fotossintéticas ocorridas no verão e por se tratar de uma espécie de fácil enraizamento, que, segundo Nachtigal (1999), emite grande número de raízes sem a necessidade de aplicação de regulador vegetal.

Como pode ser observado na Tabela 4, independentemente da concentração do regulador vegetal utilizada, a coleta realizada em novembro de 2009 promoveu o maior incremento no comprimento médio das três maiores raízes por miniestaca; no entanto, não diferiu estatisticamente do resultado obtido na testemunha na coleta realizada em abril de 2010. Os bons resultados para comprimento de raízes obtidos na testemunha podem se relacionar à origem do material em estudo (miniestacas), bem como a sua idade fisiológica

(material rejuvenescido), uma vez que a aplicação de qualquer regulador vegetal torna-se desnecessária em miniestacas oriundas de brotações juvenis (Wendling; Xavier, 2005).

Tabela 3. Número médio de raízes por miniestaca de *Jatropha curcas* L. obtido nos experimentos instalados em quatro épocas de coleta (março, setembro e novembro/2009, e abril/2010). Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, 2010.

Época de coleta	Concentração de ácido indol butírico (mg L ⁻¹)			
	0	250	500	1.000
Março/2009	4,5 b A	4,2 b A	5,5 ab A	5,5 a A
Setembro/2009	6,5 b A	6,0 ab A	2,9 b B	4,5 a AB
Novembro/2009	5,8 b A	6,1 ab A	4,7 ab A	5,0 a A
Abril/2010	9,7 a A	7,3 a AB	6,7 a B	6,1 a B
Coefficiente de variação (%)	25,7			

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Pimenta et al. (2014).

Tabela 4. Comprimento médio de raízes (cm) por miniestaca de *Jatropha curcas* L., obtido nos experimentos instalados em quatro épocas de coleta (março, setembro e novembro de 2009 e abril de 2010). Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, 2010.

Época de coleta	Concentração de ácido indol butírico (mg L ⁻¹)			
	0	250	500	1.000
Março/2009	6,1 c A	3,9 b B	5,0 bc AB	4,9 b AB
Setembro/2009	7,2 bc A	4,6 b B	3,6 c BC	2,3 c C
Novembro/2009	9,8 a A	8,4 a A	9,0 a A	8,0 a A
Abril/2010	9,1 ab A	6,9 a B	6,3 b BC	4,9 b C
Coefficiente de variação (%)	16,70			

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Pimenta et al. (2014).

É importante salientar que a primavera é considerada uma época propícia à propagação vegetativa por estacas ou miniestacas, por causa de sua temperatura quente, porém amena. O aumento do comprimento de raízes também foi verificado em experimentos com oliveira (Oliveira et al., 2003) e lichieira (Carvalho et al., 2005) durante a primavera, em comparação às outras épocas.

Em se tratando de produção de mudas, as variáveis “número médio de raízes” e “comprimento médio de raízes” são de extrema importância, pois, à medida que há melhor resposta dessas variáveis, haverá posteriormente mudas com melhor desenvolvimento radicial e maiores índices de sobrevivência quando transplantadas para o campo (Antunes et al., 1996).

Para os experimentos realizados em 2014, não foram observadas miniestacas de pinhão-manso nem com a formação de calos nem com tecidos necrosados e/ou mortas.

Zuffellato-Ribas e Rodrigues (2001) citam que a formação de raízes adventícias e de calos são processos independentes entre si. Como pode ser observado nos resultados encontrados para pinhão-manso, espécie que apresenta rizogênese direta, não foi necessária a formação precedente de calos para que a diferenciação celular ocorresse.

As variáveis “enraizamento das miniestacas” (93,75%), “sobrevivência das miniestacas” (6,25% não apresentaram indução radicial no momento da avaliação) e “miniestacas com novas brotações” (75%) não apresentaram diferenças estatísticas entre épocas de coleta, genótipos de pinhão-manso utilizados (167-II-2 e 190-II-2), concentrações de IBA e para as respectivas interações entre os fatores.

A variável número de raízes por miniestaca apresentou diferenças estatísticas quanto ao genótipo e a interação época-genótipo (Tabela 5), enquanto o comprimento das três maiores raízes por miniestaca e miniestacas que mantiveram o par de folhas inicial diferiram estatisticamente apenas quanto aos genótipos (Tabela 6).

Miniestacas do genótipo 167-II-2 mantiveram 100% do par de folhas inicial, nas duas épocas de coleta, enquanto miniestacas do genótipo 190-II-2 apresentaram 95,83% e 89,89% em estacas produzidas em janeiro e março de 2014, respectivamente.

Assim como resultados encontrados para corticeira-da-serra (Neves et al., 2006), o verão é uma estação do ano adequada para a produção de mudas de pinhão-manso, pois permitiu a formação de raízes em 93,75% das estacas.

Tabela 5. Número médio de raízes por miniestaca, obtido de dois genótipos de *Jatropha curcas* L., após 60 dias em casa de vegetação, em duas épocas de coleta, em Colombo, PR, 2014.

Época de coleta	Genótipos	
	167-II-2	190-II-2
Janeiro/2014	12,58 aA	7,67 bB
Março/2014	12,00 aA	11,50 aA
F ¹ genótipos	8,82**	
F épocas x genótipos	5,86*	
Coefficiente de variação (%)	28,89	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna ou maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

F¹ = F calculado. * Significativo ao nível de 5% de probabilidade. ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 6. Manutenção do par de folhas inicial e comprimento das três maiores raízes por miniestaca, de dois genótipos de *Jatropha curcas* L., após 60 dias em casa de vegetação, em duas épocas de coleta, em Colombo, PR, 2014.

Genótipos	Estacas que mantiveram o par de folhas inicial	Comprimento das três maiores raízes		
		A	B	C
167-II-2	100,00 a	5,21 a	3,80 a	2,84 a
190-II-2	92,36 b	2,92 b	2,19 b	1,33 b
F ¹ genótipos	5,76*	25,91**	14,71**	37,12**
Coefficiente de variação (%)	11,46	38,31	48,77	41,22

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A, B e C = comprimento das três maiores raízes, em ordem decrescente, respectivamente. F¹ = F calculado. * Significativo ao nível de 5% de probabilidade. ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Não se pode afirmar que a manutenção do par de folhas inicial permite melhor enraizamento das miniestacas, uma vez que, para o genótipo 167-II-2, essa variável manteve-se igual para miniestacas produzidas em janeiro e março de 2014, e o número de raízes não diferiu em ambas as épocas. Já para o genótipo 190-II-2, de janeiro a março de 2014, ocorreu decréscimo na porcentagem de miniestacas que mantiveram o par de folhas inicial, porém elevou-se o número de miniestacas enraizadas.

Com relação à habilidade de enraizamento, Hartmann et al. (2011) postularam que as plantas podem ser classificadas em três categorias: 1) plantas fáceis de enraizar, quando seus tecidos têm todas as substâncias endógenas, tais como auxinas e cofatores do enraizamento, essenciais à rizogênese; 2) plantas relativamente fáceis de enraizar, quando os cofatores estão presentes em concentrações satisfatórias à rizogênese, sendo a auxina limitante e, uma vez fornecida exogenamente, promovem o enraizamento das estacas; 3) plantas difíceis de enraizar, quando falta um ou mais cofatores, não sendo a auxina limitante; nesse caso, as plantas são não responsivas à aplicação exógena de mais auxina.

O fato de as miniestacas enraizarem bem sem a aplicação de IBA indica que o pinhão-manso é uma espécie de fácil enraizamento, conforme resultados encontrados por Kathiravan et al. (2009), além de possuir auxinas endógenas em quantidades suficientes para induzir o enraizamento.

Por sua vez, a aplicação de IBA em concentrações de até 1.000 mg L⁻¹ não causou fitotoxicidade aos genótipos estudados, não ocasionando inibição da brotação, necrose ou mortalidade de miniestacas, conforme encontrado por Tagliani et al. (2010).

As miniestacas do genótipo 167-II-2 iniciaram a formação radicial antes das miniestacas do genótipo 190-II-2, apresentando, portanto, maior comprimento das três maiores raízes por miniestaca (Tabela 6).

Conclusões

Pelas condições em que foram realizados os experimentos apresentados neste capítulo, ao longo dos 7 anos de estudo, pode-se recomendar a miniestaquia como técnica viável para a produção de mudas de pinhão-manso.

Utilizando-se a técnica de miniestaquia, que fornece material rejuvenescido por meio de minicepas podadas periodicamente, pode-se considerar a espécie como de fácil enraizamento, não sendo necessário o uso de reguladores vegetais como o ácido indolbutírico (IBA) para a indução radicial.

Essa técnica pode ser realizada em qualquer época do ano, com elevada porcentagem de enraizamento.

Nas miniestacas de pinhão-manso, não existem barreiras anatômicas que possam dificultar a rizogênese.

Referências

- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2004. 442 p.
- ALMEIDA, F. D. de; XAVIER, A.; DIAS, J. M. M.; PAIVA, H. N. Eficiência das auxinas (AIB e ANA) no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 455-463, 2007. DOI: 10.1590/S0100-67622007000300011.
- ANTUNES, J. A. S.; HOFFMANN, A.; RAMOS, J. D.; CHALFUN, N. N. J.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. F. Efeito do método de aplicação e de concentrações do ácido indolbutírico no enraizamento de estacas semilenhosas de *Pyrus calleryana*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 18, n. 3, p. 371-376, 1996.
- CARVALHO, C. M.; CUNHA, R. J. P.; RODRIGUES, J. D. Enraizamento de estacas semilenhosas de lichieira utilizando ácido indolbutírico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 95-97, abr. 2005. DOI: 10.1590/S0100-29452005000100026.
- FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E.; FORTES, G. R. de L. **Propagação de plantas frutíferas de clima temperado**. 2. ed. Pelotas: Ed. da UFPEL, 1995. 178 p.
- FERRIANI, A. P. **Miniestaquia e quantificação de polifenóis em *Piptocarpha angustifolia* Dusén ex Malme**. 2009. 86 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Setor de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIS JÚNIOR, F. T.; GENEVE, R. L. **Hartmann and Kester's plant propagation: principles and practices**. 8th ed. Boston: Prentice Hall, 2011. 915 p.
- HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. **Propagação vegetativa de *Eucalyptus*: princípios básicos e sua evolução no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. (IPEF. Circular técnica, n. 192).

JANICK, J. **A ciência da horticultura**. Rio de Janeiro: F. Bastos, 1966. 485 p.

JARVIS, B. C. Endogenous control of adventitious rooting in non-woody species. In: JACKSON, M. B. **New root formation in plants and cuttings**. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1986. p. 191-222. DOI: 10.1007/978-94-009-4358-2_6.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill, 1940. 523 p.

KATHIRAVAN, M.; PONNUSWAMY, A. S.; VANITHA, C. Determination of suitable cutting size for vegetative propagation and comparison of propagules to evaluate the seed quality attributes in *Jatropha curcas* Linn. **Natural Product Radiance**, v. 8, n. 2, p. 162-166, 2009.

NACHTIGAL, J. C. **Obtenção de porta-enxertos 'Okinawa' e de mudas de pessegueiro (*Prunus persica* (L.) Batsch) utilizando métodos de propagação vegetativa**. 1999. 165 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. de C.; AZEVEDO, M. C. B. de; HIGA, A. R.; SIMON, A. Efeitos de substratos e recipientes utilizados na produção das mudas sobre a arquitetura do sistema radicular de árvores de acácia negra. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 897-905, nov./dez. 2005. DOI: 10.1590/S0100-67622005000600008.

NEVES, T. dos S.; CARPANEZZI, A. A.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; MARENCO, R. A. Enraizamento de corticeira-da-serra em função do tipo de estaca e variações sazonais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 12, p. 1699-1705, dez. 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006001200003.

OLIVEIRA, A. F. de; PASQUAL, M.; CHALFUN, N. N. J.; REGINA, M. de A.; RINCÓN, C. Del R. Enraizamento de estacas semilenhosas de oliveira sob efeito de diferentes épocas, substratos e concentrações de ácido indolbutírico. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 1, p. 117-125, jan./fev. 2003. DOI: 10.1590/S1413-70542003000100014.

PIMENTA, A. C.; TAGLIANI, M. C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; LAVIOLA, B. G.; KOEHLER, H. S. Miniestaquia e anatomia caulinar de pinhão-manso em quatro épocas de coleta. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 4, p. 478-485, 2014.

TAGLIANI, M. C. **Propagação do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) por sementes e miniestacas**. 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Setor de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

TAGLIANI, M. C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; LAVIOLA, B. G.; WENDLING, I. **Uso de ácido indolbutírico na miniestaquia de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2010. 7 p. (Embrapa Agroenergia. Comunicado técnico, 4).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

WENDLING, I.; FERRARI, M. P.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de corticeira-do-mato (*Erythrina falcata* Bentham) por miniestaquia a partir de propágulos juvenis.** Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 130).

WENDLING, I.; XAVIER, A. Influência do ácido indolbutírico e da miniestaquia seriada no enraizamento e vigor de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 921-930, nov. 2005. DOI: 10.1590/S0100-67622005000600011.

WENDLING, I.; XAVIER, A.; GOMES, J. M.; PIRES, I. E.; ANDRADE, H. B. Efeito do regulador de crescimento AIB na propagação de clones de *Eucalyptus* spp. por miniestaquia. **Revista Árvore**, v. 24, n. 2, p. 187-192, 2000.

XAVIER, A.; SANTOS, G. A. dos; WENDLING, I.; OLIVEIRA, M. L. de. Propagação vegetativa de cedro-rosa por miniestaquia. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 139-143, mar./abr. 2003. DOI: 10.1590/S0100-67622003000200003.

ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; RODRIGUES, J. D. **Estaquia: uma abordagem dos principais aspectos fisiológicos.** Curitiba: [K. C. Zuffellato-Ribas], 2001. 39 p.



Ecofisiología de
Jatropha curcas

Ecofisiologia de *Jatropha curcas*

Fábio Pinto Gomes
Priscila Souza de Oliveira
Tessio Araújo de Santana
Leandro Dias da Silva

Introdução

Nos últimos anos, as pesquisas com *Jatropha curcas*, uma espécie em processo de domesticação da família Euphorbiaceae, têm proporcionado enriquecimento substancial do conhecimento sobre a espécie, embora muitas questões relacionadas ao manejo agrônomo ainda permaneçam sob debate. Nesse aspecto, têm sido contempladas desde pesquisas aplicadas sobre, por exemplo, espaçamento (Contran et al., 2013; Abobatta, 2019), poda e doses de adubação (Suriharn et al., 2011; Santos et al., 2015; Adebisola et al., 2019; Moreira-González et al., 2019), irrigação (Borges et al., 2018; Fagbayide et al., 2018), até as abordagens mais básicas em níveis fisiológico, bioquímico e molecular (Silva et al., 2012, 2013, 2015a, 2015b, 2016, 2019a, 2019b; Santana et al., 2015, 2017; Oliveira et al., 2016, 2018; Cerqueira et al., 2019; Rizwan; Aftab, 2019; Wang et al., 2019).

A necessidade de entender os mecanismos de tolerância aos estresses abióticos justifica-se, sobretudo, em vista da tão divulgada rusticidade da espécie. Nesse sentido, resultados relevantes têm sido reportados sobre os mecanismos de resposta à salinidade (Niu et al., 2012; Silva et al., 2015b; Cavalcante et al., 2018; Cerqueira et al., 2019), deficiência hídrica (Silva et al., 2012, 2013, 2015a, 2016, 2019a, 2019b; Santana et al., 2015; Oliveira et al., 2016, 2018), alagamento (Gimeno et al., 2012; Verma et al., 2014; Santana et al., 2017), metais pesados (Gao et al., 2008; Kumar et al., 2008; Shu et al., 2012; Chaves; Souza, 2014), frio, congelamento (Inafuku-Teramoto et al., 2013; Ploschuk et al., 2014; Wang et al., 2019) e sombreamento (Martins et al., 2014). Entre esses, destacam-se os trabalhos dedicados ao entendimento dos mecanismos de tolerância à deficiência hídrica e sua variabilidade entre os diversos genótipos.

Apesar de ser amplamente divulgada como espécie tolerante à seca, resultados recentes têm demonstrado efeito negativo da falta de água sobre várias características

fisiológicas e morfológicas de *J. curcas* (Santana et al., 2017; Oliveira et al., 2018; Silva et al., 2019a, 2019b). A grande maioria dos estudos nessa linha têm ressaltado, sobretudo, o rápido fechamento estomático visando à conservação de água em situação de deficiência hídrica. Entretanto, o controle estomático da transpiração impõe limitações difusivas ao CO_2 , que podem levar a um decréscimo na taxa fotossintética e, assim, no crescimento, como têm sido recentemente divulgado (Santana et al., 2015; Oliveira et al., 2016).

De forma geral, características que têm sido associadas à sobrevivência de *J. curcas* sob condições estressantes (como redução da transpiração) tendem a levar, também, à menor produtividade de biomassa e de óleo. No presente capítulo, essas e outras considerações serão apresentadas à luz dos mais recentes resultados publicados sobre fisiologia de *Jatropha curcas*, especialmente sobre os mecanismos de resposta à deficiência hídrica no solo.

Assimilação de carbono, crescimento e produção de biomassa

As trocas gasosas em plantas, sobretudo CO_2 e vapor de água, determinam, em última instância, as taxas de assimilação de carbono e de transpiração. Como as vias de entrada de CO_2 e saída de vapor de água são comuns, levando-se em consideração as diferentes propriedades dos dois gases, entende-se que os dois processos difusivos em sentido contrário são afetados diferencialmente pelas condições ambientais e, internamente, pela abertura estomática.

As características fotossintéticas variam de acordo com o genótipo e com as condições ambientais de desenvolvimento das plantas. As faixas de valores máximos da taxa fotossintética (A_{max}) e da taxa de respiração no escuro (R_d) são, respectivamente, 14 e 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 0,5 e 3,0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em folhas de plantas C_3 . A irradiância de compensação (I_c), isto é, o valor de irradiância em que há compensação da fotossíntese pela respiração, de modo que a fotossíntese líquida seja nula, varia entre 0,5 e 2,0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de sombra, chegando até a 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em folhas de sol (Jones, 2014).

A taxa fotossintética líquida máxima de *J. curcas*, medida em plantas irrigadas, sob concentração atmosférica de CO_2 ($\sim 380 \text{ mol mol}^{-1}$) e luz saturante ($\sim 1.200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) varia entre 12 e 28 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Santana et al., 2015, 2017; Silva et al., 2016, 2019a; Oli-

veira et al., 2016, 2018). A capacidade fotossintética máxima (A_{max}) demonstra o desempenho das plantas em relação à utilização da radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Obtém-se essa variável por meio de curvas de saturação da fotossíntese pela irradiância. Em plantas jovens (~ 80 dias de idade) de *J. curcas* plenamente irrigadas, mediram-se valores de 30 e $1,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente para A_{max} e R_d , e de 1.000 e $18 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente para irradi\u00e2ncia de saturação (I_s) e I_c (Oliveira, 2013). Sob defici\u00eancia h\u00eddrica (potencial h\u00eddrico no solo em torno de -350 kPa), os valores de A_{max} diminuíram para 17,2 e $14,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e de I_s para 773 e $612 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ nos dois gen\u00f3tipos CNPAE 183 e 191, respectivamente (Oliveira, 2013). R_d e I_c n\u00e3o foram afetados pelos tratamentos. Segundo Fukuzawa et al. (2012), a I_s da esp\u00e9cie est\u00e1 entre 500 e $1.000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, a depender das condi\u00e7\u00f5es de cultivo e da posi\u00e7\u00e3o da folha.

Esses resultados, juntamente com a expressiva capacidade de sequestro de carbono – tendo sido demonstrado aporte anual de $1.450 \text{ kg C ha}^{-1}$ (4.000 kg de biomassa), em uma planta\u00e7\u00e3o de *J. curcas* com 3-5 anos de idade (Wani et al., 2012; Bayen et al., 2016) – permitem classificar *J. curcas* como uma esp\u00e9cie C_3 de sol e sugerir seu uso nos programas de recupera\u00e7\u00e3o de \u00e1reas degradadas.

Entretanto, elevada efici\u00eancia de transpira\u00e7\u00e3o (Maes et al., 2009), bem como efici\u00eancia qu\u00e2ntica da assimila\u00e7\u00e3o de carbono menor do que em outras esp\u00e9cies C_3 (Rajaona et al., 2013), t\u00eam levado \u00e0 suspeita de que, assim como em outras esp\u00e9cies de caule suculento e verde, *J. curcas* \u00e9 capaz de variar entre o metabolismo fotossint\u00e9tico foliar puramente C_3 para o metabolismo \u00e1cido das crassul\u00e1ceas (MAC) sob condi\u00e7\u00f5es de defici\u00eancia h\u00eddrica. Aumento noturno da acidez em extratos foliares e caulinares (Silva et al., 2013, 2019b), aumento nos valores de composi\u00e7\u00e3o isot\u00f3pica de carbono na biomassa foliar, em amostras obtidas de plantas cultivadas sob defici\u00eancia h\u00eddrica (Gomes et al., 2016), bem como altera\u00e7\u00f5es no padr\u00e3o de trocas gasosas \u00e0 noite (Winter; Holtum, 2015), refor\u00e7am essa hip\u00f3tese. Sugere-se que, sob condi\u00e7\u00f5es de seca, n\u00edveis baixos de MAC servem, principalmente, para a conserva\u00e7\u00e3o de \u00e1gua nas folhas (Silva et al., 2013; 2019b; Gomes et al., 2016) ou de carbono no caule (Winter; Holtum, 2015). Ressalta-se que *J. curcas* foi inclu\u00edda no rol das esp\u00e9cies lenhosas perenes consideradas alvos potenciais da engenharia gen\u00e9tica para MAC (Borland et al., 2015).

Diversas altera\u00e7\u00f5es fisiol\u00f3gicas influenciando o crescimento e a produ\u00e7\u00e3o de biomassa em *J. curcas* t\u00eam sido demonstradas como resultado de diferentes tipos de estres-

se. Além disso, estudos revelam que existe considerável variabilidade genética na espécie *J. curcas* em relação à morfologia e germinação de sementes, bem como nas características de crescimento das plantas (Ginwal et al., 2005; Rao et al., 2008; Laviola et al., 2011).

A deficiência hídrica afeta o sistema fisiológico das plantas e, comumente, aumenta a resistência estomática, reduzindo a transpiração e, por conseguinte, o fornecimento de CO₂ para a realização da fotossíntese, além de alterar a produção de ácido abscísico (ABA), a abscisão foliar e as características osmóticas das plantas, como detectado em espécies de monocotiledôneas (Gomes; Prado, 2010) e dicotiledôneas (Fernandes et al., 2005; Santos et al., 2014), inclusive da família Euphorbiaceae, tais como *Ricinus communis* (Pinheiro et al., 2008; Sara et al., 2012; Carvalho et al., 2019), *Hevea brasiliensis* (Sittichai; Sdoodee, 2014; Wang, 2014) e *Jatropha curcas* (Maes et al., 2009; Sapeta et al., 2013; Fini et al., 2013; Santana et al., 2015, 2017; Silva et al., 2015a; Oliveira et al., 2016).

Das características morfológicas, a diminuição da área foliar pode ser considerada a primeira reação das plantas ao deficit hídrico. As plantas utilizam esse mecanismo a fim de diminuir a superfície transpirante e conservar tecidos viáveis, necessários à sua sobrevivência durante o período de escassez de água (Tardieu et al., 2018). Entretanto, esse mecanismo pode ocasionar perdas na produtividade, já que, com área foliar reduzida, há queda na interceptação luminosa, além de diminuição da capacidade fotossintética e redução do crescimento e do desenvolvimento da planta. O crescimento de plantas de *J. curcas* cultivadas sob deficiência hídrica é afetado em grandes proporções (Figura 1) e de modo diferente entre diferentes genótipos, conforme tem sido amplamente demonstrado em diversos experimentos (Santana et al., 2015, 2017; Oliveira et al., 2016, 2018; Silva et al., 2019b).

Por exemplo, diferenças significativas entre dois genótipos de *J. curcas* (CNPAE 183 e CNPAE 191 – provenientes de Jaíba, MG, e São Francisco de Assis, RS, respectivamente) foram observadas para variáveis de crescimento, quando cultivados sob irrigação plena (Oliveira et al., 2016). Quando submetidos à deficiência hídrica moderada (60% da capacidade de campo), observou-se reduções de 10 e 30% na altura no CNPAE 191 e 183, respectivamente, e redução de 25% do número de folhas do CNPAE 183, o que levou a uma diminuição mais acentuada da área foliar desse genótipo (45%) em relação ao CNPAE 191 (25%). Dessa forma, apesar de sobreviverem ao estresse hídrico, esses genótipos foram afetados negativamente pela restrição hídrica. Reduções em torno de 25% na altura, 37%



-0.02 MPa -0.03 MPa -0.05 MPa -0.09 MPa -0.2 MPa

Figura 1. Plantas de *J. curcas* 125 dias após germinação e 100 dias após aplicação dos tratamentos de deficiência hídrica (tratamento mais severo, potencial mátrico do substrato = -167 kPa; plantas irrigadas, -15 kPa) .

Fonte: Roza (2010).

na área foliar e 38% na massa seca total das plantas de *J. curcas*, submetidas à deficiência hídrica moderada, foram demonstradas em três genótipos (CNPAE 126, 137 e 139), os quais não diferiram entre si (Santana et al., 2015).

Ao estudar o efeito da deficiência hídrica sob a condutividade hidráulica do caule em 10 genótipos de *J. curcas* (CNPAE 516, 517, 520, 528, 556, 557, 559, 564, 569 e 570) Oliveira et al. (2018) avaliou também o crescimento destes e identificou diminuição na biomassa seca total de todos os genótipos quando submetidos a deficiência hídrica. Entretanto, observou-se manutenção da biomassa das raízes dos genótipos CNPAE 517, 528 e 564 mesmo sob deficiência hídrica, o que foi sugerido pelos autores como mecanismo de tolerância à seca destes genótipos.

Outro fator abiótico de estresse que afeta o crescimento das plantas, a salinidade, à semelhança do que acontece sob deficiência hídrica, provoca a redução do potencial hídrico do solo, por meio da diminuição do potencial osmótico, dificultando, portanto, a

absorção da água necessária para o desenvolvimento da planta. Hishida et al. (2014) compararam duas espécies do gênero *Jatropha* (*J. cinerea* e *J. curcas*) e concluíram que, após exposição de 28 dias à salinidade (0, 50, 100 e 200 mM de NaCl), a produção de biomassa, em relação ao controle (0 mM de NaCl), diminuiu 55, 84 e 90% em *J. curcas* e 46, 69 e 92% em *J. cinerea*, respectivamente em cada nível de salinidade, em ordem crescente. Além disso, a área foliar diminuiu consideravelmente com o aumento da salinidade em ambas as espécies, nas quais foram observadas clorose e queda na parte inferior das folhas em concentrações superiores a 100 mM a partir do 14º dia de estresse (Hishida et al., 2014).

Em outro estudo acerca dos efeitos da salinidade sobre o desenvolvimento da parte aérea em *J. curcas*, Silva et al. (2015b) avaliaram a capacidade de ajustamento osmótico e expuseram as plântulas a concentrações crescentes de NaCl (25, 50, 75 e 100 mM) por 15 dias, adotando como controle o tratamento livre de NaCl. Os autores demonstraram diminuições que variaram de 35 a 65% entre as doses de 25 a 100 mM de NaCl. De modo geral, plantas jovens de *J. curcas* são capazes de suportar baixas concentrações salinas no ambiente de cultivo, utilizando mecanismos de aclimação que incluem diminuição na taxa de assimilação de CO₂, redução na expansão foliar, associado à manutenção do teor relativo de água na folha (Hishida et al., 2014; Silva et al., 2015b). Recentemente, demonstraram-se expressivas alterações morfofisiológicas provocadas pela salinidade em *J. curcas*, as quais incluíram, diminuição do crescimento e das trocas gasosas foliares, bem como disparo de mecanismos enzimáticos antioxidantes e ajuste osmótico (Cavalcante et al., 2018).

O excesso de metais pesados no solo afeta a produção e a qualidade das culturas, o que tem levado a estudos voltados para a seleção de espécies vegetais capazes de sobreviver em ambientes contaminados, no intuito de promover a remediação e a recuperação de áreas degradadas (Kumar et al., 2008). Gao et al. (2008) avaliaram o acúmulo de biomassa sob diferentes quantidades de cobre no solo (0, 100, 200, 400 e 800 μmol CuSO₄ kg⁻¹ solo) e verificaram aumento em torno de 15% da massa seca foliar e redução de 25% e 55% da massa seca caulinar e radicular, respectivamente, quando as plantas foram submetidas ao tratamento de 100 e 200 μmol kg⁻¹. No entanto, quando submetidas a doses maiores (400 e 800 μmol kg⁻¹), encontraram reduções de 25, 50 e 60% para massa seca de folha, caule e raiz. Shu et al. (2012) realizaram estudo com plantas jovens de *J. curcas* provenientes de estacas e de mudas e mostraram que houve diferenças significativas entre estacas e mudas no que se refere ao acúmulo de chumbo (Pb). As plantas oriundas da

estaquia acumularam mais Pb nas folhas e nas raízes que as produzidas por sementes. Da mesma forma, houve redução no comprimento radicular, diretamente proporcional à quantidade de Pb presente no substrato.

Dessa forma, pode-se observar que *J. curcas* sobrevive a períodos curtos de estresse de baixa intensidade, utilizando uma gama de ajustes na morfologia e na fisiologia. Entretanto, essas estratégias de sobrevivência resultam em modificações tais que prejudicam o desenvolvimento normal da planta. Como essas alterações afetam a produção de óleo e biomassa em plantas adultas ainda é uma questão em aberto.

Relações hídricas uso da água

O crescente interesse pelo óleo das sementes de *J. curcas* na produção de biodiesel, associado à tão divulgada tolerância à seca, fez com houvesse aumento na área plantada da espécie, com destaque para as regiões áridas e semiáridas. Resultados obtidos com plantas de *J. curcas* cultivadas em condição de campo sob diferentes disponibilidades hídricas confirmaram a tolerância dessa espécie ao deficit hídrico. No entanto, o melhor desempenho quando cultivada sob elevada disponibilidade hídrica demonstrou que a espécie apresenta elevado consumo de água e, portanto, baixa eficiência de uso da água (Maes et al., 2009; Roza, 2010; Kesava Rao et al., 2012; Santana et al., 2015; Oliveira et al., 2016).

Diversos estudos têm relatado o efeito negativo da deficiência hídrica sobre a condutância estomática ao vapor de água (g_s) e, conseqüentemente, sobre as taxas transpiratória (E) e fotossintética (A) (Tardieu et al., 2018; Rizwan; Aftab, 2019). Santana et al. (2015) avaliaram os efeitos da deficiência hídrica sobre a fisiologia de três acessos brasileiros de *J. curcas* oriundos do estado do Maranhão e demonstraram redução de g_s e de E . Adicionalmente, a condutividade hidráulica medida em planta inteira (K_L) também diminuiu, o que levou a uma maior resistência ao transporte de água para as folhas, contribuindo mais ainda para redução de g_s . Respostas similares (diminuição do potencial hídrico foliar, de A e de g_s) foram observadas em *Ricinus communis* L. sob salinidade (Pinheiro et al., 2008) e sob deficiência hídrica no substrato de cultivo (Carvalho et al., 2019). Entretanto, sob salinidade, os autores não observaram variação em E , mas verificaram aumento em K_L (Pinheiro et al., 2008), sugerindo que, apesar de ambas as espécies serem euforbiáceas, elas apresentam diferentes estratégias de sobrevivência sob condições adversas. Enquanto *J. curcas* tem estratégia conservativa, *R. communis*

busca maximizar a absorção de água mantendo o fluxo interno. Esse uso efetivo da água observado em *R. communis* apenas se justifica quando associado a maior assimilação de carbono e maior produção de biomassa.

Resultados sobre condutividade hidráulica (K) em *J. curcas* mostraram que a deficiência hídrica induz drástica redução dos valores estimados para planta inteira (Santana et al., 2015; Oliveira et al., 2016). Entretanto, manutenção ou aumento dos valores de K medidos em segmentos de caule e expressos com base em área transversal do caule ou em área foliar acima do segmento amostrado, não variaram sob deficiência hídrica moderada o que sugere regulação de K visando à transferência de água do caule suculento para as folhas (Oliveira et al., 2018). Isso explica, em parte, a manutenção (ou até aumento) do teor relativo de água nas folhas sob deficiência hídrica, observado por alguns autores (Oliveira, 2013; Sapeta et al., 2013; Silva et al., 2015a). Os estudos sobre condutividade hidráulica em *J. curcas* ainda são incipientes, apesar dos resultados importantes obtidos sobre K em folhas maduras e imaturas (Singh et al., 2014) e em segmentos de caule (Oliveira et al., 2018), bem como sobre a participação de aquaporinas como elemento complementar aos mecanismos de tolerância à seca na espécie (Zhang et al., 2007; Jang et al., 2013).

A diminuição da condutância estomática em valores de potencial hídrico foliar elevados (pouco negativos) sob seca tem sido sugerida como uma estratégia da espécie para evitar a embolia no xilema (Maes et al., 2009). Além disso, é importante notar, também, a possibilidade da participação do caule suculento como reserva hídrica, tamponando as variações do teor de água nas folhas (Maes et al., 2009; Kai; Ming, 2011; Oliveira et al., 2018). Ademais, pequena a moderada variabilidade genética tem sido demonstrada em *J. curcas*, e parte expressiva dela é considerada epigenética (resultando em variação fenotípica) (Senger et al., 2014; Maghuly et al., 2015).

Efeitos negativos da deficiência hídrica severa sobre a eficiência intrínseca de uso da água (*EUA_i*, *A/g_s*) têm sido demonstrados. Tratamentos em que se manteve a disponibilidade hídrica em torno de 50 e 25% da capacidade de campo, bem como a suspensão total da irrigação, induziram diminuição dos valores dessa variável (Díaz-López et al., 2012). Contrariamente, quando submetidas ao tratamento de 75% da capacidade de campo (deficiência hídrica moderada), a *EUA_i* foi superior ao tratamento controle (100% da capacidade de campo). Em consonância com esses resultados, demonstrou-se que a diminuição da disponibilidade de água para aproximadamente 70% da capacidade de campo incrementou

em 50% a *EUAi* (Santana et al., 2015). Entretanto, nos dois experimentos, observou-se diminuição no crescimento da planta, nos tratamentos que proporcionaram maior *EUAi*.

Tais resultados, apesar de indicarem maior eficiência fotossintética no uso da água e, portanto, tolerância ao estresse hídrico, sugerem baixa produtividade de biomassa e óleo sob deficiência hídrica. A eficiência no uso da água para conversão de biomassa pode ser tanto maior quanto mais eficiente for a regulação da transpiração, diminuindo o fluxo de água e por consequência a absorção de água pelas raízes, sem comprometer a assimilação de carbono. Embora tenha sido observado aumento de *EUAi* em *J. curcas* sob deficiência hídrica, bem como redução entre 27 e 60% no consumo diário de água por planta (com valores entre 200 e 300 cm³ em plantas sob irrigação plena), a eficiência no uso da água calculada em termos de produção de biomassa foi significativamente reduzida entre 15 e 30% (com valores entre 7,3 e 18 kg m⁻³ em plantas sob irrigação plena) (Santana et al., 2015; Oliveira et al., 2016). Em condições de campo, Kheira e Atta (2009) verificaram maior *EUAi* para a produção de sementes e óleo em *J. curcas* quando se aplicou água para suportar 100% da evapotranspiração, quando comparado a 125%.

Em suma, no que se refere a relações hídricas, a espécie apresenta algumas peculiaridades, tais como: suculência, indicada por um elevado teor de água, especialmente no caule, pequena variação do teor relativo de água e do potencial hídrico foliar durante o dia, bem como falta de correlação entre os potenciais hídricos nas folhas e no solo sob deficiência hídrica (Maes et al., 2009; Fini et al., 2013; Santana et al., 2015; Oliveira et al., 2016). Ressalta-se a necessidade de se buscarem genótipos tolerantes ao deficit hídrico que permitam o cultivo dessa espécie sob condições desfavoráveis. Nesse sentido, é importante levar em consideração os conceitos de “uso efetivo da água”, em que se observa manutenção da assimilação de carbono e do crescimento às expensas de maior consumo de água (Blum, 2009), e de “uso eficiente de água”, em que o maior controle estomático da transpiração proporciona conservação de água nos tecidos às expensas de redução da assimilação de carbono e do crescimento (com reflexos na produtividade) (Blum, 2009; Santana et al., 2015; Oliveira et al., 2016).

Mecanismos bioquímicos de resposta à deficiência hídrica

As plantas apresentam diferentes mecanismos de tolerância ao deficit hídrico. Entre esses mecanismos, alterações bioquímicas têm sido observadas, tais como aumento

da concentração de ABA em folhas e raízes, acúmulo de compostos osmoticamente ativos e compatíveis com o metabolismo celular (a exemplo de prolina, açúcares solúveis e potássio) e aumento da atividade de enzimas antioxidantes.

O ABA é um hormônio vegetal que desempenha papel importante na regulação de mecanismos fisiológicos e bioquímicos durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, atuando como mensageiro endógeno em respostas ao estresse (Wilkinson; Davies, 2002). Acúmulo de ABA em folhas e/ou raízes em decorrência da deficiência hídrica tem sido demonstrado em diversas espécies vegetais (Kudoyarova et al., 2011; Souza et al., 2013). Em *J. curcas*, a concentração foliar e radicular de ABA aumentou em diferentes genótipos (CNPAC 126, 137, 139, 183 e 191) sob déficit hídrico por um período de 110 dias, o que pode explicar, em parte, o rápido fechamento estomático e a redução no crescimento da parte aérea (Silva et al., 2016). Adicionalmente, o aumento da concentração de ABA também pode estar relacionado com alterações na condutividade hidráulica dos tecidos, o que contribui para a manutenção do estado de hidratação dos tecidos (Parent et al., 2009; Sánchez-Romera et al., 2014). Resultados promissores nesse sentido foram demonstrados recentemente, onde se verificou manutenção ou mesmo aumento da condutividade hidráulica em segmentos de caule de plantas de *J. curcas* sob deficiência hídrica (Oliveira et al., 2018).

O ajuste osmótico, outro mecanismo de resposta à estresses salino e por seca, visa à regulação do potencial hídrico celular em relação ao do apoplasto e, assim, à manutenção da turgescência celular e dos processos relacionados, tais como crescimento e atividade estomática. Ajuste osmótico tem sido demonstrado em diferentes genótipos de *J. curcas*, promovendo redução no potencial osmótico celular em resposta à seca e à salinidade (Silva et al., 2012, 2015b, 2016; Cavalcante et al., 2018). Ao fazer isso, mantém-se o fluxo de água para as células, o que, juntamente com as alterações detectadas na condutividade hidráulica do caule (Oliveira et al., 2018), explica, em parte, a manutenção de elevado teor relativo de água nas folhas em plantas sob deficiência hídrica. Entre os vários osmolitos compatíveis associados ao ajuste osmótico em *J. curcas* sob estresse salino e por seca, aumentos nas concentrações foliares de potássio, prolina, glicina betaína e açúcares solúveis têm sido demonstrados (Silva et al., 2012, 2015b, 2016). Mais importante do que sua função osmótica, a prolina parece desempenhar uma função protetora em relação ao déficit hídrico, auxiliando o sistema enzimático no combate às espécies reativas de oxigênio (ERO), evitando o estresse oxidativo em *J. curcas* (Silva et al., 2016).

O acúmulo de ERO é uma consequência direta dos efeitos primários do déficit hídrico em plantas. A perda da homeostase metabólica por causa de fatores ambientais adversos como o déficit hídrico resulta em maior produção dessas espécies, cujo efeito mais expressivo é a peroxidação dos lipídios de membranas, o que leva a danos por vezes irreversíveis (Gill; Tuteja, 2010). O sistema enzimático de defesa antioxidativo das plantas constitui uma das principais linhas de defesa contra o estresse oxidativo e inclui a atividade de enzimas antioxidantes como as peroxidases (POD), a dismutase do superóxido (SOD) e a catalase (CAT) em diversos compartimentos celulares (cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos) (Dinakar et al., 2012). A eficiência dessas enzimas na remoção de radicais livres foram observadas em pesquisas com *J. curcas* sob diferentes regimes hídricos (Pompelli et al., 2010; Silva et al., 2015a, 2016, 2019a; Cavalcante et al., 2018). Os resultados demonstraram aumento na atividade da SOD, POD e CAT, revelando, assim, que o sistema antioxidativo enzimático atua na desintoxicação das ERO nas células de *J. curcas*. Além disso, outro importante mecanismo de proteção antioxidativa em *J. curcas* sob salinidade, com base na regulação do estado de oxidação do fotossistema I, foi recentemente demonstrado (Cerqueira et al., 2019). Esses autores ressaltaram, por outro lado, a necessidade de estudos que esclareçam os mecanismos de fotoinibição do fotossistema I sob condições naturais.

Em conjunto, a conservação de água nos tecidos mediante ajustamento osmótico, ação do ABA, regulação da condutividade hidráulica, bem como a manutenção da integridade das membranas, mediante controle do estresse oxidativo, garantem pronta recuperação das atividades metabólicas celulares quando cessa o fator estressante.

Considerações finais

Jatropha curcas é uma espécie de rápido crescimento que apresenta elevadas taxas de assimilação de carbono. Apesar de reconhecidamente tolerante ao déficit hídrico, por conservar água nos tecidos, apresenta sensibilidade ao estresse em termos de crescimento, o que pode comprometer a produção de óleo em cultivos comerciais não irrigados. Apesar dos avanços científicos apresentados aqui, muitas questões acerca dos mecanismos fisiológicos e bioquímicos relacionados à tolerância aos estresses abióticos ainda carecem de reposta.

O entendimento das múltiplas características, incluindo absorção de água, controle estomático da transpiração e resistência à cavitação, sua coordenação entre os diversos órgãos e os efeitos do ambiente sobre essas características nos diversos genótipos, é fundamental para o avanço das pesquisas visando otimizar os balanços de carbono e de água e, assim, obter plantas eficientes na utilização de água. É importante considerar, ainda, que o transporte eficiente de água sob adequada disponibilidade hídrica parece ser mais importante para o crescimento e produtividade do que a conservação de água em períodos secos (Hajek et al., 2014). Daí o fato de a maior perda de água associada ao aumento de produtividade das culturas ser considerada um “efeito colateral” do melhoramento visando à produtividade (Moshelion et al., 2015).

Finalmente, diante dos resultados até então obtidos com *J. curcas* no que se refere a relações hídricas, crescimento e assimilação de carbono, ressalta-se a necessidade de tratar separadamente nos programas de melhoramento genético da espécie os conceitos de “uso efetivo da água” (maior consumo de água para maior produtividade) ou, alternativamente, de “uso eficiente de água” (maior sobrevivência, menor consumo de água, menor produtividade). É possível que futuramente tenhamos materiais com características distintas, adequados a usos peculiares que vão desde a recuperação de áreas degradadas, passando por cultivos em regiões sujeitas a secas periódicas, até a produção efetiva de óleo.

Referências

- ABOBATTA, W. F. *Jatropha Curcas*: an overview. **Journal of Advances in Agriculture**, v. 10, p. 1650-1656, Feb. 2019. DOI: 10.24297/jaa.v10i0.8145
- ADEBUSOLA, A.; VICTOR, O.; EMMANUEL, I.; ALAM, A. Effect of nitrogen application on the phytochemical production in *Jatropha curcas* L. (Angiosperms: Euphorbiaceae) during drought conditions. **Plant Science Today**, v. 6, n. 2, p. 183-189, Apr. 2019. DOI: 10.14719/pst.2019.6.2.523
- BAYEN, P.; BOGNOUNOU, F.; LYKKE, A. M.; OUE ´DRAOGO, M.; THIOMBIANO, A. The use of biomass production and allometric models to estimate carbon sequestration of *Jatropha curcas* L. plantations in western Burkina Faso. **Environment, Development and Sustainability**, v. 18, n. 1, p. 143-156, Feb. 2016. DOI: 10.1007/s10668-015-9631-4.
- BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**, v. 112, n. 2-3, p. 119-123, June 2009. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.03.009.

- BORGES, R. de C. P.; PITOMBEIRA, J. B.; NASCIMENTO, E. M. S.; OLIVEIRA, J. L. P.; MONTEIRO, L. de A. Desenvolvimento do pinhão manso em condições de sequeiro e irrigado no litoral cearense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 4, p. 2784-2788, July 2018. DOI: 10.7127/rbai.v12n400978.
- BORLAND, A. M.; WULLSCHLEGER, S. D.; WESTON, D. J.; HARTWELL, J.; TUSKAN, G. A.; YANG, X.; CUSHMAN, J. C. Climate-resilient agroforestry: physiological responses to climate change and engineering of crassulacean acid metabolism (CAM) as a mitigation strategy. **Plant, Cell and Environment**, v. 38, n. 9, p. 1883-1849, Sept. 2015. DOI: 10.1111/pce.12479.
- CARVALHO, M.; ROZA, F. A.; MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A.-A. F. de; GOMES, L. M. C.; GOMES, F. P. *Ricinus communis* L.: water use efficiency, carbon assimilation and water relations on deficit irrigation. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 30, n. 5, p. 1-15, Feb. 2019. DOI: 10.9734/JEAI/2019/46523.
- CAVALCANTE, P. G. da S.; SANTOS, C. M. dos; WANDERLEY FILHO, H. C. de L.; AVELINO, J. R. L.; ENDRES, L. Morpho-physiological adaptation of *Jatropha curcas* L. to salinity stress. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 4, p. 563-571, 2018. DOI: 10.21475/ajcs.18.12.04.pne835.
- CERQUEIRA, J. V. A.; SILVEIRA, J. A. G.; CARVALHO, F. E. L.; CUNHA, J. R. C.; LIMA NETO, M. C. The regulation of P700 is an important photoprotective mechanism to NaCl-salinity in *Jatropha curcas*. **Physiologia Plantarum**, Feb. 2019. DOI: 10.1111/ppl.12908.
- CHAVES, L. H. G.; SOUZA, R. S. Crescimento, distribuição e acumulação de cádmio em plantas de *Jatropha curcas*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 3, p. 286-291, 2014.
- CONTRAN, N.; CHESSA, L.; LUBINO, M.; BELLAVITE, D.; ROGGERO, P. P.; ENNE, G. State-of-the-art of the *Jatropha curcas* productive chain: from sowing to biodiesel and by-products. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p. 202-215, Mar. 2013. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.05.037.
- DÍAZ-LÓPEZ, L.; GIMENO, V.; SIMÓN, I.; MARTÍNEZ, V.; RODRÍGUEZ-ORTEGA, W. M.; GARCÍA-SANCHEZ, F. *Jatropha curcas* seedlings show a water conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance. **Agricultural Water Management**, v. 105, p. 48-56, Mar. 2012. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.01.001.
- DINAKAR, C.; DJILIANOV, D.; BARTELS, D. Photosynthesis in desiccation tolerant plants: energy metabolism and antioxidative stress defense. **Plant Science**, v. 182, p. 29-41, Jan. 2012. DOI: 10.1016/j.plantsci.2011.01.018.
- FAGBAYIDE, S. D.; EWEMOJE, T. A.; OLUWASEMIRE, K. O. Yield, growth and water use efficiency of drip irrigated *Jatropha curcas* L. in south western Nigeria. **Journal of Sustainable Technology**, v. 9, n. 1, p. 98-109, Apr. 2018.

FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. de. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 29-34, Jan. 2005. DOI: 10.1590/0103-8478cr20120152.

FINI, A.; BELLASIO, C.; POLLASTRI, S.; TATTINI, M.; FERRINI, F. Water relations, growth, and leaf gas exchange as affected by water stress in *Jatropha curcas*. **Journal of Arid Environments**, v. 89, p. 21-29, Feb. 2013. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2012.10.009.

FUKUZAWA, Y.; TOMINAGA, J.; AKASHI, K.; YABUTA, S.; UENO, M.; KAWAMITSU, Y. Photosynthetic gas exchange characteristics in *Jatropha curcas* L. **Plant Biotechnology**, v. 29, n. 2, p. 155-162, 2012. DOI: 10.5511/plantbiotechnology.12.0406c.

GAO, S.; YAN, R.; CAO, M.; YANG, W.; WANG, S.; CHEN, F. Effects of copper on growth, antioxidant enzymes and phenylalanine ammonia-lyase activities in *Jatropha curcas* L. seedling. **Plant Soil and Environment**, v. 54, p. 117-122, 2008. DOI: 10.17221/2688-PSE.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909-930, Dec. 2010. DOI: 10.1016/j.plaphy.2010.08.016.

GIMENO, V.; SYVERTSEN, J. P.; SIMÓN, I.; NIEVES, M.; DÍAZ-LÓPEZ, L.; MARTÍNEZ, V.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F. Physiological and morphological responses to flooding with fresh or saline water in *Jatropha curcas*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 78, p. 47-55, May 2012. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2011.12.014.

GINWAL, H. S.; PHARTYAL, S. S.; RAWAT, P. S.; SRIVASTAVA, R. L. Seed source variation in morphology, germination and seedling growth of *Jatropha curcas* L. in central India. **Silvae Genetica**, v. 54, n. 2, p. 76-79, 2005. DOI: 10.1515/sg-2005-0012.

GOMES, F. P.; GOMES, L. M. C.; LAVIOLA, B. G.; GRIFFITHS, H. Water relations and carbon isotope composition in young plants of two provenances of *Jatropha curcas* L. subjected to water deficit. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 6.; CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 9., 2016, Natal, RN. **Biodiesel: 10 anos de pesquisa, desenvolvimento e inovação no Brasil: anais**. Lavras: UFLA, 2016. Não paginado.

GOMES, F. P.; PRADO, C. H. B. A. Coconut palm: ecophysiology under water deficit conditions. In: DAMATTA, F. M. (Org.). **Ecophysiology of tropical tree crops**. New York: Nova Science Publishers, 2010. p. 151-179.

HAJEK, P.; LEUSCHNER, C.; HERTEL, D.; DELZON, S.; SCHULDT, B. Trade-offs between xylem hydraulic properties, wood anatomy and yield in *Populus*. **Tree Physiology**, v. 34, n. 7, p. 744-756, July 2014. DOI: 10.1093/treephys/tpu048.

HISHIDA, M.; ASCENCIO-VALLE, F.; FUJIYAMA, H.; ORDUÑO-CRUZ, A.; ENDO, T.; LARRINAGA-MAYORAL, J. Á. Antioxidant enzyme responses to salinity stress of *Jatropha curcas* and *J. cinerea* at seedling stage. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 61, n. 1, p. 53-62, Jan. 2014. DOI: 10.1134/S1021443714010063.

INAFUKU-TERAMOTO, S.; MAZEREKU, C.; COETZEE, T.; GWAFILA, C.; LEKGARI, L. A.; KETUMILE, D.; FUKUZAWA, Y.; YABUTA, S.; MASUKUJANE, M.; GEORGE, D. G. M.; CHITE, S. M.; UENO, M.; KAWAMITSU, Y.; AKASHI, K. Production approaches to establish effective cultivation methods for jatropha (*Jatropha curcas* L.) under cold and semi-arid climate conditions. **International Journal of Agronomy and Plant Production**, v. 4, p. 3804-3815, Oct. 2013. Supplement.

JANG, H.-Y.; YANG, S.-W.; CARLSON, J. E.; KU, Y.-G.; AHN, S.-J. Two aquaporins of *Jatropha* are regulated differentially during drought stress and subsequent recovery. **Journal of Plant Physiology**, v. 170, n. 11, p. 1028-1038, 2013. DOI: 10.1016/j.jplph.2013.03.001.

JONES, H. G. **Plants and microclimate**: a quantitative approach to environmental plant physiology. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 407 p.

KAI, C.; MING, G. Changes of water status and different responses of osmoregulants in *Jatropha curcas* L. seedlings to air drought stress. **Agricultural Science and Technology**, v. 12, n. 3, p. 343-346, 2011.

KESAVA RAO, A. V. R.; WANI, S. P.; SINGH, P.; SRINIVAS, K.; SRINIVASA RAO, C. H. Water requirement and use by *Jatropha curcas* in semi-arid tropical location. **Biomass and Bioenergy**, v. 39, p. 175-181, Apr. 2012. DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.01.013.

KHEIRA, A. A. A.; ATTA, N. M. M. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficits: yield, water use efficiency and oilseed characteristics. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 10, p. 1343-1350, Oct. 2009. DOI: 10.1016/j.biombioe.2008.05.015.

KUDOYAROVA, G.; VESELOVA, S.; HARTUNG, W.; FARHUTDINOV, R.; VESELOV, D.; SHARIPOVA, G. Involvement of root ABA and hydraulic conductivity in the control of water relations in wheat plants exposed to increased evaporative demand. **Planta**, v. 233, n. 1, p. 87-94, Jan. 2011. DOI: 10.1007/s00425-010-1286-7.

KUMAR, G. P.; YADAV, S. K.; THAWALE, P. R.; SINGH, S. K.; JUWARKAR, A. A. Growth of *Jatropha curcas* on heavy metal contaminated soil amended with industrial wastes and Azotobacter – a greenhouse study. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 6, p. 2078-2082, Apr. 2008. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.03.032.

LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L.; MENDONÇA, S.; ROSADO, T. B.; ALBRECHT, J. C. Caracterização morfo-agronômica do banco de germoplasma de pinhão manso na fase jovem. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 3, p. 371-379, May/June 2011.

MAES, W. H.; ACHTEN, W. M. J.; REUBENS, B.; RAES, D.; SAMSON, R.; MUYS, B. Plant-water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. **Journal of Arid Environments**, v. 73, n. 10, p. 877-884, Oct. 2009. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2009.04.013.

MAGHULY, F.; JANKOWICZ-CIESLAK, J.; PABINGER, S.; TILL, B. J.; LAIMER, M. Geographic origin is not supported by the genetic variability found in a large living collection of *Jatropha curcas* with accessions from three continents. **Biotechnology Journal**, v. 10, n. 4, p. 536-551, Apr. 2015. DOI: 10.1002/biot.201400196.

MARTINS, L. D.; COLODETTI, T. V.; BRINATE, S. V. B.; RODRIGUES, W. N.; AMARAL, J. F. T.; TOMAZ, M. A.; LAVIOLA, B. G. Seedling growth of physic nut (*Jatropha curcas* L.) genotypes under different photosynthetic photon flux density. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 9, p. 1343-1347, Jan. 2014.

MOREIRA-GONZÁLEZ, I.; ARNÁEZ-SERRANO, E.; CASTILLO-UGALDE, M.; BRICEÑO-ELIZONDO, E.; ARIAS-AGUILAR, D. Use of pruning in the agricultural management of *Jatropha curcas* (jatropha) for the plant flower development, in Costa Rica. **Tecnología en Marcha**, v. 32, n. 1, p. 68-76, Mar. 2019.

MOSHELION, M.; HALPERIN, O.; WALLACH, R.; OREN, R.; WAY, D. A. Role of aquaporins in determining transpiration and photosynthesis in water-stressed plants: crop water-use efficiency, growth and yield. **Plant, Cell and Environment**, v. 38, n. 9, p. 1785-1793, Sept. 2015. DOI: 10.1111/pce.12410.

NIU, G.; RODRIGUEZ, D.; MENDOZA, M.; JIFON, J.; GANJEGUNTE, G. Responses of *Jatropha curcas* to salt and drought stresses. **International Journal of Agronomy**, article ID 632026, 7 pages, 2012. DOI:10.1155/2012/632026.

OLIVEIRA, P. S. de. **Trocas gasosas foliares e produção de biomassa em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. submetidas ao déficit hídrico no solo.** 2013. 62 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus.

OLIVEIRA, P. S. de; PEREIRA, L. S.; SILVA, D. C.; SOUZA JÚNIOR, J. O. de; LAVIOLA, B. G.; GOMES, F. P. Hydraulic conductivity in stem of young plants of *Jatropha curcas* L. cultivated under irrigated or water deficit conditions. **Industrial crops and products**, v. 116, p. 15-23, Jan. 2018. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.12.066

OLIVEIRA, P. S. de; SILVA, L. D. da.; SANTANA, T. A. de; LAVIOLA, B. G.; PAIVA, A. Q.; MIELKE, M. S.; GOMES, F. P. Morphophysiological changes in young plants of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) subjected to water stress and recovery. **African Journal Agricultural Research**, v.11, n. 45, p. 4692-4703, Nov. 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11435.

- PARENT, B.; HACHEZ, C.; REDONDO, E.; SIMONNEAU, T.; CHAUMONT, F.; TARDIEU, F. Drought and abscisic acid effects on aquaporin content translate into changes in hydraulic conductivity and leaf growth rate: a trans-scale approach. **Plant Physiology**, v. 149, p. 2000-2012, Apr. 2009. DOI: 10.1104/pp.108.130682.
- PINHEIRO, H. A.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; FERREIRA, V. M.; CÂMARA, C. de A.; CABRAL, F. F.; OLIVEIRA, J. F.; CARVALHO, L. W. T. de; SANTOS, J. M. dos; SANTOS FILHO, B. G. dos. Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings subjected to salt stress conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 27, n. 3, p. 385-392, May 2008. DOI: 10.1016/j.indcrop.2007.10.003.
- PLOSCHUK, E. L.; BADO, L. A.; SALINAS, M.; WASSNER, D. F.; WINDAUER, L. B.; INSAUSTI, P. Photosynthesis and fluorescence responses of *Jatropha curcas* to chilling and freezing stress during early vegetative stages. **Environmental and Experimental Botany**, v. 102, p. 18-26, June 2014. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.02.005.
- POMPELLI, M. F.; BARATA-LUÍS, R. M.; VITORINO, H. S.; GONÇALVES, E. R.; ROLIM, E. V.; SANTOS, M. G.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; FERREIRA, V. M.; LEMOS, E. E. P.; ENDRES, L. Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity or purging nut under drought deficit and recovery. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 8, p. 1207-1215, Aug. 2010. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.03.011.
- RAJAONA, A. M.; BRUECK, H.; ASCH, F. Leaf gas exchange characteristics of *Jatropha* as affected by nitrogen supply, leaf age and atmospheric vapour pressure deficit. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 199, n. 2, p. 144-153, Apr. 2013. DOI: 10.1111/jac.12000.
- RAO, G. R.; KORWAR, G. R.; SHANKER, A. K.; RAMAKRISHNA, Y. S. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. **Trees**, v. 22, n. 5, p. 697-709, Oct. 2008. DOI: 10.1007/s00468-008-0229-4.
- RIZWAN, S.; AFTAB, F. Morphological and biochemical responses of *Jatropha curcas* under water stress. **International Journal of Agriculture and Biology**, 2019. DOI: 10.17957/IJAB/15.0711.
- ROZA, F. A. **Características fotossintéticas e relações hídricas em genótipos de *Jatropha curcas* submetidos à deficiência hídrica**. 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus.
- SÁNCHEZ-ROMERA, B.; RUIZ-LOZANO, J. M.; LI, G.; LUU, D.-T.; MARTÍNEZ-BALLESTA, M. Del C.; CARVAJAL, M.; ZAMARREÑO, A. M.; GARCÍA-MINA, J. M.; MAUREL, C.; AROCA, R. Enhancement of root hydraulic conductivity by methyl jasmonate and the role of calcium and abscisic acid in this process. **Plant, Cell & Environment**, v. 37, n. 4, p. 995-1008, Apr. 2014. DOI: 10.1111/pce.12214.
- SANTANA, T. A. de; OLIVEIRA, P. S. de; SILVA, L. D. da; LAVIOLA, B. G.; ALMEIDA, A.-A. F. de; GOMES, F. P. Water use efficiency and consumption in different Brazilian genotypes of *Jatropha curcas* L. subjected to soil water deficit. **Biomass and Bioenergy**, v. 75, p. 119-125, Apr. 2015. DOI: 10.1016/j.biombioe.2015.02.008.

- SANTANA, T. A. de; SILVA, L. D. da; OLIVEIRA, P. S. de; BENJAMIN, C. S.; RAMOS, E. P.; SOUZA JÚNIOR, J. O. de; GOMES, F. P. Leaf gas exchange and biomass partitioning in *Jatropha curcas* L. young plants subjected to flooding and drought stresses. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 7, p. 792-798, Mar. 2017. DOI:10.21475/ajcs.17.11.07.pne354.
- SANTOS, I. C. dos; ALMEIDA, A.-A. F. de; ANHERT, D.; CONCEIÇÃO, A. S. da; PIROVANI, C. P.; PIRES, J. L.; VALLE, R. R.; BALIGAR, V. C. Molecular, physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to soil water deficit. **PLoS One**, v. 9, n. 12, e115746, 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0115746.
- SANTOS, M. W. dos; SILVA, C. F. da; FRANÇA, M. G. C.; ZONTA, E.; ROSSIELLO, R. O. P. The relationship between succulence and shoot biomass differences according to nutritional status in *Jatropha curcas* L. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 43, p. 4025-4031, Oct. 2015. DOI: 10.5897/AJAR2015.10235
- SAPETA, H.; COSTA, J. M.; LOURENCO, T.; MAROCO, J.; LINDE, P. van der; OLIVEIRA, M. M. Drought stress response in *Jatropha curcas*: growth and physiology. **Environmental and Experimental Botany**, v. 85, p. 76-84, Jan. 2013. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2012.08.012.
- SARA, K.; HOSSEIN, A.; SINAKI, J. M.; MAKARIAN, H. Effects of water deficit and chitosan spraying on osmotic adjustment and soluble protein of cultivars castor bean (*Ricinus communis* L.). **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 160-169, Aug. 2012.
- SENGER, E.; PEYRAT, A.; MARTIN, M.; MONTES, J. M. Genetic variation in leaf chlorophyll content of *Jatropha curcas*. **Industrial Crops and Products**, v. 58, p. 204-211, July 2014. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.04.003.
- SHU, X.; YIN, L.; ZHANG, Q.; WANG, W. Effect of Pb toxicity on leaf growth, antioxidant enzyme activities, and photosynthesis in cuttings and seedlings of *Jatropha curcas* L. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 19, n. 3, p. 893-902, Mar. 2012. DOI: 10.1007/s11356-011-0625-y.
- SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIEIRA, S. A.; PONTE, L. A. F.; SILVEIRA, J. A. G. Coordinate changes in photosynthesis, sugar accumulation and antioxidative enzymes improve the performance of *Jatropha curcas* plants under drought stress. **Biomass and Bioenergy**, v. 45, p. 270-279, Oct. 2012. DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.06.009.
- SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; ARAGÃO, R. M.; VIEIRA, C. F.; CARVALHO, F. E. L. Photosynthesis impairment and oxidative stress in *Jatropha curcas* exposed to drought are partially dependent on decreased catalase activity. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 41, n. 4, 2019a. DOI:10.1007/s11738-018-2794-5.
- SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; RIBEIRO, R. V.; VIEIRA, S. A. Photoprotective function of energy dissipation by thermal processes and photorespiratory mechanisms in *Jatropha curcas* plants during different intensities of drought and after recovery. **Environmental and Experimental Botany**, v. 110, p. 36-45, Feb. 2015a. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.09.008.

- SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; RODRIGUES, C. R. F.; VIÉGAS, R. A. Physiological adjustment to salt stress in *Jatropha curcas* plants is associated to accumulation of salt ions, transport and selectivity of K⁺, osmotic adjustment and K⁺/Na⁺ homeostasis. **Plant Biology**, v. 17, n. 5, p. 1023-1029, 2015b. DOI: 10.1111/plb.12337.
- SILVA, L. D. da; GOMES, F. P.; OLIVEIRA, P. S. de; ALMEIDA, F. R.; PIROVANI, C. P.; LAVIOLA, B. G.; AMARAL, J. F. T. do. Plasticity of photosynthetic metabolism in *Jatropha curcas* genotypes under water deficit. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n. 2, gmr18228, Jun. 2019b. DOI: 10.4238/gmr18228.
- SILVA, L. D. da; SANTANA, T. A. de; OLIVEIRA, P. S. de; LAVIOLA, B. G.; COSTA, M. G. C.; ALMEIDA, A-A. F. de, GOMES, F. P. Abscisic acid-mediated stomatal closure and antioxidant defenses in *Jatropha curcas* L. seedlings submitted to moderate water deficit. **African Journal of Agricultural Research** v. 11, n. 30, p. 2806-2816, Jul. 2016. DOI: 10.5897/AJAR2015.10587
- SILVA, M. N.; SILVA, L. D. da; OLIVEIRA, P. S. de; GOMES, L. M. C.; MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A-A. F. de; LAVIOLA, B. G.; GOMES, F. P. First insights on drought-induced crassulacean acid metabolism (CAM) in physic nut leaves. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 14., 2013, Poços de Caldas, MG. **Abstracts**... Lavras: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 2013. p. 35.
- SINGH, M.; RANJAN, S.; VERMA, K. K.; PATHRE, U. V.; SHIRKE, P. A. Photosynthetic characteristics of red and green leaves in growing seedlings of *Jatropha curcas*. **Turkish Journal of Biology**, v. 38, p. 457-468, 2014. DOI: 10.3906/biy-1312-98.
- SITTICHAJ, S.; SDOODEE, S. Difference in physiological responses to water stress between two rubbers (*Hevea brasiliensis*) clones of RRIM 600 and RRIT. **Journal of Agricultural Technology**, v. 10, n. 3, p. 743-754, May 2014.
- SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C.; CASTRO, E. M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; MARABESI, M. A. The influence of ABA on water relation, photosynthesis parameters, and chlorophyll fluorescence under drought conditions in two maize hybrids with contrasting drought resistance. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, n. 2, p. 515-527, Feb. 2013. DOI: 10.1007/s11738-012-1093-9.
- SURIHARN, B.; SANITCHON, J.; SONGSRI, P.; KESMALA, T. Effects of pruning levels and fertilizer rates on yield of physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 10, n. 1, p. 52-59, 2011. DOI: 10.3923/ajps.2011.52.59.
- TARDIEU, F.; SIMONNEAU, T.; MULLER, B. The physiological basis of drought tolerance in crop plants: a scenario-dependent probabilistic approach. **Annual Review of Plant Biology**, v. 69, p. 24.1-24.27, Mar. 2018. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042817-040218.
- VERMA, K. K.; SINGH, M.; GUPTA, R. K.; VERMA, C. L. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence, antioxidant enzymes, and growth responses of *Jatropha curcas* during soil flooding. **Turkish Journal of Botany**, v. 38, p. 130-140, 2014. DOI: 10.3906/bot-1212-32.

WANG, H.; XIN, H.; GUO, J.; GAO, Y.; LIU, C.; DAI, D.; TANG, L. Genome-wide screening of hexokinase gene family and functional elucidation of HXK2 response to cold stress in *Jatropha curcas*. **Molecular Biology Reports**, v. 46, p. 1649-1660, Feb. 2019. DOI: 10.1007/s11033-019-04613-0


WANG, L.-F. Physiological and molecular responses to drought stress in rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 83, p. 243-249, Oct. 2014. DOI: 10.1016/j.plaphy.2014.08.012.

WANI, S. P.; CHANDER, G.; SAHRAWAT, K. L.; RAO, C. H. S.; RAGHVENDRA, G.; SUSANNA, P.; PAVANI, M. Carbon sequestration and land rehabilitation through *Jatropha curcas* (L.) plantation in degraded lands. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 161, p. 112-120, July 2012. DOI: 10.1016/j.agee.2012.07.028.

WILKINSON, S.; DAVIES, W. J. ABA-based chemical signalling: the co-ordination of responses to stress in plants. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 2, p. 195-210, Feb. 2002. DOI: 10.1046/j.0016-8025.2001.00824.x.

WINTER, K.; HOLTUM, J. A. M. Cryptic crassulacean acid metabolism (CAM) in *Jatropha curcas* L. **Functional Plant Biology**, v. 42, n. 8, p. 711-717, 2015. DOI: 10.1071/FP15021.

ZHANG, Y.; WANG, Y.; JIANG, L.; XU, Y.; WANG, Y.; LU, D.; CHEN, F. Aquaporin JcPIP2 is involved in drought responses in *Jatropha curcas*. **Acta Biochimica et Biophysica Sinica**, v. 39, n. 10, p. 787-794, Oct. 2007. DOI: 10.1111/j.1745-7270.2007.00334.x.



**Fenologia, reguladores de
crescimento e adubação
do pinhão-manso**

Fenologia, reguladores de crescimento e adubação do pinhão-manso

*Rodrigo Barros Rocha
Victor Mouzinho Spinelli
André Rostand Ramalho
Victor Ferreira de Souza
Bruno Galvêas Laviola*

Introdução

A necessidade de reduzir a dependência por combustíveis fósseis é uma preocupação mundial. Sobre esse aspecto, de maneira pioneira, o Brasil se posicionou como desenvolvedor de tecnologia e potencial exportador de biocombustíveis. Por meio do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), criado em 2004, o governo tem incentivado pesquisas com “plantas oleaginosas alternativas”, entre elas o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.).

A baixa produtividade dos materiais cultivados e a inexistência de uma cadeia produtiva foram os fatores que mais contribuíram para o insucesso desses plantios, que foram sendo reduzidos com o passar dos anos. Apesar da geração de conhecimento ocorrido nos últimos anos, muitos desafios ainda precisam ser superados para aumentar a sustentabilidade econômica, social e ambiental desse cultivo.

Por ser tratar de uma oleaginosa perene, ou seja, uma espécie com potencial para produção de óleo vegetal por longo período, a velocidade com que a pesquisa gera seus resultados é limitada pelo seu longo ciclo de vida. Complementando o capítulo anterior, a seguir apresentam-se resultados avaliados na região Norte do País sobre fenologia, respostas a reguladores de crescimento e adubação do pinhão-manso.

Fenologia

O entendimento das relações entre o ciclo biológico e as condições de clima e de solo é uma questão básica e fundamental para o cultivo do pinhão-mansão. Os principais eventos biológicos do ciclo de vida dessa oleaginosa dependem das condições edafoclimáticas locais, que influenciam na intensidade e no período das diferentes fases do seu ciclo de vida.

Gurgel et al. (2011) e Fernandes et al. (2013), ao descreverem a fenologia do pinhão-mansão nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sul do País, observaram diferentes períodos de abscisão foliar, florescimento e produção. Embora novos plantios tenham sido instalados em diferentes regiões do País, existe pouca informação sobre o desenvolvimento dessa oleaginosa na região Norte. Com o objetivo de caracterizar os períodos de formação de novas folhas, abscisão foliar, inflorescência, produção e maturação dos frutos, foram monitorados mensalmente, de janeiro de 2008 a dezembro de 2010, os eventos biológicos e produtivos do pinhão-mansão cultivado no município de Porto Velho, RO, no campo experimental da Embrapa Rondônia.

Os tratos culturais realizados foram adaptados de Dias et al. (2007), de acordo com os resultados de pesquisa com pinhão-mansão no Brasil e no mundo (Bahadur et al., 2013; Carels et al., 2013). Durante o período de avaliação do experimento, não foi necessário utilizar agroquímicos para controle de pragas e doenças da cultura.

O clima da região é tropical do tipo Aw, quente e úmido, com período seco bem definido de junho a setembro, temperatura média anual de 25 °C, precipitação média anual de 2.354 mm e evapotranspiração média anual de 851 mm (Normais..., 1992) (Figura 1). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de textura muito argilosa. Observou-se melhora nos atributos dos solos com o passar dos anos, resultado da calagem e da adubação do plantio (Tabela 1).

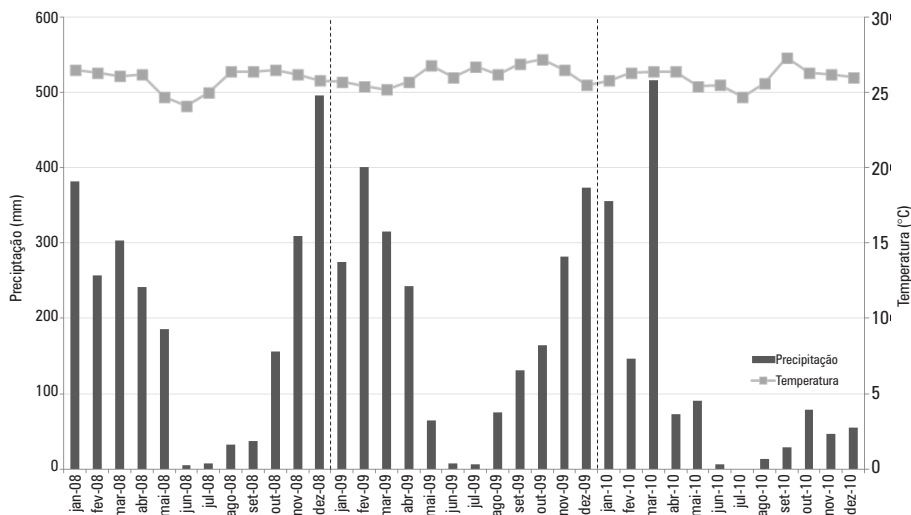


Figura 1. Médias mensais da precipitação pluvial (barra) e temperatura (linha), registrada durante o período de janeiro de 2008 a dezembro de 2010 no município de Porto Velho, RO.

Tabela 1. Atributos químicos do solo na camada de 0-20 cm, avaliados em 2009, 2010 e 2011, na área experimental localizada no município de Porto Velho, RO.

Data	pH	P mg dm ⁻³	K	Ca ----- mmol _e dm ⁻³ -----	Mg	Al + H	Al	MO g kg ⁻¹	V %
9/9	4,4	3,0	2,54	13,1	9,7	174,9	33,6	23,1	13
9/10	4,8	2,0	1,03	26,3	17,0	108,9	14,8	25,2	29
9/11	5,0	2,0	1,23	45,1	21,5	90,8	6,8	27,4	43

P = fósforo (Mehlich⁻¹); K = potássio trocável (Mehlich⁻¹); Mg = magnésio trocável; Al + H = acidez titulável; Al = alumínio trocável; MO = matéria orgânica; V = saturação por bases.

As principais fases do ciclo de vida dessa oleaginosa, também chamadas de fenofases, são a abscisão foliar, o florescimento e a produção de frutos. Ainda considerada como uma espécie em domesticação, adapta-se bem a regiões tropicais, subtropicais e a climas áridos. Nesses locais, o pinhão-manso perde suas folhas e paralisa seu crescimento durante os períodos de estiagem, voltando a produzir folhas novas e a florescer no início da

estação das chuvas. Em outras regiões, a abscisão foliar ocorre em diferentes épocas. Em regiões de clima frio, acontece durante o período de baixas temperaturas. Em regiões de clima tropical úmido, com precipitações acima de 5.000 mm anuais, o pinhão-mansô perde suas folhas durante o período de excedente pluviométrico.

Na região, a precipitação pluviométrica é o evento climático de maior influência na fenologia dessa planta, que apresenta produção de novas folhas logo após o início da estação das chuvas (Figura 2). Durante a avaliação das plantas, observou-se que, após o período de seca bem definido, entre os meses de junho a setembro, o pinhão-mansô voltou a produzir novas folhas em agosto de 2009 e em setembro de 2010. Segundo Achten et al. (2010), a abscisão foliar está associada à fisiologia dessa planta, que paralisa seu crescimento, armazena metabólitos e utiliza a água de maneira mais eficiente. No primeiro ano de plantio, não se observou abscisão foliar, o que indicou maior exigência hídrica das plantas adultas aos 24 e 36 meses de cultivo. Fernandes et al. (2013) também observaram a abscisão foliar somente após os 12 meses de plantio.

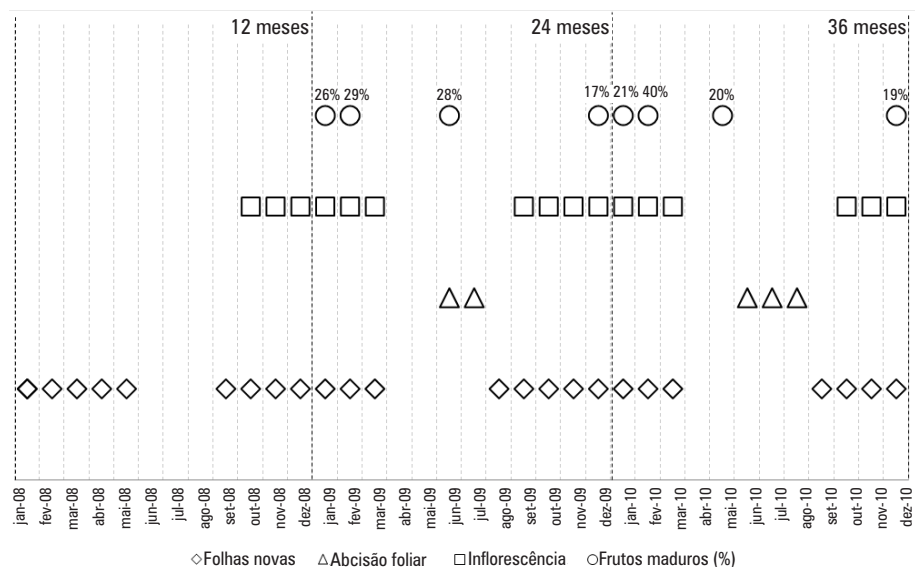
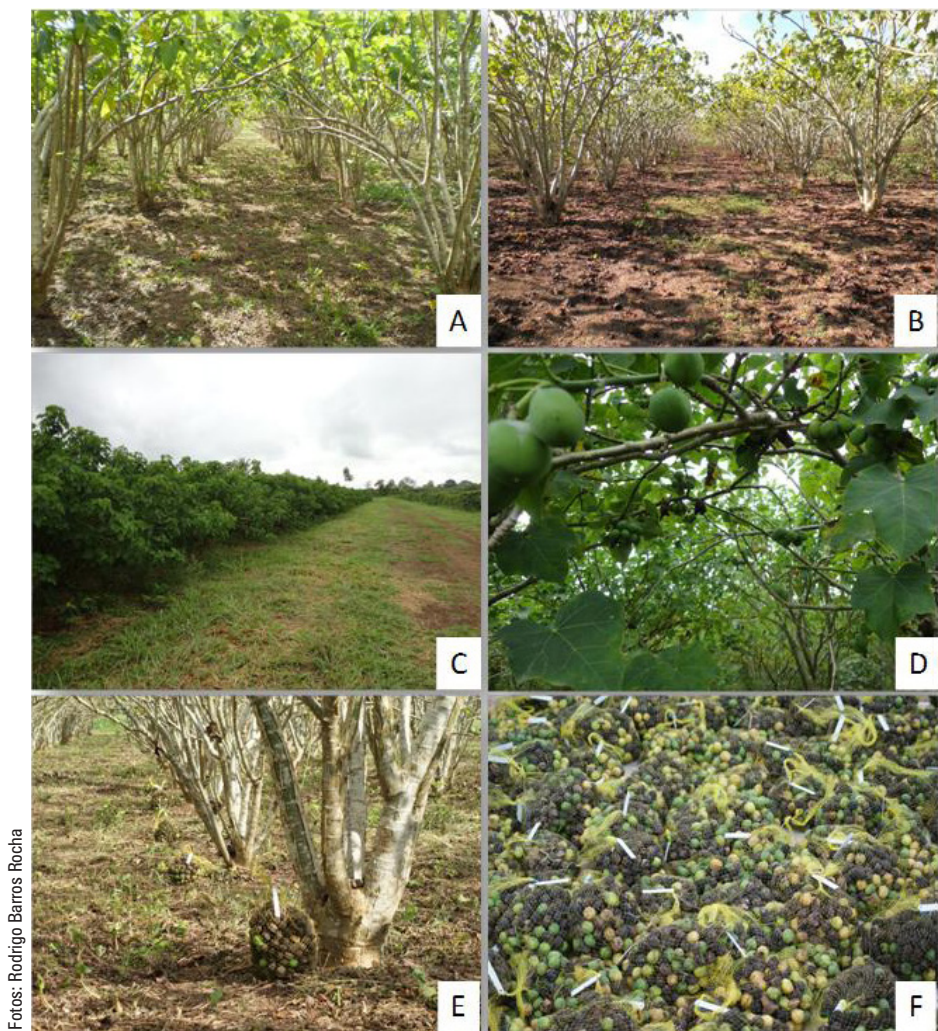


Figura 2. Fenograma do pinhão-mansô em que são ilustradas as épocas de produção de novas folhas, abscisão foliar, florescimento e percentual de frutos maduros, de janeiro de 2008 a dezembro de 2010, no município de Porto Velho, RO.



Fotos: Rodrigo Barros Rocha

Figura 3. Registro fotográfico realizado ao longo do ano de 2011, no qual são mostradas diferentes fenofases do cultivo do pinhão-mansão: maio de 2011 e junho de 2011 – abscisão foliar (A e B); outubro de 2011 – produção de novas folhas e frutos (C e D); dezembro de 2011 – frutos verdes, amarelos e maduros (E e F).

O primeiro florescimento significativo ocorreu após 10 meses de cultivo, quando, no mês de outubro de 2008, as plantas passaram a emitir inflorescências constantemente até o mês de março de 2009. O florescimento contínuo do pinhão-mansão faz com que a planta produza frutos durante quase todo o período das chuvas, dificultando os procedimentos de

colheita. Segundo Divakara et al. (2010), a capacidade de resistir às condições adversas, associada à produção de frutos durante longos períodos de tempo, é uma estratégia evolutiva dessa oleaginosa, que aumenta sua possibilidade de deixar descendência em épocas diferentes das plantas de florescimento concentrado.

O florescimento contínuo reflete na maturação desuniforme dos frutos. Por isso, em campo podem ser encontrados ao mesmo tempo frutos verdes, frutos em amadurecimento e frutos maduros. De janeiro de 2008 a dezembro de 2010, foram realizadas seis colheitas nos meses de fevereiro, junho e dezembro de 2009 e nos meses de fevereiro, maio e dezembro de 2010. Nesse período, observaram-se duas épocas de maior concentração de frutos em campo: a primeira ocorreu entre os meses de dezembro e fevereiro e a segunda entre os meses de abril e junho. Também se observou maior produção de frutos na primeira época de colheita (Figura 2). A Figura 3 apresenta o registro fotográfico de diferentes fenofases do cultivo.

Respostas a reguladores de crescimento

Na agricultura moderna, duas estratégias principais são consideradas para o aumento da produtividade por área: o plantio de materiais genéticos superiores e a melhoria das condições de ambiente (Openshaw, 2000). Eldridge et al. (1994) observaram uma relação aditiva entre esses fatores, resultado da expressão do potencial genético superior com a melhoria do ambiente e das condições de plantio.

Quanto à melhoria das condições do ambiente, ela pode ser atingida pela correção do ambiente em conformidade com as necessidades da planta ou por meio de práticas de manejo para melhorar a adaptação e a eficiência no aproveitamento dos nutrientes. A aplicação exógena de reguladores de crescimento estimula a resposta da planta em condições ambientais não favoráveis, favorecendo o seu crescimento em condições adversas (Marengo; Lopes, 2007).

A citocinina sintética, 6-benziladenina, produz um efeito acelerador na divisão e na expansão celular, que pode resultar em maior resistência dos tecidos dos frutos nas fases de rápido desenvolvimento. As citocininas têm como efeito específico aumento da taxa de incorporação de aminoácidos, retardamento da senescência e aumento de absorção de nutrientes (Salisbury; Ross, 1991). É um regulador de crescimento utilizado em diversas

culturas para acelerar a taxa de crescimento, induzir a formação de raízes, impedir a queda de frutos e ajustar a relação entre flores masculinas e femininas de inflorescências (Kumar et al., 2011).

Recentemente, diferentes reguladores de crescimento estão sendo testados no cultivo do pinhão-manso. Joshi et al. (2011) observaram efeito sinérgico da auxina e do etileno no desenvolvimento floral e na produção de grãos. Pan e Xu (2011) constataram que a aplicação exógena de benziladenina (BA) aumentou o desenvolvimento floral e a produção de grãos, não tendo sido observada resposta às aplicações de BA em concentrações superiores a 160 mg L⁻¹. De maneira contraditória, Abdelgadir et al. (2010) observaram que a aplicação foliar da BA aumentou o desenvolvimento floral sem resultar em aumento na produção de grãos. As diferentes condições edafoclimáticas e a avaliação de plantas com apenas 12 meses de plantio limitam a predição da resposta em campo da aplicação exógena da benziladenina.

No intuito de buscar novas alternativas para incremento da produtividade em *J. curcas*, o objetivo deste trabalho foi quantificar a resposta em campo da aplicação de BA no florescimento e na produção de grãos, considerando plantas em idade produtiva e espaçamento adensado. O experimento foi conduzido no município de Porto Velho, RO (latitude 8° 47' 38.09 S; longitude 63° 50' 50.40 O e 87 m de altitude). O clima da região é tropical do tipo Am (classificação Köppen), quente e úmido, apresenta período seco bem definido com ocorrência de déficit hídrico nos meses de junho a setembro, temperatura média anual de 25 °C, precipitação média anual de 2.354 mm e evapotranspiração média anual de 851 mm. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de textura argilosa.

Antes do plantio, foi realizada a calagem superficial em área total, com a aplicação de 4 t ha⁻¹ de calcário (PRNT 60%). O plantio foi efetuado em dezembro de 2008, em espaçamento de 3 m x 2 m, utilizando-se mudas com 1 mês de crescimento em viveiro, acondicionadas em sacolas de polietileno de 2 L, a partir de sementes de origem genética desconhecida. A adubação de plantio consistiu na aplicação de 150 g de superfosfato simples, 50 g de cloreto de potássio e 30 g de FTE BR-12.

Durante o período experimental, alternadamente, realizou-se capina mecânica por meio de motorroçadeira costal e capina química (Glifosato na dosagem de 1,5 L ha⁻¹) seguida de coroamento manual das plantas com enxada. Durante a condução do experimento,

não se realizou o controle químico de pragas e doenças. Foram coletadas amostras de solo em cada parcela nas profundidades de 0-20 cm e 20 cm-40 cm (Tabela 2). As adubações de cobertura foram efetuadas a partir do segundo ano, com a aplicação 50-60-40 kg ha⁻¹ de N (ureia), P₂O₅ (superfosfato triplo) e K₂O (cloreto de potássio), duas vezes ao ano, três meses antes das duas principais colheitas, que acontecem nos meses de maio e junho e dezembro e janeiro.

Tabela 2. Atributos químicos do solo, nas camadas de 0-20 cm e 20 cm-40 cm, avaliados nos anos de 2009 a 2011 na área experimental localizada no município de Porto Velho, RO.

Data mês/ano	Prof. cm	pH	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al + H	Al	MO g kg ⁻¹	V %
				mmol _c dm ⁻³						
10/9	0-20	4,4	3	2,54	13,1	9,7	174,9	33,6	23,1	13
10/9	20-40	4,5	6	2,44	15,3	7,4	183,2	32,8	30,1	12
10/10	0-20	5,0	4	1,41	30,0	13,6	133,7	18,5	25,3	25
10/10	20-40	4,7	1	0,67	9,7	6,6	120,5	30,6	19,9	12
10/11	0-20	5,0	2	1,23	45,1	21,5	90,8	6,8	37,4	43
10/11	20-40	4,8	2	1,05	29,6	17,2	107,3	16,9	35,2	31

Prof. = profundidade; P = fósforo extraível (Mehlich⁻¹); K = potássio trocável (Mehlich⁻¹); Mg = magnésio trocável; Al + H = acidez titulável; Al = alumínio trocável; MO = matéria orgânica; V = saturação por bases.

Uma solução estoque (25 mg mL⁻¹) de 6-benziladenina (BA, ACROS ORGANICS, Geel, Bélgica) foi preparada com a dissolução de 1 g de BA em 5 mL de NaOH 1N e adição de água destilada para completar o volume final de 40 mL. Tween-20 (Polisorbato-20) foi adicionado a uma concentração final de 0,05% (v/v) como um agente adesivo. Um volume de 80 mL por planta da solução de uso a 150 mg L⁻¹ foi pulverizado diretamente nas inflorescências em desenvolvimento, conforme Pan e Xu (2011). Inflorescências controle foram pulverizadas com 5 mL de água destilada contendo 0,05% (v/v) de Tween-20 (Polissorbato-20). As pulverizações foram realizadas duas vezes, com uma semana de intervalo, nos dias 5/10/2011 e 12/10/2011, período em que se desenvolveram as primeiras inflorescências.

Para avaliação da resposta à aplicação exógena do regulador de crescimento, foi planejado um experimento em blocos casualizados, com dois blocos, parcela de planta única com 25 repetições, totalizando a avaliação de 100 plantas com 36 meses de plantio. O desenvolvimento floral e a produção de grãos foram avaliados considerando o número de inflorescências por planta, o número de flores femininas e masculinas por inflorescências, o número de cachos por planta, o número de frutos por cacho, o percentual de abortamento de frutos, o número máximo e mínimo de frutos por cacho e a produção de grãos por planta.

Os frutos em estágio final de maturação foram colhidos separadamente nas árvores e na projeção da copa. Após a colheita, os frutos foram secos à sombra por aproximadamente 7 dias, quando foram beneficiados. Após o beneficiamento, a umidade das sementes foi mensurada em determinador de umidade, e aquelas com teor inferior a 9% foram pesadas com utilização de balança analítica. A diferença entre tratamentos foi interpretada considerando-se o teste F da análise de variância. O contraste entre as médias foi avaliado utilizando-se o teste de Tukey a 1% de probabilidade (Cruz et al., 2004).

Esse é o primeiro trabalho que mensura o efeito da benziladenina na produção de grãos do pinhão-manso considerando-se plantas em idade produtiva e condições de espaçamento adensado. A avaliação de plantas em estágio juvenil limita a interpretação da produtividade, uma vez que o potencial produtivo dessa oleaginosa perene se altera com o crescimento das plantas (Rocha et al., 2012).

De acordo com o teste F a 1% de probabilidade, verificou-se que a benziladenina alterou todas as características de florescimento e frutificação (Tabela 2). O coeficiente de variação, que é uma medida utilizada para aferir a precisão experimental, apresentou valores compatíveis com outros experimentos (Drumond et al., 2010; Laviola et al., 2010). Especificamente características avaliadas por contagem apresentam maiores valores de coeficiente de variação (Cruz; Regazzi, 2001). Apesar de não existir material genético uniforme (cultivar), observa-se que as condições experimentais controlaram adequadamente os efeitos aleatórios do erro experimental (Tabela 3).

O número de flores masculinas, femininas e o número de inflorescências por planta aumentaram significativamente com a aplicação da benziladenina (Figura 1). Segundo Spinelli et al. (2015), o número de flores femininas por inflorescência é um importante componente da produção de grãos, uma vez que limita o número de frutos que podem ser produzidos. O maior número de flores femininas por inflorescência, associado ao maior

número de inflorescências por planta, têm potencial para impactar na produção de grãos dessa oleaginosa (Figura 4).

Tabela 3. Valores do teste F da análise de variância, da média e do coeficiente de variação das características de florescimento e de produção de grãos de *Jatropha curcas* avaliadas aos 36 meses de plantio.

FV	GL	F.fem.	F.masc.	Inflor.	Frut.cacho	N.cacho
Tratamento	1	1.484,08**	8.990,48**	332,97**	3.343,42**	825,25**
Bloco	1	0,27 ^{NS}	5,16**	4,52*	2,07**	2,15**
Resíduo	97	-	-	-	-	-
Total	99	-	-	-	-	-
Média geral		11,93	54,05	63,99	4,73	41,44
CV (%)		34,86	40,19	8,01	42,08	30,16
FV	GL	Pegam.	Máx.	Mín.	Prod.	
Tratamento	1	169,33**	30,97**	360,99**	134.277,48**	
Bloco	1	2,21 ^{NS}	3,72 ^{NS}	0,044 ^{NS}	19.535,44**	
Resíduo	97	-	-	-	-	
Total	99	-	-	-	-	
Média geral		0,50	12	1,36	600	
CV (%)		48,69	41,00	59,00	33,68	

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; F.fem. = número de flores femininas por inflorescência; F.masc. = número de flores masculinas por inflorescência; Inflor. = número de inflorescências por planta; Frut.cacho = número de frutos por cacho; N.cacho = número de cachos por planta; Pegam. = percentual de frutos que não abortaram por cacho; Máx. = número máximo de frutos por cacho; Mín. = número mínimo de frutos por cacho; Prod. = produção de grãos (grama por planta). CV = coeficiente de variação; ** = significativo a 1% de probabilidade de acordo com o teste F; * = significativo a 5% de probabilidade de acordo com o teste F.

O efeito em campo da aplicação do regulador de crescimento pode ser visualizado na Figura 5, em que se observa o desenvolvimento das inflorescências ao longo do tempo. Outros trabalhos têm mostrado que a benziladenina induz o aumento no número de flores por causa do efeito positivo da citocinina no desenvolvimento floral e na atividade meristemática (Abdelgadir et al., 2010; Pan; Xu, 2011).

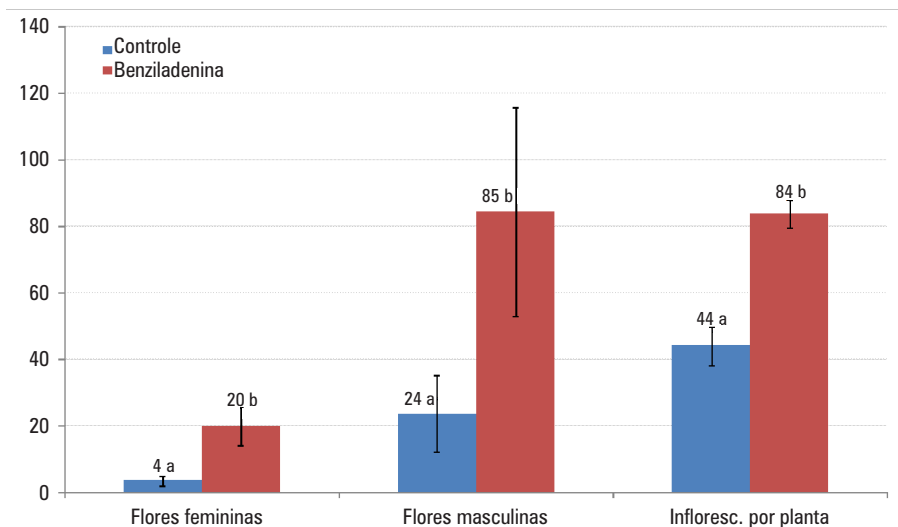


Figura 4. Comparação de médias pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade das características de florescimento avaliadas nas plantas tratadas com benziladenina e nas plantas não tratadas (controle).

As citocininas fazem parte de uma rede intrínseca de sinalização celular que controla o desenvolvimento e o crescimento das plantas em diferentes condições ambientais. Esse grupo de moléculas sinalizadoras responde a fatores extrínsecos, tais como disponibilidade de luz, nutrientes e água, apresentando papel importante no ajuste fino da resposta ao estresse biótico e abiótico. A aplicação exógena de citocinina pode causar mudanças no desenvolvimento de diversas outras espécies, não apenas no pinhão-manso. Plantas de tabaco e de arroz que tiveram a rota de produção de suas citocininas geneticamente modificadas apresentaram número reduzido de flores por inflorescência (Kurakawa et al., 2007; Werner; Schmulling, 2009).

Além de induzir o maior número de flores femininas por inflorescências, a aplicação de benziladenina alterou a relação de flores masculinas e femininas nas inflorescências. No tratamento controle, a relação de flores masculinas e femininas foi de 6:1, enquanto, no tratamento com a aplicação do benziladenina, a relação foi de 4,25:1. Proporções de flores masculinas e femininas mais próximas à unidade são desejáveis, pois isso proporciona maior equilíbrio no investimento energético na planta (Abdelgadir et al., 2010).

Os contrastes entre as médias das plantas tratadas e do grupo controle mostram que a aplicação de benziladenina contribuiu para aumentar o número de frutos por cacho,

em consequência do maior número de flores femininas por inflorescência formadas no tratamento com o regulador vegetal (Tabela 4 e Figura 5).

No entanto, observa-se que a aplicação da benziladenina nas plantas reduziu significativamente o pegamento dos frutos. Essa redução deve-se a fatores ambientais, resultado da competição por água, luz e nutrientes, e a fatores genéticos, associados à capacidade da planta de direcionar nutriente para o fruto (Figura 5). Nesse cenário, a seleção por genótipos com maior eficiência no uso de nutrientes e com pedúnculo maior deve ser a próxima etapa para a busca de melhores resultados de produtividade nessa oleaginosa.

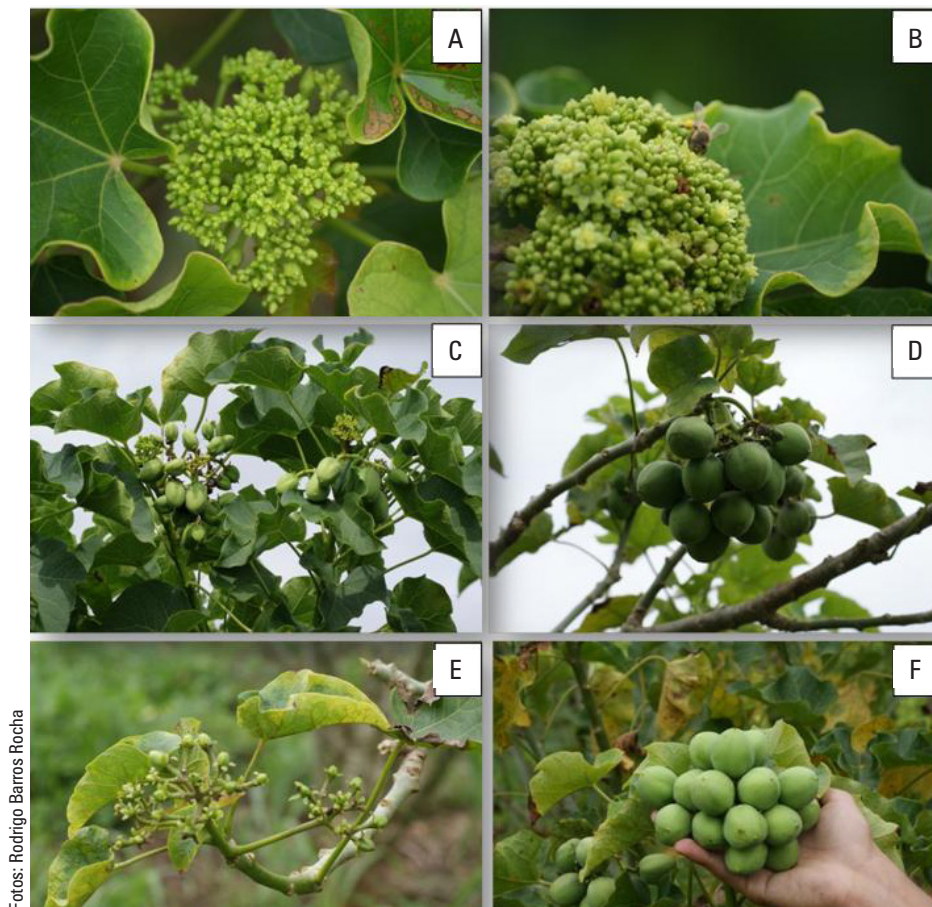


Figura 5. Desenvolvimento e frutificação das plantas tratadas com benziladenina. Inflorescências em desenvolvimento em 18/11/2011 (A e B); frutos em desenvolvimento em 30/11/2011 (C e D); abortamento de frutos em 9/12/2011 (E); cacho desenvolvido em amadurecimento em 15/12/2012 (F).

A aplicação da benziladenina pode alterar não somente os componentes reprodutivos das plantas, mas também o seu metabolismo, tornando-a mais eficiente na produção e no uso de fotoassimilados. O pinhão-mansão é uma planta que floresce em gemas terminais e, para florescer, depende de crescimento contínuo, diferentemente de outras espécies. No cafeeiro, por exemplo, a força de dreno dos frutos diminui a taxa do crescimento vegetativo (Laviola; Dias, 2008). Como reflexo do maior número de inflorescências por planta, observou-se que a aplicação de benziladenina proporcionou também maior número de cachos por planta (Tabela 4).

Em pinhão-mansão, avaliações da variabilidade e do controle genético do número de frutos por cacho têm quantificado pequena variabilidade entre os acessos para esse caráter (Borges et al., 2014). Nesse cenário, a aplicação do regulador de crescimento apresenta-se com prática de manejo potencial para aumentar ao máximo o número de flores femininas por inflorescência e de frutos por cacho em plantas selecionadas pelo programa de melhoramento.

Tabela 4. Comparação de médias pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade das características de frutificação e produção de grãos de *Jatropha curcas*, avaliadas aos 36 meses de plantio nas plantas tratadas com benziladenina e nas plantas não tratadas (controle).

Tratamentos	Frut.cacho	Cach.planta	Pegam.
Controle Benziladenina	2.55a	35.12a	0.64a
	6.91b	47.76b	0.35b
	Máx.	Mín.	Prod.
Controle Benziladenina	6.96a	0.98a	409.98a
	17.20b	1.74b	791.08b

Frut.cacho = número de frutos por cacho; Cach.planta = número de cachos por planta; Pegam. = percentual de frutos que não abortaram por cacho; Máx. = número máximo de frutos por cacho; Mín. = número mínimo de frutos por cacho; Prod. = produção de grãos (grama por planta).

Em consequência do maior número de cachos por planta e de frutos por cacho, a aplicação foliar de benziladenina resultou em maior produção de grãos por planta (Tabela 4). As plantas tratadas com regulador vegetal apresentaram produção média de grãos de 791,08 g por planta, o que equivale a aumento de 92% em comparação com a média de produção de 409,98 g por planta no tratamento controle. No espaçamento avaliado, as médias de produção equivalem respectivamente a 1,3 t ha⁻¹ e a 0,68 t ha⁻¹.

O uso de reguladores de crescimento é uma técnica importante para a agricultura moderna, apresentando-se como alternativa para maximizar a eficiência no uso de nutrientes orgânicos e minerais. Os fitormônios exógenos alteram o metabolismo da planta, a distribuição e a eficiência do uso de fotoassimilados e nutrientes e, conseqüentemente, aumenta o índice de colheita (Larcher, 2000). Os resultados aqui apresentados servirão de referência científica para planejamento e condução de outros experimentos relativos ao refinamento da prática em diferentes condições climáticas, considerando época e dosagem de aplicação. A aplicação exógena da benziladenina associada ao plantio de materiais selecionados com maior número de cachos por planta tem potencial para impactar a viabilidade desse cultivo.

Respostas à adubação

Tradicionalmente utilizado na medicina popular, o pinhão-mansão não foi cultivado ao longo dos anos para maior produção de grãos ou maior rendimento de óleo. Da expectativa inicial de quatro ou mais toneladas de grãos por hectare, produtividades inferiores a 2,0 t ha⁻¹ estão sendo obtidas em diferentes condições edafoclimáticas, em razão de limitações hídricas, ataques de pragas e doenças e deficiência nutricional (Laviola; Dias, 2008). A incidência de oídio em regiões de Cerrado e o ataque da cigarrinha têm sido observados em plantios em diversas regiões do mundo, incluindo o Brasil (Gusmão, 2010).

No ano de 2008, a área plantada de pinhão-mansão se expandiu até atingir aproximadamente 50 mil hectares em território brasileiro. Desde então, muitos agricultores abandonaram suas áreas de cultivo por causa da falta de informação em relação à adubação e ao manejo. A decomposição dos componentes de produção dessa oleaginosa, em uma população avaliada em clima tropical amazônico, mostrou que mais de 90% de variabilidade do rendimento de óleo está associado à produtividade de grãos (Spinelli et al., 2010).

A adubação adequada é importante para disponibilizar a quantidade de nutrientes necessária para o cultivo. A falta ou o excesso de determinado nutriente prejudica o desenvolvimento das plantas, limitando a produtividade e inviabilizando o cultivo. O pinhão-mansão absorve elevada quantidade de nutrientes do solo para folhas e frutos, sendo importante a reposição desses nutrientes para que não ocorra o empobrecimento do solo e a conseqüente diminuição da produtividade. Segundo Laviola e Dias (2008), nos 4 anos de cultivo em espaçamento de 4 m x 2 m, ou seja, 1.250 plantas por hectare, o pinhão-mansão

extrai do solo para os frutos 117 g por planta de nitrogênio (N), 23 g por planta de fósforo (P) e 83 g por planta de potássio (K) por hectare. Esse trabalho indica que o nitrogênio é o nutriente acumulado em maior quantidade nas folhas e nos frutos do pinhão-mansão.

Gusmão (2010), ao avaliar o efeito de três doses de adubação NPK (36:18:27, 54:18:27 e 72:18:27) em plantas com 24 meses de plantio, observou que o aumento de N nos formulados resultou em aumento de peso, comprimento e largura dos frutos, com redução no teor de óleo. Para cada 1% do aumento do formulado, ocorreu decréscimo de 0,01% do teor de óleo. Silva (2010) observou que o excesso de nutrientes resulta em menor crescimento de *Jatropha*, reduzindo a massa seca de raízes e caule. Segundo os autores, por ser uma planta caducifólia e seus órgãos, caule e raízes serem tipicamente estruturas de reserva de nutrientes, é presumível que a oferta demasiada de nutrientes sinalize menor necessidade de síntese e acúmulo de compostos de reservas. Silva (2010) também descreve redução no crescimento de mudas com doses elevadas de NPK.

Além das avaliações de crescimento de mudas ou plantas em fase juvenil, o desenvolvimento de uma primeira aproximação de adubação para esse cultivo depende da avaliação de plantas em idade produtiva e de espaçamento adensado. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi quantificar a produtividade de grãos e o crescimento de pinhão-mansão sob diferentes doses de adubação NPK, em clima tropical amazônico, aos 24, 36 e 48 meses de plantio em espaçamento adensado.

O experimento foi conduzido no município de Ariquemes, RO (latitude 9°55'24.50S, longitude 63°7'15.58O e 142 m de altitude). O clima da região é tropical do tipo Aw, quente e úmido, apresenta período seco bem definido com ocorrência de déficit hídrico nos meses de junho a setembro, temperatura média anual de 25 °C, precipitação média anual de 2.354 mm e evapotranspiração média anual de 851 mm. O solo da área experimental é classificado com Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de textura argilosa. O plantio foi efetuado em março de 2005, em espaçamento de 2 m x 3 m, e foram utilizadas mudas com 1 mês de crescimento em viveiro, formadas em sacolas plásticas de 2 L a partir de sementes da região e de origem genética desconhecida. Em cada cova, foram aplicados 100 g de superfosfato simples. Aos 12 meses após o plantio, foi realizada a calagem superficial em área total com a aplicação de 4 t de calcário (PRNT 60%) por hectare.

Durante o período de execução do experimento, foram realizadas capinas mecânicas, utilizando-se roçadeira costal, e capinas químicas, com a aplicação de glifosato

(1,5 L ha⁻¹), e efetuado o coroamento manual (com enxada) das plantas. Não foi necessário efetuar o controle de pragas e doenças. Foram analisadas amostras de solo em cada parcela nas camadas de 0-20 cm e 20 cm-40 cm (Tabela 5). Os dados meteorológicos do experimento foram monitorados utilizando-se a estação meteorológica automática localizada no município de Ariquemes, RO (latitude 9°55'34.81"S, longitude 63°01'09.10"O e 140 m de altitude) (Tabela 6).

Tabela 5. Dados meteorológicos do município de Ariquemes, RO, no período de 2005 a 2010.

Anos	Temperatura do ar (°C)			Umidade relativa (%)		Precipitação	
	Média	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	mm ano ⁻¹	dias ano ⁻¹
2005	25,5	32,1	21,3	86	68	2107,3	142
2006	25,5	31,7	21,4	84	70	2334,3	140
2007	25,5	31,7	21,3	84	72	2174,1	136
2008	25,4	29,8	22,3	80	77	1993,4	134
2009	26,2	31,1	22,4	82	62	2337,3	118
2010	26,0	32,4	21,5	84	59	1419,9	62

Fonte: Boletim... (2012).

Tabela 6. Atributos químicos do solo, nas camadas de 0-20 cm e 20 cm-40 cm, avaliados em 2008, 2009 e 2010, na área experimental localizada no município de Ariquemes, RO.

Data mês/ano	Prof. cm	pH	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al + H	Al	MO g kg ⁻¹	V %
08/08	0-20	4,2	0,4	1,1	7,0	6,0	41	20,0	13,0	21
08/08	20-40	4,5	2,0	0,3	5,1	4,0	61	10,0	9,2	13
09/09	0-20	5,2	16,0	1,2	27,0	17,0	58	0,0	19,6	44
09/09	20-40	4,2	1,0	0,4	5,0	4,1	58	9,1	9,5	13
09/10	0-20	5,4	9,0	1,0	33,3	15,0	53	0,0	17,6	49
09/10	20-40	4,6	1,0	0,3	5,0	4,5	63	10,7	11,1	14

Prof = profundidade; P = fósforo extraível (Mehlich¹); K = potássio trocável (Mehlich¹); Mg = magnésio trocável; Al + H = acidez titulável; Al = alumínio trocável; MO = matéria orgânica; V = saturação por bases.

As adubações de cobertura foram efetuadas de forma manual, sobre o solo úmido na projeção de copa das plantas, a partir do segundo ano, com a aplicação de três doses de N, P e K, duas vezes ao ano, antes das duas principais colheitas, que acontecem nos meses de maio e junho e dezembro e janeiro. As fontes de N, P_2O_5 e K_2O utilizadas foram, respectivamente, ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio. As fontes minerais utilizadas foram pesadas em balança analítica e a aplicação foi feita de forma manual, com solo úmido na projeção de copa das plantas em toda sua circunferência. Por causa da baixa fertilidade natural dos solos na região, 50 g de FTE-BR13 foram aplicados anualmente em todas as plantas.

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4×3 , com 3 blocos de 30 plantas úteis, utilizando bordaduras duplas entre os tratamentos de adubação. Os tratamentos consistiram de quatro doses de adubação de cobertura NPK (g por planta) – $T_1 = 0-0-0$, $T_2 = 25-30-20$, $T_3 = 50-60-40$ e $T_4 = 75-90-60$ – e de três épocas de avaliação – 36, 48 e 60 meses após o plantio. Considerou-se como base a recomendação média de 180 g por planta a partir do segundo ano de cultivo, considerando os resultados de Laviola; Dias (2008) para determinação da dose de adubação máxima.

Ao longo de três anos agrícolas (2008, 2009 e 2010), foram avaliados os seguintes aspectos: altura, diâmetro de copa (no sentido do menor para o maior espaçamento), volume de copa e produtividade de grãos. A maturação desuniforme dos frutos é uma característica dessa oleaginosa, que, na região, frutifica do início ao final do período chuvoso, entre os meses de novembro e junho. A colheita das plantas foi realizada na época em que a maioria dos frutos atinge sua maturidade fisiológica, caracterizando-se pela coloração do amarelo ao marrom. Os frutos em estágio final de maturação foram colhidos nas árvores e na projeção da copa. Após a colheita, os frutos foram secos à sombra até atingirem peso constante, quando foram beneficiados e acondicionados em sacos de papel previamente identificados.

Após o beneficiamento, a umidade das sementes foi mensurada em determinador de umidade Dole 500. Aquelas com teor de umidade inferior a 9% foram pesadas em balança eletrônica Mark 4100 – BEL Engineering. O volume de copa foi estimado pela aproximação do volume de um cilindro de base elíptica a partir das medidas de altura e projeção de copa (Spinelli et al., 2015).

Os resultados foram avaliados por análise de variância e, para as diferenças significativas de acordo com o teste F a 1% de probabilidade, foi aplicado o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. A resposta das características a cada um dos tratamentos também foi avaliada por análise de regressão com ajuste de curvas de resposta. Embora represente um custo que pode aumentar o risco do investimento, a adubação é uma das principais tecnologias disponíveis para o aumento da produtividade e da rentabilidade de uma lavoura. Pelo teste F da análise de variância a 1% de probabilidade, verifica-se que foi significativo o efeito da interação Anos x Doses para todas as características avaliadas. Na ocorrência de interação significativa, os efeitos de adubação devem ser interpretados individualmente em cada um dos anos (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância das características avaliadas.

FV	GL	PG	ALT	PC1	PC2	VOL
Ano (A)	2	119,69**	2.541,04**	1.482,96**	2.198,93**	1.653,85**
Dose (D)	3	213,78**	102,52**	10,14**	28,08**	61,31**
Repetições (R)	29	1,13 ^{ns}	2,04*	0,76 ^{ns}	0,598 ^{ns}	0,70 ^{ns}
A x D	6	15,53**	60,60**	5,93**	17,12**	42,96**
A x R	58	1,042 ^{ns}	0,46 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,99 ^{ns}
D x R	87	0,84 ^{ns}	1,77**	1,06 ^{ns}	0,99 ^{ns}	1,19 ^{ns}
A x D x R	174	0,71 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,73 ^{ns}
Tratamentos	359	3,52**	16,91**	9,44**	13,59**	11,31**
Blocos	2	14,11**	25,65**	6,71**	12,90**	10,18**
Resíduo	718					
Total	1.079					
Média		780,60	2,31	1,69	1,72	7,09
CV		37,58	11,09	21,65	19,24	38,83

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; PG = produção de grãos; ALT = altura; PC1 = projeção de copa no menor espaçamento; PC2 = projeção de copa no maior espaçamento; VOL = volume de copa.

ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade.

A altura, a projeção e o volume da copa são as principais características vegetativas dessa oleaginosa em idade reprodutiva, uma vez que, após os 24 meses, o número de ramos é de grande variação e de difícil contagem. Nos anos de 2008 e 2009, não foram observadas diferenças na altura de plantas em função da dose de adubo utilizada (Figura

1A). Em outras palavras, as plantas que receberam as maiores doses de NPK (T_2 , T_3 e T_4) não apresentaram incremento na altura de plantas em comparação com a testemunha. Somente aos 36 meses de plantio, observou-se diferença no incremento da altura em função das doses de NPK utilizadas. Comportamento semelhante foi observado na projeção de copa no sentido do maior espaçamento (Figura 6).

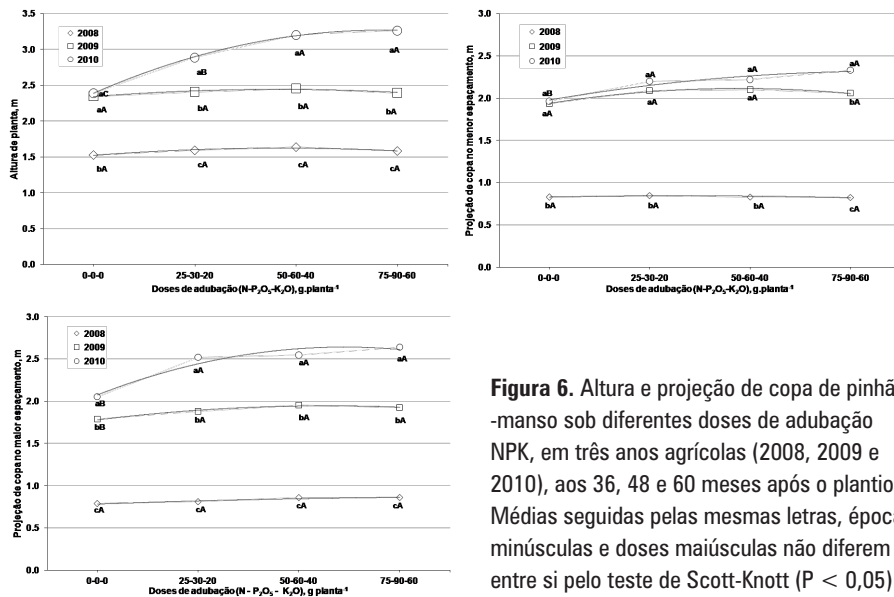


Figura 6. Altura e projeção de copa de pinhão-mansô sob diferentes doses de adubação NPK, em três anos agrícolas (2008, 2009 e 2010), aos 36, 48 e 60 meses após o plantio. Médias seguidas pelas mesmas letras, épocas minúsculas e doses maiúsculas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Em relação às épocas de avaliação, observa-se que o crescimento nos anos 2009 e 2010 foram significativamente diferentes para todos os tratamentos em que houve adubação complementar (T_2 , T_3 e T_4). Avaliações em diferentes épocas são fundamentais para o estabelecimento das melhores práticas para manejo dessa oleaginosa perene, uma vez que o crescimento e a produção de grãos são afetados pelo desenvolvimento da planta e acúmulo de nutrientes ao longo do tempo. Melhoria gradual nos atributos químicos do solo foi sendo observada ano a ano, fundamentalmente em razão do tempo necessário para a neutralização da acidez do solo com o uso da calagem (Tabela 6). A necessidade de plantar em latossolos ácidos com grandes concentrações de alumínio determina as práticas de manejo mais adequadas para plantio em regiões amazônicas (Marcolan et al., 2007; Schindwein et al., 2011). Somente após 24 meses da aplicação de calcário em superfície,

observou-se a neutralização do alumínio trocável na camada de 0-10 cm após 36 meses de plantio (Tabela 6).

Em relação à diferença entre tratamentos, observa-se que as plantas que não receberam nenhum tipo de adubação complementar (T_1) se diferenciaram pelo menor crescimento vegetativo (Figura 6) e, visualmente, pelo amarelecimento de folhas. O crescimento das plantas nos anos de 2008 e 2009 somente foi observado nos tratamentos T_2 , T_3 e T_4 , que receberam aplicação por cobertura de diferentes doses de NPK. Ou seja, as plantas que não receberam nenhum tipo de adubação complementar reduziram significativamente sua taxa de crescimento aos 48 meses.

As doses T_3 e T_4 resultaram no maior crescimento de plantas, exceto na resposta da característica “projeção de copas no menor espaçamento” (Figura 7). O espaçamento de 2 m entre plantas limitou o desenvolvimento da copa aos 36 meses de plantio, não tendo sido observadas diferenças significativas no crescimento entre 48 e 60 meses de plantio e entre doses de adubação.

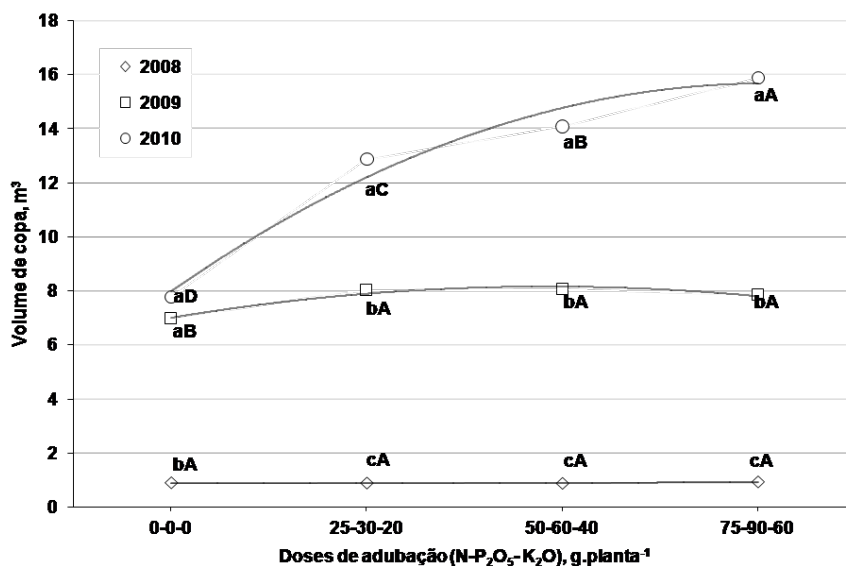


Figura 7. Volume de copa de pinhão-mansô sob diferentes doses de adubação NPK, em três anos agrícolas (2008, 2009 e 2010), aos 36, 48 e 60 meses após o plantio. Médias seguidas pelas mesmas letras, épocas minúsculas e doses maiúsculas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Associado à altura e às projeções de copa, o volume da copa é um importante componente de produção dessa oleaginosa, uma vez que, em campo, é observado um efeito de compensação no crescimento, em que plantas altas tendem a apresentar copas mais estreitas e árvores baixas copas mais largas. Aos 36 meses, não foi observada diferença significativa no incremento do volume de copa das plantas. Aos 48 meses de plantio, as plantas que receberam os tratamentos (T_2 , T_3 e T_4) apresentaram volumes de copa significativamente diferentes. A dose T_4 seguida da dose T_3 foi a que proporcionou maior desenvolvimento de copa aos 60 meses de plantio, tendo sido observada uma tendência de incremento no volume de copa, com o aumento da dosagem de adubo.

Em outras palavras, apesar do desenvolvimento restrito da copa no menor espaçamento, não foi observada até os 60 meses de plantio redução acentuada na taxa de crescimento. As plantas responderam em crescimento às maiores doses de adubo. A plasticidade fenotípica e a boa adaptação são características dessa oleaginosa que, tradicionalmente, foi cultivada como cerca viva. No entanto, é importante ressaltar a dificuldade de manejo e colheita no espaçamento utilizado, em que as plantas aos 60 meses se tocam dentro de linhas de 2 m x 3 m e entre essas linhas.

Não foram encontrados na literatura trabalhos acerca do efeito da adubação sobre essa oleaginosa, considerando-se plantas em idade produtiva. Laime et al. (2011) observaram interação significativa entre níveis de adubação nitrogenada e disponibilidade de água no crescimento de mudas de pinhão-manso. Lima et al. (2011) observaram que aumento nas doses de adubo fosfatado resulta em aumento no teor de todos os macronutrientes em mudas de pinhão-manso, com exceção do cálcio. Silva et al. (2010) observaram os sintomas da deficiência de K também em mudas dessa oleaginosa. Esses resultados indicam a importância dos macronutrientes para o desenvolvimento do pinhão-manso, mas pouco contribuem para a obtenção em uma primeira aproximação da adubação.

Atualmente, o aumento na produção de grãos é um dos principais desafios a serem superados para o aumento da viabilidade do pinhão-manso. A adubação por cobertura resultou em aumento na produção de grãos em todas as épocas de avaliação, apresentando comportamento quadrático com o aumento da dose de adubação NPK. Ou seja, os tratamentos com adubação NPK se diferenciaram do tratamento controle, no qual não houve adubação em todas as colheitas avaliadas. A diferença entre os tratamentos se acentuou

ao longo dos anos (Figura 8). Isso se deve, provavelmente, à baixa fertilidade do solo, que foi sendo atenuada ano a ano com acúmulo de nutrientes e desenvolvimento das plantas.

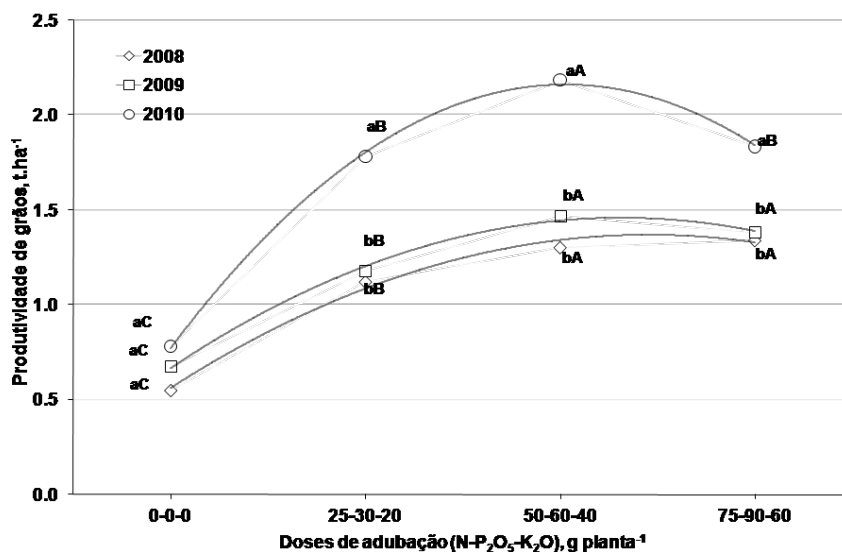


Figura 8. Produtividade de grãos de pinhão-mansô sob diferentes doses de adubação NPK, em três anos agrícolas (2008, 2009 e 2010), aos 36, 48 e 60 meses após o plantio. Médias seguidas pelas mesmas letras, épocas minúsculas e doses maiúsculas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Em todas as épocas de avaliação, as menores produtividades foram observadas na ausência da adubação de cobertura (T_1). Nesse caso, as plantas cresceram, tendo apresentado incremento no desenvolvimento de copa, mas não apresentaram aumento na sua produtividade de um ano para o outro. Em solos de baixa fertilidade natural, a indisponibilidade dos macronutrientes ao longo do tempo leva a um esgotamento da planta, limitando sua produtividade (Malavolta, 2008).

Aos 36 e 48 meses de plantio, as adubações com 50 g de N, 60 g de P_2O_5 e 40 g de K_2O por planta (T_3) e 75 g de N, 90 g de P_2O_5 e 60 g de K_2O por planta (T_4) propiciaram as maiores produtividades. Aos 60 meses, o tratamento (T_3) com a dose de 50 g de N, 60 g de P_2O_5 e 40 g de K_2O por planta propiciou a maior produtividade. O tratamento de maior dosagem de NPK reduziu significativamente a produção de grãos.

Apesar de a maior dose de adubação ($T_4 = 75-90-60$) ter proporcionado o maior desenvolvimento de copa, observou-se redução da produtividade de grãos. O maior crescimento vegetativo proporcionado por elevadas doses de adubação não resulta necessariamente em maiores produtividades de grãos. Segundo Kiehl (1985), o excesso de N é prejudicial, e a aplicação de doses elevadas resulta em um desequilíbrio no metabolismo da planta que favorece o crescimento vegetativo e diminui a produção de grãos. Os resultados obtidos neste trabalho indicam que a dosagem de uma adubação de produção deve se aproximar de 50 g de N, 60 g de P_2O_5 e 40 g de K_2O .

Uma adubação equilibrada é fundamental para o aumento da produtividade dessa oleaginosa. Os resultados aqui apresentados servirão de referência científica para planejamento e condução de outros experimentos que visem ao refinamento da aproximação de adubação, considerando delineamentos fatoriais com variação nos níveis de NPK que permitam quantificar a interação entre os macronutrientes.

Considerações finais

O pinhão-manso é uma espécie oleaginosa que se caracteriza pela sua capacidade de sobrevivência em regiões de clima seco. No entanto, as mesmas características que favorecem sua adaptação na natureza limitam o cultivo dessa espécie. O florescimento contínuo se reflete na maturação desuniforme dos frutos, podendo ser encontrados em campo, ao mesmo tempo, frutos verdes, frutos em amadurecimento e frutos maduros. O entendimento das fases fenológicas com a caracterização das épocas de abscisão foliar, florescimento, frutificação e produtividade são fundamentais para o cultivo dessa espécie. O uso de reguladores de crescimento buscando diminuir a desuniformidade do florescimento e da adubação visando aumentar a quantidade de nutrientes no solo tem potencial para impactar significativamente na produtividade dessa oleaginosa. Os resultados apresentados neste capítulo mostram o impacto positivo dessas práticas no aumento da produtividade, devendo a utilização de reguladores de crescimento considerar o maior custo dos hormônios vegetais e a adubação considerar a utilização de níveis adequados de cada um dos nutrientes. Especificamente doses excessivas de nitrogênio favoreceram maior enfolhamento e menor produção de frutos nessa oleaginosa.

Referências

- ABDELGADIR, H. A.; JÄGER, A. K.; JOHNSON, S. D.; VAN STADEN, J. Influence of plant growth regulators on flowering, fruiting, seed oil content, and oil quality of *Jatropha curcas*. **South African Journal of Botany**, v. 76, n. 3, p. 440-446, Aug. 2010. DOI: 10.1016/j.sajb.2010.02.088.
- ACHTEN, W. M. J.; MAES, W. H.; REUBENS, B.; MATHIJS, E.; SINGH, V. P.; VERCHOT, L.; MUYS, B. Biomass production and allocation in *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 5, p. 667-676, May 2010. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.01.010.
- BAHADUR, B.; SUJATHA, M.; CARELS, N. **Jatropha, challenges for a new energy crop: volume 2: genetic improvement and biotechnology**. New York: Springer Verlag, 2013. 614 p. DOI: 10.1007/978-1-4614-4915-7.
- BOLETIM climatológico de Rondônia - 2000. Porto Velho: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental, 2001. v. 2, 22 p.
- BORGES, C. V.; FERREIRA, F. M.; ROCHA, R. B.; SANTOS, A. R. dos; LAVIOLA, B. G. Capacidade produtiva e progresso genético de pinhão-manso. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 64-70, jan. 2014. DOI: 10.1590/S0103-84782014000100011.
- CARELS, N.; SUJATHA, M.; BAHADUR, B. **Jatropha, challenges for a new energy crop: volume 1: farming, economics and biofuel**. New York: Springer Verlag, 2013. 599 p. DOI: 10.1007/978-1-4614-4915-7.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2001. 390 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Ed da UFV, 2004. v. 1, 480 p.
- DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI, A.; PEREIRA, O. L.; DIAS, D. C. F. S.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUZA, L. C. A.; OLIVIERA, T. S.; PRETTI, L. A. **Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2007. 40 p.
- DIVAKARA, B. N.; UPADHYAYA, H. D.; WANI, S. P.; GOWDA, C. L. L. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: a review. **Applied Energy**, v. 87, n. 3, p. 732-742, Mar. 2010. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.07.013.
- DRUMOND, M. A.; SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V. R. de; MARTINS, J. C.; ANJOS, J. B. dos; EVANGELISTA, M. R. V. Desempenho agrônomico de genótipos de pinhão manso no Semiárido pernambucano. **Ciencia Rural**, v. 40, n. 1, p. 44-47, jan./fev. 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782009005000229.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C.; WYK, G. van. **Eucalypt domestication and breeding**. Clarendon: Oxford, 1994. 312 p.

FERNANDES, J. D.; CHAVES, L. H. G.; DANTAS, J. P.; SILVA, J. R. P. da. Fenologia e produção do pinhão-mansô cultivado com diferentes fontes de adubação. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 2, p. 339-346, abr./jun. 2013. DOI: 10.1590/S1806-66902013000200017.

GURGEL, F. de L.; LAVIOLA, B. G.; SILVA, D. M. da; KOBAYASHI, A. K.; ROSADO, T. B. Phenology and biometry of physic nut in the Brazilian savannah. **Ciencia E Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1122-1131, Nov./Dec. 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600012.

GUSMÃO, C. A. G. **Desempenho do pinhão-mansô (*Jatropha curcas*) de segundo ano submetido a diferentes doses e relações de NPK**. 2010. 81 f. Programa de Pós-Graduação de Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.

JOSHI, G.; SHUKLA, A.; SHUKLA, A. Synergistic response of auxin and ethylene on physiology of *Jatropha curcas* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 23, p. 66-77, 2011. DOI: 10.1590/S1677-04202011000100009.

KIEHL, E. M. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ceres, 1985. 492 p.

KUMAR, N.; VIJAY ANAND, K. G.; REDDY, M. Plant regeneration of non-toxic *Jatropha curcas* – impacts of plant growth regulators, source and type of explants. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 20, n. 1, p. 125-133, Jan. 2011. DOI: 10.1007/s13562-011-0037-6.

KURAKAWA, T.; UEDA, N.; MAEKAWA, M.; KOBAYASHI, K.; KOJIMA, M.; NAGATO, Y.; SAKAKI-BARA, H.; KYOZUKA, J. Direct control of shoot meristem activity by a cytokinin-activating enzyme. **Nature**, v. 445, n. 7128, p. 652-655, 2007. DOI: 10.1038/nature05504.

LAIME, M. O. L.; SILVA, A. S. da; FREIRE, E. de A.; LIMA, V. L. A. de; OLIVEIRA, D. C. de S. Crescimento inicial do pinhão mansô submetido a diferentes níveis de águas e doses de adubação nitrogenada. **Engenharia Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 154-162, jul./set. 2011.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. dos S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-mansô. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, set./out. 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000500018.

LAVIOLA, B. G.; ROCHA, R. B.; KOBAYASHI, A. K.; ROSADO, T. B.; BHERING, L. L. Genetic improvement of *Jatropha* for biodiesel production. **Ceiba**, v. 51, n. 1, p. 1-10, 2010. DOI: 10.5377/ceiba.v51i1.640.

LIMA, R. de L. S. de; SEVERINO, L. S.; GHEYI, H. R.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N. H. C. Efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento e teor de macronutrientes de mudas de pinhão mansô. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 4, p. 950- 956, 2011. DOI: 10.1590/S1806-66902011000400017.

MALAVOLTA, E. O futuro da nutrição de plantas, tendo em vista aspectos agrônômicos, econômicos e ambientais. **Informações Agrônômicas**, n. 121, p. 1-10, 2008.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I.; FRAGA, T. I.; LEITE, J. G. Dal B. Recuperação de atributos físicos de um Argissolo em função do seu revolvimento e do tempo de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 571-579, maio/jun. 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000300017.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2007. 486 p.

NORMAIS climatológicas (1961-1990). Brasília, DF: Departamento Nacional de Meteorologia, 1992. 84 p.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, n. 1, p. 1-15, July 2000. DOI: 10.1016/S0961-9534(00)00019-2.

PAN, B.-Z.; XU, Z.-F. Benzyladenine treatment significantly increases the seed yield of the biofuel plant *Jatropha curcas*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 30, n. 2, p. 166-174, June 2011. DOI: 10.1007/s00344-010-9179-3.

ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; TEIXEIRA, A. L.; LAVIOLA, B. G.; SILVA, F. C. G. da; MILITÃO, J. S. L. T. Eficiência da seleção para incremento do teor de óleo do pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 44-50, jan. 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000100007.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4th ed. California: Wadsworth Publishing Company, 1991.

SCHLINDWEIN, J. A.; MIOTTI, A. A.; FIORELI-PERIRA, E. C.; PEQUENO, P. L. de L.; BORTOLON, L.; MARCOLAN, A. L. Adjustment of the expedite method for clay content determination in Rondônia soils. **Ciência Rural**, v. 41, n. 12, p. 2096-2100, Dec. 2011. DOI: 10.1590/S0103-84782011001200010.

SILVA, A. N. **Impacto da nutrição mineral no crescimento do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

SPINELLI, V. M.; DIAS, L. A. S.; ROCHA, R. B.; RESENDE, M. D. V. Estimates of genetic parameters with selection within and between half-sib families of *Jatropha curcas* L. **Industrial Crops and Products**, v. 69, p. 355-361, July 2015. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.02.024.

SPINELLI, V. M.; ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; MARCOLAN, A. L.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; FERNANDES, C. de F.; MILITÃO, J. S. L. T.; DIAS, L. A. dos S. Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-manso. **Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1752-1758, ago. 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782010005000129.

WERNER, T.; SCHMULLING, T. Cytokinin action in plant development. **Current Opinion in Plant Biology**, n. 12, n. 5, p. 527-538, Oct. 2009. DOI: 10.1016/j.pbi.2009.07.002.

Literatura recomendada

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. Cluster analyses method for grouping means in the analyses of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974. DOI: 10.2307/2529204.



Aspectos nutricionais em pinhão-manso

Aspectos nutricionais em pinhão-manso

*Carlos Hissao Kurihara
Oscar Fontão de Lima Filho
Cesar José da Silva
Hamilton Kikuti
Flávio Ferreira da Silva Binotti*

Introdução

O gênero *Jatropha*, originário da América tropical, possui aproximadamente 170 espécies, entre elas o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Atualmente, essa espécie está presente em áreas de mata nativa e em áreas cultivadas das Américas do Sul e Central, África, Índia, Sudeste da Ásia e Austrália. O gênero possui diversos compostos cujas atividades biológicas são variadas; ademais, seus frutos contêm óleo. Por isso, o pinhão-manso apresenta grande potencial de uso comercial como biodiesel, que se dá por meio da esterificação e transesterificação dos ácidos graxos, principais componentes do óleo contido em suas sementes (Carels, 2009). Como essa espécie ainda está em fase de domesticação (Laviola et al., 2011), são necessários estudos sobre melhoramento genético e manejo agrônomo, a fim de que possa ser utilizada comercialmente na produção de óleo como substituto do diesel e querosene.

Nesse contexto, é importante estabelecer critérios e padrões para a avaliação do estado nutricional do pinhão-manso, a fim de detectar adequadamente problemas relacionados à falta, ao excesso ou a desbalanços na disponibilidade de nutrientes no solo. Neste capítulo, serão abordados o acúmulo de matéria seca e de nutrientes; bem como serão descritos a sintomatologia visual de deficiências nutricionais e os critérios para a coleta de amostras de tecido foliar. Dessa forma, fornecem-se subsídios para um diagnóstico mais preciso do estado nutricional dessa cultura.

Extração e exportação de nutrientes

Determinar a quantidade de nutrientes extraída pela parte aérea e exportada pelos frutos possibilita, em conjunto com informações relacionadas à eficiência de aproveita-

mento das diferentes fontes de adubos, definir a quantidade e a época mais adequada para o fornecimento desses nutrientes. Contudo, avaliações dessa natureza, em plantas de pinhão-manso, ainda são escassas e realizadas em um período curto, algumas vezes em condições de casa de vegetação.

Com o objetivo de se avaliar a marcha de acúmulo e a partição de nutrientes em plantas de pinhão-manso, Kurihara et al. (2016) conduziram um experimento de campo em Cassilândia, MS, em Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), textura média, por um período de 52 meses. Os autores verificaram, na média de 15 avaliações efetuadas em amostras de folhas coletadas em toda a parte aérea, até 1.571 dias após o transplântio (DAT) das mudas, teores médios de 29 g kg⁻¹, 2,2 g kg⁻¹, 25 g kg⁻¹, 12 g kg⁻¹, 9,6 g kg⁻¹ e 1,6 g kg⁻¹ de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), respectivamente; e 31 mg kg⁻¹, 9 mg kg⁻¹, 226 mg kg⁻¹, 310 mg kg⁻¹ e 25 mg kg⁻¹ de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), respectivamente. Esses teores diferiram, em maior ou menor magnitude, daqueles verificados por Saturnino et al. (2005), que foram: 64 g kg⁻¹, 3,4 g kg⁻¹, 24 g kg⁻¹, 14 g kg⁻¹, 5,3 g kg⁻¹ e 1,9 g kg⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente; e 70 mg kg⁻¹, 6 mg kg⁻¹, 168 mg kg⁻¹, 117 mg kg⁻¹ e 28 mg kg⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente. No entanto, as discrepâncias constatadas nos teores de N, P, Mg, B, Cu, Fe e Mn podem estar associadas à disponibilidade desses nutrientes no solo e também ao fato de que Saturnino et al. (2005) avaliaram amostras de folhas coletadas abaixo da primeira inflorescência. Por outro lado, Prates et al. (2010) encontraram, em plantas de pinhão-manso com 12 meses de idade e cultivadas em um Planossolo, teores foliares bastante distintos (3,1 g kg⁻¹; 1,2 g kg⁻¹; 0,9 g kg⁻¹; 30,3 g kg⁻¹ e 2,0 g kg⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, e 2,3 mg kg⁻¹; 36,9 mg kg⁻¹; 94,7 mg kg⁻¹ e 5,4 mg kg⁻¹ de Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente), o que ressalta a influência dos atributos físico-químicos do solo e da adubação sobre a capacidade de absorção de nutrientes pelo sistema radicular dessa cultura. A sequência observada por Kurihara et al. (2016) para os teores foliares médios de nutrientes, N > K > Ca > Mg > P > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu, foi semelhante à obtida em condições de casa de vegetação, em amostras de folhas da planta inteira, coletada aos 60 dias após a semeadura, por Camargo et al. (2013), diferindo apenas em relação à ordem de exigência nutricional entre Ca e Mg e entre B e Zn.

Neste trabalho, também se avaliou a exigência nutricional do pinhão-manso, estabelecendo-se a quantidade de nutrientes acumulada nos caules, ramos e folhas, em diferentes épocas de amostragem (Figuras 1 e 2). Verificou-se que a demanda por nu-

trientes aumentou ao longo do período avaliado, em razão, principalmente, do acúmulo de biomassa nos caules e ramos, uma vez que o acúmulo de biomassa nas folhas variou em razão da senescência nos períodos mais frios e secos do ano. A quantidade máxima de nutrientes acumulada nos caules e ramos, aos 1.571 DAT, foi de 67 kg ha⁻¹, 10 kg ha⁻¹, 116 kg ha⁻¹, 59 kg ha⁻¹, 33 kg ha⁻¹ e 4 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Para os micronutrientes, verificou-se acúmulo máximo de 131 g ha⁻¹, 35 g ha⁻¹, 626 g ha⁻¹, 5.706 g ha⁻¹ e 203 g ha⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente, resultando na seguinte ordem de extração: K > N > Ca > Mg > P > Mn > S > Fe > Zn > B > Cu.

A quantidade máxima de nutrientes acumulada nas folhas, constatadas por Kurihara et al. (2016) no período entre 1.431 e 1.571 DAT, foi de 52 kg ha⁻¹, 4 kg ha⁻¹, 29 kg ha⁻¹, 16 kg ha⁻¹, 18 kg ha⁻¹ e 2 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, e de 41 kg ha⁻¹, 15 kg ha⁻¹, 354 kg ha⁻¹, 456 kg ha⁻¹ e 54 g ha⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente, resultando na seguinte ordem de extração: N > K > Mg > Ca > P > S > Mn > Fe > Zn > B > Cu. Essa seqüência de extração de nutrientes é muito semelhante à obtida por Laviola e Dias (2008).

Kurihara et al. (2016) também verificaram que, para os nutrientes N, P, Ca, B, Fe, Mn e Zn, o acúmulo na parte aérea apresentou incrementos quadráticos (Figuras 1 e 2), em que, nos primeiros 22 meses (669 DAT), a demanda das plantas por esses nutrientes foi relativamente baixa. A partir do terceiro ano de crescimento, o acúmulo desses nutrientes na parte aérea tornou-se mais acentuado. Dessa forma, é plausível afirmar que a estimativa da quantidade de nutrientes necessária para a adubação de plantio de pinhão-manso, no primeiro ano de crescimento das plantas, pode ser utilizada para indicar a adubação de cobertura, no segundo ano de cultivo.

Pode-se estimar a quantidade de nutrientes requerida para o desenvolvimento e crescimento das plantas, dividindo-se o valor da demanda (acúmulo) estimada para a parte aérea pelas respectivas taxas de recuperação, pela planta, dos elementos aplicados ao solo por meio de fertilizante (Freire, 2001; Oliveira et al., 2005; Santos et al., 2008; Silva et al. 2009). A taxa de recuperação indica a eficiência da planta na absorção do nutriente proveniente do adubo (Silva et al., 2009), uma vez que ela não absorve 100% do nutriente aplicado (Santos et al., 2008). As taxas de recuperação adotadas são: 0,65 kg kg⁻¹, 0,10 kg kg⁻¹, 0,80 kg kg⁻¹, 0,50 kg kg⁻¹, 0,55 kg kg⁻¹, 0,45 kg kg⁻¹ e 0,05 kg kg⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes (Freire, 2001; Oliveira et al., 2005; Santos et al., 2008), independente dos atributos químicos ou físicos do solo. Dessa forma, a partir dos dados de extração de

nutrientes pela parte aérea de plantas de pinhão-mansão, estabelecidos aos 12 meses de idade (Figuras 1 e 2), e considerando-se as taxas de recuperação anteriormente mencionados, estimou-se que a adubação de plantio de pinhão-mansão, bem como a adubação de cobertura no segundo ano, deve ser suficiente para suprir 40 kg ha⁻¹, 50 kg ha⁻¹, 50 kg ha⁻¹, 21 kg ha⁻¹, 16 kg ha⁻¹, 5 kg ha⁻¹, 0,7 kg ha⁻¹, 0,3 kg ha⁻¹, 4 kg ha⁻¹, 8 kg ha⁻¹ e 1 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente. Essas quantidades de nutrientes, aplicadas anualmente, serão suficientes para suprir a demanda das plantas nos dois primeiros anos de cultivo do pinhão-mansão. O fornecimento de Ca e Mg, contudo, pode ser ignorado, uma vez que, em condições adequadas de saturação por bases, a disponibilidade desses nutrientes não será limitante, pois eles são supridos em quantidades suficientes por meio da aplicação de calcário.

Salienta-se que os valores de taxas de recuperação de nutrientes são, até certo ponto, arbitrários, considerando-se que essa variável é influenciada por fatores edáficos (pH, teores de nutrientes e matéria orgânica), climáticos (temperatura, radiação, precipitação), biológicos (micorrização), da própria planta (espécie, cultivar, idade e morfologia de raiz) e de manejo (dose, fonte e forma de aplicação do adubo) (Oliveira et al., 2005; Santos et al., 2008). No entanto, em virtude da ausência de estudos de resposta à adubação de plantio, conduzidos a campo, para todos os nutrientes, sugere-se a adoção dessas indicações de fertilização, como primeira aproximação.

A exigência nutricional em plantas de pinhão-mansão, constatada por Kurihara et al. (2016), aos 52 meses de idade, foi de 102 kg ha⁻¹, 13 kg ha⁻¹, 144 kg ha⁻¹, 70 kg ha⁻¹, 44 kg ha⁻¹ e 5 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, e de 172 g ha⁻¹, 48 g ha⁻¹, 980 g ha⁻¹, 6.162 g ha⁻¹ e 238 g ha⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente. Quantitativamente, a sequência de nutrientes extraídos na parte aérea foi: K > N > Ca > Mg > P > Mn = S > Fe > Zn > B > Cu. Esse resultado diferiu daquele obtido por Reis et al. (2010), que em Neossolo Quartzarênico Órtico típico, de Diamantina, MG, verificaram, na parte aérea plantas de pinhão-mansão com 19 meses de idade, uma sequência de nutrientes extraídos de N > Mg > K > Ca > S > P. Por sua vez, Pacheco et al. (2006) estabeleceram uma sequência de extração de nutrientes muito semelhante, em plantas inteiras de pinhão-mansão, incluindo-se as raízes, com cinco meses de idade: K > N > Ca > Mg > P > S > Fe > Mn > Zn > B > Cu. Freiburger (2012) estabeleceu que a ordem de acúmulo na parte aérea de plantas de pinhão-mansão com 150 DAT era K > N > Mg > Ca > P > S > Fe > Mn > B > Zn > Cu.

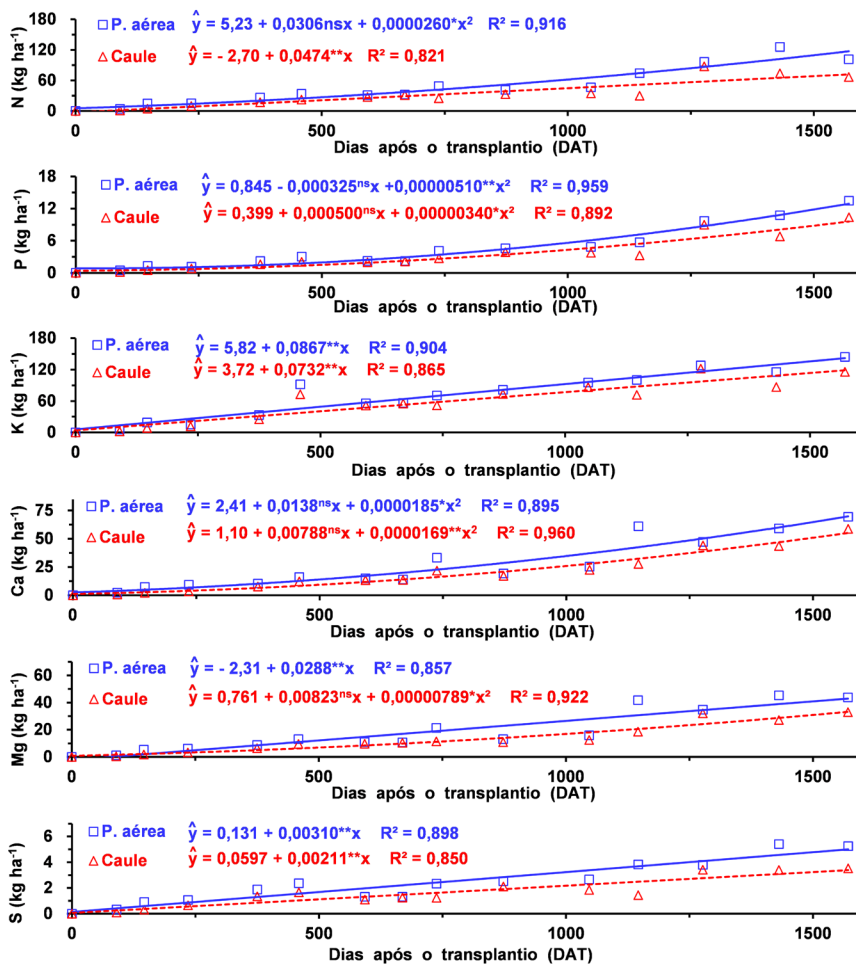


Figura 1. Quantidade de macronutrientes acumulados nos caules e na parte aérea (caules + folhas) de plantas de pinhão-manso, em função do número de dias após o transplântio das mudas, em Latossolo Vermelho distrófico típico, textura média.

Fonte: Kurihara et al. (2016).

No intuito de estimar a exportação de nutrientes, Kurihara et al. (2016) calcularam a quantidade acumulada desses nutrientes nas cápsulas e nos grãos (Tabela 1), quando as plantas estavam no quinto ano de cultivo. Diante da baixa produtividade de fitomassa obtida (358 kg ha⁻¹ e 913 kg ha⁻¹ de cápsulas e grãos, respectivamente), a quantidade total de nu-

trientes exportados na colheita também não foi expressiva (25 kg ha⁻¹, 4 kg ha⁻¹, 18 kg ha⁻¹, 6 kg ha⁻¹, 5 kg ha⁻¹ e 1 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, e de 27 g ha⁻¹, 16 g ha⁻¹, 130 g ha⁻¹, 162 g ha⁻¹ e 30 g ha⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente). Salienta-se que a baixa produtividade de grãos de pinhão-mansão obtida não estava relacionada à ocorrência de problemas fitossanitários, climatológico ou nutricional, mas sim à elevada variabilidade existente nessa espécie ainda em domesticação, cujo material genético disponível apresentava-se bastante heterogêneo e segregante. Produtividade semelhante também foi obtida por Silva (2011), Dalchiavon et al. (2013) e Saraiva et al. (2013).

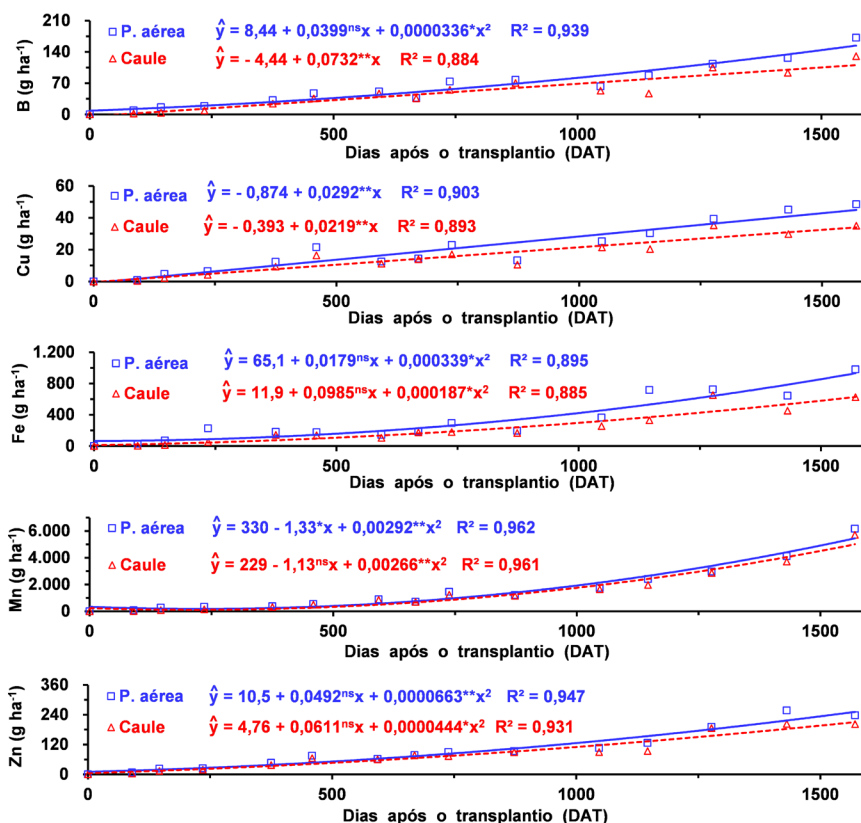


Figura 2. Quantidade de micronutrientes acumulados nos caules e na parte aérea (caules + folhas) de plantas de pinhão-mansão, em função do número de dias após o transplântio das mudas, em Latossolo Vermelho distrófico típico, textura média.

Fonte: Kurihara et al. (2016).

A partir dessa estimativa e das taxas de recuperação de nutrientes mencionadas anteriormente, Kurihara et al. (2016) estimaram que a quantidade de nutrientes a ser fornecida anualmente em cobertura, visando à reposição dos nutrientes exportados, deve ser suficiente para suprir 50 kg ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹, 30 kg ha⁻¹ e 3 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O e S, respectivamente, por tonelada de grãos a ser produzida. Esses autores salientam que, no intuito de manter a fertilidade do solo, também é necessário haver a reposição da quantidade de nutrientes extraída pela parte aérea. Dessa forma, considerando-se os valores médios de acúmulo anual de nutrientes observados no período entre 738 e 1.571 DAE (Figuras 4 e 5), Kurihara et al. (2016) estimaram a necessidade de se aplicar, anualmente, em cobertura, a partir do terceiro ano de cultivo, mais 40 kg ha⁻¹, 110 kg ha⁻¹, 55 kg ha⁻¹ e 3 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O e S, respectivamente.

A ordem de acúmulo de nutrientes obtida por Kurihara et al. (2016) nos frutos (N > K > Ca > Mg > P > S > Mn > Fe > Zn > B > Cu) foi semelhante à verificada por Laviola e Dias (2008), diferindo apenas em relação ao P, Mg, B e Zn. Os nutrientes K, Fe e Mn foram exportados em maior quantidade pelas cápsulas, enquanto os demais foram exportados principalmente pelos grãos, em decorrência das diferenças nos teores nestas duas partes da planta. Esses resultados concordam parcialmente com aqueles obtidos por Borghetti et al. (2010), que também encontraram teores de K muito mais elevados nas cápsulas em relação aos grãos; porém observaram que a exportação de N pelos frutos foi inferior ao K. Esses autores verificaram, ainda, haver diferenças nos teores de nutrientes nos grãos e nas cápsulas, em razão da época de maturação do fruto.

Ao se avaliar o potencial de reciclagem de nutrientes, por meio das folhas senescentes da planta de pinhão-manso, Kurihara et al. (2016) constataram diferenças nas quantidades potencialmente recicláveis, a partir da abscisão foliar, em quatro épocas de avaliação, em decorrência da variação nos teores nutricionais nessas folhas. Essa variação na composição nutricional dos folhedos era esperada, uma vez que foi obtida a partir de uma mistura de folhas senescentes, em diferentes estágios de decomposição. Verificou-se, ainda, que a quantidade média de Ca, Mg, B e Cu que pode ser reciclada por meio dos folhedos é muito próxima, ou até mesmo superior à estimativa da quantidade acumulada nas folhas, calculada para a mesma época de avaliação (Tabela 1; Figuras 1 e 2).

Tabela 1. Produção de fitomassa seca (kg ha⁻¹) e acúmulo de macro (kg ha⁻¹) e micronutrientes (g ha⁻¹) em cápsulas, grãos e folhedos de pinhão-manso⁽¹⁾.

Variável	Cápsulas	Grãos	Folhedos
Fitomassa seca	358 ± 36	913 ± 121	1.216 ± 230
N	2,8 ± 0,4	22 ± 3	23 ± 3
P	0,1 ± 0,01	3,6 ± 0,3	1,5 ± 0,4
K	11 ± 1	7,1 ± 0,8	15 ± 3
Ca	1,5 ± 0,1	4,0 ± 0,6	23 ± 7
Mg	2,5 ± 0,3	3,0 ± 0,3	14 ± 2
S	0,1 ± 0,02	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1
B	11 ± 2	16 ± 2	44 ± 7
Cu	2,8 ± 0,3	12,8 ± 1,0	15 ± 3
Fe	80 ± 37	50 ± 8	243 ± 63
Mn	108 ± 14	54 ± 9	389 ± 100
Zn	4,7 ± 0,7	26 ± 2	19 ± 3

⁽¹⁾Valores referentes à média e ao desvio-padrão. Produção de fitomassa seca e acúmulo de nutrientes em cápsulas e grãos avaliados no quinto ano de cultivo. Acúmulo de nutrientes em folhas senescentes (folhedos) da planta de pinhão-manso estimado pelo produto entre os teores de nutrientes determinados em amostras de folhedos recolhidos da superfície do solo, sob a área de projeção da copa, no período entre 13 de janeiro e 22 de maio de 2012 (entre 1.147 e 1.277 DAT), e a produção de fitomassa seca de folhas na copa da planta, determinada aos 1.571 DAT.

Fonte: Kurihara et al. (2016).

Em relação à constatação de que a quantidade média de Ca, Mg, Cu, Fe e Mn acumulada nos folhedos (Tabela 1) é superior à estimativa da quantidade acumulada nas folhas (Figuras 1 e 2), esse resultado é decorrente do fato de que os teores desses nutrientes são maiores nos folhedos. Resultados semelhantes foram obtidos por Saturnino et al. (2005), que constataram a presença de maiores teores de Ca, Mg, Cu, Fe e Mn em amostras

de folhas maduras de pinhão-mansão, próximo da abscisão, em relação às amostras de folhas definitivas, coletadas abaixo da primeira inflorescência. Da mesma forma, Lima et al. (2011), ao avaliarem amostras foliares em diferentes estádios fenológicos, coletadas em plantas de pinhão-mansão com 3,5 anos de idade, também verificaram teores significativamente maiores de Ca, Mg, Cu, Fe e Mn nos folhedos, em relação às folhas jovens, posicionadas na extremidade distal do ramo, após as folhas em crescimento. De acordo com Kumar e Pandey (1979), N, P e K normalmente apresentam maior concentração em folhas mais jovens por causa de sua alta mobilidade no floema. Por outro lado, Ca, Cu, Fe e Mn tendem a se concentrar em tecidos mais velhos, em razão da sua baixa capacidade de redistribuição para outras partes da planta antes da abscisão das folhas, por causa da insolubilidade dos compostos formados (Marschner, 2002; Malavolta, 2006). O Mg, apesar de ser considerado um nutriente móvel no floema, pode apresentar comportamento semelhante ao Ca, sendo comum encontrar teores maiores nas folhas mais velhas em relação a folhas jovens (Malavolta, 2006).

Sintomatologia visual de deficiências nutricionais

A nutrição vegetal envolve o estudo da inter-relação de elementos químicos e seus compostos com a planta e com o ambiente interno e externo à ela. As funções dos nutrientes estão relacionadas, direta ou indiretamente, ao metabolismo primário ou secundário, exercendo a mesma função em todas as plantas, sejam elas cultivadas ou não. Assim, a carência de um determinado nutriente induz o aparecimento de sintomas visuais, com padrões básicos para todas as plantas, porém com características específicas para cada espécie vegetal.

A seguir são apresentados os sintomas visuais de deficiência de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe e Mn em pinhão-mansão, obtidos pela Embrapa Agropecuária Oeste, em condições hidropônicas e em casa de vegetação. A descrição desses sintomas, sem interferência de outros fatores, serve como recomendação de diagnose visual em pinhão-mansão.

Nitrogênio

Plantas com deficiência em N apresentam, além do crescimento reduzido da parte aérea e raízes, uma clorose generalizada, que inicia-se pelas folhas mais velhas, expandindo-se para toda a planta, com necrose posterior das bordas (Figura 3).



Fotos: Oscar Fontão de Lima Filho

Figura 3. Sintomas visuais de deficiência de N em folhas e sistema radicular de pinhão-mansão.

Fósforo

Plantas com deficiência em P apresentam crescimento reduzido da parte aérea e raízes; as folhas apresentam coloração normal, muitas vezes com uma tonalidade mais intensa (Figura 4). Dependendo da severidade da deficiência, a falta de P meramente inibe ou impede o crescimento. Folhas novas tornam-se menores. As plantas podem permanecer nesse estado por longos períodos, antes dos sinais de morte começarem a aparecer, inicialmente nas folhas mais velhas.

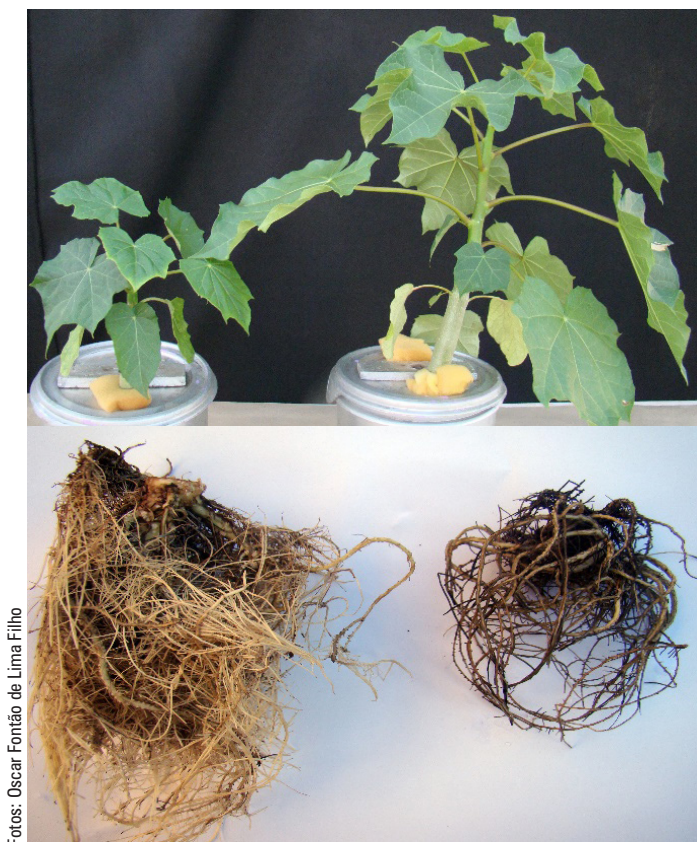
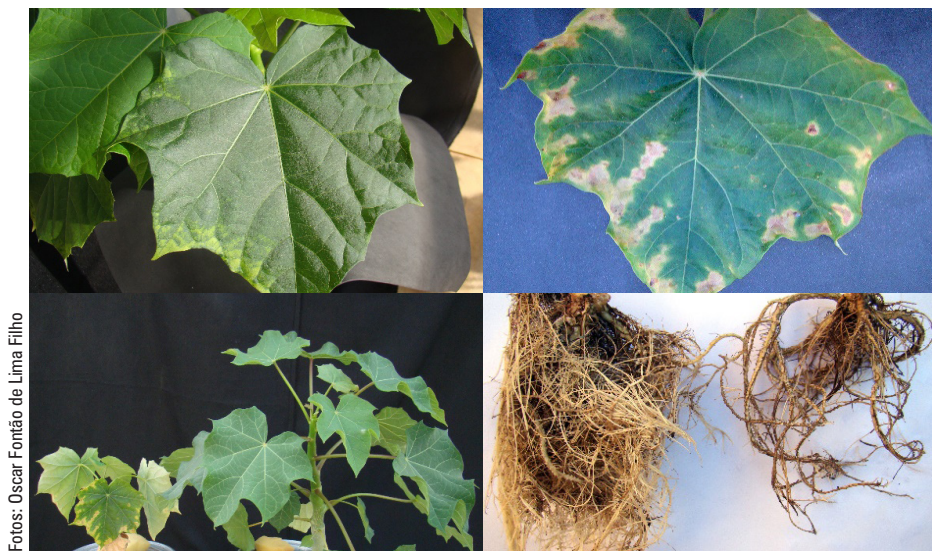


Figura 4. Sintomas visuais de deficiência de P em plantas de pinhão-mansão.

Potássio

A deficiência de K em plantas de pinhão-mansó induz menor crescimento, tanto da parte aérea como de raízes. Os sintomas foliares caracterizam-se por uma clorose marginal das folhas, de modo irregular, que progride para necrose, a qual expande-se para o centro da folha (Figura 5).



Fotos: Oscar Fontão de Lima Filho

Figura 5. Sintomas visuais de deficiência de K em plantas de pinhão-mansó.

Cálcio

Plantas com carência de Ca apresentam folhas novas deformadas, com encarquilhamento e ondulações no sentido longitudinal, curvadas para baixo, bordas arredondadas e clorose internerval. Com a progressão dos sintomas, há paralisação do crescimento de folhas novas no seu estágio inicial e/ou morte da gema apical. Em razão disso, ocorre superbrotamento, com aparecimento de folhas muito pequenas no ápice e secreção resinosa avermelhada. Ocorre necrose iniciando-se na borda oposta ao pecíolo das folhas mais novas, que secam e morrem. O crescimento das plantas, tanto da parte aérea como de raízes, é bastante reduzido, com escurecimento intenso do órgão subterrâneo (Figura 6).



Figura 6. Sintomas visuais de deficiência de Ca em plantas de pinhão-manso.

Magnésio

A deficiência de Mg ocasiona, inicialmente, manchas internervais verde-claras ao longo do limbo foliar, com perda progressiva de pigmentação, que evoluem para branqueamento e posterior necrose. O padrão inicial dessas manchas, que têm bordas irregulares mas bem definidas, pode variar: desde pontuações e/ou pequenas manchas esbranquiçadas ao lado das nervuras principais radiais e ao redor das bordas, até manchas dispersas entre as nervuras, todas coalescendo e formando um aspecto rendilhado que progride para uma necrose internerval na maior parte da folha (Figura 7).



Fotos: Oscar Fontão de Lima Filho

Figura 7. Sintomas visuais de deficiência de Mg em plantas de pinhão-manso.

Enxofre

Os sintomas de deficiência de S caracterizam-se por uma clorose geral, inicialmente nas folhas mais jovens, que espalha-se gradualmente por toda a planta, e redução no crescimento em casos mais severos (Figura 8).



Fotos: Oscar Fontão de Lima Filho

Figura 8. Sintomas visuais de deficiência de S em plantas de pinhão-manso.

Boro

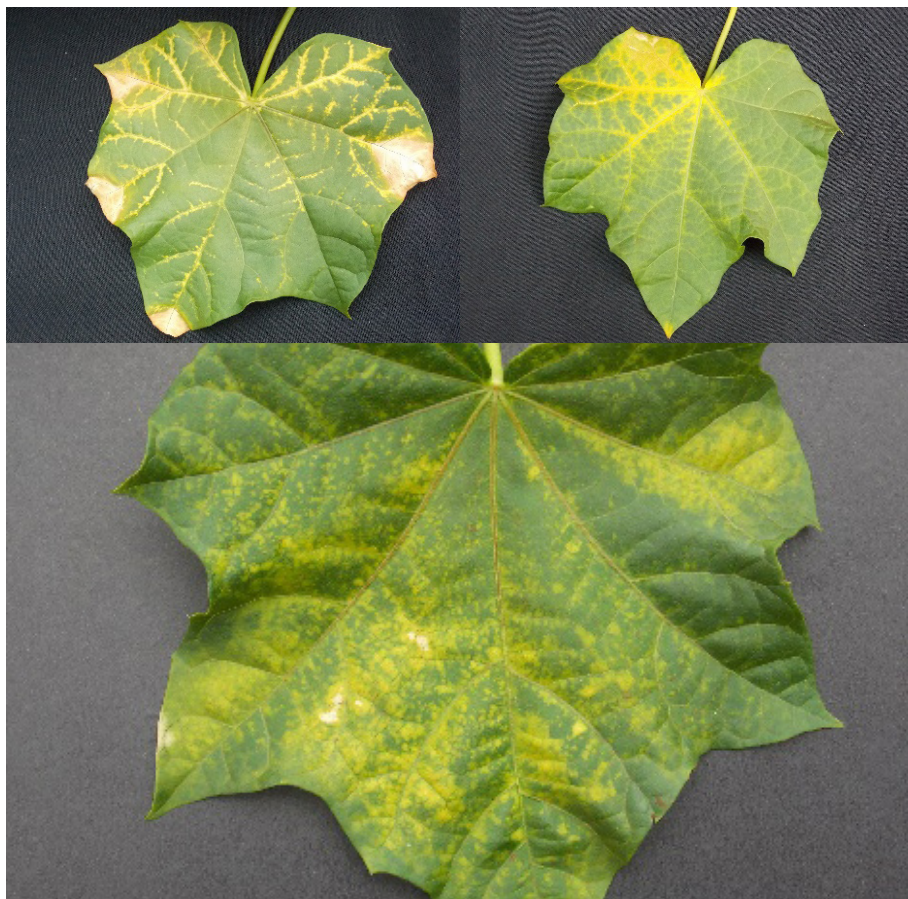
Plantas de pinhão-manso com deficiência em B apresentam clorose foliar e seca dos ponteiros, com morte das gemas apicais. A clorose no limbo das folhas apicais ocorre de modo irregular a partir das nervuras, expandindo-se e coalescendo. Ocorre, ainda, encarquilhamento, curvamento para baixo e necrose das folhas. As raízes, primeiro órgão a mostrar os sintomas de deficiência, apresentam paralisação do crescimento, engrossamento, ramificação curta e escurecimento geral, com pontas necrosadas. O crescimento geral da planta (parte aérea e raízes) é extremamente reduzido em casos de deficiência severa (Figura 9).



Figura 9. Sintomas visuais de deficiência de B em plantas de pinhão-manso.

Cobre

A deficiência de Cu em pinhão-manso caracteriza-se pela presença de pequenas manchas cloróticas, inicialmente ao longo das nervuras em direção à inserção com o pecíolo, normalmente na lateral superior da folha, que posteriormente se expandem e coalescem. Forma-se um reticulado clorótico que acompanha as nervuras, podendo estar apenas em um lado da folha, em uma das pontas ou na folha inteira. A clorose pode progredir na forma de manchas difusas no limbo foliar. Algumas nervuras apresentam coloração marrom-avermelhada. O sintoma ocorre em folhas novas e intermediárias (Figura 10).

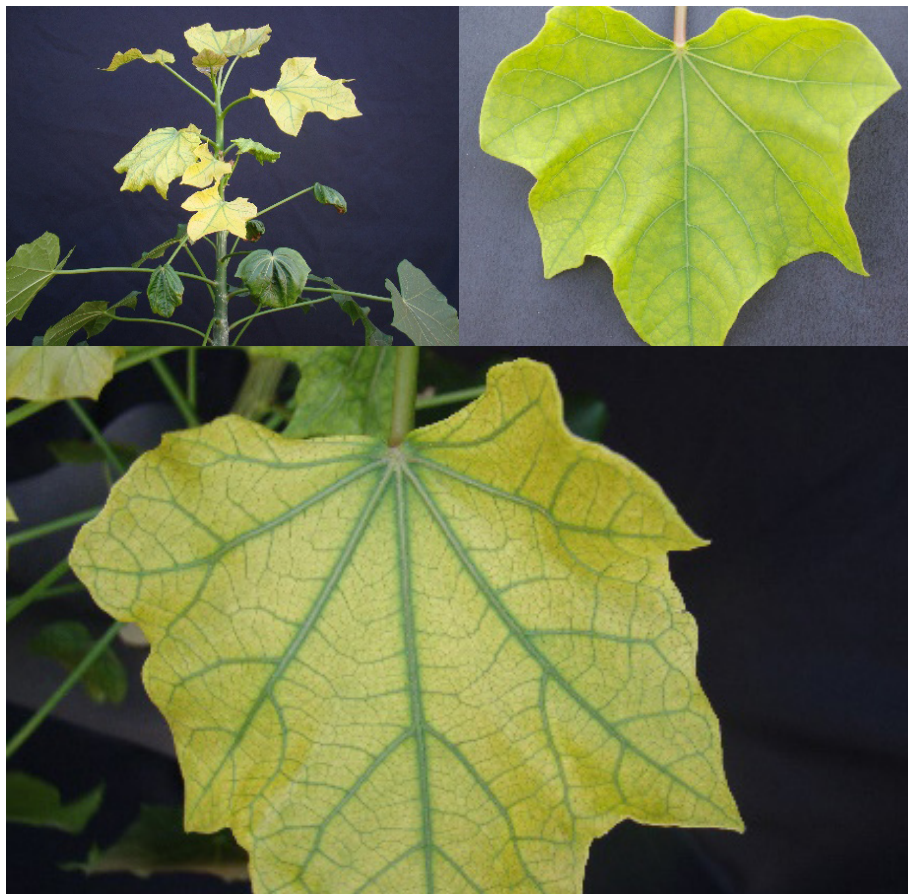


Fotos: Oscar Fontão de Lima Filho

Figura 10. Sintomas visuais de deficiência de Cu em folhas de pinhão-manso.

Ferro

As plantas com deficiência de ferro apresentam sintomas típicos, com clorose iniciando-se pelas folhas novas (rede verde fina das nervuras sobre fundo amarelado) (Figura 11). O crescimento da planta pode diminuir em casos mais severos.



Fotos: Oscar Fontão de Lima Filho

Figura 11. Sintomas visuais de deficiência de Fe em planta e folhas de pinhão-mansão.

Manganês

Sem quantidades adequadas de Mn no substrato, o pinhão-mansão pode apresentar o sintoma típico de carência deste elemento, que é a clorose internerval de folhas novas, caracterizada por um reticulado verde-escuro grosso das nervuras sobre um fundo de coloração verde-clara e, posteriormente, amarelada. Pode ocorrer, também, uma menor visibilidade das nervuras secundárias em alguns pontos, com a mescla das cores verde e amarela, dando uma aparência difusa do reticulado (Figura 12).



Figura 12. Sintomas visuais de deficiência de Mn em folhas de pinhão-mansão.

Crítérios e padrões para a avaliação do estado nutricional

A determinação analítica dos teores de nutrientes em amostras de folhas recém-maduras, visando à diagnose do estado nutricional, é embasada no fato de esse órgão ser metabolicamente ativo e mais sensível a variações na disponibilidade de nutrientes no solo, havendo, até certo ponto, relação direta entre o teor nutricional e o desenvolvimento e a produção da planta. Contudo, para que a sua interpretação seja adequada, é imprescindível que haja o estabelecimento do tipo de folha ou a sua localização na planta, ou seja, a definição da folha diagnóstica ou folha índice. Essa padronização é importante, para evitar a ocorrência de falsos diagnósticos de deficiências, excessos ou desbalanços nutricionais, o que pode induzir a aumentos desnecessários no custo de produção, em decorrência da aplicação de nutrientes não limitantes ao desenvolvimento da cultura; ou então, a decréscimos na produtividade, em razão da falha na detecção de deficiências nutricionais ou do fornecimento de elementos que já se encontravam em excesso.

Assim, com o objetivo de se definir a folha diagnóstica em plantas adultas, Kurihara e Silva (2014, 2015) avaliaram teores de macronutrientes em amostras coletadas em parcelas de dois experimentos conduzidos com pinhão-manso em Dourados, MS, sobre Latossolo Vermelho distrófico, textura média, onde foram aplicadas doses crescentes de nitrogênio e fósforo. Constatou-se que a localização da folha na planta influencia significativamente os teores de nutrientes, sendo que N, P, K e S tendem a apresentar maior concentração nos tecidos mais novos e Ca e Mg nas folhas basais do ramo floral, principalmente no terço médio da planta. Essas diferenças nos teores foliares, em função da parte da planta amostrada, reflete a forma de acúmulo dos nutrientes nos tecidos vegetais, em razão da sua mobilidade no floema. O maior teor dos nutrientes móveis (N, P, K e S) nas folhas mais novas é decorrente da translocação desses elementos a partir dos tecidos mais velhos. Por outro lado, o acúmulo de Ca ao longo do tempo, em virtude de sua não redistribuição pelo floema, associado ao seu papel na formação de estruturas celulares, resulta nos maiores teores observados nas folhas mais velhas (Marschner, 2002). O Mg, por sua vez, apesar da sua alta mobilidade no floema, pode ter sido acumulado nas folhas mais velhas, como ocorre também em outras espécies vegetais (Malavolta, 2006), em razão da demanda por esse nutriente não ser tão alta nas estruturas mais novas (Lima et al., 2011).

Diante da constatação de existência de diferenças significativas nos teores de macronutrientes, em função da localização da folha na planta de pinhão-manso, reforça-se a necessidade de estabelecimento de um padrão de coleta de amostras foliares, no intuito de se permitir a adequada interpretação do estado nutricional dessa cultura. Nesse contexto,

Kurihara e Silva (2014, 2015) estabeleceram que amostras coletadas em ramos do terço superior da planta, entre a sexta e a décima quinta folha do ramo floral, apresentam maior sensibilidade às variações no fornecimento de N e P pela adubação (Figuras 13 e 14), razão pela qual os autores indicaram esse padrão de amostragem como folha índice para diagnóstico nutricional de pinhão-manso. A maior sensibilidade da folha índice coletada no terço superior da copa pode estar relacionada ao fato de que, em plantas perenes, nessa parte do dossel, localiza-se grande parte das folhas metabolicamente ativas (Luyssaert et al., 2002). De acordo com esses autores, a exposição à luminosidade pode influenciar os teores foliares, em razão das diferenças na translocação de nutrientes e carboidratos entre as folhas, e também na taxa de transpiração. Por essa razão, o padrão de distribuição espacial entre folhas mais expostas à luminosidade e sombreadas pode resultar em diferenças no acúmulo de nutrientes nas diferentes partes da copa da planta.

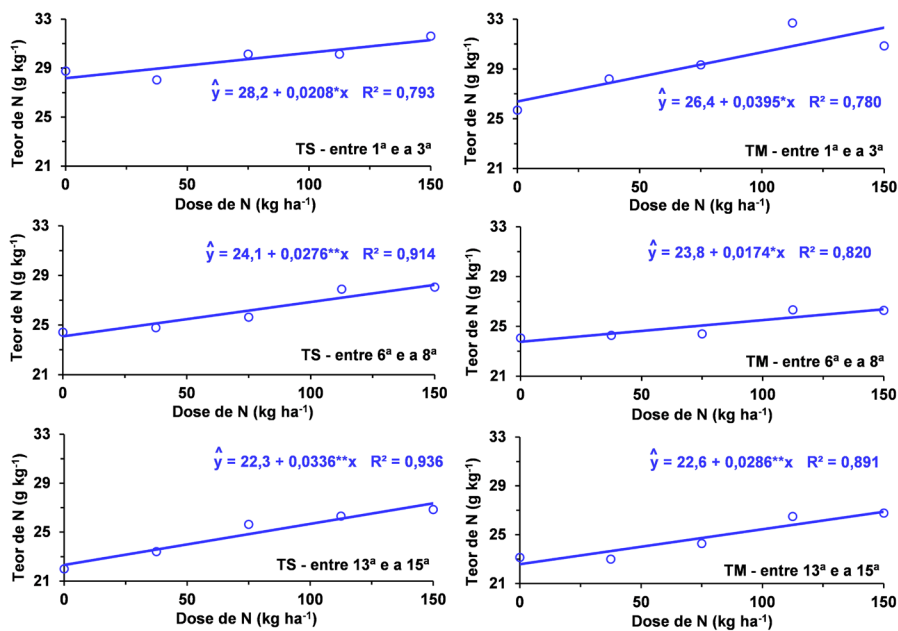


Figura 13. Efeito de adubação nitrogenada, em cobertura, sobre o teor de N determinado em amostras de folhas de pinhão-manso coletadas aos 29 meses após o transplântio das mudas, em duas posições dos ramos florais na planta.

Nota: TS = terço superior e TM = terço médio e três posições no ramo floral (entre a 1ª e a 3ª, entre a 6ª e a 8ª e entre a 13ª e a 15ª folha abaixo da inflorescência).

Fonte: Kurihara e Silva (2014, 2015).

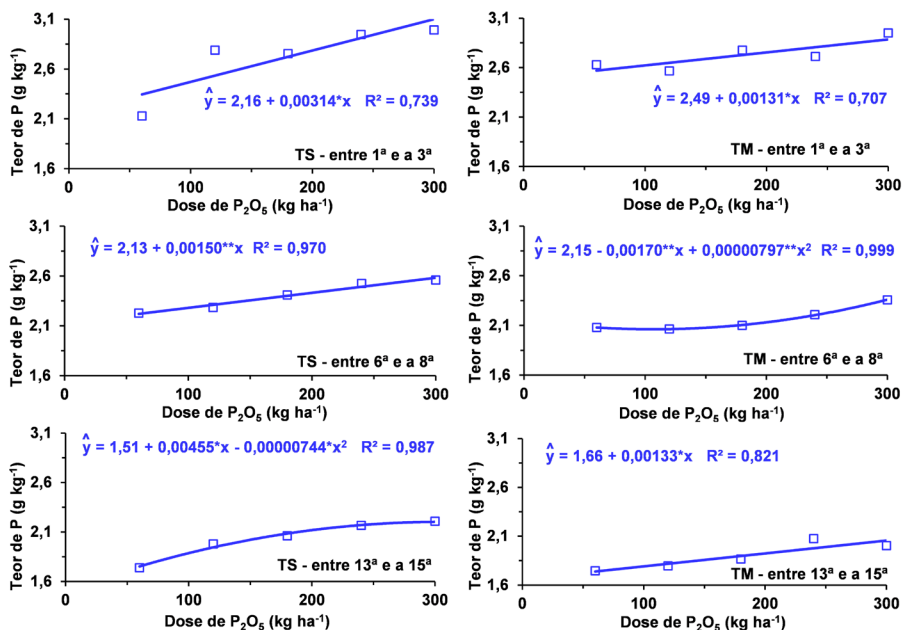


Figura 14. Efeito de adubação fosfatada sobre o teor de P determinado em amostras de folhas de pinhão-mansão coletadas aos 29 meses após o transplântio das mudas, em duas posições dos ramos florais na planta.

Nota: TS = terço superior e TM = terço médio e três posições no ramo floral (entre a 1ª e a 3ª, entre a 6ª e a 8ª e entre a 13ª e a 15ª folha abaixo da inflorescência).

Fonte: Kurihara e Silva (2014, 2015)

Considerações finais

Plantas de pinhão-mansão com 4 anos de idade apresentam elevada demanda de potássio e nitrogênio principalmente, seguida de cálcio, magnésio, fósforo e enxofre, com extração pela parte aérea equivalente a 144 kg ha⁻¹, 102 kg ha⁻¹, 70 kg ha⁻¹, 44 kg ha⁻¹, 13 kg ha⁻¹ e 5 kg ha⁻¹ de K, N, Ca, Mg, P e S, respectivamente. Quanto aos micronutrientes, destaca-se o expressivo acúmulo de Mn (6.162 g ha⁻¹) na parte aérea. Ocorre, também, demanda elevada por Fe (980 g ha⁻¹) e Zn (238 g ha⁻¹) e menos acentuada por B (172 g ha⁻¹) e Cu (48 g ha⁻¹). A colheita dos frutos resulta em uma relativamente baixa exportação de macronutrientes, destacando-se N (25 kg ha⁻¹) e K (18 kg ha⁻¹), bem como de micronutrientes, destacando-se Mn (162 g ha⁻¹) e Fe (130 g ha⁻¹). A partir dos dados de extração de

nutrientes, e considerando-se taxas de recuperação, pela planta, dos elementos aplicados ao solo por meio de fertilizante, estima-se que a adubação de plantio dessa cultura deve ser suficiente para suprir 40 kg ha⁻¹; 50 kg ha⁻¹; 50 kg ha⁻¹; 5 kg ha⁻¹; 0,7 kg ha⁻¹; 0,3 kg ha⁻¹; 8,0 kg ha⁻¹ e 1,0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, S, B, Cu, Mn e Zn, respectivamente. E a adubação de cobertura, visando à reposição dos nutrientes exportados, deve ser suficiente para suprir 50 kg ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹, 30 kg ha⁻¹ e 3 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O e S, respectivamente, por tonelada de grãos a ser produzida.

Para uma adequada diagnose visual, a interpretação de um sintoma visual de deficiência nutricional em folhas de pinhão-mansão deve ser embasada em padrões conhecidos, que foram caracterizados neste capítulo. Como o diagnóstico é dificultado pela semelhança de sintomas com desordens de ordem biótica (pragas, doenças) ou abiótica (condições climáticas, toxidez por agrotóxicos etc.), é necessário verificar a generalização do sintoma, a presença de gradiente (sintomas em folhas novas de elementos imóveis ou pouco móveis, e em folhas mais velhas para elementos móveis), a simetria do sintoma, ou seja, aparecimento em folhas consecutivas, além do histórico da área. Salienta-se que a diagnose visual deve ser acompanhada, sempre que possível, da diagnose foliar, para um diagnóstico conclusivo. Mesmo não havendo, ainda, a definição das faixas de suficiência para os teores foliares de nutrientes, específicas para as plantas de pinhão-mansão, pode-se obter uma comparação qualitativa de amostras foliares coletadas em plantas com a manifestação de determinado sintoma visual, em relação às amostras coletadas em plantas com desenvolvimento normal. Para que essa comparação seja válida, porém, é preciso padronizar o procedimento de amostragem, tendo-se em vista a existência de diferenças consideráveis nos teores de nutrientes, dependendo da parte da planta amostrada. Para a diagnose foliar de pinhão-mansão, indica-se a coleta de folhas localizadas entre a sexta e a décima quinta posição no ramo floral, em ramos do terço superior da planta. Essas folhas apresentam maior sensibilidade às variações no fornecimento de N e P pela adubação.

Referências

- BORGHETTI, R. A.; ASSIS, M. de O.; SANTOS NETO, J. A. dos; CARDOSO, R. R. Teor e acúmulo de macronutrientes em frutos de pinhão-manso em diferentes épocas de maturação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 13.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 11.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 8., 2010, Guarapari. **Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro: anais**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 1 CD-ROM. FERTBIO 2010.
- CAMARGO, R. de; MALDONADO, A. C. D.; DIAS, P. A. S.; SOUZA, M. F.; FRANÇA, M. S. Diagnose foliar em mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) produzidas com biossólido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 283-290, mar. 2013. DOI: 10.1590/S1415-43662013000300006.
- CARELS, N. *Jatropha curcas*: a review. **Advances in Botanical Research**, v. 50, p. 39-86, 2009.
- DALCHIAVON, F. C.; DALLACORT, R.; COLLETTI, A. J.; MONTANARI, R.; PAZ-FERREIRO, J. Growth and productivity of purging nut (*Jatropha curcas* L.) crop grown on an Oxisol in Tangará da Serra (MT, Brasil). **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, v. 37, p. 139-146, 2013. Disponível em: <http://www.udc.es/files/iux/almacen/articulos/cd37_art09.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2015.
- FREIBERGER, M. B. **Crescimento inicial e nutrição do pinhão-manso em função da adubação NPK**. 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- FREIRE, F. J. **Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar**. 2001. 162 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: <<http://alexandria.cpd.ufv.br:8000/teses/168592f.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2015.
- KUMAR, P.; PANDEY, R. M. Sampling for mineral content in leaves of guava cultivar 'Lucknow-49'. **Scientia Horticulturae**, v. 11, n. 2, p. 163-174, Sept. 1979. DOI: 10.1016/0304-4238(79)90041-4.
- KURIHARA, C. H.; KIKUTI, H.; BINOTTI, F. F. da S.; SILVA, C. J. da. Nutrient accumulation, export and cycling in *Jatropha curcas* L. **Revista Ceres**, v. 63, n. 3, p. 361-370, May/June 2016. DOI: 10.1590/0034-737X201663030013.
- KURIHARA, C. H.; SILVA, C. J. da. Diagnostic leaf to evaluate the nutritional status of *Jatropha*. **Revista Ceres**, v. 62, n. 6, p. 607-613, 2015. DOI: 10.1590/0034-737X201562060014.
- KURIHARA, C. H.; SILVA, C. J. da. **Folha índice para avaliação do estado nutricional do pinhão-manso**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. 5 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular técnica, 27). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/112767/1/CT201427.pdf>>. Acesso em: 5 maio 2015.

LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L.; MENDONÇA, S.; ROSADO, T. B.; ALBRECHT, J. C. Caracterização morfo-agronômica do banco de germoplasma de pinhão manso na fase jovem. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 3, p. 371-379, May/June 2011.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. dos S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, set./out. 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000500018.

LIMA, R. L. S. de; SEVERINO, L. S.; CAZETTA, J. O.; AZEVEDO, C. A. V. de; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N. H. C. Redistribuição de nutrientes em folhas de pinhão-manso entre estádios fenológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 11, p. 1175-1179, 2011.

LUYSSAERT, S.; RAITIO, H.; VERVAECKE, P.; MERTENS, J.; LUST, N. Sampling procedure for the foliar analysis of deciduous trees. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 4, n. 6, p. 858-864, 2002. DOI: 10.1039/B208404J. Disponível em: <<http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2002/EM/B208404J>>. Acesso em: 5 maio 2015.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Livrocere, 2006. 638 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 2002. 889 p.

OLIVEIRA, F. H. T. de; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; CANTARUTTI, R. B. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 131-143, jan./fev. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n1/23530.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2015.

PACHECO, D. D.; SATURNINO, H. M.; MENDES, L. D.; SOARES, F. R.; PAULA, T. O. M. de; PRATES, F. B. de S.; SOUZA, L. C. A. de. Produção de massa vegetal e composição mineral de plantas de pinhão-manso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 3., 2006, Varginha. **Anais...** [Lavras]: Ed. da UFLA, 2006. p. 624-627. Disponível em: <http://oleo.ufla.br/anais_03/3o_congresso_anais_completo.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2015.

PRATES, F. B. de S.; ZONTA, E.; FERRARI, A. C.; DONAGEMMA, G. K.; LIMA, E. Acúmulo de macronutrientes em plantas de pinhão manso num Planossolo de Seropédica - RJ. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 7., 2010, Belo Horizonte. **Anais...** [Lavras]: Ed. da UFLA, 2010. 2 p.

REIS, T. de M.; SILVA, E. de B.; SOUZA, P. T. de; SANTOS, S. R.; TANURE, L. P. P. Acúmulo de matéria seca e macronutrientes em mudas de pinhão manso cultivado na Serra do Espinhaço Meridional, MG. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 13.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 11.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 8., 2010, Guarapari. **Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro: anais**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 1 CD-ROM.

SANTOS, F. C. dos; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SEDIYAMA, C. S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1661-1674, jul./ago. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n4/a31v32n4.pdf>>. Acesso em: 14 setembro 2015.

SARAIVA, A. de S.; DORNELAS, D. F.; DORNELAS, B. F. M.; GONÇALVES, R. C.; ERASMO, E. A. L.; SARMENTO, R. de A.; NUNES, T. V. Growth and production of physic nut (*Jatropha curcas* L.) under phosphorus levels applied to the base. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 4, n. 3, p. 240-248, Aug. 2013. Disponível em: <<http://revista.uft.edu.br/index.php/JBB/article/viewFile/596/345>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

SILVA, A. P. da; ALVAREZ V., V. H.; SOUZA, A. P. de; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; DANTAS, J. P. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi – fertcalc-abacaxi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 1269-1280, set./out. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n5/v33n5a20.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2015.

SILVA, J. A. N. **Consórcio de pinhão-mansão com espécies forrageiras e produtoras de grãos**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.



**Uso do pinhão-manso em
sistemas de integração
lavoura-pecuária-floresta**

Uso do pinhão-mansão em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta

*Marcelo Dias Müller
Marcela Venelli Pyles
Domingos Sávio Campos Paciullo
Carlos Eugênio Martins
Alexandre Magno Brighenti dos Santos
Wadson Sebastião Duarte da Rocha*

Introdução

Com a atual perspectiva de esgotamento das reservas de fontes energéticas de origem fóssil, a utilização de biomassa como fonte alternativa para produção de energia ganha espaço na discussão sobre o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis que exerçam pouco impacto ambiental. Nesse contexto, a utilização do óleo extraído de espécies oleaginosas se mostra como uma eficaz alternativa, uma vez que esse óleo pode ser utilizado como matéria-prima para produção de energia renovável, como o biodiesel.

Em razão da alta diversidade de espécies oleaginosas adaptadas a diferentes climas e biomas, das características de solo e da disponibilidade de terra e mão de obra competente, o Brasil apresenta grande potencial para produção de biocombustíveis na maior parte do seu território (Dias et al., 2008). Com isso, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPM) foi desenvolvido pelo governo brasileiro com intuito de proporcionar o acesso do produtor familiar ao mercado de biocombustíveis, integrando-o a essa cadeia produtiva sem que haja, necessariamente, sua desvinculação das atividades tradicionais.

Dentre as espécies consideradas promissoras para a produção de biodiesel, o pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) tem se destacado por ser uma espécie perene com grande potencial produtivo, de crescimento rápido e passível de consorciação com outros cultivos, o que a torna uma alternativa viável principalmente para a agricultura familiar, que

se beneficiará do melhor aproveitamento da área e da obtenção de rendimentos intermediários (Machado et al., 2009).

A utilização de consórcio de espécies arbóreas ou arbustivas com outras culturas, notadamente com pastagens e criação animal, em sistemas que integram lavoura-pecuária e floresta, traz reais benefícios produtivos e ambientais, na medida em que representa a otimização do uso do solo. O uso da técnica de plantio direto na palha, bem como a introdução de um componente arbóreo/arbustivo, proporciona aporte de matéria orgânica, o que conduz a melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Neves et al., 2009; Salton et al., 2014). De modo semelhante, Xavier et al. (2014) observaram maior tendência de deposição de serapilheira e, conseqüentemente, de nitrogênio em sistemas silvipastoris, em comparação ao monocultivo de braquiária. Os mesmos autores ainda relataram maiores ganhos de peso por animal no sistema silvipastoril. O efeito positivo de sistemas silvipastoris na qualidade da forragem e no aumento de peso em novilhas leiteiras foi descrito por Paciullo et al. (2011). A presença de um componente arbóreo também oferece a possibilidade de aumento do conforto térmico para os animais (Paes Leme et al., 2005), o que pode contribuir para o aumento da produtividade animal.

Assim, conclui-se que a introdução do pinhão-mansão nesses sistemas pode ser acompanhada dos mesmos benefícios, embora ainda não haja conhecimento suficiente sobre a influência dessa espécie sobre as espécies cultivadas nas entrelinhas. Estudos nessa área ainda são incipientes, com destaque para os realizados por Silva et al. (2012), que analisaram o crescimento de espécies forrageiras consorciadas com o pinhão-mansão, e por Schulz et al. (2014), que estudaram o desenvolvimento de plantas de pinhão-mansão estabelecidas em consórcio com Tifton 85, com diferentes quantidades de área útil por planta até os 18 meses de idade.

Cabe ressaltar que o cultivo associado de diferentes espécies de plantas em uma mesma área pressupõe a existência de interações dinâmicas e que se alteram com o tempo, principalmente em áreas onde há o componente arbóreo/arbustivo, tendo em vista o crescimento contínuo em altura, a projeção de copa e o índice de área foliar, que modificam a distribuição de luz ao longo do tempo. Dessa forma, a produtividade do sistema será modificada continuamente (José et al., 2004).

Nesse sentido, o estudo do desenvolvimento vegetativo, produção e fenologia de plantas lenhosas componentes de sistemas consorciados, em diferentes arranjos de plan-

tio e tipos de consórcio, é fundamental para o direcionamento de práticas de manejo, tais como definição de espaçamento entre plantas e arranjo de plantio; dessa forma, possibilita-se a otimização de várias atividades em uma mesma unidade produtiva, trazendo benefícios socioeconômicos, como a diversificação da produção e da renda (Müller et al., 2011).

Sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta

Os sistemas que integram lavoura-pecuária-floresta (ILPF) são baseados em dois princípios: o de rotação de cultura e o de consórcio entre cultivo de grãos, forrageiras e espécies florestais, a fim de otimizar o uso do solo e dos recursos naturais, visando sempre à máxima produtividade do sistema. Com a comercialização intermediária dos grãos e dos produtos oriundos da pecuária, os proprietários rurais conseguem amortizar o custo de implantação e manutenção da floresta (Viana et al., 2013), aumentando e diversificando sua renda ao longo do ano.

Dentro do atual conceito de ILPF, existem quatro combinações possíveis entre os componentes: integração lavoura-pecuária (agropastoril); integração pecuária-floresta (silvipastoril); integração lavoura-floresta (agroflorestal); e integração lavoura-pecuária-floresta (agrossilvipastoril).

Além de verticalizar e diversificar a produção, os sistemas ILPF são tecnicamente eficientes e ambientalmente adequados (Behling, 2014). Diversos autores destacam que esses sistemas representam uma alternativa de uso sustentável do solo, na medida em que proporcionam: i) proteção do solo contra a erosão, conservação da água, manutenção do ciclo hidrológico e melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Xavier et al., 2002; Neves et al., 2009); ii) aumentos do valor nutricional da forragem (Castro et al., 1999; Paciullo et al., 2007) e do conforto térmico animal (Paes Leme et al., 2005); iii) melhorias no desempenho de bovinos criados a pasto (Paciullo et al., 2011); e iv) benefícios socioeconômicos, tais como diversificação da produção e da renda (Müller et al., 2011), redução do risco da atividade e redução da sazonalidade da demanda por mão de obra no campo, o que torna a atividade pecuária regional mais sustentável e rentável.

A implantação de um sistema integrado exige maior planejamento, uma vez que, além de demandarem conhecimento sobre diferentes atividades agrícolas, pecuárias e florestais, há necessidade de uma previsão das atividades por um longo prazo e das possíveis

interações entre os componentes do sistema (Viana et al., 2013). Daí se depreende que a tecnologia envolve um conjunto de práticas e técnicas pertinentes a diferentes atividades. Cada um desses três segmentos possui suas peculiaridades em termos de requerimento de práticas agrícolas, equipamentos e insumos, portanto a atividade requer insumos, equipamentos, conhecimentos e disponibilidade para lidar simultaneamente com três grupos de explorações agropecuárias dentro da propriedade.

Em relação ao componente florestal, o espaçamento adotado é de suma importância do ponto de vista silvicultural, tecnológico e econômico, pelo fato de influenciar diretamente a taxa de crescimento, a qualidade da madeira, a idade de corte, os aspectos econômicos investidos e a limitação física imposta aos outros componentes do sistema. Assim, o planejamento deve abranger a estrutura necessária para o cultivo e colheita das culturas consorciadas e ainda prever as interações dos componentes sem perder o foco nos produtos florestais almejados (Viana et al., 2013).

Experimento ILPF com pinhão-manso

No município de Coronel Pacheco, localizado em uma região montanhosa de Minas Gerais (Figura 1), implantou-se um experimento na Embrapa Gado de Leite, em janeiro de 2009, em uma área de 2,4 ha com pastagem de *Brachiaria decumbens* já estabelecida em solo naturalmente pouco fértil.

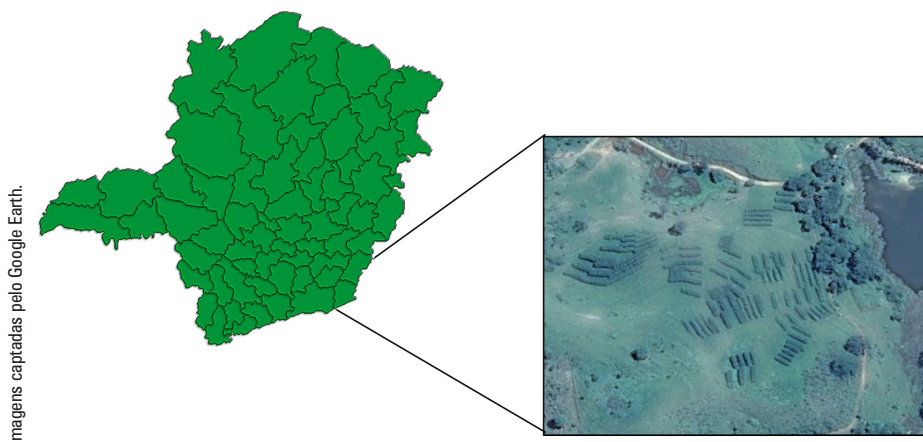


Figura 1. Experimento de pinhão-manso, estabelecido no Campo Experimental José Henrique Bruschi, pertencente à Embrapa Gado de Leite.

Dois tipos de consórcio são avaliados mensalmente nesse experimento: um sistema integrado de lavoura-pecuária e floresta (ILPF), caracterizado pela semeadura do milho (*Zea mays* L.) cultivar 'AG 1051' entre as faixas de pinhão-manso, sobre palhada de *B. decumbens*, em espaçamento de 1 m entre fileiras, deixando-se 1 m de distância das plantas de pinhão-manso; e um sistema silvipastoril (SSP), caracterizado pela implantação do pinhão-manso na pastagem já estabelecida, sem adubação da pastagem (Figura 2).



Figura 2. A) sistema pinhão-manso x milho x braquiária; B) sistema pinhão-manso x braquiária.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, em arranjo de parcelas subdivididas, com três repetições. A parcela foi constituída por cinco espaçamentos (Figura 3): 6 m x 3 m (555 plantas por hectare), 12 m x (2 m x 2 m) (714 plantas por hectare), 10 m x (2 m x 2 m) (833 plantas por hectare), 8 m x (2 m x 2 m) (1.000 plantas por hectare) e 6 m x 1,5 m (1.111 plantas por hectare); e a subparcela, pelos dois tipos de consórcio: ILPF e SSP. Os espaçamentos 6 m x 3 m e 6 m x 1,5 m são constituídos por renques formados por uma linha simples de plantas, com espaçamento entre renques de 6 m. Os espaçamentos 8 m x (2 m x 2 m), 10 x (2 m x 2 m) e 12 m x (2 m x 2 m) são constituídos por renques formados por duas linhas de plantas de pinhão-manso, e, em cada renque, as linhas de plantas são espaçadas entre si em 2 m; em cada linha, as plantas também são espaçadas em 2 m; o espaçamento entre renques variou de 8 m a 12 m.

As parcelas referentes aos tratamentos com linhas simples (6 m x 3 m e 6 m x 1,5 m) foram compostas por quatro linhas de plantio e nove plantas em cada linha. A área útil da parcela foi definida como as duas linhas centrais, tendo-se utilizado cinco plantas em cada linha. Os demais tratamentos, com linhas duplas, foram compostos por três faixas de duas

linhas, com nove plantas em cada linha. A área útil da parcela foi definida pelas duas linhas da faixa central, tendo-se utilizado cinco plantas em cada linha.

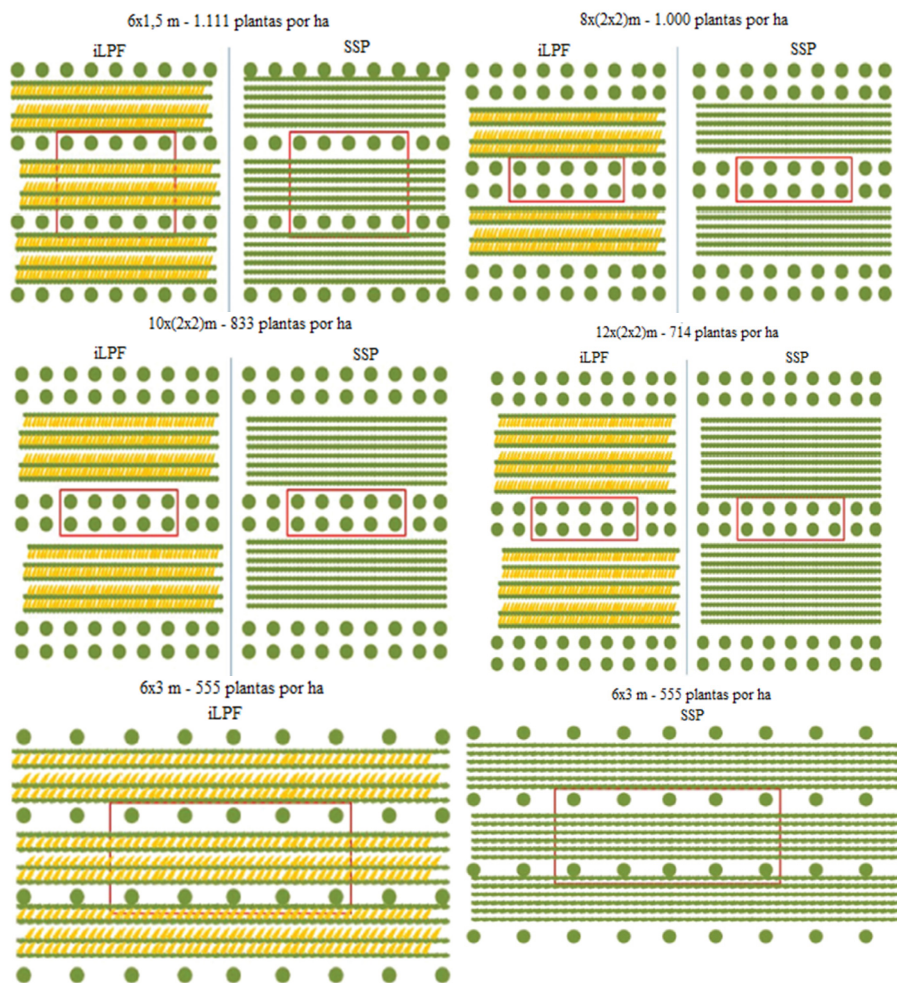
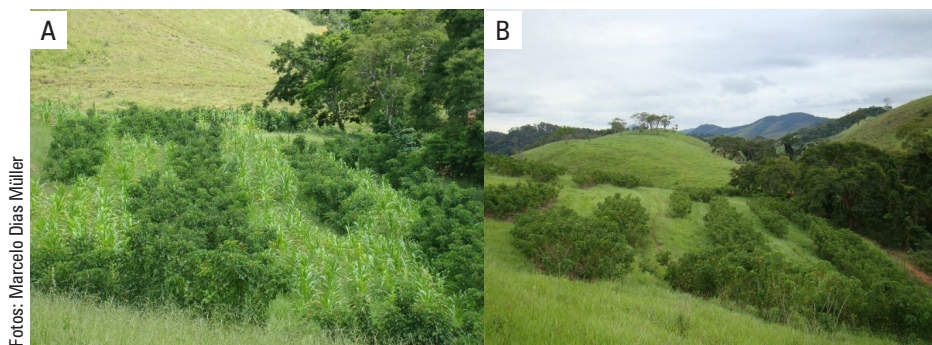


Figura 3. Arranjo ilustrativo das unidades experimentais de plantio de pinhão-mansão (*Jatropha curcas*). Para cada espaçamento de plantio, são apresentadas duas subparcelas: sistema integrado lavoura-pecuária-pinhão-mansão (ILPF); sistema silvipastoril integração pecuária-pinhão-mansão (SSP). Os círculos correspondem às plantas de pinhão-mansão. As linhas verdes correspondem à braquiária, e o tracejado amarelo corresponde ao milho. O retângulo no centro das parcelas corresponde à área útil, onde foram tomadas as medidas das plantas de pinhão-mansão.

O pasto foi manejado em sistema de pastejo rotativo, com períodos de ocupação que variaram entre cinco e sete dias e período de descanso entre 35 dias em meses chuvosos e 49 dias em meses secos.

No sistema ILPF, o pastejo foi iniciado de 30 a 40 dias após a colheita do milho, quando o pasto já estava recuperado (Figura 4).



Fotos: Marcelo Dias Müller

Figura 4. Sistema pinhão-manso x milho x braquiária, antes (A) e após (B) a colheita do milho.

Neste, partiu-se das hipóteses de que o espaçamento de plantio e o tipo de consórcio influenciam a produção individual e, por consequência, a produção por área de pinhão-manso. Sendo assim, objetivou-se analisar o efeito de diferentes arranjos de plantio próprios para o consórcio com a atividade agrícola e pecuária, bem como tipos de consórcio na produção de plantas de pinhão-manso em relação a três aspectos: produtividade, desenvolvimento vegetativo e floração.

Para a avaliação da produtividade do componente arbóreo, foi contabilizado o número de: ramos com frutos, cachos em cada ramo, frutos por cachos e grãos por fruto de uma amostra de árvores feitos por Müller et al. (2015). Para a avaliação do desempenho vegetativo das plantas de pinhão-manso, foram utilizados alguns descritores agrônômicos comumente empregados na identificação dessas espécies: a altura das plantas, o diâmetro da copa e o número de novas brotações (Müller et al., 2014). E, por fim, como existem indicações de que a presença de inflorescências dessa cultura é descontínua durante o ano, a quantidade de florações foi distribuída pelos meses de ocorrência e comparada entre os sistemas.

Produção do pinhão-manso em diferentes sistemas consorciados

O pinhão-manso inicia a produção de grãos já no primeiro ano de cultivo, porém Achten et al. (2008) explicam que a produtividade vai depender de uma série de fatores que não são bem descritos para a espécie, tais como: características edafoclimáticas locais, variabilidade genética, idade da planta e manejo (espaçamento, poda, adubação, etc.). Saturnino et al. (2005) constataram que a produtividade até o terceiro ano é muito baixa e que, somente após o quarto ano, a produtividade fica em torno de 2.500 kg ha⁻¹ em condições de sequeiro e dobra esse valor em condições irrigadas. Outros trabalhos mostram que a produtividade pode variar de 100 kg ha⁻¹ a 8.000 kg ha⁻¹, entre as idades de 3 a 9 anos (Heller, 1996).

Sobre o desenvolvimento vegetativo das plantas de pinhão-manso, os resultados encontrados por Müller et al. (2015) demonstram que o espaçamento de plantio e o tipo de consórcio influenciaram a formação de cachos, o número de cachos por fruto, a produção por planta e a produtividade do pinhão-manso. Para o número de grãos por fruto e peso de grãos, não foram observadas diferenças significativas, apesar de haver uma tendência de valores mais altos para plantas estabelecidas em sistema ILPF. Não houve significância estatística para os efeitos da interação densidade de plantio x tipo de consórcio, mas sim para os efeitos isolados destes.

Assim como os resultados obtidos por Ratre (2004) e Silva et al. (2011), que demonstram que a produção por planta aumenta significativamente com o espaçamento entre plantas, compensando, assim, a menor densidade populacional, o espaçamento amplo entre plantas (6 m x 3 m) do estudo proporcionou produção de cachos, frutos por cacho e, conseqüentemente, sementes (em kg de sementes por planta) significativamente superior aos demais tratamentos.

Para outras espécies vegetais, tais como mamona (Bizinato et al., 2010; Soratto et al., 2011) e feijão-caupi (Bezerra et al., 2009), também se observa a mesma tendência. Isso, segundo os autores, se deve à maior área para captação de luz nos maiores espaçamentos, possibilitando uma arquitetura de copa produtiva mais adequada e, conseqüentemente, maior produção de massa de matéria seca, o que permite maior expressão do potencial de emissão de racemos pelas plantas.

O tipo de consórcio também influenciou a formação de cachos, o número de frutos por cacho e, conseqüentemente, a produção. As plantas estabelecidas em sistema ILPF apresentaram valores significativamente superiores para essas variáveis, comparadas àquelas estabelecidas em sistema SSP. Esse efeito pode ser atribuído ao aproveitamento do adubo residual da cultura do milho pelas plantas de pinhão-manso.

De acordo com Macdicken e Vergara (1990), a integração de árvores/arbustos com cultivos agrícolas e pastagens pode resultar em um uso mais eficiente da radiação incidente, da água e nutrientes no solo, tendo em vista que, em função de suas diferentes arquiteturas biológicas, exploram diferentes porções da atmosfera e do solo. Essa teoria foi confirmada por Lehmann et al. (1998) e Odhiambo et al. (2001), que demonstram que espécies arbóreas e agrícolas, quando em consórcio, exploram diferentes partes do perfil do solo, em que a espécie arbórea apresenta maior densidade de raízes nas partes mais profundas do solo e a espécie agrícola, maior densidade de raízes na superfície. Ainda, segundo os autores, o uso da água no sistema agroflorestal foi mais eficiente, comparado aos cultivos solteiros.

Em relação à produção por hectare de pinhão-manso, nos plantios mais densos, foram obtidas as maiores produções tanto para o sistema ILPF quanto para o sistema SSP. Isso mostra que o adensamento de plantas pode contribuir para o aumento da produtividade do pinhão-manso, conforme observam Souza et al. (2011), independentemente do sistema de consórcio. Também se observou que o espaçamento de 6 m x 3 m (densidade de 555 pl ha⁻¹) compensou a menor densidade de plantio com maior produção por planta (Figura 5), superando os tratamentos de 714 e 833 plantas por hectare.

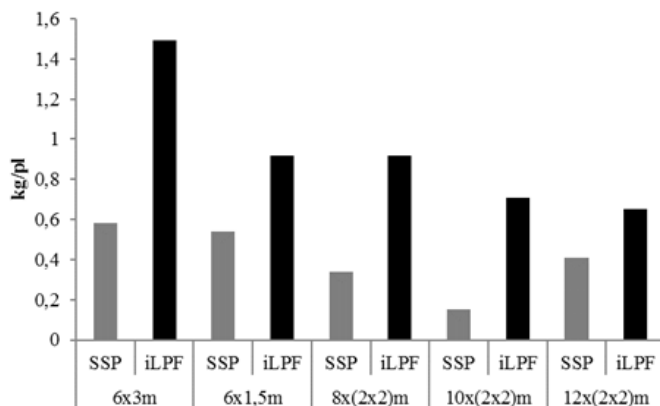
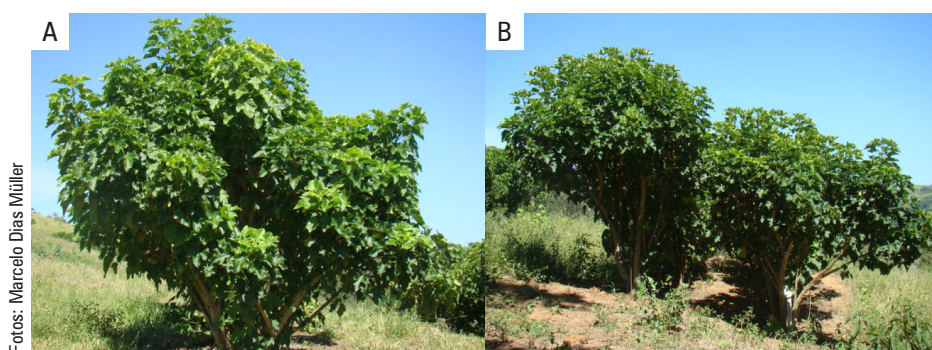


Figura 5. Produção de grãos (em kg/planta) de pinhão-manso em diferentes espaçamentos e tipos de consórcio.

Desenvolvimento vegetativo do pinhão-mansó em diferentes sistemas consorciados

Em relação ao desenvolvimento vegetativo do pinhão-mansó, Müller et al. (2014) observaram que, após a primeira safra, a diferenciação entre os tratamentos aconteceu apenas entre os consórcios para as variáveis altura de planta, diâmetro de copa e número de brotações, não havendo diferenças significativas entre as árvores plantadas em espaçamentos diferentes. Nessa primeira diferenciação, o ILPF apresentou valores médios maiores para diâmetro de copa comparado ao sistema SSP.

Na safra seguinte, já havia sido observado efeito de parcela, em que os espaçamentos 6 m x 3 m e 6 m x 1,5 m apresentaram as maiores médias para a variável altura, tendo diferido das demais. O diâmetro de copa foi superior apenas para o espaçamento 6 m x 3 m (Figura 6). No entanto, a variável número de brotações sofreu influência tanto do espaçamento de plantio quanto do tipo de consórcio (Figura 7). Isso é extremamente relevante uma vez que a produção é maior quanto maior a quantidade de brotações por planta. O espaçamento 6 m x 3 m proporcionou maior número de brotações, tendo diferido dos demais tratamentos.



Fotos: Marcelo Dias Müller

Figura 6. Detalhe da forma da copa em dois diferentes espaçamentos. A) uma planta estabelecida em espaçamento 6 m x 3 m; B) duas plantas estabelecidas em espaçamento com linhas duplas.

No desdobramento da interação entre espaçamento e tipo de consórcio, as variáveis diâmetro de copa e número de brotações foram influenciadas pelo espaçamento de plantio, principalmente no sistema ILPF. Não foi observado efeito do espaçamento de

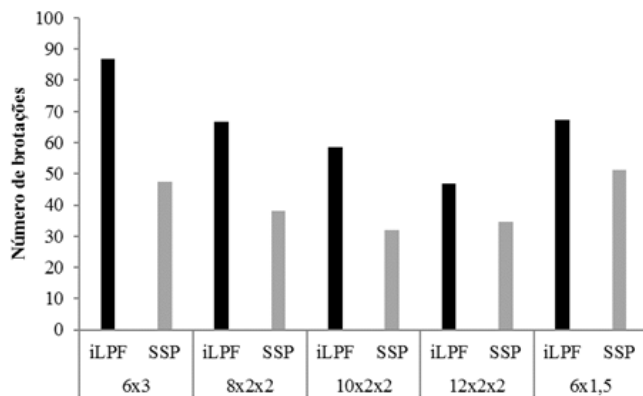


Figura 7. Efeito do tipo de consórcio na altura de planta, no diâmetro de copa e no número de brotações de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas*) estabelecidas em diferentes espaçamentos de plantio.

plantio na variável altura, dentro do tipo de consórcio. O maior desenvolvimento vegetativo das plantas de pinhão-manso, estabelecidas em espaçamentos maiores, pode ser atribuído ao maior espaço disponível para as plantas aproveitarem os recursos do solo e a luminosidade incidente. Mesmo no caso do espaçamento 6 m x 1,5 m, que corresponde à maior densidade de plantio, apesar da maior competição entre plantas na linha de plantio (1,5 m entre plantas), há maior espaço entre as linhas.

Assim, semelhante ao resultado obtido para produção vegetativa, os plantios de pinhão-manso consorciados com cultivos agrícolas e pastagens obtiveram melhor desempenho quando comparados aos SSP. A partir da introdução do milho no ILPF, esse efeito pode ser atribuído ao aproveitamento do adubo residual da cultura pelo componente arbóreo do sistema.

Horschutz et al. (2012) constataram que houve efeito de espaçamento em plantas de pinhão-manso aos 480 dias após o plantio e que espaçamentos menos adensados resultaram maiores áreas foliares por planta. Isso representa maior capacidade das plantas em aproveitar a energia solar, o que pode explicar o maior crescimento de plantas estabelecidas em espaçamentos mais amplos (González-Sanpedro et al., 2008). Porém, ressalte-se que há um limite máximo de plantas em um determinado espaço, em razão da competição fisiológica entre elas (Chavarria et al., 2011). Singh et al. (2013) relataram que não houve efeitos do aumento de densidade de plantio nas variáveis altura e número de brotações de plantas de pinhão-manso, em quatro localidades, na Índia. Segundo os autores, mesmo o menor espaçamento entre plantas avaliado, de 2 m x 2 m, não foi suficiente para que o efeito de competição pudesse ser observado.

No experimento, o efeito do tipo de consórcio dentro de cada espaçamento evidencia que, em sistema ILPF, há maior desenvolvimento vegetativo das plantas.

Floração do pinhão-manso

O florescimento é um dos estádios fenológicos mais importantes para a produção de óleo em *Jatropha curca*, tendo-se em vista que o número de flores femininas determinam, junto com a sua fecundação, quantos frutos e grãos serão desenvolvidos (Juhász et al., 2013). A inflorescência é tipo cimeira, sendo emitida juntamente com as novas brotações. Geralmente, as flores masculinas abrem primeiro e cercam uma única flor feminina central (Raju; Ezradanam, 2002). Porém, dependendo de certas condições ambientais, pode ocorrer de as flores femininas abrirem primeiro (Saturnino et al., 2005), provocando um padrão desuniforme de abertura que favorece a fecundação cruzada (Chang-Wei et al., 2007).

De acordo com um estudo conduzido por Drummond et al. (1984), nas condições climáticas de Minas Gerais, a florada do pinhão-manso aparece após o período da seca, e os frutos podem ser colhidos entre fevereiro e abril, se não houver prorrogação do período chuvoso. No entanto, como a abertura de flores femininas pode ocorrer em dias diferentes, e o desenvolvimento dos frutos segue o padrão de infrutescências, muitas vezes o crescimento dos últimos frutos continua até depois do amadurecimento dos primeiros (Saturnino et al., 2005).

No experimento conduzido pela Embrapa Gado de Leite, nota-se que tanto no sistema ILPF quanto no SSP, o período de florescência é bastante longo, ocorrendo em pelo menos 2/3 do ano (Figura 8). Porém, no sistema ILPF, em todos os meses, houve quantidades maiores de flores, o que possibilita uma maior produção, uma vez que uma maior quantidade de flores sugere uma maior quantidade de frutos, em condições ambientais normais.

Assim como já discutido, as árvores plantadas sob o sistema ILPF são beneficiadas pelo efeito residual do adubo fornecido para a cultura anual, o que gera maior vigor de crescimento da planta, influenciando tanto no tamanho das inflorescências quanto na proporção de flores femininas (Saturnino et al., 2005).

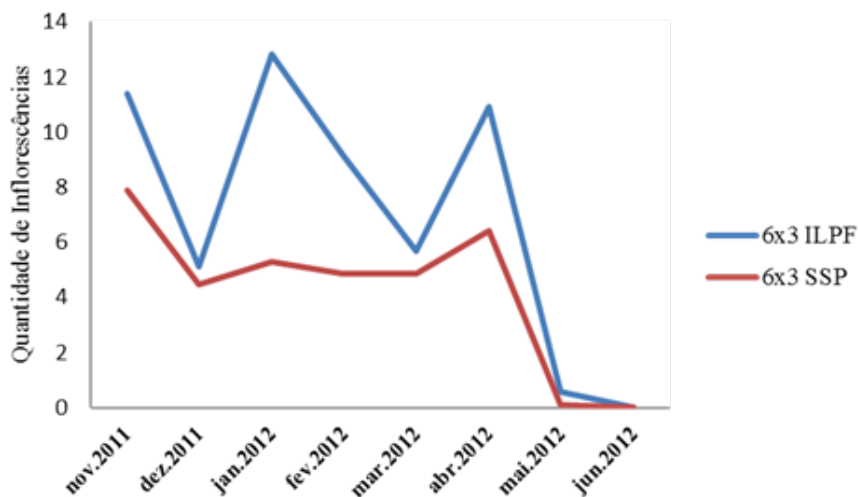


Figura 8. Distribuição de inflorescências por meses no ano em sistemas integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e sistema silvipastoril (SSP).

Considerações finais

Os resultados obtidos demonstram que, nas condições estudadas, o sistema ILPF contribuiu para um maior desenvolvimento e produção das plantas de pinhão-manso. Entretanto, é importante ressaltar que esses resultados devem ser analisados com cautela, uma vez que demonstram apenas os efeitos dos tratamentos na produção do pinhão-manso e, portanto, não representam o sistema como um todo. Assim, para a recomendação do estabelecimento de plantas de pinhão-manso em sistemas consorciados, ainda existem lacunas no conhecimento sobre os efeitos nas culturas intercalares. Nesse sentido, destaca-se o trabalho de Silva et al. (2012), que estudaram o crescimento e a produção de espécies forrageiras consorciadas com pinhão-manso. Entretanto, o espaçamento utilizado neste trabalho foi de 3 m x 2 m, o que não corresponde a um espaçamento ideal para sistemas consorciados com pastagens, tendo em vista a grande ocupação do site pelas plantas de pinhão-manso e consequente sombreamento excessivo. Além disso, são necessários estudos relativos ao comportamento e desempenho animal nessas áreas, bem como a definição de coeficientes técnico-econômicos e operacionais do manejo desses sistemas, tendo o pinhão-manso como espécie arbustiva.

Outro fator a ser considerado é que, no sistema pinhão-manso consorciado com pastagem (SSP), a pastagem não foi adubada, o que pode ter sido um dos motivos das diferenças observadas. Sendo assim, futuras investigações são necessárias a fim de se incorporar essa possibilidade.

Referências

- ACHTEN, W. M. J.; VERCHOT, L.; FRANKEN, Y. J.; MATHIJS, E.; SINGH, V. P.; AERTS, R.; MUYS, B. *Jatropha* bio-diesel production and use. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 12, p. 1063-1084, Dec. 2008. DOI: 10.1016/j.biombioe.2008.03.003.
- BEHLING, M.; WRUCK, F. J.; ANTONIO, D. B. A.; MENEGUCI, J. L. P.; PEDREIRA, B. C. e; CARNEVALLI, R. A.; CORDEIRO, L. A. M.; GIL, J.; FARIAS NETO, A. L. de; DOMIT, L. A.; SILVA, J. F. V. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF). In: GALHARDI JUNIOR, A.; SIQUERI, F.; CAJU, J.; CAMACHO, S. (Ed.). **Boletim de pesquisa de soja 2013/2014**. Rondonópolis: Fundação MT, 2013. p. 306-325.
- BEZERRA, A. A. de C.; TÁVORA, F. J. A. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Características de dossel e de rendimento em feijão-caupi ereto em diferentes densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 10, p. 1239-1245, out. 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009001000005.
- BIZINOTO, T. K. M. C.; OLIVEIRA, E. G. de; MARTINS, S. B.; SOUZA, S. Â. De; GOTARDO, M. Cultivo da mamoneira influenciada por diferentes populações de plantas. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 367-370, 2010. DOI: 10.1590/S0006-87052010000200014.
- CASTRO, C. R. T. de; GARCIA, R.; CARVALHO, M. M.; COUTO, L. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 5, p. 919-927, 1999. DOI: 10.1590/S1516-35981999000500003.
- CHANG-WEI, L.; KUN, L.; YOU, C.; YOUNG-YU, S. Floral display and breeding system of *Jatropha curcas* L. **Forestry Studies in China**, v. 9, n. 2, p. 114-119, June 2007. DOI: 10.1007/s11632-007-0017-z.
- CHAVARRIA, G.; TOMM, G. O.; MULLER, A.; MENDONÇA, H. F.; MELLO, N.; BETTO, M. S. Índice de área foliar em canola cultivada sob variações de espaçamento e de densidade de semeadura. **Ciência Rural**, v. 41, n. 12, p. 2084-2089, dez. 2011. DOI: 10.1590/S0103-84782011001200008.
- DIAS, L. A. S.; MULLER, M.; FREIRE, E. Potencial do uso de oleaginosas arbóreas em sistemas silvipastoris. In: FERNANDES, E. M.; PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T.; MULLER, M. D.; ARCURI, P. B.; CARNEIRO, J. C. (Org.). **Sistemas agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2008. p. 283-314.

DRUMMOND, O. A.; PURCINO, A. A. C.; CUNHA, L. H. de S; VELOSO, J. de M. **Cultura do pinhão-manso**. Belo Horizonte: EPAMIG, 1984.

GONZÁLEZ-SANPEDRO, M. C.; LE TOAN, T.; MORENO, J.; KERGOAT, L.; RUBIO, E. Seasonal variations of leaf area index of agricultural fields retrieved from Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 3, p. 810-824, Mar. 2008. DOI: 10.1016/j.rse.2007.06.018.

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

HORSCHUTZ, A. C. O.; TEIXEIRA, M. B.; ALVES, J. M.; SILVA, F. G.; SILVA, N. F. da. Crescimento e produtividade do pinhão-manso em função do espaçamento e irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1093-1099, out. 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012001000009.

JOSÉ, S.; GILLESPIE, A. R.; PALLARDY, S. G. Interspecific interactions in temperate agroforestry. **Agroforestry Systems**, v. 61, n. 1-3, p. 237-255, July 2004. DOI: 10.1023/B:AGFO.0000029002.85273.9b.

JUHÁSZ, A. C. P.; RESENDE, M. D. V. de; LAVIOLA, B. G.; COSTA, M. R. Melhoramento genético de *Jatropha curcas*: considerações e metodologias. In: RESENDE, J. C. F. de; LONDE, L. N.; NEVES, W. dos S. (Ed.). **Pinhão-manso**. Nova Porteirinha: EPAMIG, 2013. p. 89-152.

LEHMANN, J.; PETER, I.; STEGLICH, C.; GEBAUER, G.; HUWE, B.; ZECH, W. Below-ground interactions in dryland agroforestry. **Forest Ecology and Management**, v. 111, n. 2-3, p. 157-169, Dec. 1998. DOI: 10.1016/S0378-1127(98)00322-3.

MACDICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. **Agroforestry, classification and management**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 382 p.

MACHADO, A. R.; RESENDE, J. C. F. de; MOURA, P. C. S.; GONÇALVES, N. P.; SATURNINO, H. M.; FARIA, R. S. de; ANDRADE, L. F. Avaliação do consórcio de pinhão-manso com culturas alimentares, oleaginosas e produtoras de fibra no Norte de Minas Gerais. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 7., 2010, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: [s.n.], 2010.

MÜLLER, M. D.; BRIGHENTI, A. M.; PACIULLO, D. S. C.; MARTINS, C. E.; ROCHA, W. S. D. da; OLIVEIRA, M. H. S. de. Produção de plantas de pinhão manso em diferentes espaçamentos e tipos de consórcio. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1155-1173, 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20131624.

MÜLLER, M. D.; NOGUEIRA, G. S.; CASTRO, C. R. T. de; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. de F.; CASTRO, R. V. O.; FERNANDES, E. N. Economic analysis of an agrosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1148-1153, out. 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011001000005.

- MÜLLER, M. D.; PACIULLO, D. S. C.; MARTINS, C. E.; ROCHA, W. S. D. da; CASTRO, C. R. T. de. Desenvolvimento vegetativo de pinhão-mansô em diferentes arranjos de plantio em sistemas agrossilvopastoris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 7, p. 506-514, jul. 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000700002.
- NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; MACEDO, R. L. G.; MOREIRA, F. M. de S.; D'ANDRÉA, A. F. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 105-112, jan./fev. 2009. DOI: 10.1590/S1413-70542009000100015.
- ODHIAMBO, H. O.; ONG, C. K.; DEANS, J. D.; WILSON, J.; KHAN, A. A. H.; SPRENT, J. I. Roots, soil water and crop yield: tree crop interactions in a semi-arid agroforestry system in Kenya. **Plant and Soil**, v. 235, n. 2, p. 221-233, Aug. 2001. DOI: 10.1023/A:1011959805622.
- PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B. de; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. F.; LOPES, F. C. F.; ROSSIELLO, R. O. P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 573-579, abr. 2007. DOI: 10.1590/S0100-204X2007000400016.
- PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T. de; GOMIDE, C. A. de M.; MAURICIO, R. M.; PIRES, M. de F. Á.; MÜLLER, M. D.; XAVIER, D. F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 141, n. 2-3, p. 166-172, Nov. 2011. DOI: 10.1016/j.livsci.2011.05.012.
- PAES LEME, T. M. S.; PIRES, M. de F. Á.; VERNEQUE, R. da S.; ALVIM, M. J.; AROEIRA, L. J. M. Comportamento de vacas mestiças holandês x zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 668-675, maio/jun. 2005. DOI: 10.1590/S1413-70542005000300023.
- RAJU, A. J. S.; EZRADANAM, V. Pollination ecology and fruting behavior in monocious species, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Current Science**, v. 83, n. 11, p. 1395-1398, Dec. 2002.
- RATREE, S. A preliminary study on physic nut (*Jatropha curcas* L.) in Thailand. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 7, n. 9, p. 1620-1623, 2004. DOI: 10.3923/pjbs.2004.1620.1623.
- SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 70-79, June 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2013.09.023.
- SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, v. 26, p. 44-78, 2005.
- SCHULZ, D. G.; FEY, R.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. de M. Crescimento de pinhão-mansô em função da área útil e do consórcio com Tifton 85. **Revista Floresta**, v. 44, n. 2, p. 207-216, 2014. DOI: 10.5380/rev.v44i2.32291.

SILVA, C. J.; SILVA, Y. K. da; STAUT, L. A.; SCHIAVO, J. A. Produção de pinhão-manso em diferentes espaçamentos em Anastácio, MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS DE PINHÃO-MANSO, 2., 2011, Brasília, DF. **Pinhão-manso: focando em soluções sustentáveis para produção de biocombustíveis: anais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia: ABBPM, 2011. 1 CD-ROM.

SILVA, J. A. N. da; SOUZA, C. M. A. de; SILVA, C. J. da; BOTTEGA, S. P. Crescimento e produção de espécies forrageiras consorciadas com pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 6, p. 769-775, jun. 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000600006.

SINGH, B.; SINGH, K.; RAO, G. R.; CHIKARA, J.; KUMAR, D.; MISHRA, D. K.; SAIKIA, S. P.; PATHRE, U. V.; RAGHUVANSHI, N.; RAHI, T. S.; TULI, R. Agro-technology of *Jatropha curcas* for diverse environmental conditions in India. **Biomass and Bioenergy**, v. 48, p. 191-202, Jan. 2013. DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.11.025.


SORATTO, R. P.; SOUZA-SCHILICK, G. D. de; GIACOMO, B. M. S.; ZANOTTO, M. D.; FERNANDES, A. M. Espaçamento e população de plantas de mamoneira de porte baixo para colheita mecanizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 3, p. 245-253, mar. 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000300004.

SOUZA, H. U. ; VELOSO, M. E. da C.; BLANCO, F. F.; VASCONCELOS, L. F. L.; SOUSA, F. G. C. de; CARVALHO, T. T. C. B. A. de; RIBEIRO, E. A. de S. Produtividade de frutos de pinhão-manso sob diferentes densidades de plantio em Teresina - PI. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS DE PINHÃO MANSO, 2., 2011, Brasília, DF. **Pinhão-manso: focando em soluções sustentáveis para produção de biocombustíveis: anais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia: ABBPM, 2011. 1 CD ROM. (Embrapa Agroenergia. Documentos, 005).

VIANA, M. C. M.; VENTURIM, R. P.; GONTIJO NETO, M. M.; ALBERNAZ, W. M.; ALVARENGA, R. C. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO AGROMINAS, 2013, Governador Valadares. **O agronegócio regional em evidência**. Governador Valadares: Agro-Minas, 2013. 13 p.

XAVIER, D. F.; CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; BOTREL, M. A. Melhoramento da fertilidade do solo em pastagem de *Brachiaria decumbens* associada com leguminosas arbóreas. **Pasturas Tropicais**, v. 25, n. 1, p. 23-26, 2002.

XAVIER, D. F.; LÉDO, F. J. da S.; PACIULLO, D. S. de C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Nitrogen cycling in a *Brachiaria*-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 99, n. 1-3, p. 45-62, July 2014. DOI: 10.1007/s10705-014-9617-x.



**Estudos em fitopatologia
e entomologia na cultura
do pinhão-manso no
Distrito Federal e no
estado de Rondônia**

Estudos em fitopatologia e entomologia na cultura do pinhão-manso no Distrito Federal e no estado de Rondônia

José Nilton Medeiros da Costa
José Roberto Vieira Júnior
Rodrigo Barros Rocha
Alexei de Campos Dianese
Charles Martins de Oliveira
André Rostand Ramalho
Victor Mouzinho Spinelli
Bruno Galvêas Laviola

Introdução

Como potencial fonte de biodiesel, *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) foi uma das várias espécies estudadas no Brasil em um projeto nacional que buscava alternativas aos combustíveis fósseis (Laviola; Dias, 2008). Diversos estudos relataram que *J. curcas* é uma espécie rústica e bastante resistente ao ataque de pragas e doenças (Openshaw, 2000; Alves et al., 2008), entretanto, como ocorre em qualquer monocultura, o plantio do pinhão-manso em áreas extensas torna as plantas susceptíveis ao ataque desses organismos (Phillips, 1975; Singh, 1983; Kar; Das, 1998; Heller, 1996; Banjo et al., 2006; Regupathy; Ayyasamy, 2006; Shanker; Dhyani, 2006).

No Brasil, à medida que os estudos de campo foram introduzidos em diferentes regiões, como no Cerrado brasileiro e no estado de Rondônia, mais doenças e pragas foram descritas associadas a essa cultura, como a ferrugem (*Phakopsora arthuriana*) (Roese et al., 2008), o oídio (*Oidium* sp.) (Avelar et al., 2007; Dianese; Cargnin, 2008), e, pelo menos, dez espécies de artrópodes, pertencentes às ordens Hemiptera, Coleoptera, Thysanoptera, Hymenoptera e Acari (Saturnino et al., 2005; Alves et al., 2008; Franco; Gabriel, 2008). Objetivou-se, aqui, apresentar os resultados de vários estudos realizados pela equipe de fitossanidade do projeto BRJatropha relacionados com as áreas de fitopatologia e entomologia agrícola.

Ocorrência de oídio em pinhão-mansó em Planaltina, DF

Na área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, na ocorrência de oídio (*Oidium* sp.), inicialmente observaram-se lesões escuras cobertas por micélio branco na face abaxial de folhas de pinhão-mansó (Figuras 1D e 2A). À medida que a infecção tornou-se mais severa, o patógeno se alastrou por folhas, pecíolos e caule das plantas (Figura 1A e B). As folhas infectadas se tornaram cloróticas com o avanço da colonização pelo patógeno (Figura 1C) (Dianese; Cargin, 2008).

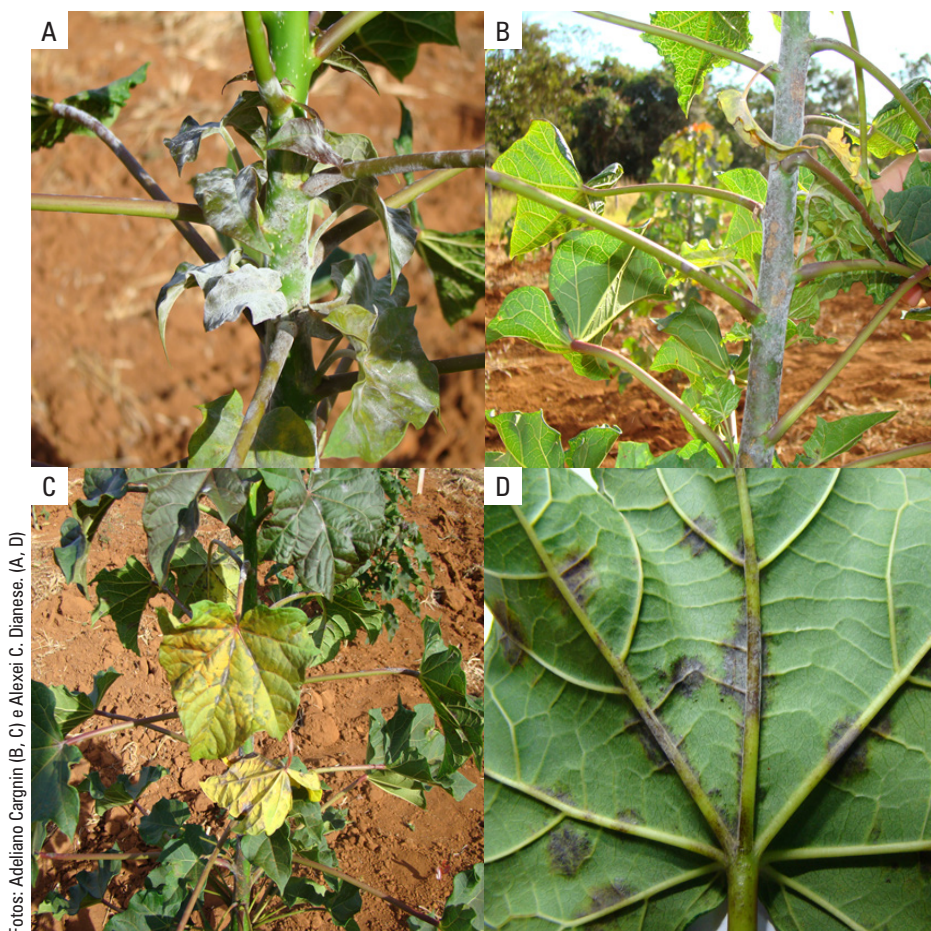
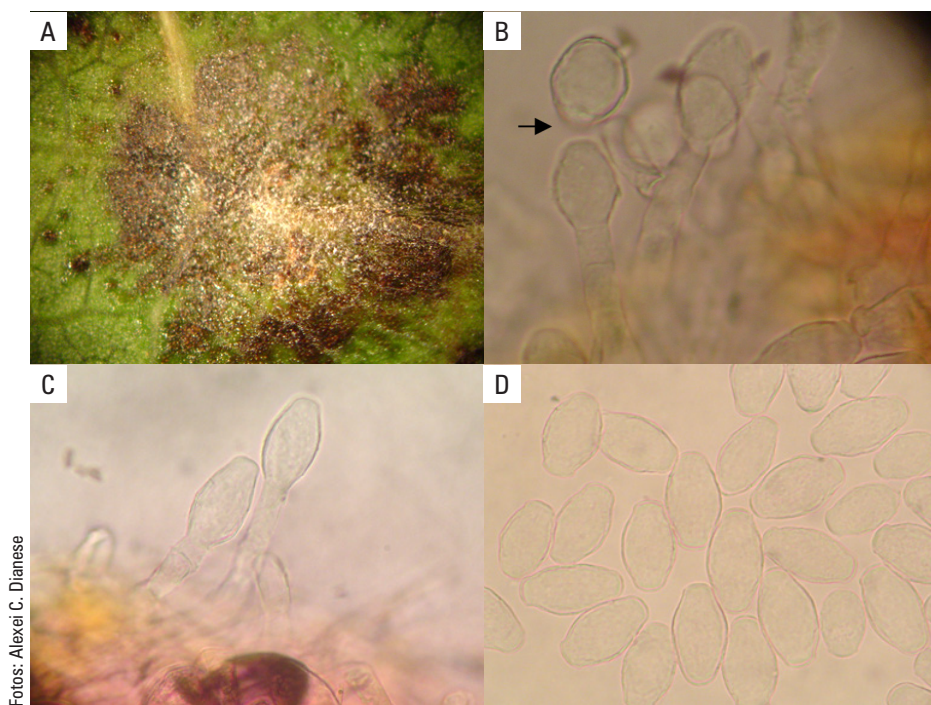


Figura 1. Pinhão-mansó infectado por *Oidium* sp.: folhas e caule severamente infectados (A e B); folhas cloróticas por causa da colonização por *Oidium* sp. (C); lesões na face abaxial de folha (D).

A partir de lâminas feitas do tecido vegetal infectado, pôde-se constatar a ocorrência de conidióforos simples e eretos (Figura 2C) formando conídios cilíndricos, unicelulares, hialinos, produzidos em cadeia basipetal (Figura 2B e D). Essa descrição corresponde a de Barnett e Hunter (1988) para *Oidium* Sacc.

Segundo Ramakrishnan e Pillay (1963), o pinhão-mansão é hospedeiro alternativo do oídio (*Oidium heveae* Stein) que ataca a cultura da seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.). No entanto, ainda é preciso confirmar se essa é realmente a espécie de oídio que está presente nos plantios de pinhão-mansão em de Planaltina, DF.



Fotos: Alexei C. Dianese

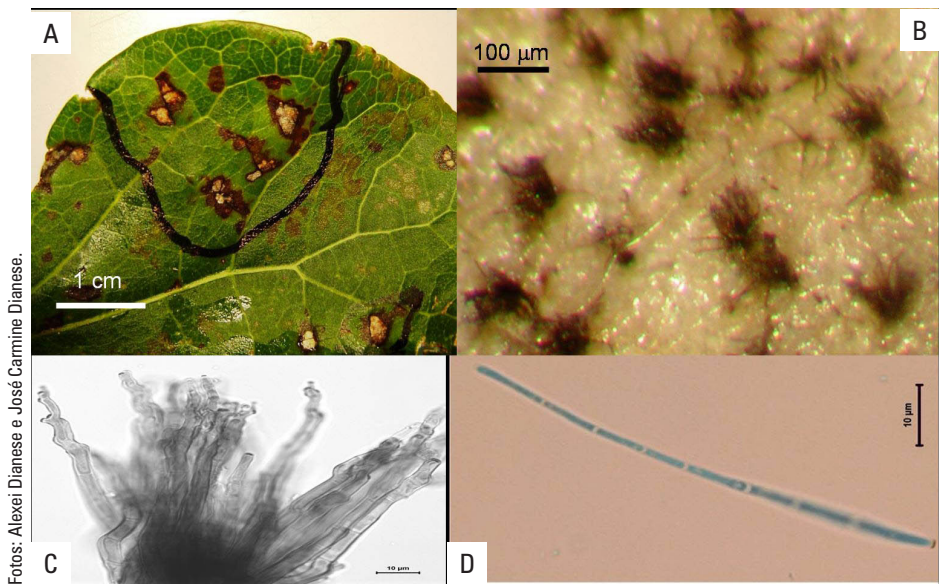
Figura 2. Lesão em folha de pinhão-mansão causada por *Oidium* sp. (A); conídio maduro de *Oidium* sp. destacando-se da cadeia onde foi formado (B); conidióforos de *Oidium* sp., em amostra de tecido foliar de pinhão-mansão, com conídios em formação nas extremidades (C); conídios de *Oidium* sp. (D).

Patógenos foliares em pinhão-mansão encontrados em plantios no Cerrado brasileiro

Em *J. curcas* eram conhecidas duas espécies de *Cercospora* e uma de *Pseudocercospora*. A primeira a ser relatada foi *Cercospora jatrophae-curcas*, que é, na verdade, uma espécie de *Pseudocercospora* (*Pseudocercospora jatrophae-curcas*), de acordo com Deighton (1976). As duas espécies de *Cercospora* atualmente conhecidas, ambas apresentando loci conidiogênicos espessados, são *C. jatrophicola*, descrita por Chupp (1954), e *C. jatrophigena*, descrita por Braun (2001). Essas duas espécies podem ser facilmente separadas uma da outra porque *C. jatrophicola* apresenta conídios (2,5 - 4 x 40 - 85 μm versus 2,5 - 5 x 100 - 300 μm de *C. jatrophigena*) e conidióforos (4 - 5 x 40 - 70 μm versus 3 - 6 x 150 - 400 μm de *C. jatrophigena*) menores.

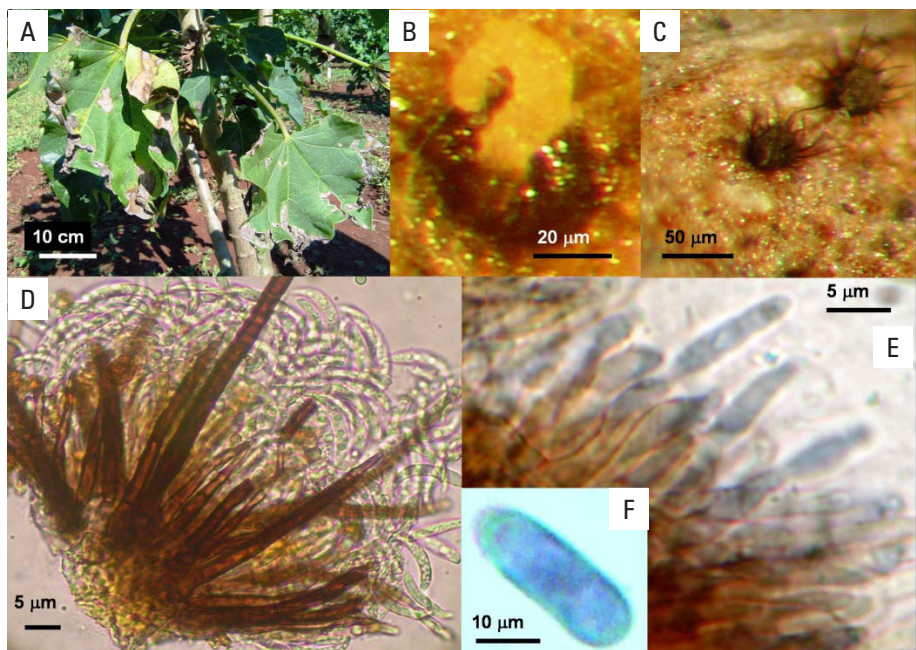
No entanto, as estruturas fúngicas obtidas a partir das lesões foliares retiradas de amostras da área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, mostraram diferenças morfológicas, que permitiram concluir que uma nova espécie de *Cercospora* estaria presente, e foi descrita assim: manchas foliares irregulares, bem delimitadas, onde ocorriam fascículos de conidióforos com cicatrizes aparentes, encontrados em grande número produzindo conídios hialinos, simples, cilíndricos a aciculares-obclavados (Figura 3 A, B e D). Além disso, esse novo cercosporoide possuía fascículos com um grande número de conidióforos fortemente geniculados, sendo assim completamente diferente de *C. jatrophicola* e *C. jatrophigena* (Figura 1 B e C). Após um extenso estudo molecular, comprovou-se a nova espécie, que recebeu o nome de *Cercospora jatrophiphyla* (Dianese et al., 2014).

Além disso, folhas com partes amareladas e deprimidas contendo vários acérvulos estavam presentes em plantas de pinhão-mansão. Dois *colletotrichum* morfológicamente distintos foram isolados a partir dessas lesões (Figura 4). Um é muito semelhante a *C. gloeosporioides* (Figura 4 B, E e F) e o outro a *C. capsici* (Figura 4 C e D), como descrito por Sutton (1980). No entanto, a estabilidade das características morfológicas é influenciada pelas condições ambientais, tornando esses critérios nem sempre confiáveis para a diferenciação entre as espécies de *Colletotrichum*. Além disso, há uma sobreposição de caracteres morfológicos e de fenótipos que dificulta ainda mais a classificação utilizando apenas a identificação e a caracterização tradicionais. As técnicas moleculares fornecem métodos alternativos para estudos taxonômicos e são ferramentas importantes na solução dos problemas de delimitação de espécies em grupos com taxonomia tão complexa como *Colletotrichum* spp. (Macleán et al., 1993). Assim, até dados moleculares são fornecidos,; no entanto, não é possível confirmar que os dois isolados de *Colletotrichum* pertencem a espécies diferentes (Dianese et al., 2010).



Fotos: Alexei Dianese e José Carmine Dianese.

Figura 3. Sintomas (A); fascículos de conidióforos (B); células conidiogênicas com *loci* expressos e fortemente geniculados (C); conídio (D)



Fotos: Alexei Dianese e José Carmine Dianese.

Figura 4. Sintomas de ambos os *Colletotrichum* (A); *C. gloeosporioides*: acérvulo, células conidiogênicas e conídio, respectivamente (B, E e F); *C. capsici*: acérvulo, conídios e setas (C e D).

Escala diagramática para avaliação de severidade de ferrugem-comum em pinhão-manso

No Brasil, entre as doenças que têm ocorrência confirmada no pinhão-manso, a ferrugem-comum (*Phakopsora arthuriana* Buritica & J.F. Hennen, 1994) é amplamente disseminada (Figura 5). Ela já foi relatada ocorrendo em Mato Grosso do Sul, São Paulo, Minas Gerais e Acre (Batista et al., 2007; Dias et al., 2007). No estado de Rondônia, a ferrugem foi confirmada em lavouras comerciais nos municípios de Ariquemes e Porto Velho (Vieira Júnior et al., 2009).

A importância da doença para a cultura tem aspecto controverso, pois existem trabalhos que relatam a baixa agressividade desse patógeno, porém outros relatam que provoca desfolha severa e conseqüente redução de produção (Batista et al., 2007; Dias et al., 2007). Uma das maneiras de selecionar genótipos resistentes a doenças e pragas é quantificando-se a severidade do ataque ou dano provocado. Entende-se por severidade como “a área de tecido doente dividida pela área de tecido sadio x 100, nas plantas ou tecidos afetados”. Segundo Vale et al. (2004), a severidade é a medida que melhor expressa a quantidade de tecido lesionado pela doença.

A quantificação de severidade é comumente feita pelo uso de escalas diagramáticas. A primeira delas foi elaborada por Cobb em 1894 para avaliar a ferrugem em cereais (Cobb, 1894). Já em 1945, Horsfall e Barrat desenvolveram escala diagramática de severidade com base na lei de acuidade visual de Weber e Fechner, a qual diz que a acuidade visual do olho humano é inversamente proporcional ao logaritmo do estímulo recebido, ou seja, quanto maior o estímulo recebido, menor a capacidade de discriminá-lo (Horsfall; Barratt, 1945). A partir dessa proposição, diversas escalas foram desenvolvidas para diferentes objetivos em diversos patossistemas (Michereff et al., 2000; Diaz et al., 2001; Mazaro et al., 2006).

Para se desenvolver a escala diagramática para o patossistema ferrugem-pinhão-manso, 500 folhas dessa planta, com diferentes níveis de sintomas de ferrugem, foram coletadas aleatoriamente em campo de produção da cultura e levadas ao laboratório de Fitopatologia da Embrapa Rondônia, onde foram digitalizadas em scanner a 300 dpi de resolução. As imagens obtidas foram transferidas para computador. A partir daí, cada folha

foi analisada e a severidade da doença quantificada usando-se o programa AFSOft®, pela discriminação individual dos padrões de cores de área sadia e área doente.



A



B

Figura 5. Folha de pinhão-mansinho apresentando sintomas de ferrugem na face adaxial (A) e abaxial da folha (B).

Fotos: José Roberto Vieira Júnior

Em seguida, a escala foi validada por meio de teste por dez avaliadores, sendo cinco treinados e cinco não treinados, em que cada grupo buscou determinar a severidade real da doença em 25 folhas também coletadas em campo. Para determinar a acurácia dos avaliadores, as folhas-teste foram também digitalizadas e a severidade real foi determinada como descrito anteriormente. Avaliou-se a acurácia (R^2) das notas dadas versus a severidade real, utilizando-se ou não a escala diagramática, que foi elaborada com sete níveis de severidade, e foi obtida com base na frequência com que cada nível de severidade ocorreu dentro da coleta de 500 folhas, aplicando-se o conceito da lei da acuidade visual de Webber e Fechner.

Os resultados do teste da escala realizado pelos avaliadores treinados e não treinados são apresentados na Tabela 1. Quanto mais próximo de 1,0, mais acurado seria o

avaliador. Quanto mais próximo de zero, menos acurado seria o avaliador. Considera-se ideal acurácias superiores a 0,9. Avaliadores com acurácia inferior a 0,75 tendem a ser desconsiderados e não devem ser usados como avaliadores, dado ao elevado grau de imprecisão de suas avaliações. Os avaliadores treinados apresentaram ganhos menores pela experiência anterior com uso de escalas. Ainda assim é possível observar o efeito de “calibração visual” da avaliação promovido pelo uso da escala (Figura 6).

O efeito do uso de escala é notado fortemente em avaliadores não treinados que tenderam a superestimar ou subestimar o valor de severidade real da doença na superfície foliar. Os resultados demonstraram a importância do uso da escala diagramática para avaliar a severidade da ferrugem nas folhas de pinhão-mansão.

Tabela 1. Acurácia média (R^2) de avaliadores com e sem o uso da escala diagramática de severidade.

Avaliadores		Sem uso da escala				Média
Não treinados	0,56	0,75	0,31	0,60	0,11	0,47
Treinados	0,88	0,85	0,80	0,76	0,82	0,82
		Com uso da escala				
Não treinados	0,89	0,95	0,90	0,94	0,76	0,89
Treinados	0,92	0,99	0,93	0,98	0,97	0,96

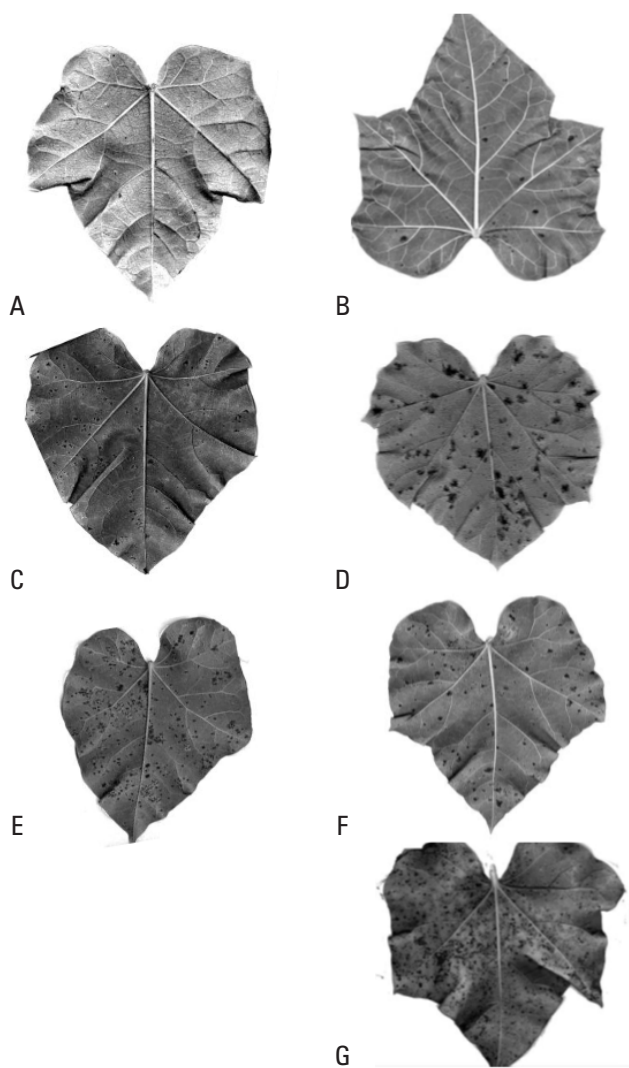


Figura 6. Escala diagramática de severidade para ferrugem do pinhão-mansão: A) 0,1%; B) 1%; C) 2%; D) 4%; E) 8%; F) 12%; G) 15%.

Fotos: José Roberto Vieira Júnior

Ocorrência de mela ou teia micélica em Rondônia

Em se tratando de doenças do pinhão-mansão, já foram relatadas, em outras regiões produtoras, a ocorrência da ferrugem [*Phakopsora jatrophicola* (Arthur) Cummins], do oídio (*Oidium haveae*) (Dias et al., 2007), gomose (*Phytophthora* spp.), *Phytophthora* spp., *Pythium* spp. e *Fusarium* spp., causando tombamento e apodrecimento de raízes; *Helmin-*

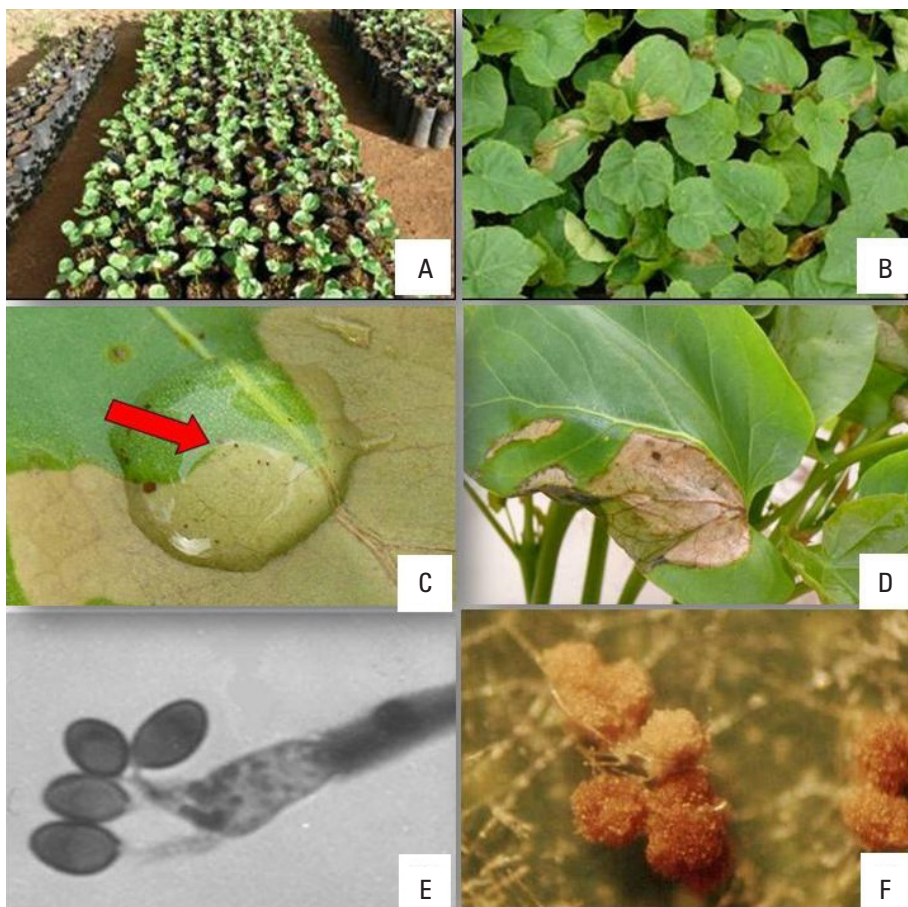
thosporium tetramera e *Pestalotiopsis paraguayensis* e *P. versicolor*, causando manchas foliares (Singh, 1983); *Cercospora jatrophae-curces*, também causando manchas foliares (Phillips, 1975; Kar; Das, 1998); além *Cassava common mosaic virus* (CsCMV), causando o mosaico-comum da mandioca.

No município de Porto Velho, RO, foi observada a ocorrência de mela ou teia micélica causada por *Thanatophorus cucumeris*, Anam: *Rhizoctonia solani*, uma doença pouco descrita nas outras regiões do País.

A ocorrência da mela foi observada durante o preparo de mudas realizado no viveiro da Embrapa Rondônia, situada em Porto Velho, RO, em fevereiro de 2008. O substrato foi preparado na proporção terra de barranco: areia lavada: esterno de 3:1:1 e, ao qual, foram adicionados para cada m³ uma quantidade de 2.000 g de calcário dolomítico (PRNT 75%), 700 g de cloreto de potássio e 700 g de superfosfato triplo, conforme recomendações de Dias et al. (2007).

As mudas foram mantidas no viveiro, a céu aberto e irrigadas com mangueira, quando da ausência de chuvas. Por questão de economia de espaço e seguindo as recomendações de produção, as sacolas foram mantidas unidas, havendo, pois, à época de enfolhamento, contato entre folhas de plantas diferentes e microclima com acúmulo de umidade sob a folhagem. Aos 20 dias após o plantio, mudas que localizavam-se no centro do viveiro começaram a apresentar sintomas do ataque da doença (Figura 7). Os sintomas iniciais foram pequenas manchas de aspecto aquoso, de cor mais clara que as partes sadias da folha, com bordos de cor castanho-escuro a marrom, os quais rapidamente migraram para sintomas do tipo escaldadura, com aspecto seco e de cor palha. Sobre as lesões, era possível observar a presença de microescleródios de cor branca à marrom-clara (Figura 7).

As mudas foram levadas ao laboratório de fitopatologia da Embrapa Rondônia, onde procedeu-se à identificação do agente etiológico. Para tanto, procedeu-se inicialmente ao isolamento direto do patógeno, conforme descrito em Dhingra e Sinclair (1995). Concomitantemente, o micélio foi retirado dos tecidos atacados, os quais foram levados ao microscópio para visualização das estruturas do fungo. Foram observadas hifas típicas de *Rhizoctonia solani*, e, também, em algumas lesões, foi possível identificar a presença de basídios e basidiósporos típicos da fase teleomórfica do fungo *T. cucumeris*. Essas estruturas foram comparadas com as colônias isoladas em meio de cultura batata-dextrose-água, confirmando a presença do patógeno.



Fotos: José Roberto Vieira Júnior

Figura 7. Disposição das mudas de pinhão-manso no viveiro (A); sintomas iniciais de mela no centro do viveiro (B); presença de microescleródios sobre uma folha de pinhão-manso com sintomas de mela ou teia micélica (C); sintomas de mela ou teia micélica em pinhão-manso (D); características morfológicas de *Thanatephorus cucumeris*, isolado de folhas com sintomas de mela ou teia micélica (E); características morfológicas de *Rhizoctonia solani*, isolada folhas com sintomas de mela ou teia micélica, apresentando microescleródios produzidos sobre o tecido (F).

Os sintomas observados nas folhas condizem com aqueles encontrados em outras culturas, como eucalipto, soja e feijão, que são hospedeiros suscetíveis tanto da forma perfeita (ou teliomórfica) *Thanatephorus cucumeris* quanto da forma imperfeita (ou anamórfica) *Rhizoctonia solani* e durante o ataque do patógeno. Ademais, as características morfológicas do fungo, observadas tanto em meio de cultura quanto sob microscópio

ótico, são do fungo descrito acima. Esse fungo, na sua forma anamórfica, tem elevada capacidade de sobrevivência saprofítica, estágio em que passa a maior parte de sua vida no solo (Agrios, 2005).

Entretanto, sob condições de elevada temperatura e umidade – condições essas que prevalecem no período em que foi realizado o plantio das sementes e condução das mudas – e, na presença de um hospedeiro suscetível, o fungo torna-se patogênico e rapidamente se multiplica sobre os tecidos tenros do hospedeiro, liberando enzimas que degradam o tecido, o que provoca perda do conteúdo celular e subsequente queima dos tecidos. Em muitos casos, é possível observar que os tecidos mortos ficam aderidos à planta, dando a impressão de que as folhas estão “flutuando” desconectadas da planta. Esse fenômeno se dá em razão da elevada resistência das hifas do fungo, na sua fase anamórfica, que se ligam ao tecido morto e ficam também aderidas à planta.

Em razão do íntimo contato entre as plantas, a doença rapidamente se espalha pelo viveiro, com a ajuda da irrigação, disseminando a doença. Também, a disseminação a longas distâncias é favorecida pelos basidiósporos, que são produzidos sobre os tecidos atacados e que são rapidamente disseminados pelo vento ou por respingos de chuva ao atingirem o solo ou o substrato, durante a irrigação.

Na ausência de um hospedeiro suscetível, o patógeno pode sobreviver, tanto na forma saprofítica, quanto na forma de escleródios, que são estruturas de resistência do fungo, podendo permanecer inativos por anos (Agrios, 2005).

Em campo, a maioria das mudas transplantadas não apresentou sintomas de doença, haja vista que o espaço entre as mudas é maior (3 m x 3 m) e a altura de plantas ultrapassa os 60 cm, dificultando o contato dos respingos de chuva com as folhas jovens da planta. Por isso, é importante que, durante o preparo de mudas, algumas recomendações sejam seguidas, a fim de se evitar a ocorrência dessa doença no viveiro.

- a) Usar substrato tratado ou solo de áreas onde não tenha havido plantio de espécies suscetíveis ao patógeno.
- b) Evitar fazer irrigação com mangueira. Não sendo possível, aumentar o intervalo de regas ao máximo, sem provocar estresse hídrico nas plantas. Preferencialmente, deve-se usar irrigação por gotejamento.

- c) Não adensar demais as plantas dentro do viveiro. Deve-se evitar o contato das folhas ao máximo. Não sendo possível, o ideal é aplicar, semanalmente, uma calda fungicida à base de cobre (calda bordalesa, calda viçosa, oxicleto de cobre, hidróxido de cobre, etc). A aplicação deve ocorrer logo após a irrigação, caso seja feita por aspersão ou mangueira, preferencialmente no período da tarde.
- d) Realizar inspeções diárias no viveiro. A qualquer sinal de sintomas, a muda doente e aquelas adjacentes a doente devem ser removidas (dentro de sacolas plásticas) e queimadas longe do viveiro.

Pragas de pinhão-manso no Distrito Federal

Broca-do-pinhão-manso

As espécies atualmente no gênero *Cophes* Champion já pertenceram aos gêneros *Coelosternus* Schonherr e *Sternocoelus*. A espécie *C. notaticeps* (Marshall, 1925) (Coleoptera: Curculionidae) foi registrada pela primeira vez em plantas de pinhão-manso por Bondar no estado da Bahia (Costa Lima, 1922, 1956; Silva et al., 1968).

Os adultos da broca-de-pinhão-manso (*C. notaticeps*) são besouros de aproximadamente 10 mm a 12 mm de comprimento, apresentam o corpo recoberto por escamas de coloração marrom, com manchas brancas e pretas, principalmente sobre os élitros (asas) (Figura 8). O aparelho bucal é do tipo mastigador como um prolongamento em forma de tubo. Os ovos dessa espécie são depositados no troco das plantas de *J. curcas*, próximos ao solo. As larvas apresentam coloração amarelada, cabeça marrom-avermelhada e não possuem pernas. Após a eclosão, as larvas penetram no interior do tronco e passam a se alimentar do tecido vegetal. A fase de pupa ocorre no interior dos troncos e, após a emergência, os besouros abandonam as plantas. Não existem estudos sobre a biologia de *C. notaticeps* em pinhão-manso.

As primeiras plantas de pinhão-manso atacadas por *C. notaticeps* foram detectadas a partir dos 3 anos de idade. Os sintomas de ataque foram detectados em junho de 2010, quando se observou no interior dos troncos a presença de larvas bem desenvolvidas e de algumas pupas. Os adultos, em sua maioria, emergiram em setembro de 2010. Essas informações sugerem que o ciclo do inseto deve ser longo. Provavelmente as infestações, no

Cerrado, devem se iniciar na estação chuvosa e os imaturos se desenvolvem no interior das plantas durante a estação seca, tornando-se adultos com a proximidade da nova estação chuvosa (Oliveira et al., 2011).



Figura 8. Adultos da broca-do-pinhão-mansô (*Cophes notaticeps*).

As plantas atacadas apresentavam, próximo à base, pequenos orifícios com exudação de resina. No interior dos troncos, à medida que as larvas se desenvolviam e se alimentavam, foram surgindo galerias que atingiram cerca de 15 mm de diâmetro (Figura 9). Nessas galerias, foi possível encontrar serragem acumulada. As larvas sempre percorreram o tronco em direção às raízes e não foram encontradas plantas com a parte superior do tronco ou as hastes atacadas pela praga. À medida que as galerias provocadas pela praga aumentaram, o transporte de seiva foi prejudicado e as plantas tornaram-se suscetíveis ao tombamento e posterior morte.



Figura 9. Danos provocados por *Cophes notaticeps* em plantas de pinhão-manso.

Não existem inseticidas registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) para o controle de *C. notaticeps* em pinhão-manso, havendo apenas um produto registrado para cigarrinhas do gênero *Emposca* Walsh.

Recomendam-se, no entanto, práticas culturais que visam reduzir a população da praga. Deve-se proceder ao monitoramento sistemático das plantas e a remoção e destruição (queima) daquelas com sintomas de ataque da praga, evitando que os adultos, após a emergência, colonizem plantas saudias dentro da área de plantio.

Ácaro-branco

Espécie de ampla distribuição no Brasil, o ácaro-branco [*Polyphagotarsonemus latus* (Banks, 1904) (Acari: Tarsonemidae)] tem sido registrado no País desde a década de 1930 (Bitancourt, 1935), danificando diversas espécies vegetais, inclusive de interesse econômico, pertencentes a mais de 60 famílias botânicas (Gerson, 1992; Peña, 1994). Os primeiros relatos da ocorrência de ácaro-branco em *J. curcas* datam das décadas de 1970 e 1980 em São Paulo (Peixoto, 1973) e Minas Gerais (Drummont et al., 1984).

Os adultos apresentam coloração branca translúcida, logo após a eclosão e, posteriormente, uma coloração amarelada brilhante (Vieira; Chiavegato, 1998). As fêmeas medem cerca de 0,17 mm de comprimento, e os machos, aproximadamente, 0,14 mm (Moraes; Flechtman, 2008). No macho o quarto par de pernas é forte e robusto, enquanto, na fêmea, o quarto par de pernas forma uma estrutura simples e alongada (Jeppson et al., 1975). Os ovos dessa espécie são de coloração branca e cobertos por tubérculos esféricos. Após a eclosão, as larvas, que possuem três pares de pernas e apresentam coloração branco-opaca, passam por um período de mobilidade. Após esse período, tornam-se imóveis, dando origem às pupas. A reprodução é do tipo sexuada, podendo ocorrer a partenogênese arrenótoca (Vieira; Chiavegato 1998). Machos carregam a pupa, que originarão fêmeas, aderidas à papila genital (Vieira; Chiavegato, 1998). Em acessos de pinhão-manso, o período de ovo a adulto varia de cerca de 3,5 a 4,1 dias, e as fêmeas podem viver entre 11,1 e 12,2 dias (Lopes, 2009).

Durante os estudos, constatou-se a presença do ácaro-branco nos meses de setembro e outubro, época que marca o início do período chuvoso e a emissão de brotos e folhas novas, alvo preferencial do ataque da praga.

O ácaro-branco possui o hábito de atacar em reboleiras. Inicialmente os brotos e folhas novas ficam um pouco enrugados, progressivamente as folhas passam a ficar com os bordos voltados para baixo, tornando-se então coriáceas e apresentando um aspecto vítreo na face abaxial. O ataque do ácaro-branco provoca a queda das folhas, a morte do ponteiro, o que pode retardar o crescimento da planta e o surgimento de flores e frutos (Figura 10).

Não existem acaricidas registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) para o controle de *P. latus* em pinhão-manso.

Ácaro-vermelho

O ácaro-vermelho [*Tetranychus bastosi* Tuttle, Baker & Sales, 1977 (Acari: Tetranychidae)] foi registrado pela primeira vez no Brasil em 1977 atacando plantas de *Morus rubra* L. no estado do Ceará (Tuttle et al., 1977). Sua presença também já foi relatada em diversas outras espécies vegetais, como mandioca, amora e plantas daninhas (Tuttle et al., 1977; De Moraes; Delalibera, 1992; Bolland et al., 1998). O primeiro relato da ocorrência dessa espécie em pinhão-manso foi feita em 2006 no estado de Sergipe (Santos et al., 2006).

Os machos de *T. bastosi* apresentam coloração verde, e as fêmeas, vermelho-rubra (Tuttle et al., 1977; Vasconcelos, 2011). Os machos medem aproximadamente 0,5 mm; as fêmeas têm aspecto arredondado e os machos, de tamanho menor, corpo mais afilado (Flechtman, 1972). Não há outras informações disponíveis sobre a biologia dessa espécie.

O ácaro-vermelho foi observado durante os meses de setembro e outubro, porém sua presença foi constatada após o aparecimento do ácaro-branco, e sempre associada à presença de folhas mais desenvolvidas.

Essa espécie prefere atacar as folhas mais velhas. Pode ser encontrada na face inferior das folhas, ao longo da nervura principal, distribuindo-se por todo o limbo. A espécie *T. bastosi* tem o hábito de tecer teias. Provoca manchas branco-acinzentas e prateadas na face inferior das folhas. Com a progressão do ataque, as folhas se tornam encarquilhadas e ocorre a queda prematura (Figura 10).



Fotos: Charles Martins

Figura 10. Folhas de pinhão-manso com sintomas de ataque de ácaros.

Não existem acaricidas registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) para o controle de *T. bastosi* em pinhão-manso.

Outras pragas

Durante os estudos, observou-se também a presença de percevejos do gênero *Pachycoris* Burmeister (Hemiptera: Scutelleridae) e de cigarrinhas do gênero *Empoasca* (Hemiptera: Cicadellidae), contudo os níveis populacionais foram baixos, não se registrando danos.

Insetos-praga em pinhão-manso no estado de Rondônia

Cigarrinha-verde

Quanto à infestação por pragas, já foram observados, em outras regiões produtoras, a cigarrinha-verde [(*Empoasca* sp.) (Hemiptera: Cicadellidae)], o percevejo [*Pachycoris torridus* Scopoli, 1772 (Hemiptera: Scutelleridae)], o ácaro-branco [*Polyphagotarsonemus latus* Banks, 1904 (Acari: Tarsonemidae)], o ácaro-vermelho [*Tetranychus* sp. (Acari: Tetranychidae)] e o tripses [*Selenothrips rubrocinctus* (Thysanoptera: Thripidae) (Saturnino et al., 2005)]. Em Rondônia, também foi observada a ocorrência do percevejo *P. torridus* e do ácaro-branco *P. latus*.

No Brasil, o termo “cigarrinhas” tem sido usado para se referir a uma diversidade de insetos pertencentes a várias famílias da subordem Auchenorrhyncha (exemplo: cicadélídeos, cercopídeos, delfacídeos, membracídeos, entre outros) (Valério; Nakano, 1988). Entre as diferentes espécies desse grupo, as cigarrinhas-verdes são importantes pragas das culturas de amendoim, batata, feijão, lentilha e mamão (Gallo et al., 2002), e, dentre as euforbiáceas, a mamona e o pinhão-manso (Batista et al., 2004).

Durante seu desenvolvimento, as cigarrinhas passam pelas fases de ovo, ninfa e adulta. Possuem aparelho bucal do tipo sugador, com o qual se alimentam da seiva das plantas. Os insetos adultos do gênero *Empoasca* possuem coloração verde, medem cerca de 3 mm de comprimento, são muito ágeis e possuem uma longevidade média de 60 dias.

As fêmeas preferem ovipositar próximo às nervuras das folhas. As ninfas eclodem de oito a dez dias após a postura, e possuem cinco estádios de desenvolvimento, que se

completam entre oito e 15 dias; possuem coloração esverdeada, semelhante à dos adultos e têm o hábito de andar lateralmente (Gallo et al., 2002; Quintela, 2004).

Os insetos alojam-se nas faces ventrais (abaxial) das folhas e, conseqüentemente, as tornam ligeiramente recurvadas para dentro. Os principais sintomas observados nas plantas são o amarelecimento, o encarquilhamento e uma leve curvatura, para baixo, das folhas de toda planta. Os insetos também causam o abortamento de flores como consequência da ação da sucção da seiva da planta atacada (Saturnino et al., 2005; Dias et al., 2007; Oliveira et al., 2010). Conforme aumenta a intensidade do ataque de cigarrinhas, as folhas passam de amarelas a necrosadas, começando da borda até o centro.

As cigarrinhas sugam constantemente a seiva das plantas, comprometendo a sua capacidade fotossintética. Quando os insetos introduzem seus estiletes na planta para sucção, atingem o floema, logo ocorre a hipertrofia, a desorganização e a granulação das células e a consequente obstrução dos vasos condutores.

Ao sugarem as plantas, os insetos injetam substâncias tóxicas presentes em sua saliva no sistema vascular das plantas, podendo causar fitotoxicidade (Gallo et al., 2002), o qual reduz os teores de proteína bruta, ácidos graxos e minerais, com consequente queda na qualidade nutricional da planta (Caetano et al., 1987).

Também é ressaltada a transmissão por *Empoasca* spp. de uma doença não contagiosa de plantas denominada "Hopperburn" (queima por sucção). Essa enfermidade é causada por uma interação dinâmica entre estímulos complexos do inseto e respostas complexas da planta, resultando em dano direto pela alimentação do inseto. Os insetos que a induzem são pragas de grande importância agrícola em todo o mundo por serem altamente destrutivas, causando grandes perdas no rendimento de culturas e custos de controle (Backus et al., 2005).

Os ataques severos das pragas às plantas de pinhão-mansinho podem comprometer a sua produção. De acordo com Quintela (2004), as perdas podem ser superiores a 60%. O monitoramento da ocorrência da cigarrinha-verde (*Empoasca* sp.) foi realizado em duas áreas distintas em plantios realizados no município de Porto Velho, RO. Na primeira (Área 1), o cultivo foi implantado em fevereiro de 2008 e, na segunda (Área 2), em fevereiro de 2009. Ambas possuem 1,57 ha e os plantios foram realizados com espaçamentos de 3,0 m x 3,0 m. Foram amostradas quinzenalmente dez plantas aleatoriamente, observando-

-se uma folha de cada face da planta, em seu terço médio, na parte abaxial, fazendo-se a contagem de todos os adultos e ninfas. Foram realizadas amostragens durante os meses de julho de 2010 a junho de 2011.

Em termos temporais, a ocorrência da cigarrinha foi similar entre as áreas avaliadas, com pequena variação na flutuação populacional, na Área 1. A produção das plantas de pinhão-manso atacadas severamente pela praga pode ser seriamente comprometida em razão da redução da área fotossintética e também do abortamento de flores. As perdas quantificadas na cultura do feijoeiro podem ser superiores a 60% (Quintela, 2004).

Foram verificadas, em ambas as áreas de estudo, folhas amareladas e encarquilhadas e, em alguns casos, folhas necrosadas que são sintomas de plantas severamente atacadas pela *Empoasca* sp. Esses dados corroboraram os encontrados por Saturnino et al. (2005) nessa mesma cultura.

Confirmou-se a presença de cigarrinha-verde (*Empoasca* sp.) nas duas áreas de pinhão-manso estudadas. A ocorrência de cigarrinha-verde em termos temporais foi similar nas duas áreas, porém com pequena variação na flutuação populacional, sendo maior na Área 1. Quanto à ocorrência, foi maior no período compreendido entre os meses de março a maio em 2011 e com uma projeção para que esses resultados se repetissem em 2012 (Figura 11).

Verificou-se pequena incidência da praga no mês de julho de 2010 e julho de 2011 e um período sem ocorrência da mesma (agosto a novembro de 2010 e de 2011). Período esse que coincide com parte do período seco em Porto Velho (agosto a setembro), quando as plantas ficaram desfolhadas (Figura 11). De acordo com Saturnino et al. (2005), o pinhão-manso apresenta abscisão foliar na estação seca e as folhas ressurgem logo após as primeiras chuvas.

Apesar de visualmente na Figura 3 os índices de incidência da *Empoasca* sp. estarem relacionados com os índices de precipitação pluviométrica, na Tabela 2 a relação dos dois fatores tem uma correlação parcial de 0,2949 para as ninfas e de 0,243 para os adultos confirmada em teste t a 1% de probabilidade. Isso indica que o fator climático de precipitação pluviométrica tem influencia sobre a incidência da *Empoasca* sp.. Esse resultado se assemelha com o obtido por Oliveira et al. (2010).

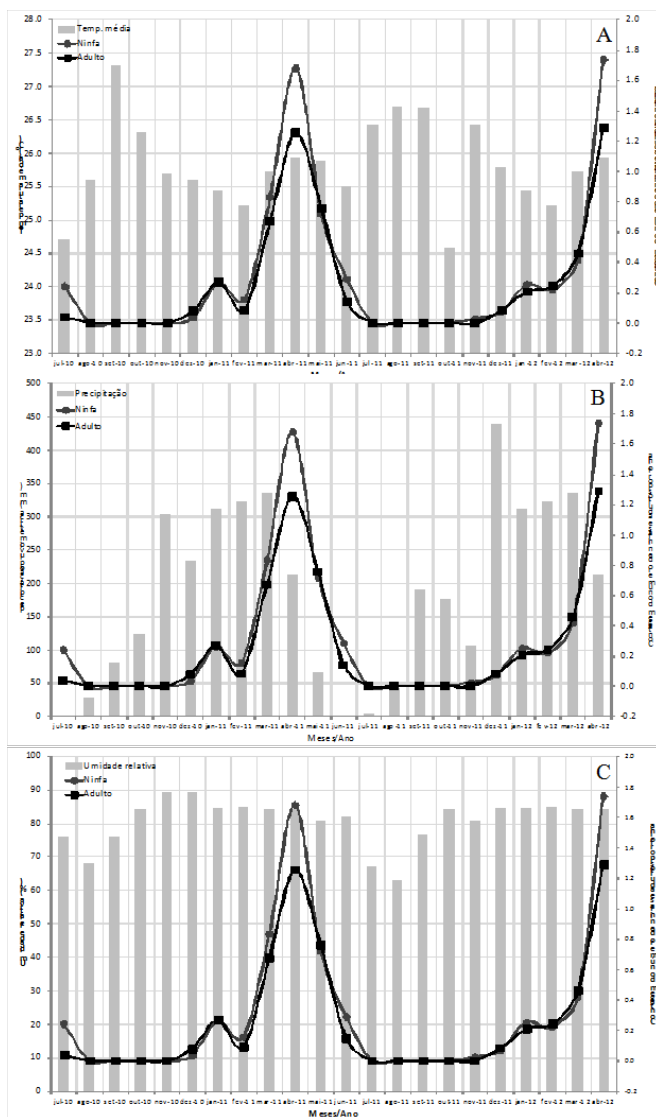


Figura 11. Flutuação populacional das médias de ninfas e adultos de *Empoasca* sp. correlacionados com a temperatura média (A), precipitação pluviométrica (B) e umidade relativa (C) de cultivo de pinhão-manso em Porto Velho, RO.

Tabela 2. Estimativas de correlações simples e parcial do monitoramento de ninfas e adultos de *Empoasca* sp. com dados meteorológicos. Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO, julho de 2010 a abril de 2012.

Pares de características	r	$r'_{xy.z}$
Ninfa x temp. média	-0,060	-0,2916**
Ninfa x U.R.	0,249	0,1463**
Ninfa x precip.	0,143	-0,2649**
Adulto x temp. média	-0,041	-0,2713**
Adulto x U.R.	-0,279	0,1143**
Adulto x Precip.	0,202	-0,243**

U. R.: umidade relativa; r : correlação linear simples; $r'_{xy.z}$: correlação parcial; **: Significativo a 1% de probabilidade de acordo com o teste t.

A temperatura média apresentou baixa influência sobre os índices de *Empoasca* sp. (Figura 11), mas houve correlação parcial de 0,2916 para as ninfas e de 0,2713 para os adultos (Tabela 2). Dessa forma, a temperatura média mostrou-se o fator de maior influência climática dentre as variáveis avaliadas sobre os índices de *Empoasca* sp. em cultivo de pinhão-manso.

As médias de adultos e ninfas foram relacionadas com o fator climático umidade relativa do ar e foi observado que a diminuição da umidade não coincide com a diminuição dos índices populacionais de *Empoasca* sp. A correlação parcial desse fator 0,1463 para as ninfas é 0,1143 para os adultos, sendo dos fatores avaliados o de menor influência sobre os índices populacionais da praga discordando dos resultados obtidos por Santos (2007) em mamona.

Os danos provocados pela cigarrinha-verde em pinhão-manso são minimizados em Rondônia, em comparação com outras regiões do País, possivelmente pela colheita de 'maior produção' ocorrer nos meses de dezembro a janeiro. Período esse em que há enfloramento das plantas, em razão do período chuvoso e fora do pico populacional da praga. Apesar disso, é necessário continuar os estudos sobre a ocorrência e, principalmente, sobre a flutuação populacional de cigarrinha-verde na região.

As oscilações de indivíduos podem caracterizar diversos comportamentos de dinâmica populacional e esses estudos em pragas agrícolas não devem ser restritos a um ou dois anos conforme tem ocorrido no Brasil. É preciso que haja empenho da comunidade científica na obtenção de dados, para que as séries temporais abranjam períodos de tempo maiores e, assim, possam ser adequadamente analisadas (Hickel et al., 2007). Os conhecimentos resultantes dessas pesquisas são importantes para elucidar o nível de dano da cultura do pinhão-manso em Rondônia e contribuem para definir estratégias adequadas de controle e manejo integrado da praga.

Há ocorrência de cigarrinha-verde em pinhão-manso, em Porto Velho, RO, e os maiores picos populacionais do inseto-praga ocorrem nos meses de março a maio. Os fatores climáticos de precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar e temperatura média exercem influência sobre os índices populacionais – tanto o aumento como a diminuição –, não sendo esses os fatores principais.

Quanto à ocorrência, foi maior no período compreendido entre os meses de março e maio. Essa temporalidade está situada na condição observada por Oliveira et al. (2010) em Mato Grosso do Sul, onde foram verificadas maiores ocorrências nos meses de fevereiro a maio. Verificou-se pequena incidência da praga no mês de julho de 2010 e um período sem ocorrência (agosto a novembro de 2010), que coincide com parte do período seco em Porto Velho (agosto a setembro), quando as plantas ficaram desfolhadas, uma vez que o pinhão-manso apresenta abscisão foliar na estação seca, as quais ressurgem logo após as primeiras chuvas.

Provavelmente os danos provocados pela cigarrinha-verde em pinhão-manso sejam minimizados em Rondônia, em comparação com outras regiões do País, porque a colheita da maior produção ocorre nos meses de dezembro a janeiro, portanto, logo após o enfolhamento das plantas, no período chuvoso e fora do pico populacional da praga.

Mesmo assim, é necessário continuar os estudos sobre a ocorrência e, principalmente, a flutuação populacional de cigarrinha-verde na região. De acordo com Hickel et al. (2007), as oscilações de indivíduos podem caracterizar diversos comportamentos de dinâmica populacional, e esses estudos em pragas agrícolas não devem ser restritos a um ou dois anos, prática comum no Brasil. É preciso perseverança na coleta de dados, para que as séries temporais abranjam períodos de tempo maiores e, assim, possam ser adequadamente analisadas. Os conhecimentos resultantes dessas pesquisas serão importantes para

elucidar o nível de dano à cultura do pinhão-manso em Rondônia e para definir estratégias adequadas de controle e manejo integrado da praga.

Foi confirmada a ocorrência de cigarrinha-verde em pinhão-manso, em Porto Velho, RO, onde os maiores picos populacionais acontecem nos meses de março a maio.

Percevejo

Entre os insetos-praga que afetam a cultura do pinhão-manso, o percevejo [*Pachycoris torridus* Scopoli, 1772 (Hemiptera: Scutelleridae)] encontra-se amplamente disseminado. Em Rondônia a sua ocorrência foi registrada por Costa et al. (2011), que relataram a ocorrência do percevejo em 56,7% das plantas amostradas, encontrados em todas as suas fases, em média, de 1,8 adultos, 4,5 ninfas e 10,3 ovos por planta.

As euforbiáceas, tais como pinhão-manso, mandioca e espécies dos gêneros *Croton* e *Cnidocolus*, são potencialmente hospedeiras de percevejos do gênero *Pachycoris*. A herbivoria por esses insetos tem sido reportada por diminuir a produtividade de plantas hospedeiras (Wink et al., 2000; Peredo, 2002; Santos et al., 2005).

Os adultos de *P. torridus* apresentam variações no padrão das manchas e cores do seu corpo (Figuras 12 e 13), frequentemente com oito manchas no pronoto e 14 no escutelo, amarelas ou vermelhas. As variações de cores não são hereditárias e somente fatores externos são determinantes.

A parte ventral do corpo é verde-metálica (Monte, 1937). Medem de 12 mm a 15 mm de comprimento e de 8 mm a 9 mm de largura (Gallo et al., 2002). As fêmeas protegem suas posturas localizadas nas folhas (Figura 13), o que é uma característica da espécie, permanecendo sobre as mesmas, constantemente.

As ninfas de coloração vermelha (Figura 12) ou verde-metálica (Figura 13) vivem durante o primeiro instar, agregadas e sob proteção maternal e, nos demais instares, em grupos menores ou isoladas. Na fase adulta, os percevejos ficam sobre folhas e frutos verdes e maduros, localizadas em diferentes estratos das plantas. Todos os estágios ocorrem concomitantemente.

Os frutos atacados tornam-se, inicialmente, escuros e deformados, e posteriormente caem. Também ocorre o chochamento das sementes em razão da sucção de frutos

imaturos. O presente trabalho objetivou determinar a flutuação populacional do percevejo *P. torridus* em plantio de pinhão-manso, em Porto Velho, RO.

O estudo foi realizado na Embrapa Rondônia, em Porto Velho, RO, situada no km 5,5 da rodovia BR 364, sob as coordenadas de 8°46' de latitude sul e 63°5' de longitude oeste e altitude de 96,3 m. O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, de textura argilosa.

De acordo com o sistema de classificação de Köppen, o clima do município de Porto Velho é do tipo Aw, tropical chuvoso, apresentando uma estação relativamente seca durante o ano, com temperaturas médias anuais de 25,5 °C, máxima de 31,5 °C e mínima de 20,7 °C. A umidade relativa do ar varia entre 75% e 88%, em média. A média anual da precipitação pluvial varia entre 2.200 mm ano⁻¹ a 2.300 mm ano⁻¹.

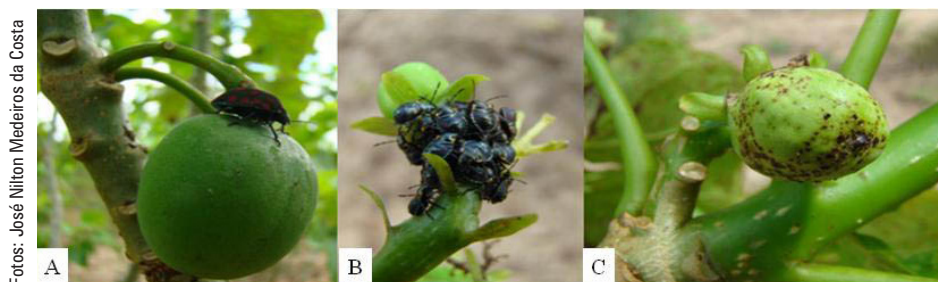


Figura 12. insetos adultos do percevejo *P. torridus*, destacando-se as variações no padrão das manchas e cores de seus corpos (A); fêmea do percevejo sobre ovos (B); sobre ninfas (C).'



Figura 13. Percevejo *P. torridus* sobre o fruto de pinhão-manso (A); ninfas de coloração verde-escura metálica na base do fruto (B); fruto com sinais do ataque do percevejo (pontos e manchas escuras) (C).

As avaliações foram efetuadas quinzenalmente em uma área de pinhão-manso de 1,57 ha, plantado no espaçamento de 3,0 m x 3,0 m. Por ocasião de cada amostragem, foram avaliadas dez plantas ao acaso, sendo observadas por inteiro suas partes aéreas (caules, ramos, folhas e frutos), verificando-se a ocorrência ou não do inseto-praga em seus diferentes estádios de desenvolvimento (ovo, ninfa e adulto).

Foram realizadas amostragens durante os meses de setembro de 2009 a agosto de 2010 e de setembro de 2010 a julho de 2011. Considerou-se, a partir do início das avaliações, a cada 12 meses, um período anual da flutuação populacional (FP) do percevejo *P. torridus*, para as condições do estudo.

Os percevejos adultos e suas formas imaturas (ovos e ninfas) encontrados eram contados e anotados em fichas de campo para posteriormente serem processadas em planilhas eletrônicas e submetidas à análise estatística descritiva.

Nos meses de setembro e outubro de 2009, não houve ocorrência do percevejo, o que aconteceu a partir de novembro de 2009 até julho de 2010. A maior porcentagem média de plantas infestadas pela praga ocorreu nos meses de março e abril de 2010, quando 50% das plantas amostradas estavam infestadas com o inseto na fase adulta. Também, somente nesse período, foram constatados outros estádios de desenvolvimento da praga (ovos e ninfas) (Figura 13).

No segundo período anual de avaliação da FP do inseto-praga (setembro de 2010 a julho de 2011), verificou-se uma temporalidade menor de sua ocorrência (janeiro a abril de 2011) em relação ao período anterior, como também foi menor a porcentagem de plantas infestadas, observando-se o máximo de 20% em janeiro de 2011 (Figura 14).

Existem poucos relatos acerca da época de ocorrência do percevejo em pinhão-manso. Segundo Saturnino et al. (2005), entre junho de 2004 e maio de 2005, o inseto estava presente em todos os plantios de pinhão-manso visitados pelos autores em Minas Gerais. Durante o mês de abril do ano 2001, foi constatada a presença de *P. torridus* alimentando-se de frutos de acerola em plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, no município de Piracicaba, SP (Soto; Nakano, 2002).

A FP no primeiro período anual da avaliação foi caracterizada por pequena quantidade de insetos (menos de um espécime adulto por planta) durante todo o ano, exceto nos meses de março e abril de 2010, quando ocorreu o pico populacional da praga. No mês de

março de 2010, foi encontrado o maior número de insetos, em todas as fases, registrando-se, em média, 2,3 adultos, 3,9 ninfas e 12,3 ovos por planta (Figura 15).

No segundo período, comparado ao primeiro, a presença de insetos em pinhão-mansó ainda foi menor, ocorrendo durante o pico populacional (abril de 2011) apenas a média de 0,3 insetos adultos, 1,5 ninfas e 2,3 ovos por planta (Figura 15).

Os percevejos *P. torridus* ocorreram no decorrer da estação chuvosa (novembro a março) até os primeiros meses do período seco (junho e julho). Os picos populacionais da

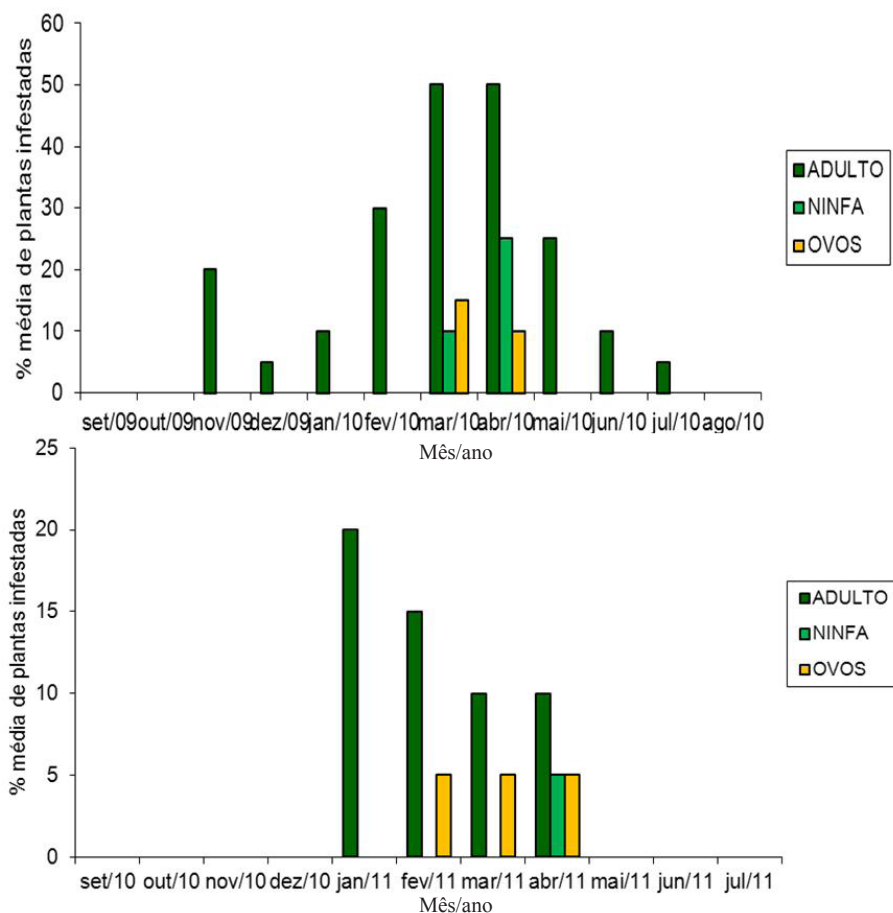


Figura 14. Porcentagem média de plantas (pinhão-mansó) infestadas pelo percevejo *P. torridus* no período de setembro de 2010 a julho de 2011, em Porto Velho, RO.

praga aconteceram durante os meses de março e abril, provavelmente em virtude da influência climática, pois, considerando os frutos como alimento preferencial dos percevejos, a intensidade de frutificação nesse período é muito menor que de novembro a janeiro.

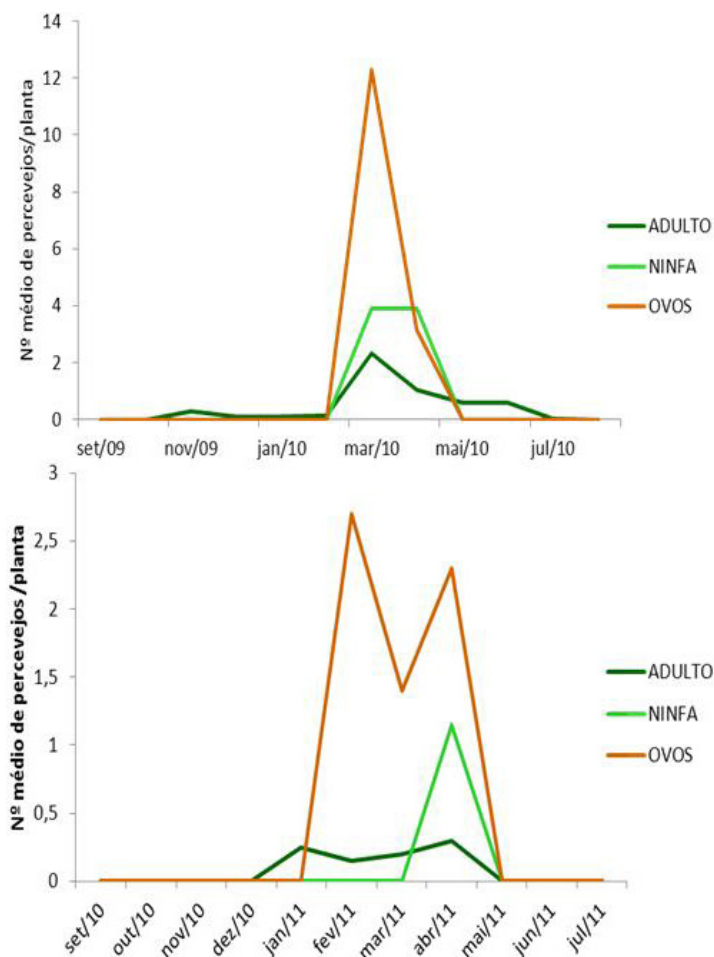


Figura 15. Número médio de percevejo *P. torridus*, nos diferentes estádios de desenvolvimento, no período de setembro de 2009 a julho a 2011, em pinhão-mansó sob cultivo em Porto Velho, RO.

De acordo com Hickel et al. (2007), as oscilações de indivíduos podem caracterizar diversos comportamentos de dinâmica populacional, e esses estudos em pragas agrícolas não devem ser restritos a um ou dois anos, conforme é prática comum no Brasil. É preciso

que as séries temporais abrangam períodos de tempo maiores e, assim, possam ser adequadamente analisadas. Também os conhecimentos resultantes dessas pesquisas serão importantes para elucidar o nível de dano à cultura do pinhão-mansinho em Rondônia e para definir estratégias adequadas de controle e manejo integrado da praga.

O percevejo *P. torridus* em pinhão-mansinho, em Porto Velho, Rondônia, nas condições em que foi realizada a pesquisa, ocorre em períodos de tempo variáveis, sendo o maior compreendido entre os meses de novembro e julho e o menor entre janeiro e abril. Os picos populacionais da praga ocorrem nos meses de março e abril.

Referências

- AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 5th ed. Oxford: Academic Press Publications, 2005. 952 p.
- ALVES, J. M. A.; SOUSA, A. de A.; SILVA, S. R. G. da; LOPES, G. N.; SMIDERLE, O. J.; UCHÔA, S. C. P. Pinhão-mansinho: uma alternativa para produção de biodiesel na agricultura familiar da amazônia brasileira. **Agroambiente On-Line**, v. 2, n. 1, p. 57-68, 2008. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v2i1.160.
- AVELAR, R. C.; JUNCO, B. B.; CASTRO NETO, P.; FRAGA, A. C. Incidência de oídio (*Oidium heveae*) em acessos do banco de germoplasma de pinhão-mansinho da UFLA. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia: ABIPTI, 2007. 1 CD-ROM.
- BACKUS, E. A.; SERRANO, M. S.; RANGER, C. M. Mechanisms of hopperburn: an overview of insect taxonomy, behavior, and physiology. **Annual Review of Entomology**, v. 50, p. 125-151, 2005. DOI: 10.1146/annurev.ento.49.061802.123310.
- BANJO, A. D.; LAWAL, O. A.; AINA, S. A. The entomofauna of two medicinal Euphorbiaceae in southwestern Nigeria. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 2, p. 858-863, Jan. 2006.
- BARNETT, H. L.; HUNTER, B. B. **Illustrated genera of imperfect fungi**. 4th ed. St. Paul: APS Press, 1998. 28 p.
- BATISTA, J. F.; GOMES, L. I.; LIMA, C. S.; CARVALHO, D. D.; PFENNING, L. H. Cultivo de pinhão mansinho (*Jatropha curcas*) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 32, p. 141, 2004.
- BATISTA, J. F.; GOMES, L. I.; LIMA, C. S.; CARVALHO, D. D.; PFENNING, L. H. Primeiro relato de *Phakopsora jatrophiicola* em *Jatropha gossypifolia* no estado do Acre. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 141, ago. 2007. Suplemento. Edição dos resumos do XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá.

- BITANCOURT, A. A. Doenças do algodoeiro. **O Biológico**, v. 1, p. 157-159, 1935.
- BOLLAND, H. R.; GUTIERREZ, J.; FLECHTMANN, C. H. W. **World catalogue of the spider mite family (Acari: Tetranychidae)**. Leiden: Brill, 1998. 392 p.
- BRAUN, U. Taxonomic notes on some species of the *Cercospora* complex (VII). **Fungal Diversity**, v. 8, n. 2, p. 41-71, Oct. 2001.
- CAETANO, W.; BERTOLDO, N.; CARLESSI, L. R.; HEINECK, M. A.; EICK, V. L. Teste de inseticidas no controle da cigarrinha verde *Empoasca kraemeri* (Ross e Moore, 1957) (Homoptera, Cicadellidae) na cultura do feijoeiro. **Agronomia Sulriograndense**, v. 23, n. 1, p. 103-108, 1987.
- Chupp, J. C. **A monograph of the fungus genus *Cercospora***. Ithaca: Yale University, 1954. 667 p.
- COBB, N. A. **Contributions to an economic knowledge of Australian rusts (Uredineae): improving wheat by selection**. [S.l.]: C. Potter, Government Printer, 1894. 14 p.
- COSTA LIMA, A. da. **Insetos do Brasil: coleópteros**. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia, 1956. t. 10, 373 p. (Série didática, 12).
- COSTA LIMA, A. M. da. Catalogo systematico dos insectos que vivem nas plantas do Brasil e ensaio da bibliographia entomologica brasileira. **Archivos da Escola Superior de Agricultura e Medicina Veterinaria de Nictheroy**, v. 6, p. 107-276, 1922.
- COSTA, J. N. M.; PEREIRA, F. da S.; ROCHA, R. B.; SANTOS, A. R. dos; TEIXEIRA, C. A. D. **Flutuação populacional do percevejo *Pachycoris torridus* Scopoli, 1772 (Hemiptera: Scutelleridae) em pinhão-mansinho em Porto Velho, Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2011. 4 p. (Embrapa Rondônia. Circular técnica, 121).
- DE MORAES, G. J.; DELALIBERA, I. Specificity of a strain of *Neozygites* sp. (Zygomycetes: Entomophthorales) to *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 14, n. 2, p. 89-94, May 1992. DOI: 10.1007/BF01219101.
- DEIGHTON, F. C. Studies on *Cercospora* and allied genera. VI. *Pseudocercospora* Speg., *Pantospora* Cif. and *Cercoseptoria* Petr. **Mycological Papers**, v. 140, p. 1-168, 1976.
- DHINGRA, O. D.; SINCLAIR, J. B. **Basic plant pathology methods**. Boca Raton: CRC Press, 1995. 355 p.
- DIANESE, A. C.; VALE, H. M. M.; SOUZA, É. S. C.; PEREIRA-CARVALHO, R. C.; CHAVES, Z. M.; CÂMARA, P. E. A. S.; DIANESE, J. C. New *Cercospora* species on *Jatropha curcas* in central Brazil. **Mycological Progress**, v. 13, Nov. 2014. DOI: 10.1007/s11557-014-0994-y, 2014.
- DIANESE, A. de C.; CARGNIN, A. **Ocorrência de *Oidium* sp. em pinhão-mansinho (*Jatropha curcas* L.) em Planaltina, DF**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 15 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 231).

DIANESE, A. de C.; DIANESE, J. C.; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos. **New records for the brazilian cerrado of leaf pathogens on *Jatropha curcas***. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 14p. (Embrapa Cerrados, Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 293).

DIAS, L. A. dos S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI, A.; PEREIRA, O. L.; DIAS, D. C. F. S.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S. dos; SOUZA, L. C. A. de; OLIVIERA, T. S. de; PRETTI, L. A. **Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG: L. A. S. Dias, 2007. 40 p.

DIAZ, C. G.; BASSANEZI, R. B.; BERGAMIN FILHO, A. B. Desenvolvimento e validação de uma escala diagramática para *Xanthomonas axonopodis* pv. phaseoli em feijoeiro. **Summa Phytopathologica**, v. 27, n.1, p. 35-39, Jan. 2001.

DRUMMONT, O. A.; PURCINO, A. A. C.; CUNHA, L. H. S.; VELOSO, J. M. **Cultura do pinhão manso**. Belo Horizonte: Epamig, 1984. (Epamig. Pesquisando, 131).

FLECHTMANN, C. H. **Ácaros de importância agrícola**. São Paulo: Nobel, 1972. 150 p.

FRANCO, D. A. de S.; GABRIEL, D. Aspectos fitossanitários na cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de biodiesel. **O Biológico**, v. 70, n. 2, p. 63-64, jul./dez. 2008.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C. de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIN, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: Fealq, 2002. 920 p.

GERSON, U. Biology and control of the broad mite, *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae). **Experimental and Applied Entomology**, v. 13, n. 3, p. 163-178, Feb. 1992. DOI: 10.1007/BF01194934.

HELLER, J. **Physic nut, *Jatropha curcas*: promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Rome: International Plant Genetic Resources Institute, 1996. 66 p.

HICKEL, E. R.; HICKEL, G. R.; VILELA, E. F.; SOUZA, O. F. F. de; MIRAMONTES, O. Por que as populações flutuam erráticamente? Tantas e tão poucos... E suas implicações no manejo integrado de pragas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 6, n. 2, p. 149-161, 2007.

HORSFALL, J. G.; BARRATT, R. W. An improved grading system for measuring plant diseases. **Phytopathology**, v. 35, n. 8, p. 655, 1945.

JEPPSON, L. R.; KEIFER, H. H.; BAKER, E. W. **Mites injurious to economic plants**. Berkeley: University of California, 1975. 614 p.

KAR, A. K.; DAS, A. New records of fungi from India. **Indian Phytopathology**, v. 41, n. 3, p. 505, 1998.

- LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. dos S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000500018.
- LOPES, E. N. **Bioecologia de *Polyphagotarsonemus latus* em acessos de pinhão manso (*Jatropha curcas*)**. 2009. 69 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MACLEAN, D. J.; BRAITHWAITE, K. S.; MANNERS, J. M.; IRWING, J. A. G. How do we identify and classify fungal pathogens in the era of DNA analysis? **Advances in Plant Pathology**, v. 10, p. 207-244, 1993.
- MAZARO, S. M.; DE GOUVEA, A.; DE MIO, L. L. M.; DESCHAMPS, C.; BIASI, L. A.; CITADIN, I. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha-de-micosferela em morangueiro. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 648-652, mar./abr. 2006. DOI: 10.1590/S0103-84782006000200045.
- MICHEREFF, S. J.; MAFFIA, L. A.; NORONHA, M. A. Escala diagramatica para avaliacao da severidade da queima das folhas do inhame. **Fitopatologia Brasileira**, v. 25, n. 4, p. 612-619, Jan. 2000.
- MONTE, O. Algumas variações nos desenhos e cores de *Pachycoris torridus* (Scopoli). **Campo**, v. 8, p. 71, 1937.
- MORAES, G. J. de; FLECHTMANN, C. W. **Manual de acarologia**: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. Ribeirão Preto: Holos, 2008. 288 p.
- OLIVEIRA, C. M. de; FRIZZAS, M. R.; DIANESE, A. de C. **Principais pragas do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) no Cerrado brasileiro**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011. 23 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 306).
- OLIVEIRA, H. N. de; SILVA, C. J. da; ABOT, A. R.; ARAÚJO, D. I. Cigarrita verde en cultivos de *Jatropha curcas* en el Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 36, n. 1, p. 52-53, 2010.
- OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, n. 1, p. 1-15, July 2000. DOI: 10.1016/S0961-9534(00)00019-2.
- PEIXOTO, A. R. **Plantas oleaginosas arbóreas**. São Paulo: Nobel, 1973. 284 p.
- PEÑA, J. E. Relationships of broad mite (Acari: Tarsonemidae) density to lime damage. **Journal of Economic Entomology**, v. 83, n. 5, p. 2008-2015, Oct. 1990. DOI: 10.1093/jee/83.5.2008.
- PEREDO, L. C. Description, biology, and maternal care of *Pachycoris Klugii* (Heteroptera: Scutelleridae). **Florida Entomologist**, v. 85, p. 464-473, Sept. 2002. DOI: 10.1653/0015-4040(2002)085[0464:DBAMCO]2.0.CO;2.
- PHILLIPS, S. A new record of *Pestalotiopsis versicolor* on the leaves of *Jatropha curcas*. **Indian Phytopathology**, v. 28, n. 4, p. 546, 1975.

- QUINTELA, E. D. Manejo integrado dos insetos e outros invertebrados pragas do feijoeiro. **Informe Agropecuário**, v. 25, n. 223, p. 113-136, dez. 2004.
- RAMAKRISHNAN, T. S.; PILLAY, P. N. R. *Jatropha curcas* L., a collateral host for *Oidium heveae*, Stein. **Current Science**, v. 32, n. 9, p. 428, 1963.
- REGUPATHY, A.; AYYASAMY, R. Need for generating baseline data for monitoring insecticide resistance in leaf Webber cum fruit borer, *Pempelia morosalis* (Saalm Uller), the key pest of biofuel crop, *Jatropha curcas*. **Resistant Pest Management Newsletter**, v. 16, p. 1-5, 2006.
- Roose, A. D.; Augusto, C. J. S.; Goulart, C. P.; Abrão, J. S. **Ocorrência de ferrugem no pinhão-mansão, em Mato Grosso do Sul, e efeito de alguns fungicidas no controle da doença**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 4 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 145).
- SANTOS, H. S. dos; SILVA-MANN, R.; PODEROSO, J. C. M.; OLIVEIRA, A. dos S.; CARVALHO, S. V. A.; BOARI, A. de J.; RIBEIRO, G. T.; NÁVIA, D. O ácaro *Tetranychus bastosi* Tuttle, Baker & Sales (Prostigmata: Tetranychidae) infestando germoplasma nativo de *Jatropha* sp., no estado do Sergipe, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracaju, SE. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. [4 p.].
- SANTOS, J. B. **Melhoramento de plantas visando resistência a doenças**. Lavras: DBI, 2007. 138 p.
- SANTOS, J. C.; SILVEIRA, F. A. O.; ALMEIDA, F. V. M.; FERNANDES, G. W. Ecology and behavior of *Pachycoris torridus* (Hemiptera: Scutelleridae): new host plant, color polymorphism, maternal care and parasitism. **Lundiana**, v. 6, n. 2, p. 107-111, 2005.
- SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.
- SHANKER, C.; DHYANI, S. K. Insect pests of *Jatropha curcas* L. and the potential for their management. **Current Science**, v. 91, n. 2, p. 162-163, July 2006.
- SILVA, A. G. d'A. e; GONÇALVES, C. R.; GALVÃO, D. M.; GONÇALVES, A. J. L.; GOMES, J.; SILVA, M. do N.; SIMONI, L. de. **Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil: seus parasitos e predadores**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Laboratório Central de Patologia Vegetal, 1968. 2 v. em 4 t.
- SINGH, I. D. New leaf spot diseases of two medicinal plants. **Madras Agriculture**, v. 70, n. 7, p. 490, 1983.
- SOTO, S. S.; NAKANO, O. Ocorrência de *Pachycoris torridus* (Scopoli) (Hemiptera: Scutelleridae) em acerola (*Malpighia glabra* L.) no Brasil. **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 3, p. 481-482, jul./set. 2002. DOI: 10.1590/S1519-566X2002000300022.
- SUTTON, B. C. **The coelomycetes**. Surrey: Commonwealth Mycological Institute, 1980. 696 p.

TUTTLE, D. M.; BAKER, E. W.; SALES, F. M. Spider mites (Tetranychidae: Acarina) of the state of Ceará, Brazil. **International Journal of Acarology**, v. 3, p. 1-8, 1977. DOI: 10.1080/01647957708683070.

VALE, F. X. R. do; JESUS JÚNIOR, W. C. de; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, 2004. 532 p.

VALÉRIO, J. R.; NAKANO, O. Danos causados pelo adulto da Cigarrinha *Zulia Entերiana* na produção e qualidade de *Brachiaria Decumbens*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 5, p. 225-230, maio 1988.

VASCONCELOS, G. J. N. **Diversidade de ácaros em agroecossistemas e testes para controle alternativo do ácaro branco, *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae), na região de Manaus, Amazonas**. 2011. 58 f. Tese (Doutorado) –Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

VIEIRA JÚNIOR, J. R.; FERNANDES, C. de F.; ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; MARCOLAN, A. L.; GUEDES, M. L. O.; REIS, N. D.; SILVA, D. S. G. da. **Ocorrência da ferrugem (*Phakopsora jatrophicola*) em pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) no Estado de Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2009. 3 p. (Embrapa Rondônia. Comunicado técnico, 341).

VIEIRA, M. R.; CHIAVEGATO, L. G. Biologia de *Polyphagotarsonemus latus* (Banks, 1904) (Acari: Tarsonemidae) em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 9, p. 1437-1442, set. 1998.

WINK, M.; GRIMM, C.; KOSCHMIEDER, C.; SPORER, F.; BERGEOT, O. Sequestration of phorbol esters by the aposematically coloured bug *Pachycoris klugii* (Heteroptera: Scutelleridae) feeding on *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae). **Chemoecology**, v. 10, n. 4, p. 179-184, Dec. 2000. DOI: 10.1007/PL00001820.



Manejo ecológico de ácaros na cultura do pinhão-manso

Manejo ecológico de ácaros na cultura do pinhão-manso

Renato Almeida Sarmiento

Marçal Pedro Neto

Joedna Silva

Carlos Henrique de Oliveira Lima

Poliana Silvestre Pereira

Ernesto Gonzalo Cañarte Bermúdez

Eduardo Andrea Lemus Erasmo

Fábio Araújo dos Santos

Introdução

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie vegetal arbustiva que tem despertado a atenção de produtores e pesquisadores por causa do seu potencial como alternativa energética limpa a partir da utilização da biomassa. Destaca-se pela elevada produção e qualidade do óleo extraído de suas sementes para a produção de biodiesel e bioquerosene (Saturnino et al., 2005; Severino et al., 2007; Andrade et al., 2008).

Além disso, apresenta distribuição geográfica bastante vasta, em razão da sua rusticidade e resistência a longas estiagens, sendo adaptável a condições edafoclimáticas variáveis (Demite; Feres, 2005; Saturnino et al., 2005). Quando retirado o óleo, seu bagaço pode ser utilizado como adubo orgânico e fertilizante, e sua casca na fabricação de papel ou como carvão vegetal (Freire; Lima, 2010). Contudo, os ácaros fitófagos constituem o principal problema fitossanitário para o cultivo de pinhão-manso no Brasil.

Os ácaros constituem o segundo grupo de artrópodes com mais diversidade no planeta (Zacarias; Moraes, 2002; Lofego; Moraes, 2006). Aqueles de importância agrícola são classificados em fitófagos e predadores. Dentre os ácaros fitófagos, os pertencentes às famílias Eriophyoidea, Tetranychidae e Tarsonemidae destacam-se em importância econômica (Castro; Moraes, 2007). Já os ácaros predadores pertencem às famílias Phytoseiidae, Stigmaeidae, Cheyletidae, Cunaxidae, Tydeidae e Bdellidae. Outros são micófagos, saprófagos, polívoros e incluem as famílias Acaridae, Ascidae, Winterschmidtidae e Tydeidae (Gerson et al., 2003). A família Phytoseiidae é a mais estudada e usada para o controle

biológico de ácaros-praga no mundo (McMurtry; Croft, 1997; Pratt et al., 2002; Barber et al., 2003; Menezes, 2003; Matos, 2006).

Os ácaros fitófagos *Polyphagotarsonemus latus* (Banks, 1904) e *Tetranychus bastosi* (Tuttle Baker & Sales, 1977) são considerados de maior importância para a cultura do pinhão-mansão (Lopes, 2009; Sarmiento et al., 2011; Cruz et al., 2012; Pedro Neto et al., 2013). Estes prejudicam o desenvolvimento da planta e causam perdas na produção.

O ácaro-praga *P. latus* ataca as partes mais tenras da planta como as gemas apicais, inflorescências e frutos, causando a sua queda (Lopes, 2009). Em folhas novas, o seu ataque ocorre na face inferior, provocando encarquilhamento e desfolha em ataque severo (Lopes, 2009). Já o ácaro *T. bastosi* alimenta-se das folhas desenvolvidas das plantas de pinhão-mansão. Uma característica dos ácaros dessa espécie é a produção de grande quantidade de teia, cobrindo suas folhas totalmente, reduzindo assim o processo fotossintético e diminuindo o desenvolvimento das plantas (Pedro Neto et al., 2013).

No ecossistema do pinhão-mansão, são encontrados ácaros predadores que atuam sobre os ácaros-praga (Cruz et al., 2012). A família Phytoseiidae destaca-se em números de espécies usadas em programas de controle de ácaros-praga (Moraes et al., 2004). Foram relatadas mais de 20 espécies de fitoseídeos sobre plantas de pinhão-mansão no estado do Tocantins, destacando-se as seguintes espécies: *Amblydromalus* sp., *Typhlodromalus aripo* (De Leon, 1967), *Euseius concordis* (Chant, 1985), *Iphiseiodes zuluagai* (Denmark & Muma, 1972) e *Typhlodromus transvaalensis* (Nesbit, 1951) (Sarmiento et al., 2011; Cruz et al., 2012, 2013a).

Os ácaros predadores *I. zuluagai* e *E. concordis* são os inimigos naturais mais comuns das espécies *P. latus* e *T. bastosi* sobre *J. curcas* no estado do Tocantins (Sarmiento et al., 2011). Ambas as espécies são consideradas promissoras no controle de *P. latus* e *T. bastosi* em plantas de pinhão-mansão (Sarmiento et al., 2011).

O pinhão-mansão pode ser cultivado associado a outras espécies de plantas, bem como na presença natural de plantas espontâneas. A diversidade de plantas pode desempenhar um papel importante na manutenção da comunidade de inimigos naturais, como é o caso de ácaros predadores, principalmente por oferecer alimentos como pólen e néctar (Cottrell; Yeargan, 1998; Zacarias; Moraes, 2002; Zannou et al., 2005; Cruz et al., 2012).

Assim, plantas espontâneas associadas às culturas podem favorecer a ocorrência de inimigos naturais em áreas agrícolas, que, por sua vez, ajudam a reduzir a população de pragas nas culturas adjacentes (Erasmu et al., 2004; Tsitsilas et al., 2011; Cruz et al., 2012). Além disso, fornecem, durante a floração, abrigo e alimento alternativo para ácaros predadores (Daud; Feres, 2004; Bellini et al., 2005; Moraes; Flechtmann, 2008).

A grande diversidade de ácaros predadores que ocorre naturalmente em cultivos de pinhão-mansu aliada à presença de plantas espontâneas, as quais podem prover alimento alternativo aos ácaros predadores, torna o controle biológico conservativo uma importante ferramenta para manejo de ácaros-praga nessa cultura. Essa técnica consiste na manipulação do ambiente para aumentar a sobrevivência, a fecundidade, a longevidade e a eficiência de inimigos naturais de pragas nos locais onde esses já ocorrem naturalmente (Landis et al., 2000; Pfiffner; Wyss, 2004). Além disso, a preservação e a manutenção dos inimigos naturais são imprescindíveis para estabelecer o equilíbrio biológico e reduzir os custos de produção (Bueno, 2005).

O manejo do habitat, como é o caso das plantas espontâneas, também pode favorecer e incrementar a ação de inimigos naturais sobre as pragas em sistemas agrícolas, podendo disponibilizar alimentos alternativos como néctar, pólen e “*honeydew*”. Ademais, podem fornecer abrigo e microclima, protegendo os inimigos naturais de fatores ambientais extremos ou de pesticidas, fornecendo habitat também para suas presas e hospedeiros alternativos (Altieri, 1999; Landis et al., 2000).

Diferenciação entre ácaros-praga e ácaros predadores encontrados na cultura do pinhão-mansu

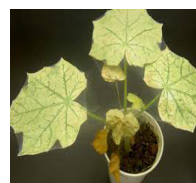
A seguir tem-se uma chave pictórica para diferenciação dos principais ácaros-praga e ácaros predadores na cultura do pinhão-mansu no Brasil.

1 - Ácaros fitófagos.....	3
2 - Ácaros predadores.....	7
3 - Atacam as folhas novas, gemas apicais e inflorescências.....	5
4 - Atacam preferencialmente as folhas mais velhas.....	6

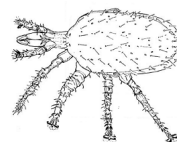
5 - Causam encarquilhamento das folhas, fêmeas com o quarto par de pernas atrofiadas..... *Polyphagotarsonemus latus*



6 - Bronzeamento e presença de teias nas folhas, com presença de pontos vermelhos..... *Tetranychus bastosi*



7 - Observados na face inferior da folha, apresenta movimentos rápidos e geralmente de coloração esbranquiçada ou avermelhada..... Ácaros predadores



Danos e bioecologia dos ácaros-praga e ácaros predadores em pinhão-mansinho

Um dos principais fatores que compromete a produtividade em qualquer cultivo é o ataque de pragas. No pinhão-mansinho, os ácaros-praga têm sido relatados atacando plantios experimentais e comerciais no Brasil e no mundo (Saturnino et al., 2005). A ocorrência de pragas em pinhão-mansinho varia com a idade da planta, seu estágio nutricional, época do ano, proximidade de plantas hospedeiras e condições climáticas.

A cultura é atacada por diversos ácaros-praga (Alves et al., 2008; Sarmiento et al., 2011). Dentre os ácaros-praga, o ácaro-branco (*P. latus*) e o ácaro-vermelho (*T. bastosi*) são considerados as principais pragas da cultura, sendo documentados como as pragas mais danosas (Sarmiento et al., 2011; Cruz et al., 2012; Pedro Neto et al., 2013). O ácaro-branco paralisa o crescimento e causa o encarquilhamento das folhas de pinhão-manso. Já o ácaro-vermelho causa queda em geral de folhas adultas, mas pode atacar também folhas jovens (Dias et al., 2007).

Principais ácaros-praga de ocorrência no pinhão-manso

Ácaro-branco

Os adultos do ácaro-branco (*P. latus*) logo após a emergência são brancos e translúcidos, posteriormente, apresentam uma coloração amarelada e brilhante. Os machos são menores que as fêmeas, porém mais robustos, e têm o hábito de carregar as fêmeas jovens na fase de “pupa”. Já a fêmea apresenta o corpo curto e largo, com uma faixa branca longitudinal no dorso, o quarto par de pernas é reduzido a uma estrutura simples e alongada, a reprodução é sexuada, ocorrendo partenogênese arrenótoca (Figura 1) (Vieira; Chiavegato, 1998).

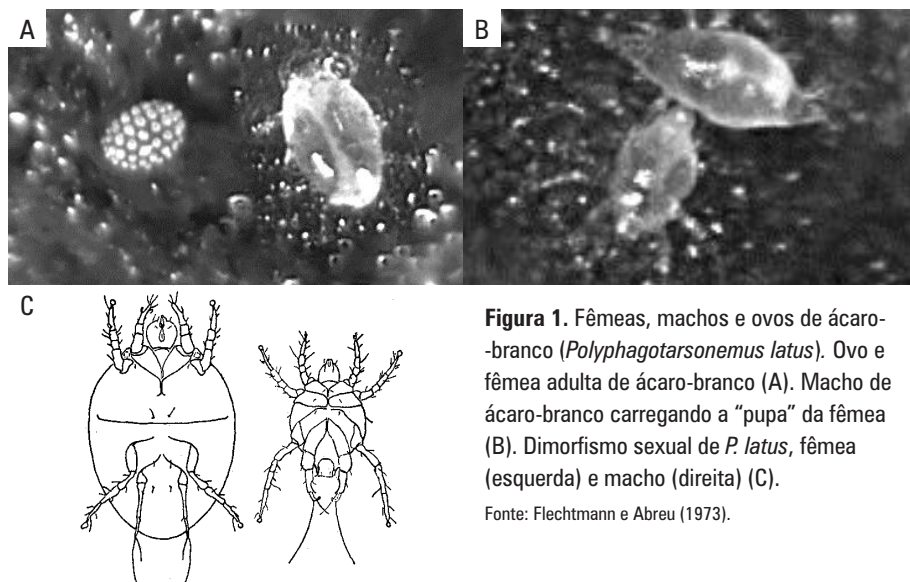


Figura 1. Fêmeas, machos e ovos de ácaro-branco (*Polyphagotarsonemus latus*). Ovo e fêmea adulta de ácaro-branco (A). Macho de ácaro-branco carregando a “pupa” da fêmea (B). Dimorfismo sexual de *P. latus*, fêmea (esquerda) e macho (direita) (C).

Fonte: Flechtman e Abreu (1973).

O ciclo de vida do ácaro *P. latus* varia em função das plantas hospedeiras (Kavitha et al., 2007). Os ovos são brancos, cobertos por tubérculos esféricos e dão origem a larvas de coloração branco-opaca, que apresentam apenas três pares de pernas.

Após um período de atividade, essas larvas tornam-se imóveis, originando as pupas, das quais eclodem os adultos de coloração branco-translúcida a amarela brilhante, possuindo em média 0,2 mm de comprimento, praticamente invisível a olho nu (Flechtmann, 1972). Essa espécie possui grande dimorfismo sexual, em que a fêmea é grande e ovoide, e o macho proporcionalmente menor e losangular. Assim, seu tamanho reduzido e sua cor dificultam sua identificação em campo.

A identificação precoce de *P. latus* é difícil, e isso pode causar grandes prejuízos. Geralmente é percebido quando a população já atingiu nível populacional elevado (Cruz et al., 2012). Essa espécie de ácaro completa seu desenvolvimento em 5 dias, passando de ovo a adulto. São polívoros e atacam mais de 60 famílias de plantas (Evaristo et al., 2013). Em virtude do ciclo relativamente curto, esses ácaros podem ocorrer várias gerações por ano, dependendo das condições climáticas e do hospedeiro.

As infestações iniciais ocorrem em reboleiras, atacando preferencialmente folhas novas e brotações, provocando nessas encarquilhamento. Com o avanço das infestações, a planta tem o seu crescimento paralisado e o surgimento de flores é retardado pela morte das gemas do ponteiro (Figura 2) (Lopes, 2009). As injúrias nas folhas reduzem a área fotossintética, a condutância estomática e a transpiração (Evaristo et al., 2013).



Foto: Ernesto Gonzalo Carriante Bermúdez

Figura 2. Sintomas do ataque do ácaro-branco (*Polyphagotarsonemus latus*) (Banks, 1904) em planta de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)

Plantas atacadas por *P. latus* têm crescimento e produção comprometidos em razão da deformação das gemas apicais e abortamento de frutos. Sua preferência por folhas novas se dá pelo reduzido tamanho de suas peças bucais, denominadas de quelíceras, conseguindo penetrá-las apenas em tecidos novos e tenros (Guedes et al., 2007; Moraes; Flechtmann, 2008).

Ácaro-vermelho

Os ácaros-vermelhos (*T. bastosi*) são classificados como polípagos e cosmopolitas, possuem alto potencial reprodutivo, são dependentes de plantas hospedeiras e das condições climáticas para a permanência no cultivo de pinhão-manso (Cruz et al., 2013b). O período de incubação dos ovos dessa espécie é em média de 4,18 dias, enquanto a duração média do ciclo de vida das fêmeas e machos (de ovo a adulto) varia de 8 a 11 dias (Pedro Neto et al., 2013).

As fêmeas dessa espécie conseguem ovipositar até 10 ovos por dia, sob folhas de pinhão-manso (Figura 3). Os adultos apresentam tamanho médio de 0,5 mm de comprimento; as fêmeas são arredondadas e os machos apresentam tamanho inferior, com a parte posterior do corpo afilada em forma de “cunha” (Flechtmann, 1972).

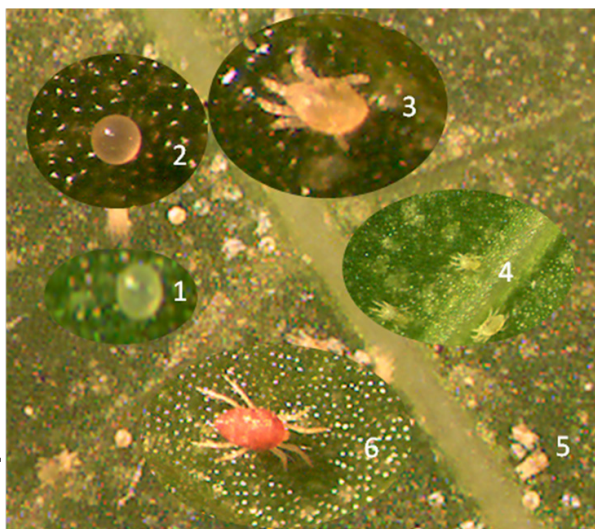


Figura 3. Ciclo de vida do ácaro-vermelho (*Tetranychus bastosi*) (Tuttle Baker & Sales, 1977)

- (1 – ovo de um dia;
- 2 – ovo a partir do segundo dia;
- 3 – larva;
- 4 – protoninfa;
- 5 – crisálida; 6 – adulto).

O ácaro-vermelho (*T. bastosi*) possui coloração avermelhada e tece uma quantidade considerável de teia sobre suas colônias, o que pode prejudicar o crescimento da planta e diminuir a sua capacidade fotossintética (Cruz et al., 2012; Pedro Neto et al., 2013).

A teia produzida por ácaros dessa família é geralmente utilizada na defesa contra inimigos naturais, diminuindo a locomoção e a eficiência, como acontece com ácaros predadores (Venzon et al., 2009). Além disso, a teia pode proteger as colônias contra dessecação, chuvas, vento e também estabelecer um microclima adequado para ovos e estágios imaturos dos ácaros-praga (Cruz et al., 2012) (Figura 4).



Foto: Diego Macedo

Figura 4. Sintomas do ataque de ácaro-vermelho (*Tetranychus bastosi*) (Tuttle Baker & Sales, 1977) em planta de pinhão-manso.

As colônias de *T. bastosi* normalmente iniciam seu ataque na base da lâmina foliar, junto às nervuras principais e ao pecíolo, dispersando-se gradualmente para todos os lados do limbo foliar. Isso resulta em um padrão difuso de manchas amareladas, as quais tomam toda a folha, que posteriormente necrosa e cai (Pereira et al., 2006).

Ácaros predadores encontrados no agroecossistema do pinhão-manso

Os ácaros predadores pertencentes à família Phytoseiidae são os mais conhecidos em todo mundo e mais utilizados no controle biológico de ácaros-praga (Figura 5) (McMurtry; Croft, 1997; Menezes, 2003). Isso é feito com a soltura desses ácaros no ambiente manejado, possibilitando o aumento desses artrópodes na cultura. Os ácaros predadores possuem movimentos muito rápidos sobre as folhas, diferenciando-se dos ácaros-praga,

que são mais lentos. Medem entre 1 mm e 2 mm, possuem formato de gota d'água, com coloração alaranjada, marrom ou palha, possuem poucas setas dorsais e não produzem teia (Silva, 2013).

Foto: Ernesto Gonzalo Cañarte Bermúdez



Figura 5. Fêmeas de ácaro predador *Typhlodromus transvaalensis* (Nesbit, 1951) alimentando-se de ácaro-branco (*Polyphagotarsonemus latus*) (Banks, 1904).

Tanto a densidade populacional de ácaros-praga como a de predadores muda ao longo do ano. Isso ocorre em função das características climáticas como a precipitação pluviométrica, a umidade relativa do ar e a presença da diversidade de plantas espontâneas da área cultivada. Assim, a manutenção da diversidade de plantas espontâneas é benéfica para a manutenção e permanência de ácaros predadores, por propiciar a oferta de pólen, na ausência do seu alimento principal (ácaros fitófagos) (Cruz et al., 2013b, 2014; Saraiva, 2013).

As vantagens que os ácaros predadores apresentam são: facilidade de criação massal em laboratório, capacidade de manter-se no ambiente mesmo na ausência da presa, pois eles exploram fontes alternativas de alimento, como pólen, néctar, exsudados, entre outras (Komatsu; Nakano, 1988). Pólen de milho e *Peltaea riedelii* (Gürke) podem ser usados na alimentação de dietas de ácaros predadores de *I. zuluagai* e *E. concordis* nos cultivos de pinhão-mansão (Marques et al., 2014).

Em experimentos conduzidos no sul do estado do Tocantins avaliando a acarofauna em cultivo de pinhão-mansão (*J. curcas* L.) e plantas espontâneas associadas,

verificou-se que os ácaros predadores *Amblyseius* sp., *Typhlodromalus aripo*, *Amblydromalus* sp. e *Typhlodromips mangleae* (De Leon, 1967) foram as espécies mais comuns e abundantes tanto em plantas de pinhão-manso e como em plantas espontâneas (Cruz et al., 2012). Já em outro trabalho realizado por Cruz et al. (2013b), os ácaros *T. aripo* e *Amblydromalus* sp. foram evidenciados como potenciais agentes de controle biológico de ácaros-praga do pinhão-manso.

Fatores determinantes do ataque de ácaros em pinhão-manso

Para que um programa de manejo integrado de pragas seja planejado, é necessário que se entenda o efeito de fatores bióticos e abióticos, tanto na interação entre níveis tróficos como na interação entre ácaros-praga e as plantas. Dentre eles, podemos citar a temperatura, a umidade, a precipitação pluviométrica, a diversidade de plantas espontâneas e a diversidade de ácaros encontrados no pinhão-manso.

Fatores climáticos são bem conhecidos por influenciar a dinâmica de pragas e de ácaros predadores em culturas agrícolas (Teodoro et al., 2008; Pedro Neto et al., 2010). A sazonalidade influencia a ocorrência e a distribuição de ácaros herbívoros e predadores em pinhão-manso (Cruz et al., 2013a; Rosado, 2013; Saraiva, 2013).

Na Tabela 1 são mostradas as épocas de maior ataque de ácaros-praga e a presença de ácaros predadores em pinhão-manso no estado do Tocantins.

Tabela 1. Intensidade de ataque de ácaros à cultura do pinhão-manso durante os meses do ano⁽¹⁾.

Ácaro	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
<i>Polyphagotarsonemus latus</i>												
<i>Tetranychus bastosi</i>												
Ácaros predadores												

⁽¹⁾ Quanto mais clara a célula, menor é a riqueza de ácaros e quanto mais escura a célula, maior a riqueza de ácaros.

A população dos ácaros-praga *P. latus* e *T. bastosi* são variáveis ao longo do ano, em razão das variações de fatores climáticos (Rosado, 2013) e da ação de inimigos naturais, principalmente fitoseídeos (Lopes, 2009; Verona, 2010). Também, certas plantas

espontâneas associadas às linhas do pinhão-mansão apresentam potencial para a manutenção dos ácaros predadores (Verona, 2010; Cruz et al., 2012), principalmente, durante a desfolha do pinhão-mansão na estação seca (Saturnino et al., 2005), que resulta em um longo período de ausência de presas.

Estratégias de manejo de ácaros-praga

Ainda não existem estratégias para o controle dos ácaros-praga em pinhão-mansão, apesar de haver vários estudos e publicações disponíveis na literatura sobre ácaros herbívoros importantes para a cultura. Em ataques severos, geralmente os produtores usam acaricidas sintéticos ainda não registrados para a cultura do pinhão-mansão. Contudo esses acaricidas, além de realizarem o controle ineficaz, podem causar mortalidade de inimigos naturais dos ácaros-praga.

Manejo de plantas espontâneas para a conservação de ácaros predadores

Em levantamentos realizados sobre ácaros predadores em plantas de pinhão-mansão no estado do Tocantins, verificaram-se diversas espécies, das quais a família Phytoseiidae era predominante (Tabela 2). Observou-se isso também em plantas espontâneas associadas à cultura do pinhão-mansão (Tabela 2) (Cruz et al., 2012; Saraiva, 2013).

A diversidade de ácaros predadores na cultura do pinhão-mansão está associada à presença e ao tipo de vegetação na cultura (Cañarte, 2014). Certas plantas espontâneas associadas às linhas do pinhão-mansão apresentam potencial para a manutenção dos ácaros predadores (Verona, 2010; Cruz et al., 2012). Principalmente, quando ocorre a desfolha do pinhão-mansão na estação seca, período de ausência de presas (Saturnino et al., 2005). No entanto, também é importante considerar que algumas culturas e algumas espécies de plantas espontâneas podem ser reservatórios de ácaros herbívoros (Cruz et al., 2012; Saraiva, 2013).

Dentre as espécies de plantas espontâneas associadas à cultura do pinhão-mansão, destacam-se *Bauhinia angulata* Vell., *Calopogonium mucunoides* Desv., *Helicteres guazumifolia* Kunth, *Pelteaea riedelii* (Gürke) Standl., *Sida rhombifolia* L., *Sida urens* L., *Waltheria americana* L., *Andropogon gyanus* Kunth e *Urochloa mutica* Forssk. Essas são hospedeiras de ácaros predadores comuns encontrados em plantas de pinhão-mansão (Tabela 2).

Tabela 2. Número de ácaros predadores encontrados em plantas espontâneas associadas ao cultivo de *Jatropha curcas* L.

Ácaros predadores	Plantas espontâneas										
	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Helicteres guazumifolia</i>	<i>Pelteea riedelii</i>	<i>Andropogon gayanus</i>	<i>Calopogonium mucunoides</i>	<i>Watheria americana</i>	<i>Bauhinia unguilata</i>	<i>Sida urens</i>	<i>Urochloa mutica</i>	<i>Sida rhombifolia</i>	<i>Urena lobata</i>
<i>Typhlodromalus aripo</i>	14	-	21	28	38	19	4	-	6	7	-
<i>Paraphytoseius multidentatus</i>	4	57	174	-	-	23	18	-	-	-	-
<i>Amblyseius neochiapensis</i>	-	2	11	-	43	-	-	21	-	1	-
<i>Neoseiulus fallacis</i>	-	-	-	101	6	-	-	1	-	-	-
<i>Phytoseiulus</i> sp.	141	-	-	-	-	4	2	-	-	-	-
<i>Amblyseius</i> sp.	-	-	3	10	10	-	-	7	-	-	-
<i>Amblydromalus</i> sp.	464	-	3	-	-	-	17	-	-	-	-
<i>Paraphytoseiulus</i> sp.	-	-	13	-	-	9	-	-	-	-	-
<i>Typhlodromips manglae</i>	57	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-
<i>Neoseiulus pluridentatus</i>	-	-	-	-	16	-	-	-	10	-	-

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Ácaros predadores	Plantas espontâneas										
	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Helicteres guazumifolia</i>	<i>Pelteaea riedelii</i>	<i>Andropogon gayanus</i>	<i>Calopogonium mucunoides</i>	<i>Waltheria americana</i>	<i>Bauhinia unguilata</i>	<i>Sida urens</i>	<i>Urochloa mutica</i>	<i>Sida rhombifolia</i>	<i>Urena lobata</i>
<i>Proprioseiopsis cannaensis</i>	2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
<i>Neoseiulus bellotti</i>	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Amblyseius compositus</i>	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-
<i>Neuseiulus</i> sp.	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Amblyseius tamatavensis</i>	105	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
<i>Euseius concordis</i>	9	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aceodromus convolvuli</i>	-	784	8	23	137	41	-	48	16	6	41

A conservação ou manejo de plantas espontâneas, possivelmente, aumentou a manutenção de espécies de ácaros predadores importantes na área de cultivo do pinhão-mansão. Segundo Parra et al. (2002), a manutenção de no mínimo 10% da área cultivada como plantas não cultivadas favorece o controle biológico, simplesmente pelo aumento da disponibilidade de fontes alimentares para os predadores.

O manejo das plantas espontâneas contribui para o aumento da diversificação de plantas. O aumento da diversidade de plantas resulta no aumento da oferta de recursos secundários aos agentes benéficos como: pólen, néctar, exsudados e outros (Landis et al., 2000), pois as espécies de plantas florescem em períodos diferentes ao longo do ano. Além dos recursos secundários, as plantas espontâneas podem fornecer habitat amenos e serem reservatórios de alimento alternativo com hospedeiros de herbívoros não pragas.

Portanto, o aumento da riqueza e abundância de ácaros predadores, em função do aumento da diversidade vegetal, pode afetar negativamente a população de ácaros-praga no cultivo (Tsitsilas et al., 2011). Nesse contexto, o controle biológico conservativo é uma das táticas fundamentais na aplicação do manejo integrado de pragas (MIP) em pinhão-mansão. Assim, a conservação e a manutenção de plantas espontâneas no interior ou entorno da cultura podem resultar em menor incidência de ácaros-praga na cultura. Outro benefício da conservação é a menor dependência dos agrotóxicos, com isso o custo de produção diminui.

Para a eficácia do manejo ou escolha das plantas selecionadas para aumentar a diversidade vegetal, é preciso conhecer quais artrópodes, herbívoros ou predadores que habitam, bem como saber a quantidade e qualidade do pólen produzido (Landis et al., 2000). Sem esses conhecimentos, pode ocorrer o fracasso desse método. Outro passo importante é saber qual tipo de manejo, onde cultivar e a melhor época de cultivo das plantas selecionadas que podem ser plantadas ou manejadas em faixas ou no entorno do cultivo do pinhão-mansão.

Considerações finais

Muitas pesquisas estão em busca de alternativas de manejo de ácaros menos prejudiciais à cultura do pinhão-mansão, aproveitando as defesas naturais dos organismos e reorganizando completamente as técnicas de cultivo tradicionais. Para esse manejo, o uso

de predadores é possível por meio de liberações ou pelo manejo do ambiente que possibilita o aumento de artrópodes na cultura (Parra et al., 2002). Compreender as consequências das interações na dinâmica populacional dos predadores e das pragas é inevitável para o sucesso do controle biológico conservativo (Guarnieri et al., 2010).

A análise faunística de populações de artrópodes é uma importante ferramenta para o controle biológico natural/conservativo, quando analisada uma comunidade de inimigos naturais, por propiciar um conhecimento detalhado da dinâmica das espécies encontradas em determinado local e período de tempo.

Áreas mais diversificadas tendem a apresentar maior número de espécies com uma menor quantidade relativa de indivíduos. Quanto mais essas áreas sofrem ação humana e ocorre uma redução na diversidade, haverá uma tendência maior para a dominância de cada vez menos espécies. A diversidade de inimigos naturais representa maior eficiência no controle natural de artrópodes herbívoros, sendo isso condicionado pelo adequado manejo do habitat (Altieri et al., 2003).

Referências

ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 74, n. 1-3, p. 19-31, 1999. DOI: 10.1016/S0167-8809(99)00028-6.

ALTIERI, M. A.; SILVA, N. E.; NICHOLLS, C. I. (Ed.). **O papel da diversidade no manejo de pragas**. Ribeirão Preto: Holos, 2003. 226 p.

ALVES, J. M. A.; SOUSA, A. de A.; SILVA, S. R. G. da; LOPES, G. N.; SMIDERLE, O. J.; UCHÔA, S. C. P. Pinhão-manso: uma alternativa para produção de biodiesel na agricultura familiar da Amazônia brasileira. **Agroambiente**, v. 2, n. 1, p. 57-68, 2008.

ANDRADE, G. A.; CARAMORI, P. H.; SOUZA, F. S. de; MARUR, C. J.; RIBEIRO, A. M. de A. Temperatura mínima letal para plantas jovens de pinhão-manso. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 799-803, 2008. DOI: 10.1590/S0006-87052008000300031.

BARBER, A.; CAMPBELL, C. A. M.; CRANE, H.; LILLEY, R.; TREGIDGA, E. Biocontrol of two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* on dwarf hosts by the phytoseiid mites *Phytoseiulus persimilis* and *Neoseiulus californicus*. **Biocontrol Science and Technology**, v. 13, n. 3, p. 275-284, 2003. DOI: 10.1080/0958315031000110300.

- BELLINI, M. R.; DE MORAES, G. J.; FERES, R. J. F. Plantas de ocorrência espontânea como substratos alternativos para fitoseídeos (Acari, Phytoseiidae) em cultivos de seringueira *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (Euphorbiaceae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 1, p. 35-42, 2005. DOI: 10.1590/S0101-81752005000100005.
- BUENO, V. H. P. Controle biológico aumentativo com agentes entomófagos. In: VENZON, M.; PAULA JÚNIOR, T. J.; PALLINI, A. (Ed.). **Controle alternativo de doenças e pragas**. Viçosa, MG: Epamig, 2005. p. 23-42.
- CAÑARTE, E. **Bioecología de ácaros en piñón cultivado en consorcios**. 2014. 117 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- CASTRO, T. M. M. G. de; MORAES, G. J. de. Mite diversity on plants of different families found in the Brazilian Atlantic forest. **Neotropical Entomology**, v. 36, n. 5, p. 774-782, 2007. DOI: 10.1590/S1519-566X2007000500020.
- COTTRELL, T. E.; YEARGAN, K. V. Influence of a native weed, *Acalypha ostryaefolia* (Euphorbiaceae), on *Colleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae) population density, predation, and cannibalism in sweet corn. **Environmental Entomology**, v. 27, n. 6, p. 1351-1385, 1998. DOI: 10.1093/ee/27.6.1375.
- CRUZ, W. P. da; SARMENTO, R. de A.; PEDRO NETO, M.; FERREIRA JÚNIOR, D. F. F.; RODRIGUES, D. de M. Análise faunística de ácaros fitoseídeo sem pinhão-mansinho e plantas espontâneas associadas. **Revista Agroecossistemas**, v. 4, n. 2, p. 17-32, 2013a. DOI: 10.18542/ragros.v4i2.1210.
- CRUZ, W. P. da; SARMENTO, R. de A.; PEDRO-NETO, M.; TEODORO, A. V.; RODRIGUES, D. M.; MORAES, G. J. de. Population dynamics of *Aceodromus convolvuli* (Acari: Mesostigmata: Blattisociidae) on spontaneous plants associated with *Jatropha curcas* in central Brazil. **Experimental and Applied Acarology**, v. 64, n. 3, p. 309-319, 2014. DOI: 10.1007/s10493-014-9828-5.
- CRUZ, W. P. da; SARMENTO, R. de A.; TEODORO, A. V.; ERASMO, E. A. L.; PEDRO NETO, M.; IGNÁCIO, M.; FERREIRA JUNIOR, D. F. F. Acarofauna em cultivo de pinhão-mansinho (*Jatropha curcas* L.) e plantas espontâneas associadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 3, p. 319-327, 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000300002.
- CRUZ, W. P. da; SARMENTO, R. de A.; TEODORO, A. V.; PEDRO-NETO, M.; IGNÁCIO, M. Driving factors of the communities of phytophagous and predatory mites in a physic nut plantation and spontaneous plants associated. **Experimental and Applied Acarology**, v. 60, n. 4, p. 509-519, 2013b. DOI: 10.1007/s10493-013-9663-0.
- DAUD, R.; FERES, R. J. F. O valor de *Mabea fistulifera* Mart (Euphorbiaceae), planta nativa do Brasil como reservatório para o predador *Euseius citrifolius* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, n. 3, p. 453-458, 2004. DOI: 10.1590/S0101-81752004000300006.

DEMITE, P. R.; FERES, R. J. F. Influência de vegetação vizinha na distribuição de ácaros em seringal (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg., Euphorbiaceae) em São José do Rio Preto, SP. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 5, p. 829-836, 2005. DOI: 10.1590/S1519-566X2005000500016.

DIAS, L. A. dos S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI, A.; PEREIRA, O. L.; DIAS, D. C. F. S.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S. dos; SOUSA, L. C. A. de; OLIVEIRA, T. S. de; PRETTI, L. A. **Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG: L. A. S. Dias, 2007. 40 p.

ERASMO, E. A. L.; PINHEIRO, L. L. A.; COSTA, N. V. Levantamento fitossociológico das comunidades de plantas infestantes e áreas de produção de arroz irrigado cultivado sob diferentes sistemas de manejo. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 195-201, 2004. DOI: 10.1590/S0100-83582004000200004.

EVARISTO, A. B.; VENZON, M.; MATOS, F. S.; FREITAS, R. G. de; KUKI, K. N.; DIAS, L. A. dos S. Susceptibility and physiological responses of *Jatropha curcas* accessions to broad mite infestation. **Experimental and Applied Acarology**, v. 60, n. 4, p. 485-496, 2013. DOI: 10.1007/s10493-013-9666-x.

FLECHTMANN, C. H. W. **Ácaros de importância agrícola**. São Paulo: Nobel, 1972. 150 p.

FLECHTMANN, C. H. W.; ABREU, J. M. Ácaros fitófagos do Estado da Bahia, Brasil. **Ciência e Cultura**, v. 25, n. 3, p. 244-251, 1973.

FREIRE, E. de A.; LIMA, V. L. A. de. O cultivo do pinhão-manso para a produção do biodiesel. **Revista Cultivar**, v. 1, p. 1-5, 2010. Disponível em: <<https://www.grupocultivar.com.br/artigos/o-cultivo-do-pinhao-manso-para-a-producao-do-biodiesel>>. Acesso em: 11 jun. 2019.

GERSON, U.; SMILEY, R. L.; OCHOA, R. **Mites (Acari) for pest control**. Oxford: Blackwell Science, 2003. DOI: 10.1002/9780470750995.

GUARNIERI, A.; CRUZ, W. P.; SARMENTO, R. A.; ERASMO, E. A. L.; SANTOS, L. A. C.; SOUZA JR., M. R.; RODRIGUES, D. M. Acarofauna associada às plantas espontâneas em cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Responsabilidade social e ambiental no manejo de plantas daninhas**: [anais]. Ribeirão Preto: SBCPD, 2010. p. 13-17.

GUEDES, J. V. C.; NAVIA, D.; LOFEGO, A. C.; DEQUECH, S. T. B. Ácaros associados à cultura da soja no Rio Grande do Sul. **Neotropical Entomology** v. 36, n. 2, p. 288-293, 2007. DOI: 10.1590/S1519-566X2007000200017.

KAVITHA, J.; RAMARAJU, K.; BASKARAN, V.; KUMAR, P. P. Bioecology and management of spider mites and broad mites occurring on *Jatropha curcas* L. in Tamil Nadu, India. **Systematic e Applied Acarology Society**, v. 40, n. 2, p. 254-260, 2007. DOI: 10.11158/saa.12.2.3.

- KOMATSU, S. S.; NAKANO, O. Estudos visando o manejo do ácaro da leprose em citros através do ácaro predador *Euseius concordis* (Acari: Phytoseiidae). **Laranja**, v. 9, n. 1, p. 123-145, 1988. DOI: 10.1146/annurev.ento.45.1.175.
- LANDIS, D. A.; WRATTEN, S. D.; GURR, G. M. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. **Annual Review of Entomology**, v. 45, p. 175-201, 2000.
- LOFEGO, A. C.; MORAES, G. J. de. Ácaros (Acari) associados a mirtáceas (Myrtaceae) em áreas de cerrado no estado de São Paulo com análise faunística das famílias Phytoseiidae e Tarsonemidae. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 6, p. 731-746, 2006. DOI: 10.1590/S1519-566X2006000600003.
- LOPES, E. N. **Bioecology of *Polyphagotarsonemus latus* in genotypes of physic nut (*Jatropha curcas*)**. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MARQUES, R. V.; SARMENTO, R. A.; FERREIRA, V. A.; VENZON, M.; LEMOS, F.; PEDRO-NETO, M.; ERASMO, E. A. L.; PALLINI, A. Alternative food sources to predatory mites (Acari) in a *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) crop. **Revista Colombiana de Entomologia**, v. 40, n. 1, p. 74-79, 2014.
- MATOS, C. **Mecanismos de defesa constitutiva em espécies de pimenta *Capsicum* e sua implicação no manejo do ácaro branco *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae)**. 2006. 59 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MCMURTRY, J. A.; CROFT, B. A. Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. **Annual Review of Entomology**, v. 42, n. 1, p. 291-321, 1997. DOI: 10.1146/annurev.ento.42.1.291.
- MENEZES, E. D. L. A. **Controle biológico de pragas: princípios e estratégias de aplicação em ecossistemas agrícolas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. 44 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos 164).
- MORAES, G. J. de; MCMURTRY, J. A.; DENMARK, H. A.; CAMPOS, C. B. A revised catalog of the mite family Phytoseiidae. **Zootaxa**, v. 434, n. 1, p. 1-494, 2004. DOI: 10.11646/zootaxa.434.1.1.
- MORAES, G.; FLECHTMANN, C. **Manual de acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2008. 308 p.
- PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊIA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. **Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores**. São Paulo: Manole, 2002. 635 p.
- PEDRO NETO, M.; REIS, P. R.; ZACARIAS, M. S.; SILVA, R. A. Influência do regime pluviométrico na distribuição de ácaros em cafeeiros conduzidos em sistemas orgânico e convencional. **Coffee Science**, v. 5, n. 1, p. 67-74, 2010.
- PEDRO NETO, M.; SARMENTO, R. A.; OLIVEIRA, W. P. de; PICANÇO, M. C.; ERASMO, E. A. L. Biologia e tabela de vida do ácaro-vermelho *Tetranychus bastosi* em pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 4, p. 353-357, 2013. DOI: 10.1590/S0100-204X2013000400001.

PEREIRA, M. J. B.; ALBUQUERQUE, F. A. de; BASTOS, C. S. Pragas do algodoeiro: identificação, biologia e sintomas de ataque. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 10, n. 3, p. 1073-1117, 2006.

PIFFNER, L.; WYSS, E. Use of wildflower strips to enhance natural enemies of agricultural pests. In: GURR, G. M.; WRATTEN, S. D.; ALTIERI, M. (Ed.). **Ecological engineering for pest management: advances in habitat manipulation for arthropods**, 2004. p. 165-186. DOI: 10.1079/9780851999036.0165.

PRATT, P.; ROSETTA, R.; CROFT, B. Plant-related factors influence the effectiveness of *Neoseiulus fallacis* (Acari: Phytoseiidae), a biological control agent of spider mites on landscape ornamental plants. **Journal of Economic Entomology**, v. 95, n. 6, p. 1135-1141, 2002. DOI: 10.1603/0022-0493-95.6.1135.

ROSADO, J. F. **Amostragem e distribuição espaço-temporal de ácaros-praga em pinhão manso**. 2013. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SARAIVA, A. de S. **Efeito das técnicas de manejo de plantas daninhas sobre a acarofauna da cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Tocantins, Gurupi.

SARMENTO, R. A.; RODRIGUES, D. M.; FARAJI, F.; ERASMO, E. A. L.; LEMOS, F.; TEODORO, A. V.; KIKUCHI, W. T.; SANTOS, G. R. dos; PALLINI, A. Suitability of the Predatory mites *Iphiseiodes zuluagai* and *Euseius concordis* in controlling *Polyphagotarsonemus latus* and *Tetranychus bastosi* on *Jatropha curcas* plants in Brazil. **Experimental and Applied Acarology**, v. 53, n. 3, p. 203-214, 2011. DOI: 10.1007/s10493-010-9396-2.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha Curcas* L.). **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

SEVERINO, L. S.; VALE, L. S. do; BELTRÃO, N. E. de M. A simple method for measurement of *Jatropha curcas* leaf area. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 11, n. 1, p. 9-14, 2007.

SILVA, A. de C. (Ed.). **Guia para o reconhecimento de inimigos naturais de pragas agrícolas**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 47 p.

TEODORO, A. V.; KLEIN, A.-M.; TSCHARNTKE, T. Environmentally mediated coffee pest densities in relation to agroforestry management, using hierarchical partitioning analyses. **Agriculture, Ecosystems And Environment**, v. 125, n. 1-4, p. 120-126, 2008. DOI: 10.1016/j.agee.2007.12.004.

TSITSILAS, A.; HOFFMAN, A. A.; WEEKS, A. R.; UMINA, P. A. Impact of groundcover manipulations within windbreaks on mite pest and their natural enemies. **Australian Journal of Entomology**, v. 50, n. 1, p. 37-47, 2011. DOI: 10.1111/j.1440-6055.2010.00779.x.

VENZON, M.; LEMOS, F.; SARMENTO, R. A.; ROSADO, M. C.; PALLINI, A. Predação por coccinélidos e crisopídeo influenciada pela teia de *Tetranychus evansi*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 9, p. 1086-1091, 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000900003.

VERONA, R. L. C. **Ácaros associados a *Jatropha* spp. (Euphorbiaceae) no Brasil**. 2010. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.

VIEIRA, M. R.; CHIAVEGATO, L. G. Biologia de *Polyphagotarsonemus latus* (Banks, 1904) (Acari: Tarsonemidae) em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 9, p. 1437-1442, 1998.

ZACARIAS, M. S.; MORAES, G. J. de. Mite diversity (Arthropoda: Acari) on Euphorbiaceous plants in three localities in the state of São Paulo. **Biota Neotropica**, v. 2, n. 2, p. 1-12, 2002. DOI: 10.1590/S1676-06032002000200004.

ZANNOU, I.; HANNA, R.; MORAES, G. J. de; KREITTER, S.; PHIRI, G.; JONE, A. Mites of cassava *Manihot esculenta* Crantz habitats in southern Africa. **International Journal of Acarology**, v. 37, p. 149-164, 2005. DOI: 10.1080/01647950508683667.



**Colheita e beneficiamento
do pinhão-manso**

Colheita e beneficiamento do pinhão-manso

*Cristiano Márcio Alves de Souza
Cristiane de Oliveira Veronesi
Vinicius de Vito Ros
Cesar José da Silva*

Introdução

A planta do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), pertencente à família das euforbiáceas, é um arbusto grande, cuja altura pode chegar a 5 m e o tronco a 30 cm de diâmetro. Ele tem tendência de se ramificar desde a base; possui raízes curtas e pouco ramificadas, caule liso, de lenho mole e medula pouco resistente, com floema com longos canais que se estende até as raízes, nos quais circula o látex, suco leitoso que emerge por simples arranhão na casca (Arruda et al., 2004; Saturnino et al., 2005).

O fruto é uma cápsula ovoide, achatada nas extremidades, com diâmetro de 1,5 cm a 3,0 cm, e é ligado aos ramos por meio do pedúnculo. É trilocular com uma semente em cada cavidade, formado por uma casca dura e lenhosa. O fruto, indeiscente, inicialmente verde, passa a amarelo, castanho, e por fim preto, quando atinge o estado de maturação (Coletânea..., 2003).

A dificuldade de uniformização da maturação dos frutos e a falta de práticas de mecanização da colheita são desafios da cultura do pinhão-manso. Segundo Roscoe e Silva (2008), a mecanização ao menos parcial da colheita é fundamental para a viabilização econômica da produção. Além do retorno financeiro, a adoção de máquinas agrícolas específicas para a colheita do pinhão-manso contribui para a diminuição dos esforços aos quais os trabalhadores são submetidos na operação manual, evitando a queima dos catadores com látex das plantas.

Mesmo sendo a colheita manual o método tradicional de catação dos frutos, demonstra-se que a colheita mecânica é o método mais prático, rápido e econômico para a colheita completa ou seletiva dos frutos e sementes maduras do pinhão-manso por vibração (Ros, 2010; Veronesi, 2010).

Entretanto, pelas características do pinhão-mansô, a ação das máquinas vibradoras ocasiona danos como a desfolha, a quebra de galhos e o descortiçamento dos troncos, podendo afetar a produção do ano seguinte (Aristizábal-Torres et al., 2000). Silva et al. (2001), ao estudar os danos provocados à planta do cafeeiro em razão da colheita mecanizada, observaram que esse tipo de colheita ocasionou maior desfolha que a manual. Além da intensidade de aplicação da vibração, os danos produzidos na casca dependem da umidade da mesma, da variedade e da idade da planta (Souza, 2004).

A colheita e o beneficiamento do pinhão-mansô podem ser feitos considerando as operações apresentadas no diagrama de blocos mostrado na Figura 1. A mecanização do cultivo do pinhão-mansô, por se tratar de uma cultura perene, pode ser comparada à do café, entretanto com diferenças em razão das características da planta e resistência do seu lenho, espaçamento entre linhas e entre plantas, entre outras (Souza et al., 2011).

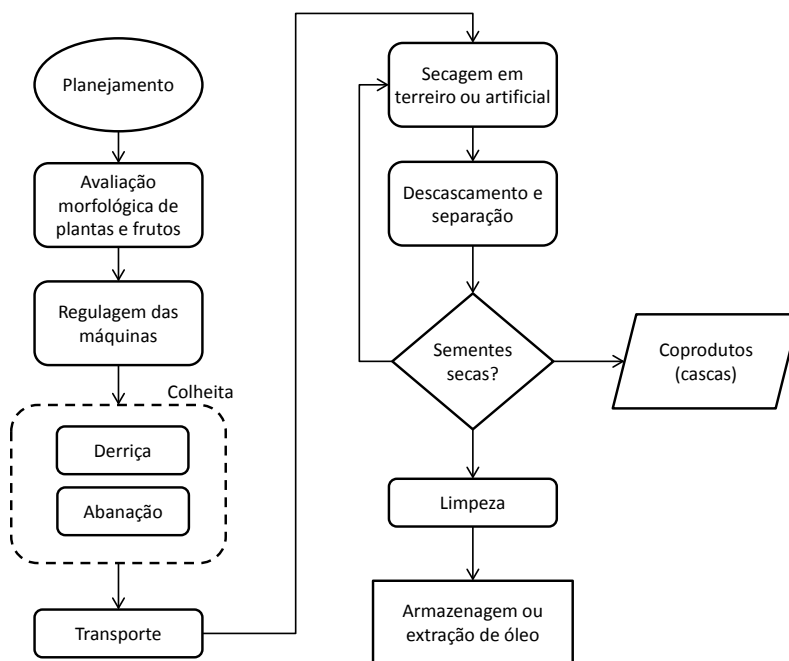


Figura 1. Diagrama de blocos das operações mínimas de colheita e beneficiamento do pinhão-mansô.

A princípio, o planejamento é elaborado baseando-se no tempo-movimento, disponibilidade de mão de obra, de recursos e de insumos. Ressalte-se também a necessidade de se conhecer a morfologia das plantas e dos frutos do pinhão-manso para se regular as derrçadoras, colhedoras (Ros, 2010), e as máquinas de pré-limpeza.

A colheita pode ser dividida em duas operações, sendo a primeira a derrça e a segunda a abanação. A derrça é a queda dos frutos em virtude do rompimento do pedúnculo por fadiga causada pela vibração dos galhos. A abanação consiste na separação dos frutos das folhas e galhos, caídos durante a derrça, por meio de ventilação e peneiras.

A colheita dos frutos de pinhão-manso é feita por catação manual, o que torna o trabalho oneroso e de baixo rendimento. Os frutos colhidos são armazenados em bolsas ou caixas, que são transportadas com os catadores no final do turno. O sistema de colheita com o uso de derrçadoras é considerado semimecanizado, em razão da necessidade de distribuir panos ou lonas no chão entre as linhas de plantio (Figura 2) para recolhimento dos frutos derrçados, etapa que é realizada por trabalhadores rurais. Essa prática facilita o recolhimento e a separação do produto, e evita o contato dos frutos com o solo, o que pode influenciar a qualidade do descascamento e das sementes. No sistema mecanizado, a colheita é feita usando-se colhedoras autopropelidas, o que dispensa a necessidade de cobrir o solo; dessa forma, ganha-se em capacidade de colheita.



Figura 2. Detalhe das entre-linhas cobertas com lonas para o recolhimento dos frutos derrçados.

Fonte: Ros (2010).

O uso das abanadoras facilita o trabalho e aumenta a capacidade de separação da operação de colheita do pinhão-mansinho com uso de derriçadoras portáteis, pois podem aumentar em até cinco vezes a capacidade da colheita manual (Ros, 2010). Depois dos frutos serem colhidos e abanados no campo, eles são transportados até a unidade de beneficiamento. Nessa unidade, eles passam por um processo de secagem feita por ventilação natural (terreiros) ou por ventilação forçada (secadores). Quando os frutos estão com a umidade adequada, eles são descascados manualmente ou trilhados e as cascas separadas como coprodutos. Caso as sementes não tenham atingido a unidade de armazenamento, devem ser secadas novamente, em seguida, realizada a limpeza para serem armazenadas ou utilizadas em processos de extração de óleo.

Atributos morfológicos das plantas e dos frutos

Lemos et al. (2009b) e Ros (2010) caracterizaram as dimensões das plantas de pinhão-mansinho no período de colheita. Na Figura 3, está apresentado um esquema da planta do pinhão-mansinho com as características morfológicas indicadas.

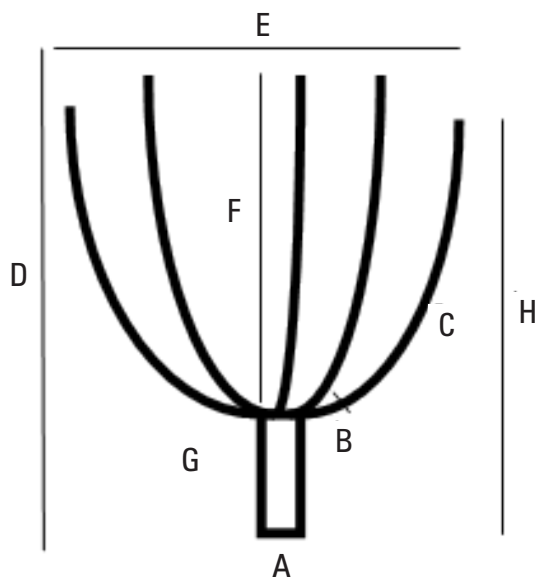


Figura 3. Esquema de arquitetura da planta de pinhão-mansinho com as marcações dos locais de medição: diâmetro do tronco (A); diâmetro dos ramos principais na inserção (B) e na metade do seu comprimento (C); altura da planta (D); diâmetro da copa (E); comprimento dos ramos principais (F); altura de inserção dos ramos principais (G) e altura dos ramos mais baixos (H).

Fonte: Ros (2010).

Os valores de todas as características morfológicas aumentaram com o passar dos anos após o plantio. Entretanto Ros (2010) não verificou aumento do número de ramos por planta em plantas jovens. Já Avelar (2009), avaliando quantidade de ramos secundários em pinhão-manso, encontrou uma variação de 5 a 14 ramos por planta.

A altura de plantas com 1 ano de idade é de 1,87 m e de 2,80 m para plantas com 3 anos de idade (Ros, 2010). Para Avelar et al. (2008), a altura das plantas de pinhão-manso pode chegar até 12 m. Na colheita com derrçadora, as plantas acima de 2,0 m de altura dificultam a operação de derraça por parte do operador, pois normalmente a haste da derrçadora apresenta tamanho médio de 1,58 m. Dessa forma, as podas anuais mantêm as plantas com altura uniforme e compatível com o tamanho da haste da derrçadora acrescida da altura dos braços do operador ou altura da colhedora.

Com relação ao diâmetro dos ramos principais, o encaixe dos dedos vibratórios nas pontas dos ramos, próximo aos frutos, tem melhor desempenho do que na parte intermediária e no local de inserção dos ramos, pois o diâmetro dos ramos dificulta a entrada dos dedos, que possui abertura média em torno de 4,31 cm (Ros, 2010). Avelar (2009), trabalhando com biometria da planta de pinhão-manso, encontrou diâmetro médio inicial dos ramos primários com 12,75 cm.

Os ramos mais baixos (Figura 3H) têm alturas entre 0,99 m e 1,31 m para as plantas com 1 ano após plantio, enquanto, com 3 anos de idade, foram encontrados alturas entre 1,63 m a 1,78 m. O diâmetro da copa das plantas (Figura 2E) de 1 ano de plantio tem entre 1,71 m e 2,30 m e, para 3 anos, tinha diâmetro entre 3,05 m e 3,53 m (Ros, 2010). O tamanho de copa com essas dimensões, para a colheita com derrçadora, não seria um problema, pois pode-se derraçar os dois lados da planta simultaneamente com duas máquinas ou um lado por vez, ficando a derraça dentro do alcance da haste.

Os troncos têm diâmetro de 74,09 mm a 87,58 mm para as plantas com 1 ano e, para aquelas com 3 anos de idade, de 104,28 mm a 129,27 mm (Ros, 2010). Avelar et al. (2008) encontraram diâmetro médio caulinar de até 300 mm. As plantas com 1 ano de idade possuíam de 5 a 7 ramos; já as plantas com 3 anos de idade, de 5,33 a 8,83 ramos (Ros, 2010). Avelar (2009), trabalhando com características fitotécnicas do pinhão-manso, encontrou 9,8 ramos secundários por planta. As plantas com 1 ano de idade têm diâmetro dos ramos principais na inserção (Figura 3B) de 30,29 mm a 42,17 mm, e aquelas com

3 anos, de 44,13 mm a 55,16 mm (Ros, 2010). Avelar (2009) encontrou diâmetro médio basal de 71,6 mm dos ramos secundários em plantas com 3 anos de idade.

As plantas jovens têm diâmetros de ramos medidos na metade de seu comprimento de 26,81 mm a 35,12 mm e, para aquelas com 3 anos de idade, de 38,49 mm a 50,40 mm (Ros, 2010). Avelar (2009) encontrou diâmetro terminal dos ramos secundários de 9,3 mm. Com essas características encontradas nos diâmetros médios das plantas, observa-se que as aberturas dos dedos das derrçadoras (43 mm) somente se encaixariam da metade para as pontas dos ramos.

As plantas com 1 ano de idade têm altura de inserção dos ramos principais de 11,64 cm a 16,07 cm e, para aquelas com 3 anos de idade, de 13,93 cm a 24,85 cm. As plantas com 1 ano de idade apresentam inclinação dos ramos em relação ao tronco de 78,43 a 98,96 graus, sendo que as plantas com 3 anos de idade têm inclinação entre 89,07 a 119,13 graus (Ros, 2010).

Nas plantas com 1 ano de idade, os ramos principais possuem comprimento de 1,23 m a 1,71 m e, para as plantas com 3 anos de idade, de 2,13 m a 2,40 m (Ros, 2010), estando de acordo com Avelar (2009), que encontrou comprimento médio dos ramos principais, que foi chamado de ramos secundários de 2,19 m.

As características dos frutos de pinhão-mansó devem ser determinadas visando estabelecer os critérios para adequar as regulagens das derrçadoras para a colheita dos frutos (Lemos et al., 2009a). As características avaliadas devem conter o tamanho, o diâmetro e o comprimento do fruto, além do diâmetro do pedúnculo (Figura 4).

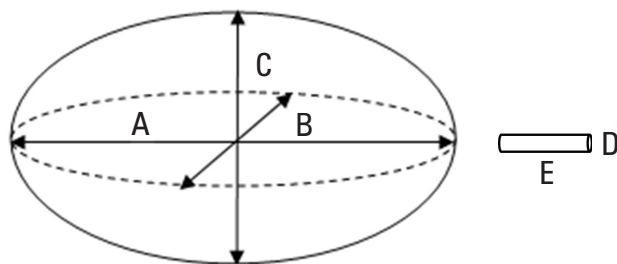


Figura 4. Representação esquemática do fruto de pinhão-mansó com suas dimensões características: diâmetro menor (B), diâmetro maior (C) e comprimento (A) dos frutos; comprimento (E) e diâmetro (D) do pedúnculo.

As médias do comprimento e do diâmetro dos pedúnculos dos frutos verdes, maduros e secos estão apresentadas na Tabela 1. O diâmetro do pedúnculo dos frutos verdes e maduros são iguais, porém, entre os frutos verdes e secos, há diferença dos seus valores. O comprimento do pedúnculo dos frutos é reduzido com o estágio de maturação de verde ao seco.

Tabela 1. Comprimento e diâmetro do pedúnculo de frutos verdes, maduros e secos.

Medidas dos pedúnculos	Estádio de maturação dos frutos		
	Verde	Maduro	Seco
	----- mm -----		
Comprimento	33,7	31,9	31,3
Diâmetro	2,7	2,7	1,4

Fonte: Adaptado de Ros (2010).

Na Tabela 2 estão apresentados valores dos diâmetros menor e maior, e comprimento dos frutos verdes, maduros e secos de pinhão-manso. Conforme discutido por Ros (2010), não há diferença entre os dois diâmetros dos frutos, considerando assim o formato do fruto como oval, estando de acordo com resultados obtidos por Coletânea... (2003). Para Nunes et al. (2009), o comprimento dos frutos varia de 28 mm a 34 mm e o diâmetro de 23 mm a 33 mm.

Tabela 2. Diâmetro três eixos dos frutos verdes, maduros e secos de plantas com 3 anos de idade.

Estádio de maturação dos frutos	Diâmetro		Comprimento
	Menor	Maior	
	----- mm -----		
Seco	17,7	19,5	24,4
Maduro	20,0	21,5	24,8
Verde	20,9	22,3	26,9

Fonte: Adaptado de Ros (2010)

Colheita

O momento de colheita dos frutos de pinhão-manso é um importante fator na determinação da qualidade fisiológica das sementes e enchimento de óleo dos grãos, e esse fato pode ser refletido no percentual de emergência das sementes ou quantidade de óleo. De acordo com Pereira et al. (2007), essa espécie é propagada principalmente por sementes, e a qualidade delas é a base para se obter estande adequado e lavouras uniformes, constituídas por plantas vigorosas e saudáveis.

Conhecer o estágio de maturação dos frutos de pinhão-manso é importante, visto que, na sua colheita, tem a queda de frutos secos, amarelos, maduros e verdes. Nos estudos feitos por Albuquerque et al. (2008), o grau de maturação dos frutos de pinhão-manso influencia o desempenho da semente em termos de germinação, vigor e fitomassa de plântulas, e a maturidade fisiológica das sementes de pinhão-manso, provavelmente, ocorre quando os frutos estão secos (Figura 5).

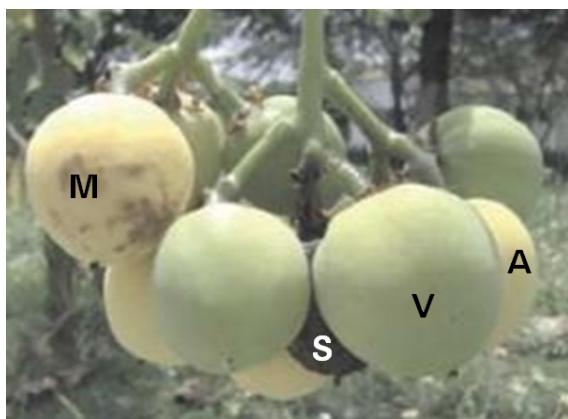


Figura 5. Frutos em diferentes estádios de maturação: amarelos (A), maduros (M), verdes (V) e secos (S).

Fonte: Veronesi (2010).

Observando a Figura 5, é fácil imaginar a dificuldade da colheita, em que se têm frutos em todos os estádios de maturação fisiológica na planta. Assim, acredita-se na viabilidade do uso da vibração na colheita, pois, para Souza (2004) e Ros (2010), a derrça por vibração é um método eficiente na colheita de diversas culturas, como o café e o pinhão-manso, por ser o método mais prático, rápido e econômico para a colheita seletiva dos frutos maduros e secos.

Ros (2010) avaliou o desempenho operacional de derrçadoras portáteis na derrça de frutos de pinhão-manso, submetida a diferentes níveis de vibração, comparada com a colheita manual. Nesse trabalho, as plantas utilizadas nos testes apresentavam idade de 2 anos e estavam no espaçamento 4 m x 2 m. Para a colheita dos frutos de pinhão-manso, foi utilizado uma derrçadora portátil, com dedos vibratórios (Figura 6A), modelo Turbo II, acionada por um motor de combustão interna de dois tempos.

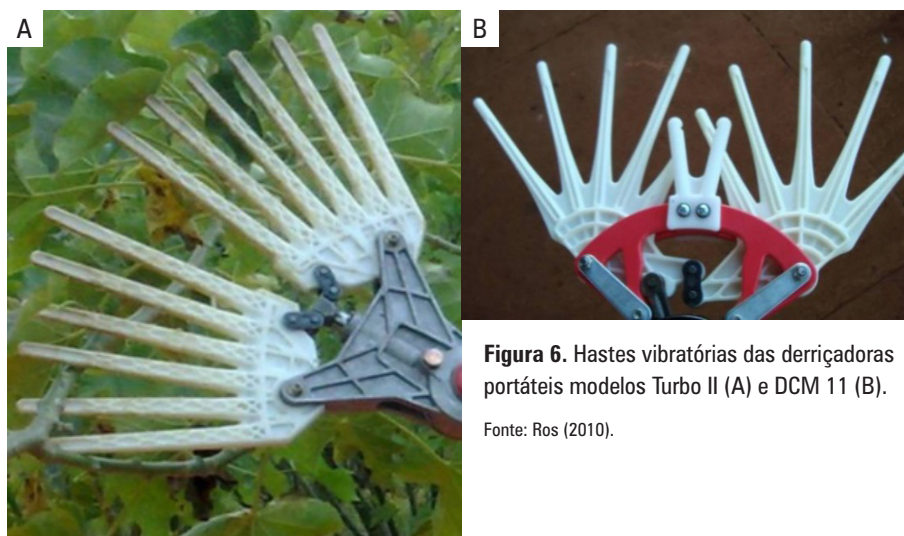


Figura 6. Hastes vibratórias das derrçadoras portáteis modelos Turbo II (A) e DCM 11 (B).

Fonte: Ros (2010).

Para os dados referentes à capacidade de colheita dos frutos de pinhão-manso, obtidos por Ros (2010), a colheita com derrçadora obteve valor cinco vezes superior a capacidade de colheita manual, com capacidade de colheita de 35 kg h⁻¹. Na eficiência de colheita, foi observado que a colheita semimecanizada apresentou a mesma eficiência da colheita manual, com eficiência média de 81%. Para a colheita seletiva, que considera apenas os frutos maduros e secos colhidos e considerando a eficiência manual como sendo 100%, a eficiência de colheita seletiva de frutos maduros e secos semimecanizada foi de 75%. O índice médio de desfolha de 42,11 g folha por kg de frutos colhidos por ser baixo não prejudica a planta e sim contribui para uma limpeza das folhas senescentes.

Do ponto de vista operacional, a colheita de frutos verdes tende a aumentar os custos de produção, pois necessitam de mais tempo de secagem. O tempo gasto para revolver a massa de frutos diminui também a quantidade de frutos por área, quando

são secados em terreiros. Ademais, quanto maior a porcentagem de frutos verdes na massa colhida, menor será a quantidade de óleo disponível à usina para a produção de biodiesel (Ros, 2010).

O desempenho operacional de diferentes sistemas de colheita dos frutos foi avaliado por Ros (2010). As plantas utilizadas nos experimentos possuíam 4 anos de idade e estavam dispostas no espaçamento de 3 m x 2 m. Na colheita dos frutos de pinhão-manso, foram utilizados dois modelos de derrçadoras portáteis, sendo uma do modelo Turbo II e outra do modelo DCM 11 (Figura 6B). Foram utilizados quatro sistemas de colheita, sendo que, no primeiro (SC1), foi utilizada a derrçadora Turbo II e, no sistema de colheita 2 (SC2), foi utilizada a derrçadora DCM 11. No terceiro sistema de colheita (SC3), foram usadas duas derrçadoras operando simultaneamente na mesma linha. O quarto sistema de colheita (SC4) foi a derrça manual dos frutos.

Para os dados referentes à capacidade de colheita de frutos de pinhão-manso, o tratamento com duas máquinas derrçadoras operando simultaneamente na mesma linha (SC3) obteve os maiores valores quando comparados com a colheita manual e com os demais sistemas de colheita. Souza et al. (2006b), utilizando sistema de derrça similar, verificaram maior capacidade de derrça mecânica em frutos de cafeeiro quando comparado com a colheita manual. Souza et al. (2006a) verificaram um melhor desempenho operacional de derrçadoras portáteis em cafeeiro quando se empregaram duas máquinas simultaneamente, em uma mesma linha de plantas. Observaram também que a capacidade de colheita com duas derrçadoras operando simultaneamente no cafeeiro tem desempenho 4,8 vezes maior que a colheita manual.

A eficiência seletiva do sistema semimecanizado com duas máquinas pode chegar próximo à colheita manual, podendo-se afirmar que a derrçadora está com boa seleção na colheita de frutos, com valor próximo de 76%. O maior índice de desfolha foi observado onde os frutos foram derrçados com o uso da derrçadora DCM 11 (SC2) com 31 g kg⁻¹, não havendo diferenças entre os sistemas de colheita SC1 e SC3. Também não se encontraram diferenças quando comparada com a colheita manual.

Analisando o conforto do trabalhador, Ros (2010) observou que o nível de ruído foi maior para a frequência de vibração das hastes de 2.736 rpm (Ros, 2010), que foi o maior valor testado. De forma geral, na colheita com derrçadora, o nível de ruído ultrapassou

o limite de conforto para o operador, conforme a norma NR-15 - Atividades e Operações Insalubres (Brasil, 1978), que estabelece 85 dBA para até 8 horas de exposição.

A colheita mecanizada que usa colhedoras tracionadas e autopropelidas desenvolvidas para café, azeitonas, citros ou uvas, adaptadas para pinhão-mansó, está disponível para uso experimental ou no comércio. Todavia, há ainda a necessidade de estudos mais aprofundados sobre podas e usos de maturadores visando melhoria da uniformidade da maturação fisiológica dos frutos, da adaptabilidade da planta às dimensões das colhedoras disponíveis e da diminuição dos danos mecânicos nas plantas pela melhoria da máquina.

Os fatores que mais influenciam a adoção da colheita mecanizada são o tipo e a condição da lavoura, sendo que cerca de 1.100 plantas ha⁻¹ é adequada para colheita mecanizada dos frutos (Gruppo P.A.N.A.C.E.A, 2017). Nesse trabalho, considerando os modelos de máquinas analisados, foram indicados que o espaçamento mais adequado para uso das colhedoras varia de 3,0 m a 3,5 m entre linhas, as plantas devem ter altura inferior a 2,5 m a 3,0 m e altura mínima do tronco de 50 cm. Nessas condições, as colhedoras são capazes de alcançar capacidades de campo de 0,15 ha h⁻¹ a 1,0 ha h⁻¹, obtidas trabalhando entre 1,0 km h⁻¹ a 3,0 km h⁻¹ de velocidade de operação, o que resulta em consumo de combustível de 7,5 L h⁻¹ a 12 L h⁻¹.

Beneficiamento

Após a colheita, os frutos de pinhão-mansó são transportados para terreiros (Sato et al., 2007) ou secadores, onde ocorre a secagem natural ou artificial dos frutos, para separação das sementes. Essa separação é feita de forma manual, com o uso de trilhadoras ou descascadoras e peneiras vibradoras (Produção..., 1985; Arruda et al., 2004). O descascamento do pinhão-mansó, que trataremos como debulha, é feito manualmente e a trilha feita por máquinas. A trilha faz parte do beneficiamento das sementes, que significar a separação das sementes das cascas, de impurezas e de materiais estranhos.

Uma etapa importante na produção de sementes é a debulha, principalmente a trilha, a qual pode causar impactos como abrasão e cisalhamento, que constituem fatores altamente deletérios para a qualidade das sementes, causando, de imediato, danos físicos e queda na germinação e vigor. Com isso pode ainda ocorrer danos internos que,

mesmo não sendo visíveis, afetam a qualidade fisiológica das sementes durante o armazenamento (Borba et al., 1995).

É provável a ocorrência de danos mecânicos nas sementes por causa da ação vibradora das derrigadoras e da pressão mecânica transferida pelas trilhadoras ou descascadoras aos frutos. Esses danos são classificados em duas categorias: dano visível ou imediato, que pode ser observado pela análise visual e corresponde a sementes quebradas, e dano invisível ou latente (trincas microscópicas e abrasões), que irá se manifestar no período de armazenamento com a queda do vigor e da viabilidade das sementes (França Neto; Henning, 1984).

As sementes quebradas são facilmente eliminadas, mas aquelas danificadas em menor intensidade não são, logo acompanham a massa do produto a ser armazenada. Elas podem se deteriorar durante o período de armazenamento, tornando-se focos de contaminação e afetando as sementes sadias vizinhas. A deterioração de sementes mecanicamente danificadas se dá, essencialmente, pela ação de microrganismos (Carvalho; Nakagawa, 2000).

Veronesi (2010), estudando os danos causados na colheita e no beneficiamento do pinhão-manso, observou que os frutos colhidos verdes e os frutos secos catados diretamente do chão tiveram os maiores índices de danos mecânicos nas sementes, quando comparados aos colhidos no estágio de maturação amarelo, maduro e seco da planta. No caso dos frutos verdes, por não terem completado sua maturação fisiológica, as sementes se apresentavam mais frágeis que aquelas que atingiram a maturidade. Os frutos secos coletados diretamente do chão tiveram um maior dano mecânico, pois já estavam em processo de deterioração, o que deixou as sementes mais frágeis.

O momento ideal para a colheita de sementes é na maturidade fisiológica, ou seja, imediatamente após se desligarem fisiologicamente da planta-mãe (Terasawa et al., 2009). Araujo et al. (2006) concluíram que, na maturidade fisiológica, a semente atinge o máximo acúmulo de massa seca, podendo coincidir também com o máximo de vigor, dependendo da espécie e do genótipo. De acordo com Albuquerque et al. (2008), a maturidade fisiológica de sementes de pinhão-manso ocorre, provavelmente, quando os frutos estão secos. No entanto, quanto mais secas estiverem as sementes, menor será a sua elasticidade, tornando-as vulneráveis aos danos provenientes da ação dos

equipamentos de beneficiamento (Ruffato et al., 2001) ou das próprias cascas quebradas durante o descascamento mecânico.

Por esses motivos, são necessários mais estudos e desenvolvimento de equipamentos para a trilha dos frutos do pinhão-manso para que se tenha maior rendimento no descascamento, sem causar danos mecânicos às sementes, que afetam a sua qualidade fisiológica e causam perdas de óleo por quebra ou esmagamento dos grãos.

Veronesi et al. (2014), estudando a qualidade física e fisiológica das sementes de pinhão-manso colhidas em diferentes estádios de maturação dos frutos e por dois tipos de debulha, observaram que as sementes de pinhão-manso apresentaram forma de um elipsoide, com seu eixo maior representado pelo comprimento, eixo médio pela largura e eixo menor pela sua espessura. As sementes oriundas de frutos verdes apresentaram menor comprimento, espessura e massa de 100 sementes, porém não houve diferença entre as larguras das sementes nos outros estádios de maturação dos frutos.

Para avaliar a qualidade fisiológica de sementes, têm sido usados o estudo de sua germinação e o teste de condutividade elétrica, em que o vigor é avaliado diretamente pela determinação da quantidade de lixiviados na solução de embebição das sementes e os maiores valores correspondem a um baixo potencial fisiológico (Vieira; Krzyzanowski, 1999).

Os resultados da condutividade elétrica indicam que o sistema de membranas celulares das sementes, inicialmente, não se apresenta com organização ideal. As sementes dos frutos verdes e amarelos não atingiram a maturação fisiológica, e as estruturas celulares não estavam totalmente organizadas, podendo, então, levar a uma maior lixiviação da solução de embebição (Veronesi et al., 2014). Com o decorrer da maturação, há redução na lixiviação dos solutos em decorrência da estruturação adequada das membranas celulares (Vidigal, 2008).

Em relação aos tipos de debulha, tanto as sementes oriundas de frutos verdes e amarelos como as sementes dos frutos secos do chão obtiveram menor vigor com o uso da trilha. Pode-se supor que as sementes dos frutos secos do chão estavam em processo de deterioração e os resultados de vigor das sementes dos frutos amarelos condizem com o teste de condutividade elétrica, em que se obtiveram os maiores valores com a debulha mecânica (Veronesi, 2010).

As sementes de pinhão-manso são consideradas ortodoxas (Jocker; Jepsen, 2003), por isso devem ser armazenadas com baixo teor de água e baixa temperatura, visando manter sua viabilidade por um maior período de tempo de pelo menos um ano. Por outro lado, considerando seu teor de óleo, o tempo de armazenamento não deve ser prolongado, pois as sementes oleaginosas são mais suscetíveis ao ataque de pragas.

As sementes oriundas dos frutos colhidos secos da planta tiveram maiores vigor e germinação comparados com os demais estádios de maturação, sendo que os colhidos secos diretamente do chão obtiveram o menor valor (Veronesi et al., 2014). Por causa do tempo em que estiveram no chão, os frutos secos passaram por intempéries que podem ter levado à deterioração de parte da sua estrutura reprodutiva. Esse pode ter sido o fator que levou as sementes coletadas no chão a apresentar uma qualidade inferior.

Em estudo da condutividade elétrica das sementes dos frutos em cinco estádios de maturação, não houve variação de seus valores quando elas foram armazenadas por 120 dias depois da trilha, porém, a partir de 240 dias, esse fato se inverte com a queda de seus valores. Isso pode ter ocorrido pelo fato de que as sementes continuaram respirando e consumindo suas reservas como matéria seca, ocorrendo a degradação das células e aumentando, então, a condutividade elétrica (Veronesi, 2010), somados os danos provocados durante a trilha. Horing (2008) afirma que sementes de pinhão-manso colhidas e armazenadas por até 40 dias possuem viabilidade maior que aquelas armazenadas por um período de 66 a 164 dias.

Os frutos de pinhão-manso quando colhidos no estágio de maturação adequado (amarelos, maduros e secos da planta) e debulhados sem danos mecânicos podem ter as sementes armazenadas por até 240 dias sem que haja redução no poder germinativo das suas sementes. Entretanto, quando trilhados ou descascados mecanicamente em todos os estádios de maturação dos frutos, as sementes de pinhão-manso têm seu vigor diminuído a partir dos 120 dias, quando armazenadas na sombra, em ambiente sem controle de umidade relativa e de temperatura do ar (Veronesi, 2010).

Viabilidade econômica do processo de colheita e beneficiamento

A adoção de determinado sistema de produção agrícola deve contemplar aspectos técnicos, econômicos, ambientais, sociais, etc. Assim, além da avaliação do potencial produtivo da cultura, é importante averiguar a viabilidade econômica de cada sistema ou processo necessário para a produção (Sangoi et al., 2003).

A análise econômica de produção das atividades agrícolas é um importante instrumento de planejamento e gestão de uma propriedade, pois permite avaliar a capacidade da empresa no mercado; dessa forma, poderá obter sucesso na sua atividade e atingir os seus objetivos de maximização de lucros ou minimização de custos (Lopes; Carvalho, 2000; Oliveira; Vegro, 2004).

Veronesi et al. (2012), analisando a viabilidade econômica do processo de colheita e beneficiamento de sementes de pinhão-manso, visando à substituição da operação manual pela semimecanizada, observaram que a capacidade de trilha e separação foi maior na operação semimecanizada do que na manual, independentemente do estágio de maturação dos frutos. Fato esse que fortalece a hipótese de a utilização de debulha semimecanizada apresentar maior rendimento que quando utilizado a debulha manual, pois, com a utilização do tipo de debulha semimecanizada, foi possível obter uma maior eficiência de trabalho.

O custo por hora trabalhada das derrçadoras Turbo II e DCM 11 usadas para colheita de pinhão-manso foi de R\$ 8,61 por hora e de R\$ 8,06 por hora, respectivamente, em que os custos variáveis representam 83,3% do custo total de utilização da derrçadora Turbo II e os custos variáveis da DCM 11 representam 85,9% do custo total. Comparando os custos da derrçadora Turbo II com a DCM 11, a primeira derrçadora teve custo horário de 6,4% superior. Isso se deve ao custo inicial, que foi de 24% superior, e também ao maior consumo de combustível do motor usado com a Turbo II (Veronesi et al., 2012).

Como os custos variáveis são aqueles que são influenciados diretamente pela quantidade produzida, incluindo mão de obra, combustível, reparo e manutenção. Os resultados obtidos por Veronesi (2010) indicam que a maior parte dos custos de uso da derrçadora está diretamente relacionada às atividades realizadas com a máquina nos trabalhos de colheita, do que aquele custo fixo ligado a depreciação, juros, valor de aquisição, vida útil, etc.

Segundo Veronesi et al. (2012), os custos da Debulhadora Heger GbR-ZaberstraBe 26 por hora trabalhada, que foi usada para trilhar as sementes dos frutos de pinhão-manso, foram de R\$ 9,35, e os custos variáveis representam 73,8%. Considerando que a capacidade de colheita semimecanizada com duas derriçadoras é cerca de cinco vezes maior do que a colheita manual, e por apresentar redução de 26,2% do custo operacional de colheita, pode-se inferir que a colheita semimecanizada é viável economicamente em relação à manual.

Ressalte-se também a viabilidade da debulha semimecanizada, uma vez que a sua capacidade é superior à da debulha manual, com 86,5% de redução dos custos de debulha e separação. A utilização de debulha semimecanizada ou mecanizada traz grande rendimento a colheita e debulha do pinhão-manso, ainda mais quando se pensa em produção em larga escala para produção de biodiesel.¹

Referências

- ALBUQUERQUE, F. A. de; LUCENA, A. M. A. de; OLIVEIRA, M. I. P. de; ANDRADE, J. R. de; BELTRÃO, N. E. de M.; ARRIEL, N. H. C. **Aspectos fisiológicos de sementes de pinhão-manso oriundas de frutos colhidos em diferentes estádios de maturação**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. 5 p. (Embrapa Algodão. Circular técnica, 124).
- ARAUJO, E. F.; ARAUJO, R. F.; SOFIATTI, V.; SILVA, R. F. da. Qualidade fisiológica de sementes de milho-doce colhidas em diferentes épocas. **Bragantia**, v. 65, n. 4, p. 5-14, 2006. DOI: 10.1590/S0006-87052006000400020.
- ARISTIZÁBAL-TORRES, I. D.; OLIVEROS-TASCÓN, C. E.; SANZ-URIBE, J. R. MONTOYA-RESTREPO, E. C.; ÁLVAREZ-MEJÍA, F. Cosecha mecánica de café aplicando vibraciones circulares al tallo del café. **Cenicafé**, v. 51, n. 1, p. 41-53, 2000.
- ARRUDA, F. P. de; BELTRÃO, N. E. de M.; ANDRADE, A. P. de; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curca* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 8, n. 1, p. 789-799, jan./abr. 2004.
- AVELAR, R. C. **Características fitotécnicas do pinhão-manso, visando à colheita mecanizada**. 2009. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

¹ Agradecemos à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (Fundect-MS), pelas bolsas de estudo concedidas e pelo apoio financeiro; ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PIBIC/CNPq/UFGD), ao CNPq e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelas bolsas de estudo concedidas; à Fazenda Paraíso, pelo apoio à pesquisa; à Embrapa Agropecuária Oeste, pelo apoio à pesquisa; à Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), pelo apoio financeiro.

AVELAR, R. C.; SILVA, F. M.; CASTRO NETO, P.; FRAGA, A. C. Avaliação do desenvolvimento de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) do Banco de Germoplasma da UFLA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 5.; CLÍNICA TECNOLÓGICA EM BIODIESEL, 2., 2008, Lavras. Biodiesel: tecnologia limpa. **Anais...** Lavras: Ed. da UFLA, 2008. p. 2796-2801.

BORBA, C. S.; ANDRADE, R. V.; AZEVEDO, J. T.; OLIVEIRA, A. C. Qualidade de sementes de milho debulhadas com diferentes teores de umidade e fluxos de alimentação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 17, n. 1, p. 9-12, 1995. DOI: 10.17801/0101-3122/rbs.v17n1p9-12.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria MTB nº 3.214, de 08 de junho de 1978. Aprova as Normas Regulamentadoras – NR – do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas a Segurança e Medicina do Trabalho: Norma Regulamentadora nº 15 – atividades e operações insalubres. **Diário Oficial da União**, 6 jul. 1978.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2000. 588 p.

COLETÂNEA sobre pinhão-manso na Epamig. Belo Horizonte: Epamig, 2003. 86 p.

FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. **Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1984. 39 p. (EMBRAPA-CNPSO. Circular técnica, 9).

GRUPPO P.A.N.A.C.E.A. **State of art of *Jatropha curcas*. I. harvesting methods**. Roma, 2017. Disponível em: <<http://www.gruppo-panacea.it/home/en/oil-crops/jatropha-curcas/179-state-of-art-of-jatropha-curcas-I-harvesting-methods>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

HORING, C. F. **Influência do período de armazenamento na qualidade de sementes *Jatropha Curcas* L.** 2008. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon.

JOCKER, D.; JEPSEN, J. *Jatropha curcas* L. seed leaflet. **Humbleback**, v. 83, n. 2, p. 1-2, 2003.

LE MOS, R. P.; SOUZA, C. M. A. de; VIEGAS NETO, A. L.; FRANTZ, A.; VERONESI, C. de O.; ROS, V. de V. Atributos morfológicos das plantas de pinhão-manso relacionados com a colheita por vibração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 6., 2009, Montes Claros. **Biodiesel: inovação tecnológica: anais**. Lavras: Ed. da UFLA, 2009b. 9 p.

LE MOS, R. P.; SOUZA, C. M. A.; SILVA, C. J.; RAFULL, L. Z. L.; VIEGAS NETO, A. L.; FRANTZ, A. Atributos morfológicos dos frutos de pinhão-manso relacionados com a colheita por vibração. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO UFGD/UEMS, 3., 2009, Dourados. [**Anais...**] Dourados: Ed. da UFGD, 2009a. 9 p.

LOPES, M. A.; CARVALHO, F. de M. **Custo de produção do gado de corte**. Lavras: Ed. da UFLA, 2000. 48 p. Boletim técnico.

NUNES, C. F.; SANTOS, D. N. dos; PASQUAL, M.; VALENTE T. C. T. Morfologia externa de frutos, sementes e plântulas de pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 207-210, fev. 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000200014.

OLIVEIRA, M. D. M.; VEGRO, C. L. R. Custo de produção e rentabilidade na cafeicultura paulista: um estudo de caso. **Informações Econômicas**, v. 34, n. 4, p. 33-44, abr. 2004.

PEREIRA, M. D.; DIAS, D. C. F. dos S.; DIAS, L. A. dos S. Germinação de sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em diferentes temperaturas e substratos. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: MCT/ABIPTI, 2007. 1 CD-ROM.

PRODUÇÃO de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Brasília, DF: Ministério da Indústria e do Comércio, Secretaria de Tecnologia Industrial, 1985. 364 p. (STI-CIT. Documentos, 16).

ROS, V. de V. **Viabilidade técnica do uso de derriçadora portátil na colheita de frutos de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2010. 59 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

ROSCOE, R.; SILVA, C. J. Pinhão-manso não faz milagres mas é boa opção para o biodiesel. **Agrarianal 2008**: anuário da agricultura brasileira, p. 1-3, 2008.

RUFFATO, S.; COUTO, S. M.; QUEIROZ, D. M. Análise de impactos em grãos de milho pelo método de elementos finitos. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 26, n. 1, p. 21-27, 2001.

SANGOI, L.; ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; MINETTO T. J.; BISOTTO, V. Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnico-econômica. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, p. 1021-1029, 2003. DOI: 10.1590/S0103-84782003000600005.

SATO, M.; BUENO, O. de C.; ESPERANCINI, M. S. T.; FRIGO, E. P. A cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.): uso para fins combustíveis e descrição agrônômica. **Varia Scientia**, v. 7, n. 13, p. 47-62, 2007.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

SILVA, F. M. da; SALVADOR, N.; PÁDUA, T. de S.; QUEIROZ, D. P. **Colheita do café mecanizada e semimecanizada**. Lavras: Ed. da UFLA: CBP&D/Café, 2001. 84 p. (Boletim de extensão).

SOUZA, C. M. A. de **Desenvolvimento e modelagem de sistemas de derriça e de abanação de frutos do cafeeiro**. 2004. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SOUZA, C. M. A. de; QUEIROZ, D. M. de; RAFULL, L. Z. L. Derriçadora portátil na colheita total e seletiva de frutos do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 11, p. 1637-1642, nov. 2006a. DOI: 10.1590/S0100-204X2006001100010.

SOUZA, C. M. A. de; QUEIROZ, D. M. de; RAFULL, L. Z. L.; CECON, P. R. Comparação entre derrida manual e mecânica de frutos de cafeeiro. **Revista Ceres**, v. 53, n. 3, p. 39-43, jan./fev. 2006b.

SOUZA, C. M. A. de; SILVA, J. A. N.; RAFULL, L. Z. L. Mecanização do cultivo, colheita e pós-colheita do pinhão-manso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM PINHÃO-MANSO, 2., 2011, Brasília, DF. **Pinhão-manso: focando em soluções sustentáveis para produção de biocombustíveis: anais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2011. 1 CD-ROM. (Embrapa Agroenergia. Documentos, 005).

TERASAWA, J. M.; PANOBIANCO, M.; POSSAMAI, E.; KOEHLER, H. S. Antecipação da colheita na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Bragantia**, v. 68, n. 3, p. 765-773, set. 2009. DOI: 10.1590/S0006-87052009000300025.

VERONESI, C. de O. **Qualidade de sementes de pinhão-manso e viabilidade econômica da colheita e do beneficiamento semimecanizados**. 2010. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS.

VERONESI, C. de O.; SOUZA, C. M. A. de; SERRA, A. P.; RAFULL, L. Z. L.; SILVA, C. J. da; ROS, V. de V. Viabilidade econômica do processo mecanizado de colheita e beneficiamento de sementes de pinhão manso em diferentes estádios de maturação. **Semina: ciências agrárias**, v. 33, n. 6, p. 2047-2056, nov./dez. 2012. DOI: 10.5433/1679-0359.2012v33n6p2047.

VERONESI, C. de O.; SOUZA, C. M. A. de; SERRA, A. P.; RAFULL, L. Z. L.; SILVA, C. J. da; ROS, V. de V.; CONRAD, V. do A. Quality of *Jatropha curcas* L. seeds harvested at different stages of fruit maturation. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 18, p. 2716-2725, Aug. 2014. DOI: 10.4236/ajps.2014.518287.

VIDIGAL, D. S. **Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de pimenta em função do estágio de maturação dos frutos**. 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. de B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999. paginação irregular.



**Estratégias agronômicas
para aproveitamento da
torta de pinhão-manso**

Estratégias agronômicas para aproveitamento da torta de pinhão-manso

Bruno Galvêas Laviola
Alexandre Alonso Alves
Rodrigo Barros Rocha

Introdução

A demanda mundial por combustíveis e produtos químicos obtidos por fontes renováveis tem se expandido de forma muito rápida nos últimos anos e deverá acelerar ainda mais, principalmente em países em fase de desenvolvimento econômico, como o Brasil. O País possui grande potencial na produção de biocombustíveis e de outros derivados de óleos vegetais para atender tanto o mercado nacional quanto o mundial, além de possuir localização privilegiada na região tropical e contar com grandes reservas de terras, o que permite planejar o uso agrícola em bases sustentáveis, sem comprometer os grandes biomas terrestres. Ademais, existem no País diversas espécies vegetais que produzem óleo em frutos e grãos, com diferentes potencialidades e adaptações naturais a condições edafoclimáticas. Nesse cenário, o desafio é aproveitar de maneira racional as potencialidades regionais para produção de biocombustíveis, considerando tanto as culturas tradicionais quanto as novas oleaginosas, como o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) (Laviola; Alves, 2011).

O pinhão-manso é uma espécie perene, pertencente à família das Euforbiáceas, a mesma da mamona (*Ricinus communis*), mandioca (*Manihot esculenta*) e seringueira (*Hevea brasiliensis*) (Dias et al., 2007; Dhyani et al., 2011). Embora várias evidências indiquem que o pinhão-manso não seja originário do Brasil (Rosado et al., 2010), a planta vegeta espontaneamente em diversas regiões do País há muito tempo. No passado, o óleo de pinhão-manso foi utilizado para produção de sabão caseiro e para iluminação, em lamparinas e candeeiros e na iluminação pública de cidades, por ser um óleo sem cheiro e que queima sem fazer fumaça. Historicamente, as plantas de pinhão-manso vêm sendo plantadas também com os seguintes objetivos: controlar a erosão, recuperar áreas degra-

dadas, fazer a contenção de encostas e de dunas e como cerca viva em divisas internas ou nos limites de propriedades rurais, ao longo de canais, rodovias e ferrovias (Saturnino et al., 2005; Durães et al., 2011).

O pinhão-mansinho apresenta potencial de rendimento de grãos superior às oleaginosas tradicionais, bem como características físico-químicas de óleo favoráveis à produção de biodiesel (Durães et al., 2011). Pesquisa com plantas selecionadas têm confirmado o potencial de rendimento superior a 1.500 kg ha⁻¹ de óleo na idade adulta (Drumond et al., 2010). O teor de óleo nos grãos tem variado entre 30% e 40%, sendo afetado por fatores ambientais e pela ocorrência de pragas e doenças (Freitas et al., 2011).

A oleaginosa possui também outras características interessantes para produção de biodiesel, por ser uma espécie perene, que não necessita de renovação anual de plantio, e por tratar-se de uma cultura não alimentar, que não apresenta concorrência direta com a agricultura de alimentos. Os espaçamentos adotados para produção possibilitam o cultivo de culturas intercalares na fase inicial de estabelecimento, permitindo o múltiplo uso da terra. Esse fator constitui uma opção potencialmente interessante para a agricultura familiar, na medida em que permite a diversificação das atividades agrícolas tradicionais tornando-se uma alternativa de renda. Além disso, em razão de seu vigoroso crescimento e desuniformidade de maturação de frutos, trata-se de uma cultura pouco mecanizável e altamente dependente de mão de obra, gerando emprego no campo (Laviola; Alves, 2011; Juhász et al., 2013; Laviola et al., 2013; Domiciano et al., 2014).

Apesar das potencialidades do cultivo de pinhão-mansinho, a espécie está atualmente em processo de domesticação. Por isso, existem diversos desafios de pesquisa e desenvolvimento a serem superados, como a falta de cultivares comerciais, a definição de práticas agrícolas, a desuniformidade na maturação dos frutos e o uso econômico da torta (Laviola et al., 2013). Na indústria de óleos, as tortas e os farelos apresentam grande importância para a viabilização do processo de comercialização e equacionamento dos custos. Em alguns casos, como na cadeia de produção da soja, o óleo é considerado o subproduto, enquanto a torta/farelo é o produto principal para comercialização. No caso do pinhão-mansinho, não se espera um cenário diferente, pois o aproveitamento econômico da torta é fundamental para garantir viabilidade na exploração comercial da oleaginosa. Porém, a torta de pinhão-mansinho é tóxica, e isso constitui um desafio científico a ser superado (Rug; Ruppel, 2000; Goel et al., 2007; Rakshit et al., 2008; Gonçalves et al., 2009; Mendonça;

Laviola, 2009; Devappa et al., 2010a, 2010b, 2010c, 2011). Nesse sentido, este capítulo visa discutir diferentes estratégias agrônômicas para o aproveitamento econômico da torta de pinhão-manso como fertilizante.

Aproveitamento da torta de pinhão-manso

A torta é o produto resultante do processo de esmagamento por prensa dos grãos de pinhão-manso para a retirada do óleo. A composição da torta pode variar de acordo com os seguintes aspectos: modo de extração (prensa mecânica ou extração por solvente) e do tipo de grão e teor de óleo nos grãos. Dependendo da eficiência do processo, cerca de 5% a 15% de óleo pode permanecer na torta, o que irá influenciar diretamente sua composição. De modo geral, para cada tonelada de grãos de pinhão-manso esmagado, o rendimento de torta varia de 650 kg a 700 kg.

Estudos sobre a composição da torta de pinhão-manso demonstraram que o co-produto é rico em proteína, cujo percentual pode chegar a 46%, dependendo do método de extração do óleo. Com alto valor proteico, a torta de pinhão-manso apresenta potencial para uso na nutrição animal. No entanto, até o momento, esse uso está impossibilitado por causa da presença de fatores tóxicos (Oliveira et al., 2013).

A curcina, presente nos grãos de pinhão-manso, já foi considerada a molécula responsável pela toxidez do pinhão-manso. Trata-se de uma proteína capaz de inibir a síntese proteica *in vitro*, com ação semelhante à da ricina da mamona, sendo, porém, 1.000 vezes menos tóxica. Isso ocorre porque, diferentemente da ricina, a porção tóxica da curcina não está ligada à lectina por ligações de dissulfeto, que é quem promove a entrada na célula, necessária ao início da atividade citotóxica (Gonçalves et al., 2009; Mendonça; Laviola, 2009). Muitos trabalhos de pesquisa dos últimos 10 a 15 anos buscavam equivocadamente explicar a toxidade e avaliar processos de destoxificação, aferindo a quantidade presente de curcina de forma indireta, por meio de determinação da lectina (Derenzini et al., 1976; Aregheore et al., 1998). Essa é uma das causas de insucesso no passado no que se refere ao uso de tortas destoxificadas para curcina em animais (Gonçalves et al., 2009; Mendonça; Laviola, 2009). Outros componentes considerados antinutricionais (não tóxicos) também estão presentes nos grãos de pinhão-manso, como inibidores de tripsina e fitato. Este último não apresenta problemas para a nutrição de ruminantes.

O principal componente tóxico nos grãos e, conseqüentemente, na torta de pinhão-manso é o éster de forbol (diterpeno), que, se ingerido, pode agir de duas formas: aguda (resposta inflamatória intensa) e crônica (indução de tumores) (Goel et al., 2007). Tamanha a importância desse princípio ativo que, quando não presente nos grãos, os genótipos são classificados como não tóxicos ou atóxicos (Carels, 2009; Devappa et al., 2010b). Uma das dificuldades na destoxificação da torta se deve ao fato de, por ser lipossolúvel, parte do éster de forbol ser extraída juntamente com o óleo. No entanto, apesar disso, uma significativa parte ainda permanece na torta, pois o processo de extração não retira todo o óleo (como já mencionado anteriormente). O óleo de pinhão-manso possui grande concentração desse composto, por isso deve ser manipulado com cuidado.

Existem na literatura muitos estudos a respeito de processos físico-químicos e biológicos para destoxificação da torta de pinhão-manso, porém, na maioria das vezes, essas pesquisas não foram eficientes na extração total do éster de forbol ou o processo se torna caro a ponto de inviabilizar a destoxificação da torta (Rakshit et al., 2008; Harter et al., 2011; Kumar et al., 2011; Saetae; Suntornsuk, 2011; Wang et al., 2011; Xiao et al., 2011; Pradhan et al., 2012). Nesse sentido, paralelamente aos processos de destoxificação, torna-se importante trabalhar outros usos para a torta de pinhão-manso, como, por exemplo, o retorno da torta para o plantio como fertilizante, trazendo economia na adubação química.

Uso da torta tóxica como fertilizante

O pinhão-manso, assim como outras espécies cultivadas, apresenta exigências nutricionais que devem ser supridas por meio da fertilização orgânica ou química. Por ser uma planta caducifólia, parte dos nutrientes contidos nas folhas retorna ao sistema solo-planta ao fim de cada estação de crescimento. Por sua vez, os nutrientes contidos nos frutos são exportados da área de cultivo pela colheita e devem ser repostos anualmente pelas adubações. De acordo com Laviola e Dias (2008), para uma produção de 4.000 kg ha⁻¹ de grãos, são exportados da área de cultivo aproximadamente 145 kg ha⁻¹, 65 kg ha⁻¹ e 125 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), respectivamente. De acordo com os valores apresentados, verifica-se a elevada quantidade de nutrientes extraída do solo com a colheita dos frutos. Dessa forma, a reposição inadequada desses nutrientes pode levar ao empobrecimento do solo ao longo dos anos de cultivo. Somente a estimativa da extração

de N pela colheita de frutos corresponde a 3,65 vezes a recomendação de N para a cultura da mamona (*Ricinus communis*), da mandioca (*Manihot esculenta*) e do girassol (*Helianthus annuus*) (Ribeiro et al., 1999).

Na adubação e reposição dos nutrientes extraídos, podem ser usados adubos químicos ou orgânicos. De modo geral, os adubos químicos apresentam vantagem por serem concentrados e de fácil aquisição, o que facilita a prática da colheita. Os adubos orgânicos, embora sejam de baixa concentração, apresentam a vantagem de contribuir para as condições químicas e físicas do solo, podendo melhorar a retenção de água, a estrutura e a porosidade do solo. No caso da torta de pinhão-mansão, ela se apresenta como um excelente potencial de uso como adubo orgânico, com composição química superior à do esterco bovino e da torta de mamona (Tabela 1 e Figura 1).



Fotos: Bruno Laviola

Figura 1. Armazenamento da torta tóxica de pinhão-mansão em sacos e ao ar livre para uso na forma de fertilizante orgânico.

Tabela 1. Composição química da torta de pinhão-mansão comparada à do esterco bovino e da torta de mamona.

Adubos orgânicos	N	P	K
g kg ⁻¹		
Torta de pinhão-mansão	34,5	7,65	17,68
Esterco bovino	22,5	3,59	6,26
Torta de mamona	22,7	5,44	4,58

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2011).

Considerando a produção de 4.000 kg ha⁻¹ de grãos e uma taxa de extração de óleo de 30%, para cada hectare plantado de pinhão-mansão, seria possível produzir cerca de 2.800 kg de torta. Caso toda a torta retorne como fertilizante, isso corresponderia à aplicação de 96,6, 21,42 e 49,5 g kg⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O (Tabela 1), respectivamente. Considerando o valor dos principais fertilizantes, a reposição da torta na área de plantio poderá levar a uma economia de R\$ 1.200 hectare por ano em um plantio adulto que produza 4.000 kg ha⁻¹ de grãos, o que é um valor significativo, já que a comercialização dos grãos colhidos geraria uma receita entre R\$ 2.000,00 e R\$ 3.000,00 por hectare. É claro que, se o processo de destoxificação for viável e o comprador de óleo puder comercializar a torta por preços mais altos, o produtor de grãos poderá receber valores mais altos pelos grãos. Por fim, complementado pela reposição da casca dos frutos, em locais próximos à usina, o uso da torta de pinhão-mansão poderá contrabalancear o custo da adubação e contribuir para melhoria das condições físicas e biológicas do solo.

Outras questões importantes em relação ao uso da torta de pinhão-mansão como fertilizante são as seguintes: o impacto da aplicação da torta tóxica na microbiologia dos solos e o tempo que leva a degradação dos ésteres de forbol. Em relação a isso, Devappa et al. (2010a) verificaram que os componentes tóxicos presentes na torta de pinhão-mansão são completamente degradados no solo entre 9 e 23 dias depois da aplicação, dependendo de fatores como umidade e temperatura. Embora esse trabalho verifique que a degradação do éster do forbol no solo seja rápida, recomenda-se que áreas adubadas com a torta sejam acompanhadas por um período maior de tempo.

Pela fato de a torta de pinhão-mansão ser rica em proteína, considerando-se o valor da proteína da soja, o preço de mercado de 1.000 kg da torta poderia ser de R\$ 550,00, valor que é 22% superior ao valor potencial da torta comercializada como fertilizante. Esses valores podem variar, tendo em vista que, na literatura, existem relatos de grande variação no teor de proteína bruta na torta de pinhão-mansão. Considerando que se tem um custo no processo de destoxificação da torta, essa é uma questão que deve ser considerada no momento de decidir usar o coproduto como fertilizante e fonte proteica. As pesquisas devem buscar não só um método eficiente de destoxificação da torta, mas também um processo que seja eficiente e de baixo custo. Caso contrário, o uso do coproduto como fertilizante passará a ser a alternativa mais interessante.

Uma alternativa para o custo da destoxificação é o desenvolvimento de genótipos atóxicos. No banco de germoplasma de pinhão-manso da Embrapa Agroenergia, foram encontrados genótipos que não possuem ésteres de forbol nos grãos (Laviola et al., 2011), cuja torta poderia ser utilizada na nutrição animal (Oliveira et al., 2013). Porém, existem ainda muitos desafios a serem vencidos quanto ao melhoramento genético, já que os materiais atóxicos apresentam baixo vigor (Figura 2, Tabela 2) e a produtividade de grãos é considerada baixa, em comparação aos genótipos tóxicos de banco de germoplasma. Além de aumentar a produtividade, o melhoramento genético dos genótipos atóxicos deverá eliminar diversas características desfavoráveis, como a susceptibilidade a pragas e doenças que os genótipos atóxicos possuem. No entanto, em razão da maior complexidade relativa ao desenvolvimento de cultivares atóxicas, é provável que as primeiras variedades lançadas sejam tóxicas e o uso da torta como fertilizante apresente-se como a alternativa mais real para agregar valor ao coproduto.



Figura 2. Vigor vegetativo de genótipos atóxicos (A) comparado a genótipos tóxicos (B), no banco de germoplasma, aos 42 meses.

Tabela 2. Produção de grãos (grama por planta) de acessos tóxicos e atóxicos, aos 42 meses, do banco de germoplasma.

10 melhores genótipos	Média geral (200 acessos)	Genótipo atóxico 1	Genótipo atóxico 2	Genótipo atóxico 3
2.039	869	730	242	497

Conclusões e perspectivas

O pinhão-mansô é uma oleaginosa que apresenta potencial para produção de biocombustíveis, porém ainda se encontra em fase de domesticação. Entre os desafios enfrentados para viabilizar o cultivo comercial do pinhão-mansô, destaca-se o aproveitamento econômico da torta, que permite agregar valor à cadeia de produção e equacionar custos. O uso da torta tóxica como fertilizante deve ser considerado a primeira opção de aproveitamento econômico. A torta de pinhão-mansô é rica em nutrientes minerais, portanto é considerada um excelente adubo orgânico, o qual pode ser usado na adubação do pinhão-mansô e de outras culturas adjacentes às áreas de produção.

Referências

- AREGHEORE, E. M.; MAKAR, H. P. S.; BECKER, K. Assessment of lectin activity in a toxic and a non-toxic variety of *Jatropha curcas* using latex agglutination and haemagglutination methods and inactivation of lectin by heat treatments. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 77, n. 3, p. 349-352, July 1998. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199807)77:3<349::AID-JSFA49>3.0.CO;2-A.
- CARELS, N. *Jatropha curcas*: a review. **Advances in Botanical Research**, v. 50, p. 39-86, 2009. DOI: 10.1016/S0065-2296(08)00802-1.
- DERENZINI, M.; BONETTI, E.; MARINOZZI, V.; STIRPE, F. Toxic effects of ricin – studies on pathogenesis of liver-lesions. **Virchows Archiv B-Cell Pathology Including Molecular Pathology**, v. 20, n. 1, p. 15-28, 1976.
- DEVAPPA, R. K.; MAKAR, H. P. S.; BECKER, K. Biodegradation of *Jatropha curcas* phorbol esters in soil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 12, p. 2090-2097, Sept. 2010a. DOI: 10.1002/jsfa.4056. 2010a.
- DEVAPPA, R. K.; MAKAR, H. P. S.; BECKER, K. *Jatropha* diterpenes: a review. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 88, n. 3, p. 301-322, Mar. 2011. DOI: 10.1007/s11746-010-1720-9.
- DEVAPPA, R. K.; MAKAR, H. P. S.; BECKER, K. *Jatropha* toxicity: a review. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: critical reviews**, v. 13, n. 6, p. 476-507, 2010c. DOI: 10.1080/10937404.2010.499736. 2010b.
- DEVAPPA, R. K.; MAKAR, H. P. S.; BECKER, K. Optimization of conditions for the extraction of phorbol esters from *Jatropha* oil. **Biomass & Bioenergy**, v. 34, n. 8, p. 1125-1133, Aug. 2010e. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.03.001. 2010c.

- DHYANI, S. K.; KUMAR, R. V.; AHLAWAT, S. P. *Jatropha curcas*: a potential biodiesel crop and its current R&D status. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 81, n. 4, p. 295-308, Apr. 2011.
- DIAS, L. A. dos S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI FILHO, A.; PEREIRA, O. L.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S. dos; SOUSA, L. C. A. de; OLIVEIRA, T. S. de; DIAS, D. C. F. S. **Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG: L. A. S. Dias, 2007. 40 p.
- DOMICIANO, G. P.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; ALBRECHT, J. C. Analysis of morpho-agronomic and climatic variables in successive agricultural years provides novel information regarding the phenological cycle of *Jatropha* in conditions of the Brazilian cerrado. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 4, p. 1985-1998, Dec. 2014. DOI: 10.1590/0001-3765201420130226.
- DRUMOND, M. A.; SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V. R. de; MARTINS, J. C.; AN-JOS, J. B. dos; EVANGELISTA, M. R. V. Desempenho agrônômico de genótipos de pinhão manso no Semiárido pernambucano. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 44-47, jan./fev. 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782009005000229.
- DURÃES, F. O. M.; LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A. Potential and challenges in making physic nut (*Jatropha curcas* L.) a viable biofuel crop: the Brazilian perspective. **Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v. 6, n. 43, 2011. 8 p. DOI: 10.1079/PAVSNNR20116043.
- FREITAS, R. G.; MISSIO, R. F.; MATOS, F. S.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S. Genetic evaluation of *Jatropha curcas*: an important oilseed for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research**, v. 10, n. 3, p. 1490-1498, 2011. DOI: 10.4238/vol10-3gmr1146.
- GOEL, G.; MAKKAR, H. P. S.; FRANCIS, G.; BECKER, K. Phorbol esters: structure, biological activity, and toxicity in animals. **International Journal of Toxicology**, v. 26, n. 4, p. 279-288, 2007. DOI: 10.1080/10915810701464641.
- GONÇALVES, S. B.; MENDONÇA, S.; LAVIOLA, B. G. **Substâncias tóxicas, alergênicas e antinutricionais presentes no pinhão-mansão e seus derivados e procedimentos adequados ao manuseio**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009. 5 p. (Embrapa Agroenergia. Circular técnica, 001).
- HARTER, T.; BUHRKE, F.; KUMAR, V.; FOCKEN, U.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Substitution of fish meal by *Jatropha curcas* kernel meal: effects on growth performance and body composition of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Aquaculture Nutrition**, v. 17, n. 5, p. 542-548, Oct. 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2010.00845.x.
- JUHÁSZ, A. C. P.; RESENDE, M. D. V.; LAVIOLA, B. G.; COSTA, M. R. Melhoria genética de *Jatropha curcas*: considerações e metodologias. In: RESENDE, J. C. F.; LONDE, L. N.; NEVES, W. S. (Ed.). **Pinhão-mansão**. Nova Porteira, MG: Epamig, 2013. p. 89-152.

- KUMAR, V.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Detoxified *Jatropha curcas* kernel meal as a dietary protein source: growth performance, nutrient utilization and digestive enzymes in common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, n. 3, p. 313-326, June 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2010.00777.x.
- LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A. Matérias-primas oleaginosas para biorrefinarias. In: VAZ J., S. (Ed.). **Biorrefinarias: cenários e perspectivas**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2011. p. 29-43.
- LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A.; ROCHA, R. B.; DRUMOND, M. A. The importance of *Jatropha* for Brazil. In: CARELS, N.; SUJATHA, B.; BAHADUR, B. (Ed.). **Jatropha, challenges for a new energy crop**. New York: Springer, 2013. v. 1, p. 71-94. DOI: 10.1007/978-1-4614-4806-8_5.
- LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. D Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, set./out. 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000500018.
- MENDONÇA, S.; LAVIOLA, B. G. **Uso potencial e toxidez da torta de pinhão-manso**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009. 8 p. (Embrapa Agroenergia. Comunicado técnico, 001).
- OLIVEIRA, P. B.; LIMA, P. M. T.; CAMPECHE, A.; MENDONÇA, S.; LAVIOLA, B. G.; MCMANUS, C.; LOUVANDINI, H. Growth and carcass characteristics of Santa Ines lambs fed diet supplemented with physic nut meal free of phorbol ester. **Small Ruminant Research**, v. 114, n. 1, p. 20-25, Aug. 2013. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2013.05.007.
- PRADHAN, S.; NAIK, S. N.; KHAN, M. A. I.; SAHOO, P. K. Experimental assessment of toxic phytochemicals in *Jatropha curcas*: oil, cake, bio-diesel and glycerol. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 3, p. 511-519, Feb. 2012. DOI: 10.1002/jsfa.4599.
- RAKSHIT, K. D.; DARUKESHWARA, J.; RAJ, K. R.; NARASIMHAMURTHY, K.; SAIBABA, P.; BHAGYA, S. Toxicity studies of detoxified *Jatropha* meal (*Jatropha curcas*) in rats. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 12, p. 3621-3625, Dec. 2008. DOI: 10.1016/j.fct.2008.09.010.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a Aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.
- ROSADO, T. B.; LAVIOLA, B. G.; FARIA, D. A.; PAPPAS, M. R.; BHERING, L. L.; QUIRINO, B.; GRATAPAGLIA, D. Molecular markers reveal limited genetic diversity in a large germplasm collection of the biofuel crop *Jatropha curcas* L. in Brazil. **Crop Science**, v. 50, n. 6, p. 2372-2382, Nov./Dec. 2010. DOI: 10.2135/cropsci2010.02.0112.
- RUG, M.; RUPPEL, A. Toxic activities of the plant *Jatropha curcas* against intermediate snail hosts and larvae of schistosomes. **Tropical Medicine & International Health**, v. 5, n. 6, p. 423-430, June 2000. DOI: 10.1046/j.1365-3156.2000.00573.x.


SAETAE, D.; SUNTORNSUK, W. Toxic compound, anti-nutritional factors and functional properties of protein isolated from detoxified *Jatropha curcas* seed cake. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, n. 1, p. 66-77, Jan. 2011. DOI: 10.3390/ijms12010066.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N. A cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

SILVA, T. O.; PRIMO, C. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, J. O. Crescimento inicial e absorção de nutrientes por mudas de pinhão-mansão submetidas à adubação orgânica em solos distintos. **Scientia Plena**, v. 7, n. 8, p. 83-101, 2011.

WANG, H. F.; CHEN, Y.; ZHAO, Y. N.; LIU, H. Y.; LIU, J. X.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Effects of replacing soybean meal by detoxified *Jatropha curcas* kernel meal in the diet of growing pigs on their growth, serum biochemical parameters and visceral organs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 170, n. 1-2, p. 141-146, Nov. 2011. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2011.08.004.

XIAO, J. H.; ZHANG, H.; NIU, L.; WANG, X. G.; LU, X. Evaluation of detoxification methods on toxic and antinutritional composition and nutritional quality of proteins in *Jatropha curcas* meal. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 8, p. 4040-4044, Apr. 2011. DOI: 10.1021/jf200104b.



**Produção e caracterização
de briquetes de casca
de pinhão-manso**

Produção e caracterização de briquetes de casca de pinhão-manso

José Dilcio Rocha

Introdução

A compactação ou densificação de biomassa para fins energéticos, seja de origem residual nos processos agroindustriais e nas indústrias de base florestal seja produzida exclusivamente em cultivos energéticos dedicados, tem sido largamente utilizada no mundo. Os processos e as tecnologias vão desde o enfardamento no campo até a briquetagem e a peletização. Para todas as tecnologias e seus respectivos produtos já existem mercados e os biocombustíveis sólidos: fardos cilíndricos ou prismáticos, briquetes e péletes podem ser queimados em caldeiras industriais, fornos de pizzarias, padarias, lareiras e aquecedores residenciais (Dias et al., 2012).

Todos os tipos de compactação constituem soluções logísticas capazes de transformar matérias-primas de baixa densidade energética em produtos industrializados com uniformidade de tamanho de partícula e baixa umidade. Essas características valorizam o combustível e abrem mercado pela agregação de valor. Além disso, a compactação viabiliza o transporte por longas distâncias e, até mesmo, permite que se cruzem os oceanos em cargueiros e graneleiros (Felfli et al., 2011).

A indústria de briquetes é composta basicamente de briquetadeira, silo, secador, picador e moinho. Todos esses equipamentos são dispostos em uma linha de produção e interligados por correias transportadoras. A área industrial deve ser coberta para estoque de matéria-prima preparada e de produto, além de possuir escritório, refeitório e depósito de matéria-prima e de produtos acabados para expedição. Todas as etapas, desde a coleta no campo ou no pátio da agroindústria até a trituração, secagem, moagem, compactação (briquetagem ou peletização), resfriamento e embalagem, são mostradas na Figura 1 (Nones, 2014).

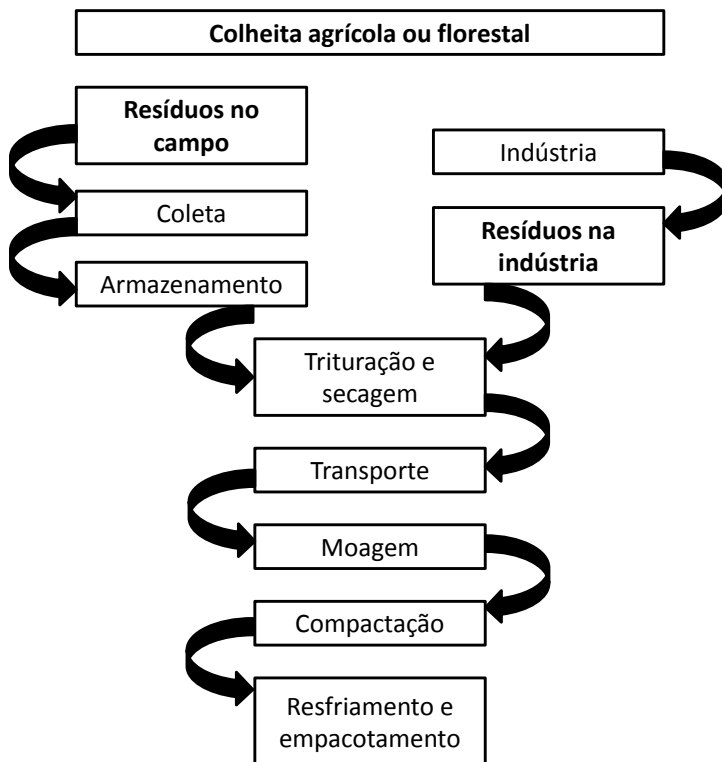


Figura 1. Etapas do processamento industrial de biomassa.

Fonte: Nones (2014).

O mercado de briquetes pode ser segmentado nos setores industrial, comercial e residencial. Podem ser utilizados em caldeiras industriais, porém o preço pago por tonelada é baixo. Já as pizzarias e os consumidores residenciais podem pagar preços mais altos (Souza, 2011).

Segundo Bhattacharya et al. (2006), as vantagens de briquetar biomassa são as seguintes:

- Aumento do poder calorífico líquido do material por unidade de volume.
- Facilidade no transporte e no armazenamento.
- Uniformidade no tamanho e na qualidade.
- Solução para a disposição de resíduos.
- Redução no desmatamento e substituição da lenha em vários usos.
- Eliminação da possibilidade de combustão espontânea.
- Redução da biodegradabilidade do material por ter baixa umidade.
- Também segundo Bhattacharya et al. (2006), existem as seguintes desvantagens ou gargalos nos empreendimentos relacionados à produção de briquetes:
 - Alto custo de investimento na construção da indústria (Capex).
 - Alto consumo de energia elétrica com os equipamentos (Opex).
 - Difícil ignição dos briquetes e emissão de fumaça no início da queima.
 - Falta de resistência à alta umidade.

Geralmente, os briquetes são produzidos com serragem de eucalipto ou pínus, mas também podem ser usadas outras matérias-primas, como casca de arroz, bagaço de cana, casca de babaçu, capim, podas de árvores urbanas, entre outras. Nesse estudo, foi testada a casca de pinhão-manso de forma experimental (Dias et al., 2012).

Existem várias tecnologias de prensas briquetadeiras disponíveis no mercado brasileiro e tecnologias no estado da arte. No Brasil, são comercializadas as briquetadeiras de pistão mecânico de dois fabricantes, que fornecem também os demais equipamentos. Também existem as extrusoras, que produzem briquetes com formatos variados e não apenas cilíndricos, mas de seção quadrada, sextavada e com estrias. Este último tipo de equipamento foi usado nos experimentos com o objetivo de testar a sua viabilidade técnica com a casca de pinhão-manso. Cada equipamento usa motores elétricos de várias potências, e a fornalha do secador queima alguma biomassa de baixo valor como fonte de energia (Bhattacharya et al., 2006).

Caracterização da casca de pinhão-mansó

As amostras recebidas consistem no epicarpo da semente de *Jatropha curcas* (pinhão-mansó), resíduo obtido do processo de produção de óleo vegetal (Figura 2).



Foto: Felix Felfli

Figura 2. Aspecto das amostras conforme recebidas no laboratório.

A amostra apresentou densidade a granel de 88 kg.m^{-3} , a qual foi determinada usando as cascas em sua dimensão natural (sem trituração). A determinação da umidade foi realizada com as amostras nas condições em que chegaram ao laboratório, de acordo com a norma ASTM 870-82 (ASTM International, 2019). De igual modo, toda a análise imediata foi realizada seguindo a referida norma. As amostras foram trituradas e classificadas em peneiras, com malhas de 40 e 60 mesh. O poder calorífico superior foi determinado seguindo a norma ASTM 3286-96 (ASTM International, 1996), e a amostra foi usada com frações abaixo de 60 mesh. A análise elementar da casca de pinhão-mansó seguiu a norma ASTM 3178-89 (ASTM International, 1997).

Resultados experimentais

Os resultados da análise das amostras (Tabela 1) estão na faixa esperada para este tipo de material e de acordo com resultados apresentados em estudos anteriores (Felfli et al., 2011). É importante notar que o epicarpo de pinhão-manso apresenta alto teor de cinzas (~12%), fator que afeta substancialmente o poder calorífico.

Tabela 1. Resultados da análise química das amostras.

Elemento	Símbolo	Unidade	Resultado	Desvio-padrão	Limite de quantificação	
Umidade ⁽¹⁾	W	%	10,69	0,09	-	
Composição imediata ⁽²⁾	Voláteis	MV	%	68,49	0,13	-
	Carbono fixo	CF	%	19,71	0,40	-
	Cinzas	A	%	11,79	0,53	-
Composição elementar ⁽²⁾	Carbono	C	%	39,85	-	50 mg.kg ⁻¹
	Hidrogênio	H	%	6,01	-	200 mg.kg ⁻¹
	Nitrogênio	N	%	0,48	-	80 mg.kg ⁻¹
	Oxigênio ⁽³⁾	O	%	41,84	-	-
	Enxofre	S	%	0,03	-	10 mg.kg ⁻¹
	Cinzas	A	%	11,79	-	-
Poder Calorífico ⁽²⁾	Superior	PCS	Kcal.kg ⁻¹	3.630,00	-	0,24 cal.g ⁻¹
	Inferior	PCI	Kcal.kg ⁻¹	3.325,00	-	-

⁽¹⁾ Base úmida (bu). ⁽²⁾ Base seca (bs). ⁽³⁾ Por diferença.

O estudo das propriedades viscoelásticas do epicarpo de pinhão-manso foi realizado por meio da instalação de uma bancada para os ensaios de extrusão. Na Tabela 2, é apresentada uma compilação dos resultados assim como uma comparação com a serragem. Quanto à resistência à compactação, o epicarpo de pinhão-manso e a serragem se comportaram de forma similar, como mostra o módulo de compactação (k_0), embora o índice de porosidade (b) de ambos apresente diferença. Ou seja, o pinhão-manso possui grau de pré-compactação maior que o da serragem para o mesmo tamanho de partícula inicial, portanto teoricamente seria mais fácil compactar o pinhão-manso (Faborode; O'Callaghan, 1986).

Tabela 2. Resultados dos testes de bancada para pinhão-manso e serragem.

Biomassa	Tamanho de partícula (mm)	Pressão máxima σ_k (MPa)	Módulo de compactação K_o (MPa)	Índice de porosidade b
Serragem	< 2	150	0,77015	0,46212
Pinhão-manso	< 2	150	0,7903	1,07791

Testes de compactação em unidade de briquetagem

A compactação para a produção de briquetes foi realizada em uma briquetadeira (modelo Biotor100) que opera por meio do princípio de extrusão por rosca sem fim. A Figura 3 mostra uma vista geral da unidade utilizada. Em segundo plano, na mesma figura, aparecem os briquetes de seção transversal quadrada, com furos centrais, produzidos com serragem, que foram usados na comparação com os briquetes cilíndricos de casca de pinhão-manso.



Foto: Felix Feilfi

Figura 3. Máquina briquetadeira por extrusão (modelo Biotor100).

Os testes de compactação foram realizados com a casca em seu estado natural, por ter o tamanho adequado para alimentação. Pelo fato de a casca de pinhão-manso pos-

suir óleo residual, produzindo efeito lubrificante, para melhorar a qualidade dos briquetes, foi desenvolvida uma matriz com perfil circular de 55 mm de diâmetro e com ângulo maior na zona de compactação, visando a maiores pressões na compactação (Faborode; O' - Callaghan, 1986). Na Figura 4, são mostrados os briquetes produzidos como amostras para serem analisados. Eles estão empilhados, são cilíndricos e possuem furo central. O furo central, que é uma característica possível na briquetadeira por extrusão, ajuda na queima dos briquetes, pois facilita a circulação dos gases quentes.



Foto: Felix Felffi

Figura 4. Briquetes de epicarpo de pinhão-manso.

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos com a matriz circular, bem como uma comparação com testes realizados com serragem utilizando uma matriz de perfil quadrado de (70 x 70) mm.

Tabela 3. Resultados dos testes de compactação para pinhão-manso e serragem.

Biomassa	Matriz	Velocidade do motor (rpm)	Capacidade da máquina (kg.h ⁻¹)	Eficiência volumétrica da rosca (%)	Energia específica (kWh.kg ⁻¹)
Pinhão-manso	Perfil circular (Ø = 55 mm)	400	31,08	28	0,11
		600	45,80	40	0,12
		800	77,40	48	0,10
Serragem	Perfil quadrado (70 x 70) mm	400	53,60	47	0,10
		600	76,40	44	0,13
		800	129,70	56	0,09

Os resultados mostram que a modificação, embora permitisse melhorar a qualidade dos briquetes, diminuiu substancialmente a capacidade da máquina e conseqüentemente a eficiência volumétrica. Além disso, afetou a energia específica do processo. Embora a qualidade dos briquetes tenha melhorado, o óleo ainda provocou efeito negativo em sua superfície.

Caracterização dos briquetes de epicarpo de pinhão-manso

Os briquetes foram caracterizados apenas nas suas propriedades físicas, pois, durante a compactação, as modificações na estrutura química do material são insignificantes, já que ocorrem somente na camada superficial do briquete em contato com a matriz aquecida, a qual apresenta uma espessura abaixo de 0,5 mm.

Os seguintes fatores foram determinados: a densidade dos briquetes e a resistência mecânica em ensaios de compressão pelo flanco e axial. A partir desses dados, foi estimada a densidade energética dos briquetes produzidos. Na Figura 5, mostra-se a máquina universal usada para testes de compressão. Na figura, há um corpo de provas (briquete) posicionado na posição axial. A Tabela 4 mostra a consolidação dos resultados e uma comparação com briquetes de serragem.

Foto: Felix Felfli



Figura 5. Testes de resistência mecânica.

Tabela 4. Resultados da caracterização dos briquetes.

Amostra	PCS (kcal.kg ⁻¹)	Densidade aparente (kg.m ⁻³)	Densidade energética (Mcal.m ⁻³)	Resistência de flanco (MPa)	Resistência axial (MPa)
Pinhão-manso	3.630,00	950,00	3.448,50	2,50	9,30
Serragem	4.300,00	1.100,0	4.730,00	4,70	18,60

Os resultados mostram que o teor de óleo remanescente na casca afeta não somente a qualidade superficial do briquete, mas também as propriedades mecânicas e a densidade do produto final.

No caso do pinhão-manso, o índice de compactação (densidade do briquete/densidade a granel) é de 10,8, ou seja, ocorre redução de volume de aproximadamente 11 vezes. Para a serragem, esse índice é 6.

Conclusões

Os ensaios experimentais demonstraram a viabilidade técnica de compactar o epicarpo de pinhão-manso para produzir biocombustível sólido na forma de briquetes, proporcionando volume aproximadamente 11 vezes menor. Contudo, é importante considerar os aspectos descritos a seguir.

Tanto o epicarpo como os briquetes produzidos apresentam teor de cinzas próximo de 12%. Esse fato pode impedir seu uso em algumas aplicações específicas que requeiram baixo teor de resíduos na combustão.

Embora as propriedades viscoelásticas do epicarpo de pinhão-manso sejam similares às da serragem, na prática o processo de briquetagem se comporta substancialmente diferente. Isso ocorre por causa da presença de óleo na estrutura do epicarpo, cujo teor não é perceptível sem testes específicos.

Nos testes realizados, o epicarpo não foi triturado. Em futuros trabalhos, podem ser estudados diferentes pré-tratamentos, os quais podem melhorar as propriedades energéticas e de compactação desse material¹.

¹ Agradecimentos ao Dr. Felix Fonseca Felfli e ao Prof. Carlos Alberto Luengo pela prestação de serviços no processamento das amostras e sua análises.

Referências

- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D3178-89**: standard test methods for carbon and hydrogen in the analysis of coal and coke. West Conshohocken, 1997. DOI: 10.1520/D3178-89R97.
- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D3286-96**: standard test method for gross calorific value of coal and coke by the isoperibol bomb calorimeter. West Conshohocken, 1996. DOI: 10.1520/D3286-96.
- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM E870-82**: standard test methods for analysis of wood fuels. West Conshohocken, 2019. DOI: 10.1520/E0870-82R19.
- BHATTACHARYA, S. C. A review of biomass densification. In: BATTACHARYA, S. C.; SALAM, P. A. (Ed.). **A review of selected biomass energy technologies**: gasification, combustion, carbonization and densification. Pathum Thani: Asian Institute of Technology, 2006. p. 155-191.
- DIAS, J. M. C. S.; SANTOS, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2012. 130 p.
- FABORODE, M. O.; O'CALLAGHAN, J. R. Theoretical analysis of the compression of fibrous agricultural materials. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 35, n. 3, p. 245-262, Nov. 1986. DOI: 10.1016/S0021-8634(86)80055-5.
- FELFLI, F. F.; MESA PEREZ, J. M.; ROCHA, J. D.; FILIPPETTO, D.; LUENGO, C. A.; PIPPO, W. A. Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 1, p. 236-242, Jan. 2011. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.08.011.
- NONES, D. L. **Cadeia produtiva de pellets e briquetes de biomassa residual para geração de energia em Santa Catarina**. 2014. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- SOUSA, P. C. B. de. **Como montar uma fábrica de briquetes**. Sebrae, 2011. 18 p. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-fabrica-de-briquetes,39887a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>. Acesso em: 10 fev. 2017.



**Pinhão-manso: fitoquímica,
efeitos farmacológicos
e usos medicinais**

Pinhão-manso: fitoquímica, efeitos farmacológicos e usos medicinais

Olga Lima Tavares Machado
Raquel de Souza Braga Silva

Introdução

O pinhão-manso (*Jatropha curcas*) é uma planta de propósitos múltiplos com alto potencial para produção de biodiesel e usos medicinais. Suas propriedades medicinais, fitoquímicas e farmacológicas já foram relatadas em vários estudos (Sharma; Singh, 2012; Sabandar et al., 2013). A descrição da presença de diterpenos (Devappa et al., 2011) e de componentes tóxicos (Devappa et al., 2010a), bem como de seu valor nutricional, potencial bioquímico e farmacêutico das proteínas e peptídeos (Devappa et al., 2010b; Ortíz-Martínez et al., 2016), cresce nos últimos anos. Embora muito tenha sido descrito, ainda existe necessidade de uma avaliação inclusiva que cubra o potencial terapêutico e toxicológico da espécie. Neste capítulo, pretende-se reunir as informações disponíveis sobre os aspectos botânicos e os usos tradicionais de *J. curcas*, bem como suas propriedades fitoquímicas e farmacológicas e sua toxicidade. Espera-se que essa análise forneça bases científicas que esclareçam a utilização farmacológica do pinhão-manso, a fim de facilitar e orientar pesquisas futuras.

Usos gerais

O gênero *Jatropha* pertence à tribo Jatropeae, família Euphorbiaceae e contém cerca de 170 espécies conhecidas (Carels, 2009). O nome botânico do gênero *Jatropha* derivou-se da palavra grega *jatrós*, que significa médico, *etrophé*, que significa alimento (Kumar; Sharma, 2008). Essa denominação incorpora os usos medicinais históricos da planta.

As sementes de *J. curcas* contêm 31%-35% de proteína bruta e 55%-58% de lipídios (Martínez-Herrera et al., 2006). O óleo é composto por 97,6% de lipídeos neutros, 0,95% de glicolipídeos e 1,45% de fosfolipídeos (Rao et al., 2008). Os ácidos graxos insaturados

dominam os ácidos graxos saturados numa proporção de 3:1 (Joshi et al., 2011). Os principais ácidos graxos encontrados no óleo de *J. curcas* são os seguintes: ácido oleico (41,5%-48,8%), linoleico (34,6%-44,4%), palmítico (10,5%-13%), esteárico (2,3%-2,8%), além dos ácidos cis-11-cis-eicosanoico e 11,14 eicosadienoico (Martínez-Herrera et al., 2006). Ter um alto teor de óleo e proteína faz do pinhão-manso um bom candidato para muitos usos indústrias. Seu óleo pode ser utilizado na fabricação de velas, sabonetes e cosméticos. Além disso, a torta obtida após a extração do óleo da semente, se destoxificada, fornece um suplemento de proteína de alto valor nutritivo e econômico para a alimentação animal (Makkar et al., 1998). Visser et al. (2011) relataram a possibilidade de produção de metanol a partir dos subprodutos celulósicos de *J. curcas*.

O pinhão-manso pode ser usado como cerca viva, bem como para evitar a erosão do solo e recuperar a terra (Heller, 1996). A casca do caule ou o látex é um veneno de pesca em algumas partes da África e nas Filipinas. Na Nigéria, uma mistura das sementes e do látex de *J. curcas* com milho é usada como isca para a caça. A maioria das partes do pinhão tem sido amplamente utilizada para fins veterinários. As sementes são altamente eficazes contra infecções em caprinos causadas por *Strongyloides papillosus* (Adam; Magzoub, 1975). Várias partes da planta são usadas na medicina tradicional em todo o mundo.

Segundo Neuwinger (1996), no Congo, a seiva da planta seca, na forma de pó, é aplicada em feridas, pois é considerada um antibiótico natural por suas propriedades cicatrizantes. No Senegal, na Nigéria, no Congo e na África Oriental, a folha, o caule ou a planta em pó seco são espalhados sobre feridas frescas como um hemostático. Na Costa do Marfim, as folhas são trituradas juntamente com saliva, e a pasta é aplicada em abscessos e feridas. Algumas gotas da solução da seiva de galho diluída em água são dadas por via oral para bebês recém-nascidos afetados por tétano. A folha foi usada como agente hemostático quando aplicada em cortes e feridas. Além disso, as sementes têm sido utilizadas para o tratamento de ascite, gota, paralisia, doenças de pele e como purgante, anti-helmíntico e abortivo. Em algumas partes da África, as sementes são mastigadas quando há necessidade de um laxante, e o óleo da semente é utilizado como ingrediente no tratamento de reumatismo (Iwu, 1993; Heller, 1996).

Análise fitoquímica

As espécies de *Jatropha* são ricas fontes de fitoquímicos, como terpenos, peptídeos cíclicos alcaloides e lignanos (compostos derivados de lignina) (Devappa et al., 2010a). Diversos artigos (El Diwani et al., 2009; Makkar et al., 2009; Igbinosa et al., 2011; Manpong et al., 2011; Namuli et al., 2011; Oskoueian et al., 2011a) relatam a presença de metabólitos secundários em diferentes partes da planta.

Diterpenos

Os compostos mais estudados de *J. curcas* são os diterpenos. As estruturas de vários deles foram elucidadas e seus valores medicinais atribuídos. Os diterpenos apresentam uma gama de atividades biológicas testadas in vitro, tais como anti-hipertensivos, antineoplásico, antirretroviral, anti-inflamatórios, analgésicos, antimicrobianos, inseticida e atividades moluscicidas (Devappa et al., 2011). Com base na estrutura esquelética, há seis grupos de diterpenos isolados a partir do pinhão-manso: 1) ésteres de forbol; 2) rhamnolano; 3) lathyranos; 4) pimarano; 5) dinorditerpenos; e 6) deoxypreussomerinas. Os ésteres de forbol são os mais estudados.

Ésteres de forbol

Os ésteres de forbol são compostos derivados de diterpenos tetracíclicos, associados, em sua maioria, às famílias Euphorbiaceae e Thymelaeaceae. Acredita-se que sejam as moléculas mais tóxicas nas espécies de *Jatropha*.

Estes compostos são frequentemente estudados por causa de suas atividades inflamatórias e promotoras de tumor, as quais provavelmente ocorrem por rotas diferentes. Quanto à atividade inflamatória, os ésteres de forbol mobilizam fosfolipídeos por uma rota mediada por fosfolipases A2, liberam ácido araquidônico e causam a secreção de prostaglandinas, o que leva a uma resposta inflamatória dos tecidos (Evans; Edwards, 1987).

Além disso, os Ésteres de forbol ativam a proteína quinase C (PKC), acarretando uma variedade de atividades biológicas, pois a PKC está envolvida na transdução de sinal e no mecanismo de sinalização da maioria das células e tecidos. Os esterres de forbol pro-

movem o crescimento tumoral após a exposição a doses subcarcinogênicas de agentes cancerígenos (Goel et al., 2007).

Entre os ésteres de forbol isolados a partir do pinhão-mansão, Hirota et al. (1988) isolaram o 12-deoxi-16-hidróxi-forbol, que tem uma estrutura macrocíclica de diéster de ácido dicarboxílico. Zhang et al. (2009) relataram a identificação de um composto denominado riolozatriona, enquanto Naengchomnong et al. (1994) isolaram o jatrolol $C_{20}H_{24}O_3$. Hass et al. (2002) isolaram seis compostos de éster de forbol de pinhão-mansão a partir do óleo da semente de *Jatropha*, com a fórmula molecular $C_{44}H_{54}O_8Na$. Pertino et al. (2007) isolaram outros ésteres de forbol de *J. curcas*, denominados jatrolonas A e B, ao passo que, em 2011, Chianese et al. (2011) isolaram da casca da raiz a acetoxijatrolona. A associação dessas moléculas com suas atividades biológicas ainda é tema de investigações.

Sesquiterpenoides e triterpenos

Diversos sesquiterpenoides e compostos triterpenos foram isolados, tais como: taraxasterol, -amirina e -sitosterol (Mitra et al., 1970); (Z) -3-O-coumaroiloleanolico (Goulart et al., 1993), o estigmasterol e daucosterol (Ling-Yi et al., 1996) e a friedelina (Ravindranath et al., 2004b). Algumas dessas moléculas têm suas funções já determinadas. O taraxasterol, inicialmente isolado de *Taraxacum officinale*, possui atividade anti-inflamatória, pois tem capacidade de regular a produção de NO, PGE2, TNF-, IL-1 e IL-6, por supressão da ativação de NF-B em células RAW 264.7 induzidas por LPS. Segundo Zhang e colaboradores (Zhang et al., 2009), o taraxasterol é um potente supressor do estado inflamatório induzido por LPS em macrófagos ativados e é um agente terapêutico potencial para utilização no tratamento de várias doenças mediadas por inflamação. A -amirina e o -sitosterol, inicialmente isolados de *Euphorbi hirta*, possuem efeitos anti-inflamatórios, conforme demonstrado por Martínez-Vázquez et al. (1999). Os efeitos inibitórios foram comparados a indometacina (Martínez-Vázquez et al., 1999), droga anti-inflamatória já comercializada. Há relatos de que esses compostos podem apresentar atividades antidiabéticas (Ortíz-Martínez et al., 2016).

Alcaloides

Os alcaloides são compostos pertencentes ao grupo de aminas cíclicas, que apresentam anéis heterocíclicos que contêm nitrogênio (N). Eles são conhecidos como compostos com potente ação narcótica analgésica, antimalárica, antibacteriana, antine-

oplásica, além de muitas outras atividades farmacológicas. Dois alcaloides foram isolados de *J. curcas* por Staubmann et al. (1999a): a pirrolidina (5-hidróxi-pirrolidin-2-one) e a pirimidina-2,4-diona (uracilo). Das et al. (2005) isolaram o imidazol (4-butil-2-cloro-5-formil-1H-imidazol), enquanto Yao et al. (2012) isolaram, a partir da torta da semente, o composto diamida (curcamida).

Flavonoides

Os flavonoides são metabólitos secundários, com muitas atividades farmacológicas, como ação anticancerígena, antiviral, antitóxica e hepatoprotetora. Dois flavonoides foram isolados, a partir de *J. curcas*, por Khafagy et al. (1977), os quais foram denominados de glicosídeo flavonoide I e glicosídeo flavonoide II. Por sua vez, Ling-Yi et al. (1996) relataram o isolamento de nobiletin, enquanto Ravindranath et al. (2004a) relataram o isolamento de tomentina.

Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos têm atividade antitrombótica e anti-inflamatória, uma vez que inibem ou antagonizam o fator de ativação das plaquetas (PAF), que é um potente fosfolípido mediador inflamatório (Fragopoulou et al., 2007). Vários compostos fenólicos foram isolados a partir de diferentes partes do pinhão, tais como 3-hidróxi-4-metóxi-benzaldeído e ácido 3-metóxi-4-hidróxi-benzoato de metila, isolados a partir da raiz (Ling-Yi et al., 1996), e o aldeído cafeoil siringaldeído, isolado da torta da semente (Yao et al., 2012).

Cumarinas

Cumarinas são metabólitos secundários que ocorrem em cascas de sementes, frutos, flores, raízes, folhas e caules. As cumarinas são utilizadas por meio de uma combinação de ingestão oral e tratamento por raios UV-A, para tratar várias desordens da pele, tais como eczema e psoríase. Cinco compostos de pinhão-manso foram isolados e identificados por Zhang et al. (2009): tomentina, 5-hidróxi-6,7-dimetóxi-cumarina, 6-metóxi-7-hidróxi-cumarina, 2,3,7-trimetóxi-8-O-D-glucósido, ácido elágico e 5-estigmasta-3,6-dieno.

Peptídeos Cíclicos

Polipeptídeos cíclicos e congêneres relacionados com aplicações farmacológicas potenciais foram descritos por Craik et al. (2004), Joullié et al. (2004) e Sarabia et al. (2004). Devappa et al. (2010a) apresentaram uma revisão com as estruturas e as atividades de diversos peptídeos cíclicos. Muitos dos peptídeos descritos foram isolados a partir do látex e apresentam várias atividades biológicas, tais como: citotoxicidade (Mongkolvisut et al., 2006), atividade imunossupressora (Morita et al., 1997), atividade antimalárica (Baraguey et al., 2000), atividade vasorrelaxante (Morita et al., 2005a), ciclo-oxigenase, acetilcolina esterase e atividades inibitórias para enzimas tirosinases (Morita et al., 1994, 2005). A seguir, serão apresentadas algumas características estruturais e atividades para esses peptídeos, isolados principalmente do látex, enfatizando o potencial para usos farmacêuticos e agrícolas.

Peptídeos com atividade antimalárica contra *Plasmodium falciparum*

Dois componentes de mahafaciclina (A MW 688,40 e B MW 804,37) foram purificados a partir do extrato CH_2Cl_2 / MeOH de látex de *Jatropha mahafalensis*. A sequência de mahafaciclina A é ciclo-(Gly-Tre-Ile-Leu-Gly-Val-Phe), enquanto a sequência de mahafaciclina B é ciclo-(Gly-Tre-Phe-Phe-Gly-Phe-Phe). Os valores de IC50 são de 16 μM e 2,2 μM , respectivamente (Baraguey et al., 2000, 2001). A curcaciclina B é um nonapeptídeo cíclico MW 863, e a sequência em aminoácidos é ciclo-(Leu-Gly-Ser-Pro-Ile-Leu-Leu-Gly-Ile). Possui atividade antimalárica com IC50 < 10 mM contra *P. falciparum* (Baraguey et al., 2001). Pohlianinas foram isoladas a partir do extrato etanólico do látex de *Jatropha pohliana*. A pohlianina A e a pohlianina B são heptapeptídeos cíclicos, e a pohlianina C um octaciclopeptídeo. A sequência de aminoácidos de pohlianina A MW 756,46 é ciclo-(Tyr-Pro-Leu-Gly-Val-Leu-Leu). A pohlianina B MW 770,48 tem uma sequência similar, na qual a valina 5 foi substituída por uma leucina. A pohlianina C MW 793,42 tem uma sequência de aminoácidos de ciclo-(Gly-Gly-Thr-Ile-Ile-Phe-Gly-Phe). Esses peptídeos cíclicos apresentam atividades antimaláricas com valores de IC50 de 57 μM , 25 μM , e 16 μM , respectivamente (Auvin-Guette et al., 1999). Os peptídeos cíclicos quevalierinas foram isolados a partir do látex de *Jatropha chevalieri*. Até o momento, três tipos de peptídeos quevalierinas foram isolados: octaciclopeptídeos quevalierina A MW 809,49 e quevalierina

B MW 825,49 e um nonapeptídeo quevalierina C MW 1028,51. A chevalierina A possui atividade antimalárica com uma IC50 de 8,9 μ M.

Peptídeos com atividade de inibição dos sistema complemento

Os peptídeos cíclicos labaditina e bioboleína, ambos isolados de *Jatropha multifida*, inibem a via clássica da ativação do complemento humano in vitro. A labaditina MW 1071.2 é um decapeptídeo com uma sequência de aminoácidos de ciclo-(Ala-Gly-Val-Trp-Thr-Val-Trp-Gly-Thr-Ile). A bioboleína é um nonapeptídeo cíclico, com uma sequência de aminoácidos de ciclo (Ala-Ser-Ile Leu-Gli-Leu-Gli-Trp-Ala). Sugere-se que ambos os peptídeos cíclicos interajam com C-1 do sistema complemento humano. A atividade imunomoduladora desses peptídeos pode torná-los produtos de importância farmacêutica (Rudi et al., 1993; Pieters et al., 1999). Uma curcaciclina foi isolada a partir do extrato etanólico do látex de *J. curcas*. Trata-se de um octapeptídeo cíclico MW 766,97 com a sequência de ciclo-(Gly1-Leu-Leu-Gly-Thr-Val-Leu-Leu). A curcaciclina exibiu uma inibição moderada da atividade da via clássica do complemento humano e inibiu a proliferação de células T em humanos (Van Den Berg et al., 1995).

Peptídeos com atividade antifúngica

A jatroidina é um octapeptídeo isolado a partir do látex de *J. curcas*. O látex foi fracionado com acetato de etila e submetido à cromatografia em Sephadex G15. A análise em aminoácidos, a espectroscopia de massa e a ressonância magnética nuclear 1D e 2D demonstraram que existem dois formadores de estrutura cíclica em jatroidina I. A sequência de ciclo é Gly-Trp-Leu-Asn-Leu-Leu-Gly-Pro, com o equilíbrio conformacional de resíduos de prolina entre as formas cis e trans, indicando que esses peptídeos existem em mais de um estado conformacional em solução. Os isolados de jatroidina apresentaram leve efeito antifúngico contra as cepas de *Candida albicans*, *Candida krusei*, *Candida parapsilosis* e *Cryptococcus neoformans*, bem como atividade moderada como inibidor de acetilcolinesterase, quando comparado com o padrão de galantamina.

Outros peptídeos com potencial farmacológico

As integerrimidas A e B foram isoladas do látex, da folha e do caule de *Jatropha integerrima* por Van Den Berg et al. (1995) e Auvin et al. (1997), respectivamente. As sequências da integerrimida A MW 781,46 é a seguinte: ciclo- (Trp-Gly-Leu-Leu-Leu-Thr-Pro). As sequências da integerrimida B MW 767,45 é a seguinte: ciclo- (Trp-Ala-Leu-Leu-Val-Ser-Pro). Os peptídeos A e B inibiram significativamente a proliferação de neutrófilos a 50 μ , quando avaliados por meio da cultura de neurônios da medula de galinha durante 2 dias. Mongkolvisut et al. (2006) observaram que os detritos celulares e os núcleos das células apoptóticas estavam ausentes na cultura de células tratadas, sugerindo que ambos os peptídeos possuem ação antiproliferação e nenhuma atividade citotóxica. Assim, os peptídeos têm potencial para inibir o crescimento de neutrófilos, a proliferação de células e a migração celular (Mongkolvisut et al., 2006).

Outros peptídeos cíclicos isolados

Outros peptídeos cíclicos foram isolados e tiveram suas sequências determinadas, mas as atividades biológicas ainda não foram definidas, como, por exemplo, os peptídeos ciclogossinas A e B, que foram isolados do extrato alcoólico de látex de *Jatropha gossypifolia*, e os peptídeos podaciclinas A e B, que foram isolados a partir do látex de *Jatropha podagrica* Hook. A ciclogossina A é um heptapeptídeo cíclico com sequência de ciclo- (Leu-Ala-Thr-Trp-Leu-Gly-Val). A ciclogossina B MW782.45 é um octapeptídeo com sequência ciclo-(Gly-Gly-Trp-Leu-Ala-Ala-Ile-Leu) (99, 100). A podaciclina MW 824,97 é um nonapeptídeo cíclico com sequência ciclo-(Gly-Leu-Leu-Gly-Ala-Val-Trp-Ala-Gly). A podaciclina B é um heptapeptídeo MW 693,79 com sequência ciclo-(Phe-Ala-Gly-Thr-Ile-Phe-Gly).

Proteínas

Proteínas e peptídeos de *J. curcas* têm sido estudados por seus papéis em atividades metabólicas, como defesa contra predadores e atividades biológicas. Proteínas funcionais como as aquaporinas foram isoladas a partir de diferentes partes do *J. curcas*. Essas proteínas desempenham papéis essenciais na adaptação da planta ao estresse hídrico, controlando o movimento de água transmembrana. Em *J.curcas*, as aquaporinas

desempenham papel importante no crescimento rápido da planta em condições de baixa umidade (Devappa et al., 2010b).

Valor nutricional

A farinha da semente desengordurada de pinhão-manso tem alto teor de proteínas, e seu percentual médio é 60% superior ao do farelo de soja comercial (46,5%). Sua digestibilidade é elevada (90%) e a composição de aminoácido bem variada, indicando o seu valor nutricional (Makkar et al., 2009).

Os níveis de aminoácidos essenciais, com exceção da lisina, foram maiores do que os níveis da referência de exigências de proteínas (farinha de soja) empregadas em rações para pintos e suínos (Makkar et al., 1998, 2008; Devappa et al., 2008). Do mesmo modo, os níveis de aminoácidos essenciais, com exceção da isoleucina, foram maiores ou semelhantes em comparação aos níveis da torta de mamona, e, com exceção de lisina, o perfil de aminoácidos é comparável com o da soja (Makkar et al., 2008).

No entanto, a presença de fatores antinutricionais e fatores tóxicos restringem a utilização da farinha de pinhão-manso em alimentação para animais (Makkar et al., 1998; Devappa et al., 2008). Os principais antinutrientes são os seguintes: a curcina, uma lectina, os inibidores de tripsina e o fitato. Os níveis do inibidor de tripsina e lectina são semelhantes aos do farelo de soja, e o nível de fitato (9,4%) é cerca de três vezes superior. As propriedades desses fatores antinutricionais são descritas a seguir.

Nas últimas duas décadas, vários estudos foram realizados para a destoxificação completa de torta de pinhão-manso. Em resumo, o inibidor de tripsina e a atividade tóxica da lectina (curcina) foram completamente inativados por umidade e calor (Kumar et al., 2010) No entanto, os ésteres de forbol tóxicos não foram completamente removidos por causa de sua resistência à degradação térmica e química (Chivandi et al., 2004; Martínez-Herrera et al., 2006).

Curcina

A curcina é uma toxina que pertence à classe das proteínas de inativadoras ribossomas (RIPs – *ribosome inactivating proteins*). Elas desativam ribossomas e, finalmente,

interrompem a síntese de proteínas. As RIPs são classificadas em três grupos com base nas suas propriedades físicas. As RIPs do tipo 1 são de cadeia simples (~ 30 kDa) que apresentam atividade enzimática e podem inibir a síntese proteica em culturas de células. As RIPs do tipo 2, altamente tóxicas, são proteínas heterodiméricas (-60 kDa), que consistem de uma cadeia A (que contém atividade enzimática semelhante às RIPs do tipo 1) ligadas a uma cadeia B, com atividade lectínica, através de uma ponte dissulfeto. A cadeia de lectina pode ligar-se a grupos galactosil de glicoproteínas e glicolípidos encontrados na superfície das células eucarióticas e mediar transporte retrógrado da cadeia A para o citosol. As RIPs do tipo 3 são sintetizadas como precursores inativos, os quais requerem processamento proteolítico adicional para tornarem-se ativas.

A principal atividade enzimática das RIPs é como uma N-glicosidase que remove uma adenina específica (resíduo A4324) em rRNA 28S de ratos. Essa adenina encontra-se dentro de uma região de nucleotídeos que é conhecida como circuito de R-sarcina e conservada em rRNAs desde bactérias a humanos (Endo et al., 1988). A curcina é uma toxalbumina, RIP do tipo 1 (28,2 kDa, ponto isoelétrico de 8,54), que afeta a atividade de tradução de proteínas. Foi primeiramente purificada a partir das sementes de *J. curcas* (Stirpe et al., 1976).

A toxicidade das RIPs ganhou interesse para o desenvolvimento de drogas antitumorais, pois seletivamente alcançam as células tumorais. A atividade antitumoral está relacionada com a ação N-glicosidase, que cliva a ligação N-glicosídica de adenina, tornando o ribossoma incapaz de se ligar a fatores de alongamento 1 ou 2, consequentemente interrompendo a síntese de proteínas. Embora existam muitas RIPs relacionadas, isoladas de diferentes fontes vegetais, os efeitos dessas proteínas in vitro diferem em ribossomas isolados a partir de organismos diferentes (Stirpe et al., 2006).

As RIPs do tipo 1 podem ser usadas para a produção de imunotoxinas, um tipo de molécula híbrida que consiste em associação da proteína tóxica (RIP) com um anticorpo que reconhece a célula tumoral. As imunotoxinas são promissoras para eliminar os alvos, tais como células nocivas, neoplásicas, imunocompetentes e células parasitas. Atualmente, há uma busca por novas RIPs com maior atividade antitumoral para uma variedade de células tumorais e para superar a resposta imunitária (Stirpe et al., 1976; Lin et al., 2003a). A curcina poderia ser uma escolha preferencial. A maioria das RIPs do tipo I não têm resíduos de cisteína livres, que são necessários para a associação de anticorpos e RIP via

ligação dissulfeto durante a preparação de imunotoxinas. No entanto, a curcina contém um resíduo de cisteína livre que pode formar diretamente uma ligação dissulfeto com um grupo tiol ativo do anticorpo (Weike et al., 2006).

Inibidores de tripsina

Os inibidores de tripsina (ITs) são proteínas que inibem enzimas proteolíticas (tripsina ou quimotripsina) durante a digestão e, em geral, são inativados por aquecimento. Alguns inibidores de proteases, como, por exemplo, o inibidor do tipo Kunitz, isolado de soja, têm propriedades anticancerígenas, como a supressão de invasão de células de câncer do ovário, bloqueando a *up regulação* da enzima uroquinase (Kobayashi et al., 2004). No entanto, não há informações disponíveis sobre as propriedades bioquímicas e farmacêuticas dos ITs isolados de pinhão-manso. Estudos são necessários para elucidar o potencial dessas moléculas como agentes terapêuticos.

Proteínas funcionais

Outras proteínas funcionais isoladas de *J. curcas* foram as seguintes: duas esterases (JEA e JEB) e uma lipase (JL) (Staubmann et al., 1999b); e a curcaína, uma protease isolada do látex (Nath; Dutta, 1991).

As lipases são ativas em pH neutro e têm temperatura ótima de 37 °C. As duas esterases isoladas foram denominadas JEA e JEB e são mais ativas em pH 8 e estáveis em temperaturas elevadas (50 °C-55 °C). Ambas as enzimas têm uma elevada estabilidade ao longo de uma ampla faixa de pH, com meias-vidas de 61 e 52 dias para JEA a 30 °C em pH 3 e 9, e meias-vidas de 16 e 5 dias para JEB a 30 °C em pH 3 e 9. A adição de etanol a 20% (v/v) aumentou a atividade da enzima de JEA (201%) e JEB (170%). Owusu e Cowan (1989) relataram que o termo “estabilidade” está correlacionado com a resistência à desnaturação nos solventes orgânicos, o que sugere que essas enzimas termoestáveis apresentam vantagens em muitas aplicações industriais.

A curcaína é uma enzima proteolítica isolada do látex de *J. curcas*, com massa molecular de 22 kDa e ponto isoelétrico entre 5,6 e 6,0 (Nath; Dutta, 1989). A enzima mostrou diferentes atividades proteolíticas, com diferentes substratos, temperatura ótima entre 45 °C e 50 °C e pH ótimo de 5,0, quando a caseína, a hemoglobina, a gelatina e a albumina

foram usadas como substratos. A curcaína apresentou propriedade de cicatrização de feridas em camundongos em duas concentrações diferentes de pó de enzimas [0,5% e 1,0% (w/w)], misturadas com base de pomada lavável. A cura de feridas pelas pomadas com curcaína foi melhor em comparação com as pomadas controles [0,2% (w/w) de furcina-nitrofurazona e 0,15% (w/w) de propamidina isoethionato-creme antisséptico]. O tecido da ferida colhido após aplicação de pomada com curcaína (dia 10) a partir de camundongos mostrou a cura completa da ferida com depósito de colágeno abundante e formação de epiderme/queratina. O alto potencial da curcaína em aplicações farmacêuticas foi demonstrado por Nath e Dutta (1988, 1992, 1997).

Informações farmacológicas

Alguns componentes de pinhão-manso foram isolados, caracterizados e tiveram alguns efeitos farmacológicos determinados. No entanto, uma série de atividades farmacológicas foi descrita para os extratos de folha, raiz e látex, e os componentes químicos responsáveis por esses efeitos não foram ainda identificados.

Efeitos anti-inflamatórios

A aplicação tópica de pó de raiz de *J. curcas* reduziu a inflamação de ouvido induzida por TPA em camundongos albinos (Mujumdar; Misar, 2004). O extrato metanólico de folhas de *J. curcas* apresentou efeitos anti-inflamatórios em ratos albinos da raça Wistar (Uche; Aprioku, 2008). Extratos de casca e folhas de *J. curcas* apresentaram atividade anti-inflamatória significativa para o edema de pata de ratos, induzido pelo método formalina (Sanjeetha et al., 2009). O extrato alcoólico de raízes, caules e folhas de *J. curcas* exibiu ação anti-inflamatória sistêmica e significativa em edema agudo de pata de rato induzido por carragenina (Nayak; Patel, 2010). Os efeitos anti-inflamatórios de *J. curcas* de extratos de folha, casca do caule, raiz e látex são atribuídos a sua forte inibição iNOS (Oskoueian et al., 2011b). A atividade anti-inflamatória foi também atribuída a substâncias isoladas da raiz de pinhão-manso, provavelmente associada aos compostos éster metil-hexadecanoico e éster metil-ocatadecanoico (Othman et al., 2015).

Atividade antioxidante

Os extratos de solução aquosa, de etanol e de metanol de nós, folhas, caules e raízes de *J. curcas* apresentaram atividade antioxidante (El Diwani et al., 2009; Igbinosa et al., 2011; Oskoueian et al., 2011b).

Atividade antimicrobiana

A atividade antimicrobiana de vários extratos orgânicos de diferentes partes da planta de *J. curcas* tem sido descrita por vários autores (Akinpelu et al., 2009; Igbinosa et al., 2009; Irene; Carino, 2011; Namuli et al., 2011). Devappa et al. (2010b) fazem uma revisão na qual apresentam as atividades, incluindo a origem do extrato, o microrganismo, as informações sobre os métodos usados, a zona de inibição e a concentração inibitória mínima.

A atividade contra bactérias gram-positivas (*Bacillus subtilis*, *B. megaterium*, *B. cereus*, *Sarcina lutea*, *Staphylococcus aureus*) e gram-negativas (*Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *S. paratyphi*, *Shigella boydii*, *Sh. dysenteriae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Vibrio mimicus* e *V. parahaemolyticus*) foi relatada por Gupta et al. (2010) e por Oyi et al. (2007), por meio do uso de extratos de látex e folhas, e por Obasi et al. (2011) por meio do uso de extratos da casca do caule e raízes. Xiao et al. (2011) verificaram que o peptídeo catiônico JCpep7, KVFLGK, apresentava atividade contra bactérias gram-positivas (*S. typhi*, *P. aeruginosa*, *Sh. dysenteriae*) e gram-negativas (*S. aureus*, *Klebsiella pneumonia* e *B. subtilis*).

A atividade antifúngica (contra *Trichophyton longifusus*, *Candida glabrata*, *Fusarium solani*, *Microsporum canis*, *Aspergillus flavus*, *C. albicans*, *A. niger* e *Penicillium notatum*) foi relatada por Igbinosa et al. (2009). Donlaporn e Suntornsuk (2010) relataram a atividade antifúngica contra *Fusarium oxysporum*, *F. semitectum*, *Pythium aphanidermatum*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Curvularia lunata*, *Colletotrichum capsici* e *C. gloeosporioides*. Achenbach e Benirschke (1997) demonstraram atividade antifúngica e antibacteriana contra *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani* e *B. subtilis*. Devappa et al. (2012a) demonstraram que uma fração rica em ésteres de forbol possuía atividade antibacteriana contra *B. subtilis*, *P. putida*, *Proteus mirabilis*, *S. aureus*, *Streptococcus pyogenes* e *E. coli*; e atividade antifúngica contra *A. niger*, *A. flavus*, *B. cinerea*, *F. oxysporium*, *F. moniliforme*, *C. lunata* e *P. notatum*. No entanto, em razão da ausência de caracterização e elucidação do mecanismo de ação, várias restrições ao uso foram destacadas por Devappa et al. (2011). Além disso,

a maioria dos estudos não menciona claramente as condições em que os testes foram realizados, tais como localização, clima, colheita e estados saudáveis ou doentes.

Atividade anticâncer

No México, o pinhão-manso é uma das espécies de plantas que são usadas para tratamentos contra o câncer no México (Alonso-Castro et al., 2011). Os diterpenos são os principais metabólitos secundários em *J. curcas* associados aos efeitos citotóxicos e inibidores de tumor (Devappa et al., 2011).

O extrato metanólico de folhas apresentou atividade antimetastática (Balaji et al., 2009a), e os extratos da folha, raiz e casca do caule de pinhão mostraram atividade citotóxica para a linhagem de célula HT-29. No entanto, o extrato de raiz foi mais ativo em comparação com folhas e casca do caule e surgiu como fonte de um agente terapêutico anticâncer (Oskoueian et al., 2011b).

As atividades anticâncer de diterpenos isolados foram relatadas por vários pesquisadores, e a atividade antimetastática do curcusone B contra quatro linhas celulares de câncer humano foi relatada pela Muangman et al. (2005). Pertino et al. (2007) relataram atividade gastroprotetora pela jatrolona (A e B) em uma lesão gástrica induzida por HCl EtOH em ratos, enquanto Sutthivaiyakit et al. (2009) relataram a citotoxicidade para caniojano contra fibroblastos de rim de macaco verde africano e efeitos antituberculose contra *Mycobacterium tuberculosis* H37Ra. Por sua vez, Theoduloz et al. (2009) reportaram a atividade antiproliferativa de jatrolona B contra fibroblastos CCL-171, AGS CRL-1739, pulmão HTB- 58, bexiga HTB-1 e leucemia CCL-240. Em contraste, Wang et al. (2009) não detectaram nenhuma atividade inibitória significativa in vitro durante tratamento com jatrolactano contra uma linhagem de células cancerosas de pulmão humano (A549), contra câncer de cólon (HT-29) e carcinoma epidermoide escamoso (A431). No entanto, Liu et al. (2012) relataram atividade citotóxica para jatrolactano. Essas observações reforçam a necessidade de estudos futuros, com maior controle, para a liberação dessas substâncias com agentes anticancerígenos.

Atividade antiviral

Muanza et al. (1995) e Matsuse et al. (1998) relataram atividade moderada cicloprotetiva contra o vírus HIV em cultura de células linfoblastoides humanas CEM-SS para o extrato metanólico de ramos de *J. curcas*. Matsuse et al. (1998) relataram que o extrato aquoso de ramos de *J. curcas* mostrou inibição potente ($IC_{50} 24\mu\text{g mL}^{-1}$) sobre os efeitos citopáticos induzidos pelo HIV com baixa citotoxicidade ($CC_{50} N 1000$) e índice de seletividade $CC 50/IC_{50}$ (N41.7). Recentemente, Wender et al. (2008) relataram a possibilidade de sintetizar prostratina e derivados de ésteres de forbol de *J. curcas*. Essa síntese facilitaria a identificação de candidatos clínicos adequados que poderiam ser utilizados no tratamento contra o HIV.

Atividade antidiabética

Tradicionalmente, folhas de infusão fervidas (Jaiswal, 2010) ou frutos queimados em cinzas ou extrato de água da casca (Jayakumar et al., 2010) são utilizados para controlar os níveis de açúcar no sangue. No entanto, a informação científica disponível sobre modelos humanos é muito escassa, e pesquisas são necessárias para cobrir esse aspecto em um futuro próximo. Mishra et al. (2010) relataram efeitos anti-hiperglicêmicos de extrato etanólico de *J. curcas* por administração oral em ratos com diabetes induzida por aloxana. Os resultados foram comparáveis aos da redução de níveis de glicose de ratos tratados com o padrão glibenclamida. Além disso, conforme relatado por Mishra et al. (2010), o extrato reduziu significativamente os níveis de colesterol e triglicérides nos ratos.

Atividade analgésica

Uche e Aprioku (2008) relataram atividade analgésica do extrato de *J. curcas* em camundongos que fizeram uso do teste de contorção induzido por ácido acético. O extrato metanólico causou redução significativa do número de contorções abdominais induzidas por ácido acético em camundongos, em comparação com o efeito analgésico obtido a partir do paracetamol, droga de referência. Em outro estudo, Yusuf e Maxwell (2010) estudaram a atividade analgésica in vivo do extrato metanólico de folha de *J. curcas*, utilizando o ensaio de reflexo de “placa quente” e contorção por acético em camundongos. Nesses ensaios, a administração oral do extrato de folhas, em doses de 100 mg kg^{-1} , 200 mg kg^{-1}

e 400 mg kg⁻¹, apresentou um efeito analgésico potente, em camundongos e ratos similar ao da droga de referência, acetilsalicílico 400 mg kg⁻¹. No ensaio de contorção induzido por ácido acético, o extrato diminuiu o número de contorções abdominais.

Atividade hepatoprotetora

Balaji et al. (2009b) avaliaram o uso por administração oral (doses de 100 mg kg⁻¹ e 200 mg kg⁻¹) das frações metanólicas de folhas de *J. curcas* contra o carcinoma hepatocelular induzido por aflatoxina B1 em ratos. Essas frações diminuíram os níveis elevados de enzimas séricas, de lipídeos e de bilirrubina e aumentou os níveis de ácido úrico. A histopatologia do fígado mostrou que as frações metanólicas levaram à redução da incidência de lesões hepáticas, infiltrações linfocitárias e necrose hepática induzida por aflatoxinas.

Atividade cicatrizante

O uso tradicional de diferentes partes de *J. curcas* na cicatrização de feridas é documentado em estudos realizados em muitas partes do mundo (Neuwinger, 1996; Osoniyi Onajobi, 2003; Balangcod; Balangcod, 2011). No entanto, falta investigação científica relevante para o modelo humano. Villegas et al. (1997) relataram atividade cicatrizante positiva por extrato de *J. curcas* em camundongos. Shetty et al. (2006) avaliaram a atividade de cura de feridas por extratos de casca de *J. curcas* em ratos albinos da raça Wistar. O extrato acelerou os processos de cura, aumentando a resistência à ruptura do tecido, a contração da ferida, o peso de granulação do tecido e os níveis de hidroxiprolina. Esimone et al. (2009) testaram a atividade de uma pomada com extrato metanólico de folhas *J. curcas* para a cura de feridas. O unguento foi aplicado topicamente na ferida em intervalos de 3 dias até o seu fechamento completo. O controle foi feito com a pomada gentamicina (1%). O extrato metanólico incorporado a uma base de pomada causou maiores taxas de cicatrização de feridas e reduziu o período de epiteliização de modo dose-dependente. Como descrito anteriormente, a atividade de cura de feridas tem sido atribuída à proteína curcaína.

Atividade anticoagulante e pró-coagulante

Tradicionalmente, a folha, o caule ou a seiva de *J. curcas*, em pó seco, são espalhados em feridas como hemostático (Watt; Breyer-Brandwijk, 1962; Neuwinger, 1996). Osoniyi e Onajobi (2003) relataram que *J. curcas* possui atividade tanto pró-coagulante quanto anticoagulante. O látex de *J. curcas* reduziu significativamente o tempo de coagulação do sangue humano. No entanto, o látex diluído prolongou o tempo de coagulação. Eles atribuíram a ocorrência dessas duas atividades opostas ao fracionamento do látex no solvente em acetato de etila e butanol. Em baixas concentrações, a fração acetato de etila mostrou atividade pró-coagulante, enquanto a fração butanol apresentou a maior atividade anticoagulante.

Atividade antifertilidade (efeito abortivo)

Goonasekera et al. (1995) relataram a atividade antifertilidade, por administração oral de extratos do fruto de pinhão-manso em metanol, éter de petróleo e diclorometano para ratas prenhas. Os extratos de frutos causaram reabsorção fetal, interrompendo ocorrência de gravidez em fase inicial após a implantação. Makonnen et al. (1997) relataram efeitos antifertilidade de extrato bruto das sementes de *J. curcas* quando administrado oralmente a suínas albinas. Odusote et al. (2002) relataram a inibição do nascimento de cachorro por óleo de pinhão-manso em dose de 2 mL kg⁻¹/kg.

Toxicidade e alergenicidade

A espécie *J. curcas* exibe toxicidade para ampla variedade de espécies de microrganismos e para animais, incluindo os seres humanos. Todas as partes de *J. curcas* são tóxicas, e o grau de toxicidade varia de acordo com os seguintes fatores: tipos de extrato, natureza das substâncias de ensaio, dosagem, modo de administração e sensibilidade dos animais (Devappa et al., 2010a). As sementes são tóxicas para os seres humanos (Gandhi et al., 1995; Heller, 1996), induzindo sintomas como tontura, vômito, delírio, choque muscular, diminuição da capacidade visual, alta taxa de pulsação e diarreia (Becker; Makkar, 1998; Rai; Lakhanpal, 2008; Singh et al., 2010). Em animais, os sintomas tóxicos foram relatados quando pintos (El-Badawi et al., 1995; Makkar et al., 2009), suínos (Chivandi et al., 2000, 2006), ovinos e caprinos (Adam; Magzoub, 1975; Ahmed; Adam, 1979), coelhos

(Gandhi et al., 1995), camundongos e ratos (Adam, 1974; Liberalino et al., 1988; Abdel Gadir et al., 2003), carpa *Cyprinus carpio* (Becker; Makkar, 1998) foram forçados a se alimentar de sementes brutas ou desengorduradas. Hirota et al. (1988) relataram que, em 30 semanas, houve indução de tumores pela aplicação tópica de uma fração metanólica em animais com tumores de pele. Jing et al. (2005) relataram a toxicidade para jatroferol-I, metade da dose letal (DL50) $82,2 \text{ mg kg}^{-1}$, quando administrado por via oral. Li et al. (2010) relataram atividade tóxica para ésteres de forbol (DL50 $27,34 \text{ mg kg}^{-1} / \text{kg}$) por administração intragástrica a camundongos. Os estudos histopatológicos nos órgãos dos ratos mortos mostraram que, na dose de 32 a 40 mg kg^{-1} , houve lesões importantes, as quais foram encontradas principalmente nos pulmões e rins, com hemorragias difusas no pulmão, esclerose glomerular e atrofia no rim. Em ratos, Adolf et al. (1984) relataram atividade irritante do óleo de semente de *J. curcas*.

Alergenicidade do pinhão-manso

Maciel et al. (2009) descreveram a presença de uma proteína alergênica pertencente à classe das albuminas 2S, chamada Jat c1, com 12 kDa, que foi isolada a partir de sementes de *J. curcas* L. A Jat c 1 apresenta duas cadeias polipeptídicas similares à maioria das albuminas 2S alergênicas.

A sequência N-terminal parcial de Jat c 1 foi determinada: VRDKCGEEAERRTLX-GCENYISQRR (cadeia leve) e PREQVPRQCCNQALE (cadeia pesada). Maciel et al. (2009) demonstraram a capacidade dessa proteína alergênica de se ligar à IgE fixada em mastócitos de ratos, induzindo a liberação de histamina. Suas propriedades alergênicas foram demonstradas pelo teste de anafilaxia cutânea passiva, uma reação alérgica do tipo I in vivo.

Outra característica mostrada por Maciel foi que a albumina 2S isolada a partir de *J. curcas* apresentou reação cruzada com os principais alérgenos de *Ricinus communis* (mamona): Ric c 1 e Ric c 3. Esses dados indicaram que um indivíduo sensibilizado a alérgenos de mamona (Ric c 1 e Ric c 3) pode tornar-se sensível à albumina 2S de *J. curcas* (Jat c 1) e que a condição inversa pode também ser possível.

Conclusões

J. curcas é uma planta com potencial para produção de biodiesel e utilizações medicinais. A planta tem uma longa história de uso em tratamentos de uma gama de doenças em muitos países.

Esta revisão buscou fornecer as informações disponíveis sobre botânica, uso tradicional, fitoquímica, farmacologia e toxicidade de *J. curcas*. Além disso, mostrou a diversidade de usos tradicionais de *J. curcas* que diferem de um país para outro, enfatizando os usos mais comuns, tais como tratamentos de problemas gástricos, distúrbios inflamatórios, doenças sexuais, icterícia, diabetes, disenteria, febre e doenças de pele. Esses dados indicam claramente o grande potencial de *J. curcas* para fins medicinais.

Em relação aos componentes que contribuem para os valores medicinais, os resultados indicaram que os diterpenos são os principais responsáveis pela atividade anti-inflamatória, pela citotoxicidade e pelas atividades antimicrobianas. Fenólicos, flavonoides e saponinas são responsáveis pelas atividades antimicrobiana e antioxidante. Sesquiterpenoides são responsáveis por efeitos antimicrobianos e analgésicos. Proteínas como a curcaína são responsáveis pela cura de feridas. As lignanas e os esteroides são responsáveis, respectivamente, pela citotoxicidade e pelas atividades antidiabéticas.

Os estudos farmacológicos detalhados apresentados nesta revisão fornecem para que o pinhão manso seja uma fonte potencial para componentes de medicamentos. No entanto, existem desafios relacionados à reprodutibilidade das atividades biológicas os quais são relevantes para o uso prático. Mais pesquisas são necessárias para estudar as funções bioquímicas e fisiológicas demonstradas por *J. curcas*, a fim de identificar com segurança os produtos naturais bioativos bem como elucidar seus mecanismos de ação. Muito cuidado deve ser tomado quando as diferentes partes de *J. curcas* são usadas na medicina tradicional. Propriedades antagonistas dos fitoquímicos, tais como atividade antitumoral e promoção de tumores, são observadas, o que indica cautela nos usos e nas aplicações tradicionais. Em razão disso, mais estudos são necessários para determinar o mecanismo e as condições que controlam essas propriedades antagônicas. A utilização terapêutica pode ser ideal quando o princípio ativo for usado de forma purificada.

Referências

- ABDEL GADIR, W. S.; ONSA, T. O.; ALI, W. E. M.; EL BADWI, S. M. A.; ADAM, S. E. I. Comparative toxicity of *Croton macrostachys*, *Jatropha curcas* and *Piper abyssinica* seeds in Nubian goats. **Small Ruminant Research**, v. 48, n. 1, p. 61-67, Apr. 2003. DOI: 10.1016/S0921-4488(02)00181-5.
- ACHENBACH, H.; BENIRSCHKE, G. Joannesialactone and other compounds from *Joannesia princeps*. **Phytochemistry**, v. 45, n. 1, p. 149-157, May 1997. DOI: 10.1016/S0031-9422(96)00777-7.
- ADAM, S. E. I. Toxic effects of *Jatropha curcas* in mice. **Toxicology**, v. 2, n. 1, p. 67-76, Mar. 1974. DOI: 10.1016/0300-483X(74)90043-2.
- ADAM, S. E. I.; MAGZOUB, M. Toxicity of *Jatropha curcas* for goats. **Toxicology**, v. 4, n. 3, p. 388-389, July 1975. DOI: 10.1016/0300-483X(75)90057-8.
- ADOLF, W.; OPFERKUCH, H. J.; HECKER, E. Irritant phorbol derivatives from *Jatropha species*. **Phytochemistry**, v. 23, n. 1, p. 129-132, 1984. DOI: 10.1016/0031-9422(84)83091-5.
- AHMED, O. M.; ADAM, S. E. Toxicity of *Jatropha curcas* in sheep and goats. **Research in Veterinary Science**, v. 27, n. 1, p. 89-96, July 1979. DOI: 10.1016/S0034-5288(18)32864-9.
- AKINPELU, D. A.; AIYEGORO, O. A.; OKOH, A. I. The bioactive potentials of two medicinal plants commonly used as folklore remedies among some tribes in West Africa. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 8, p. 1660-1664, 2009.
- ALONSO-CASTRO, A. J.; VILLARREAL, M. L.; SALAZAR-OLIVO, L. A.; GOMEZ-SANCHEZ, M.; DOMINGUEZ, F.; GARCIA-CARRANCA, A. Mexican medicinal plants used for cancer treatment: pharmacological, phytochemical and ethnobotanical studies. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 133, n. 3, p. 945-972, Feb. 2011. DOI: 10.1016/j.jep.2010.11.055.
- AUVIN, C.; BARAGUEY, C.; BLOND, A.; LEZENVEN, F.; POUSSET, J. L.; BODO, B. Curcacycline B, a cyclic nonapeptide from *Jatropha curcas* enhancing rotamase activity of cyclophilin. **Tetrahedron Letters**, v. 38, n. 16, p. 2845-2848, Apr. 1997. DOI: 10.1016/S0040-4039(97)00495-4.
- AUVIN-GUETTE, C.; BARAGUEY, C.; BLOND, A.; XAVIER, H. S.; POUSSET, J.-L.; BODO, B. Pohlmanins A, B and C, cyclic peptides from the latex of *Jatropha pohliana* ssp. *molissima*. **Tetrahedron**, v. 55, n. 38, p. 11495-11510, Sept. 1999. DOI: 10.1016/S0040-4020(99)00660-2.
- BALAJI, R.; REKHA, N.; DEECARAMAN, M.; MANIKANDAN, L. Antimetastatic and antiproliferative activity of methanolic fraction of *Jatropha curcas* against B16F10 melanoma induced lung metastasis in C57BL/6 mice. **African Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 3, n. 11, p. 547-555, 2009a.
- BALAJI, R.; SUBA, V.; REKHA, N.; DEECARMAN, M. Hepatoprotective activity of methanolic fraction of *Jatropha curcas* on aflatoxin B1 hepatic carcinoma. **International Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 1, p. 287-296, 2009b.

- BALANGCOD, T. D.; BALANGCOD, A. K. D. Ethnomedical knowledge of plants and healthcare practices among the Kalanguya tribe in Tinoc, Ifugao, Luzon, Philippines. **Indian Journal of Traditional Knowledge**, v. 10, n. 2, p. 227-238, Mar. 2011.
- BARAGUEY, C.; BLOND, A.; CAVELIER, F.; POUSSET, J.-L.; BODO, B.; AUVIN-GUETTE, C. Isolation, structure and synthesis of mahafacyclin B, a cyclic heptapeptide from the latex of *Jatropha mahafalensis*. **Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 1**, v. 1, p. 2098-2103, 2001. DOI: 10.1039/b008538n.
- BARAGUEY, C.; BLOND, A.; CORREIA, I.; POUSSET, J.-L.; BODO, B.; AUVIN-GUETTE, C. Mahafacyclin A, a cyclic heptapeptide from *Jatropha mahafalensis* exhibiting β -bulge conformation. **Tetrahedron Lett**, v. 41, n. 3, p. 325-329, Jan. 2000. DOI: 10.1016/S0040-4039(99)02084-5.
- BECKER, K.; MAKAR, H. P. S. Effects of phorbol esters in carp (*Cyprinus carpio* L.). **Veterinary and Human Toxicology**, v. 40, n. 2, p. 82-86, Apr. 1998.
- BECKER, K.; MAKAR, H. P. S. *Jatropha curcas*: a potential source for tomorrow's oil and biodiesel. **Lipid Technology**, v. 20, n. 5, p. 104-107, May 2008. DOI: 10.1002/lite.200800023.
- CARELS, N. *Jatropha curcas*: a review. **Advances in Botanical Research**, v. 50, p. 39-86, 2009. DOI: 10.1016/S0065-2296(08)00802-1.
- CHIANESE, G.; FATTORUSSO, E.; AIYELAAGBE, O. O.; LUCIANO, P.; SCHRÖDER, H. C.; MÜLLER, W. E. G.; TAGLIALATELA-SCAFATI, O. Spirocurcasone, a diterpenoid with a novel carbon skeleton from *Jatropha curcas*. **Organic Letters**, v. 13, n. 2, p. 316-319, 2011. DOI: 10.1021/ol102802u.
- CHIVANDI, E.; ERLWANGER, K. H.; MAKUZA, S. M.; READ, J. S.; MTIMUNI, J. P. Effects of dietary *Jatropha curcas* meal on percent packed cell volume, serum glucose, cholesterol and triglyceride concentration and alpha-amylase activity of weaned fattening pigs. **Research Journal of Animal and Veterinary Sciences**, v. 1, p. 18-24, 2006.
- CHIVANDI, E.; MAKUZA, S. M.; ERLWANGER, K. H.; MTIMUNI, J. P.; READ, J. S.; TIVAPASI, M. Effects of dietary *Jatropha curcas* on the haematology of weaned pigs. **Zimbabwe Veterinary Journal**, v. 31, n. 4, p. 83-91, 2000. DOI: 10.4314/zvj.v31i3.5360.
- CHIVANDI, E.; MTIMUNI, J. P.; READ, J. S.; MAKUZA, S. M. Effect of processing method on the phorbol ester concentration, total phenolics, trypsin inhibitor activity and the proximate composition of the Zimbabwean *Jatropha curcas* provenance: a potential live stock feed. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 7, n. 6, p. 1001-1005, 2004. DOI: 10.3923/pjbs.2004.1001.1005.
- CRAIK, D. J.; DALY, N. L.; MULVENNA, J.; PLAN, M. R.; TRABI, M. Discovery, structure and biological activities of the cyclotides. **Current Protein & Peptide Science**, v. 5, n. 5, p. 297-315, 2004. DOI: 10.2174/1389203043379512.
- DAS, B.; REDDY, M. R.; RAVINDRANATH, N.; KISHORE, K. H.; MURTHY, U. S. N. A substituted imidazole derivative from *Jatropha curcas*. **Indian Journal of Chemistry**, v. 44B, p. 1119-1120, 2005.

- DEVAPPA, R. K.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. *Jatropha* diterpenes: a review. **Journal of American Oil Chemists' Society**, v. 88, n. 3, p. 301-322, Mar. 2011. DOI: 10.1007/s11746-010-1720-9.
- DEVAPPA, R. K.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. *Jatropha* toxicity – a review. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B**, v. 13, n. 6, p. 476-507, 2010a. DOI: 10.1080/10937404.2010.499736.
- DEVAPPA, R. K.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Localisation of antinutrients and qualitative identification of toxic components in *Jatropha curcas* seed. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 7, p. 1519-1525, May 2012b. DOI: 10.1002/jsfa.4736.
- DEVAPPA, R. K.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Nutritional, biochemical, and pharmaceutical potential of proteins and peptides from *Jatropha*: review. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 58, n. 11, p. 6543-6555, 2010b. DOI: 10.1021/jf100003z.
- DEVAPPA, R. K.; RAJESH, S. K.; KUMAR, V.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Activities of *Jatropha curcas* phorbol esters in various bioassays. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 78, p. 57-62, Apr. 2012a. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2011.11.002.
- DEVAPPA, R. K.; SWAMYLINGAPPA, B. Biochemical and nutritional evaluation of *Jatropha* protein isolate prepared by steam injection heating for reduction of toxic and antinutritional factors. **Journal of the Science of Food Agriculture**, v. 88, n. 5, p. 911-919, 2008. DOI: 10.1002/jsfa.3170.
- DONLAPORN, S.; SUNTORNSUK, W. Antifungal activities of ethanolic extract from *Jatropha curcas* seed cake. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 20, n. 2, p. 319-324, Feb. 2010.
- EL DIWANI, G.; EL RAFIE, S. H.; HAWASH, S. Antioxidant activity of extracts obtained from residues of nodes leaves stem and root of Egyptian *Jatropha curcas*. **African Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 3, n. 11, p. 521-530, Nov. 2009.
- EL-BADAWI, S. M.; ADAM, S. E.; HAPKE, H. J. Comparative toxicity of *Ricinus communis* and *Jatropha curcas* in Brown Hisex chicks. **Deutsche Tierärztliche Wochenschrift**, v. 102, n. 2, p. 75-77, 1995.
- ENDO, Y.; TSURUGI, K. The RNA N-glycosidase activity of ricin A-chain: the characteristics of the enzymatic activity of ricin A-chain with ribosomes and with rRNA. **Journal of Biological Chemistry**, v. 263, n. 18, p. 8735-8739, Jun. 1988.
- ESIMONE, C. O.; NWORU, C. S.; JACKSON, C. Cutaneous wound healing activity of a herbal ointment containing the leaf extract of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **International Journal of Applied Research in Natural Products**, v. 1, n. 4, p. 1-4, Jan. 2009. DOI: 10.1111/j.1095-8339.1987.tb01048.x.
- EVANS, F. J.; EDWARDS, M. C. Activity correlations in the phorbol ester series. In JURY, S. L.; REYNOLDS, T.; CUTLER, D. F.; EVANS, F. J. (Ed.). **The Euphorbiales chemistry, taxonomy & economic botany**. London: Linnean Society, Academic Press, 1987.

- FRAGOPOULOU, E.; NOMIKOS, T.; KARANTONIS, H. C.; APOSTOLAKIS, C.; PLIAKIS, E.; SAMIOTAKI, M.; PANAYOTOU, G.; ANTONOPOULOU, S. Biological activity of acetylated phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 1, p. 80-89, 2007. DOI: 10.1021/jf0627221.
- GANDHI, V. M.; CHERIAN, K. M.; MULKY, M. J. Toxicology studies on ratanjyot oil. **Food and Chemistry Toxicology**, v. 33, n. 1, p. 39-42, Jan. 1995. DOI: 10.1016/0278-6915(95)80246-0.
- GOEL, G.; MAKKAR, H. P. S.; FRANCIS, G.; BECKER, K. Phorbol esters: structure, biological activity, and toxicity in animals. **International Journal of Toxicology**, v. 26, n. 4, p. 279-288, 2007. DOI: 10.1080/10915810701464641.
- GOONASEKERA, M. M.; GUNAWARDANA, V. K.; JAYASENA, K.; MOHAMMED, S. G.; BALASUBRAMANIAM, S. Pregnancy terminating effect of *Jatropha curcas* in rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 47, n. 3, p. 117-123, July 1995. DOI: 10.1016/0378-8741(95)01263-D.
- GOULART, M. O. F.; SANTÀNA, A. E. G.; DE LIMA, R. A. de; CAVALCANTE, S. H.; CARVALHO, M. G. de; BRAZ-FILHO, R. Fitoconstituintes químicos isolados de *Jatropha elliptica*, atribuição dos deslocamentos químicos dos átomos de carbono e hidrogênio dos diterpenos Jatrolonas A e B. **Química Nova**, v. 16, p. 95-100, 1993.
- GUPTA, D. D.; HAQUE, E.; ISLAM, N.; MONDAL, S. I.; SHIBIB, B. A. Antimicrobial and cytotoxic activities of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae). **Dhaka University Journal of Pharmaceutical Science**, v. 9, n. 2, p. 139-142, Dec. 2010. DOI: 10.3329/dujps.v9i2.7899.
- HASS, W.; STERK, H.; MITTELBAACH, M. Novel 12-deoxy-16-hydroxyphorbol diesters isolated from the seed oil of *Jatropha curcas*. **Journal of Natural Products**, v. 65, n. 10, p. 1434-1440, Aug. 2002. DOI: 10.1021/np020060d.
- HELLER, J. **Physic nut *Jatropha curcas* L.**: promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Rome: International Plant Genetic and Crop Resources Institute, 1996. 66 p.
- HIROTA, M.; SUTTAJIT, M.; SUGURI, H.; ENDO, Y.; SHUDO, K.; WONGCHAI, V.; HECKER, E.; FUJIKI, H. A new tumor promoter from the seed oil of *Jatropha curcas* L., an intramolecular diester of 12-deoxy-16-hydroxyphorbol. **Cancer Research**, v. 48, n. 20, p. 5800-5804, Oct. 1988.
- IGBINOSA, O. O.; IGBINOSA, E. O.; AIYEGORO, O. A. Antimicrobial activity and phytochemical screening of stem bark extracts from *Jatropha curcas* (Linn). **African Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 3, n. 2, p. 58-62, Feb. 2009.
- IGBINOSA, O. O.; IGBINOSA, I. H.; CHIGOR, V. N.; UZUNUIGBE, O. E.; OYEDEMI, S. O.; ODJADJARE, E. E.; OKOH, A. L.; IGBINOSA, E. O. Polyphenolic contents and antioxidant potential of stem bark extract from *Jatropha curcas* (Linn). **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, n. 5, p. 2958-2971, 2011. DOI: 10.3390/ijms12052958.
- IWU, M. M. Handbook of African Medicinal plants CRC press. **Boca Raton, FL**, p. 501-510, 1993.

JAISWAL, V. Culture and ethnobotany of *Jaintia* tribal community of Meghalaya, Northeast India – a mini review. **Indian Journal of Traditional Knowledge**, v. 9, n. 1, p. 38-44, Jan. 2010.

JAYAKUMAR, G.; AJITHABAI, M. D.; SREEDEVI, S.; VISWANATHAN, P. K.; REMESHKUMAR, B. Ethnobotanical survey of the plants used in treatment of diabetes. **Indian Journal of Traditional Knowledge**, v. 9, n. 1, p. 100-104, Jan. 2010.

JING, L.; FANG, Y.; YING, X.; WENXING, H.; MENG, X.; SAYED, M. N.; FANG, C. Toxic impact of ingested Jatrophol-I on selected enzymatic activities and ultrastructure of midgut cells in silkworm, *Bomboxy mori* L. **Journal of Applied Entomology**, v. 129, n. 2, p. 98-104, Mar. 2005. DOI: 10.1111/j.1439-0418.2005.00939.x.

JOSHI, A.; SINGHAL, P.; BACHHETI, R. K. Physicochemical characterization of seed oil of *Jatropha curcas* L. collected from Dehradun (Uttarakhand) India. **International Journal of Applied and Pharmaceutical Technology**, v. 2, n. 2, p. 123-127, Mar. 2011.

JOULLIÉ, M. M.; RICHARD, D. J. Cyclopeptide alkaloids: chemistry and biology. **Chemical Communications**, n. 18, p. 2011-2015, 2004. DOI: 10.1039/B400334A.

KHAFAGY, S. M.; MOHAMED, Y. A.; ABDEL SALAM, N.; MAHMOUD, Z. F. Phytochemical study of *Jatropha curcas*. **Plant Medicine**, v. 31, n. 3, p. 274-277, 1977. DOI: 10.1055/s-0028-1097529.

KOBAYASHI, H.; SUZUKI, M.; KANAYAMA, N.; TERAQ, T. A soybean Kunitz trypsin inhibitor suppresses ovarian cancer cell invasion by blocking urokinase upregulation. **Clinical & Experimental Metastasis**, v. 21, n. 2, p. 159-166, Mar. 2004. DOI: 10.1023/B:CLIN.0000024751.73174.c2.

KUMAR, A.; SHARMA, S. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): a review. **Industrial Crops and Products**, v. 28, n. 1, p. 1-10, July 2008. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.01.001.

KUMAR, V.; MAKAR, H. P.; AMSELGRUBER, W.; BECKER, K. Physiological, haematological and histopathological responses in common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings fed with differently detoxified *Jatropha curcas* kernel meal. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 8-9, p. 2063-2072, Aug./Sept. 2010. DOI: 10.1016/j.fct.2010.05.007.

LI, C.-Y.; DEVAPPA, R. K.; LIU, J.-X.; LV, J.-M.; MAKAR, H. P. S.; BECKER, K. Toxicity of *Jatropha curcas* phorbol esters in mice. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 2, p. 620-625, Feb. 2010. DOI: 10.1016/j.fct.2009.11.042.

LIBERALINO, A. A. A.; BAMBIRRA, E. A.; MOREAES-SANTOS, T.; VIERA, C. E. *Jatropha curcas* L. seeds: chemical analysis and toxicity. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 31, p. 539-550, 1988.

LIN, J.; CHEN, Y.; XU, Y.; YAN, F.; TANG, L.; CHEN, F. Cloning and expression of curcin, a ribosome-inactivating protein from the seeds of *Jatropha curcas*. **Acta Botanica Sinica**, v. 45, n. 7, p. 858-863, 2003a.

LIN, J.; YAN, F.; TANG, L.; CHEN, F. Antitumor effects of curcun from seeds of *Jatropha curcas*. **Acta Pharmacologica Sinica**, v. 24, n. 3, p. 241-246, Mar. 2003b.

LING-YI, K.; ZHI-DA, M.; JIAN-XIA, S.; RUI, F. Chemical constituents from roots of *Jatropha curcas*. **Acta Botanica Sinica**, v. 38, n. 2, p. 161-166, 1996.

LIU, J.-Q.; YANG, Y.-F.; WANG, C.-F.; LI, Y.; QIU, M.-H. Three new diterpenes from *Jatropha curcas*. **Tetrahedron**, v. 68, n. 4, p. 972-976, Jan. 2012. DOI: 10.1016/j.tet.2011.12.006.

MACIEL, F. M.; LABERTY, M. A.; OLIVEIRA, N. D.; FELIX, S. P.; SOARES, A. M. dos S.; VE-RÍCIMO, M. A.; MACHADO, O. L. T. A new 2S albumin from *Jatropha curcas* L. seeds and assessment of its allergenic properties. **Peptides**, v. 30, n. 12, p. 2103-2107, Dec. 2009. DOI: 10.1016/j.peptides.2009.08.008.

MAKKAR, H. P. S. Potential of *J. curcas* seed meal as a protein supplement to livestock feed, constraints to its utilisation and possible strategies to overcome constraints. In: **Proceedings the International Symposium on Biofuel and Industrial Products from *Jatropha curcas* and Other Tropical Oil Seed Plants; Managua, Nicaragua, 1997**. 1997.

MAKKAR, H. P. S.; ADERIBIGBE, A. O.; BECKER, K. Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. **Food Chemistry**, v. 62, n. 2, p. 207-215, June 1998. DOI: 10.1016/S0308-8146(97)00183-0.

MAKKAR, H. P. S.; FRANCIS, G.; BECKER, K. *Jatropha curcas*, a promising crop for the generation of biodiesel and value-added coproducts. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 111, n. 8, p. 773-787, Aug. 2009. DOI: 10.1002/ejlt.200800244.

MAKKAR, H. P. S.; FRANCIS, G.; BECKER, K. Protein concentrate from *Jatropha curcas* screw-pressed seed cake and toxic and antinutritional factors in protein concentrate. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 9, p. 1542-1548, 2008. DOI: 10.1002/jsfa.3248.

MAKONNEN, E.; ROSTOM, A. A. H.; ASSEFA, G.; ZERIHUN, L. Antifertility effect of *Jatropha curcas* L. seed in guinea pigs. **The Ethiopian Journal of Health Development**, v. 11, n. 2, p. 145-148, 1997.

MANPONG, P.; DOUGLAS, S.; DOUGLAS, P. L.; PONGAMPHAI, S.; TEPPAITOON, W.; KAEWPRAKAI-SANGKUL, O. Responses surface methodology applied to the extraction of phenolic compounds from *Jatropha curcas* Linn. Leaves using supercritical CO₂ with a methanol co-solvent. **Journal of Food Process Engineering**, v. 34, n. 5, p. 1661-1681, 2011. DOI: 10.1111/j.1745-4530.2009.00552.x.

MARTÍNEZ-HERRERA, J.; SIDDHURAJU, P.; FRANCIS, G.; DÁVILA-ORTÍZ, G.; BECKER, K. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. **Food Chemistry**, v. 96, n. 1, p. 80-89, May 2006. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.01.059.

- MARTÍNEZ-VÁZQUEZ, Mariano et al. Anti-inflammatory active compounds from the n-hexane extract of *Euphorbia hirta*. **J. Mex. Chem. Soc.**, v. 43, p. 103-105, 1999.
- MATSUSE, I. T.; LIM, Y. A.; HATTORI, M.; CORREA, M.; GUPTA, M. P. A search for anti-viral properties in Panamanian medicinal plants: the effects on HIV and its essential enzymes. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 64, n. 1, p. 15-22, Jan. 1998. DOI: 10.1016/S0378-8741(98)00099-3.
- MAUREL, C.; CHRISPPEELS, M. J. Aquaporins. A molecular entry into plant water relations. **Plant Physiology**, v. 125, p. 135-138, 2001. DOI: 10.1104/pp.125.1.135.
- MISHRA, S. B.; VIJAYAKUMAR, M.; OJHA, S. K.; VERMA, A. Antidiabetic effect of *Jatropha curcas* L. levels extract in normal and alloxan-induced diabetic rats. **International Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 12, n. 1, p. 482-487, 2010.
- MITRA, C. R.; BHATNAGAR, S. C.; SINHA, M. K. Chemical examination of *Jatropha curcas*. **Indian Journal of Chemistry**, v. 8, p. 1047, 1970.
- MONGKOLVISUT, W.; SUTTHIVAIYAKIT, S.; LEUTBECHER, H.; MIKA, S.; KLAIBER, I.; MÖLLER, W.; RÖSNER, H.; BEIFUSS, U.; CONRAD, J. Integerrimides A and B, cyclic heptapeptides from the latex of *Jatropha integerrima*. **Journal of Natural Products**, v. 69, n. 10, p. 1435-1441, Sept. 2006. DOI: 10.1021/np0602012.
- MORITA, H.; GONDA, A.; TAKEYA, K.; ITOKAWA, H.; HIRANO, T.; OKA, K.; SHIROTA, O. Solution state conformation of an immunosuppressive cyclic dodecapeptide, cycloleonurinin. **Tetrahedron**, v. 53, n. 22, p. 7469-7478, June 1997. DOI: 10.1016/S0040-4020(97)00426-2.
- MORITA, H.; IIZUKA, T.; CHOO, C. Y.; CHAN, K. L.; ITOKAWA, H.; TAKEYA, K. Dichotomins J and K, vasodilator cyclic peptides from *Stellaria dichotoma*. **Journal of Natural Products**, v. 68, n. 11, p. 1686-1688, Nov. 2005. DOI: 10.1021/np050262k.
- MORITA, H.; KAYASHITA, T.; KOBATA, H.; GONDA, A.; TAKEYA, K.; ITOKAWA, H. Pseudostellarins A-C, new tyrosinase inhibitory cyclic peptides from *Pseudostellaria heterophylla*. **Tetrahedron**, v. 50, n. 23, p. 6797-6804, 1994. DOI: 10.1016/S0040-4020(01)81333-8.
- MUANGMAN, S.; THIPPORNWONG, M.; TOHTONG, R. Anti-metastatic effects of curcusone B, a diterpene from *Jatropha curcas*. **In Vivo**, v. 19, n. 1, p. 265-268, Jan./Fev. 2005.
- MUANZA, D. N.; EULER, K. L.; WILLIAMS, L.; NEWMAN, D. J. Screening of antitumor and anti-HIV activities of nine medicinal plants from Zaire. **International Journal of Pharmacognosy**, v. 33, n. 2, p. 98-106, 1995. DOI: 10.3109/13880209509055207.
- MUJUMDAR, A. M.; MISAR, A. V. Anti-inflammatory activity of *Jatropha curcas* roots in mice and rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 90, n. 1, p. 11-15, Jan. 2004. DOI: 10.1016/j.jep.2003.09.019.

NAENGCHOMNONG, W.; TARNCHOMPOO, B.; THEBTARANONTH, Y. (+)-Jatrophol, (+)-marmesin, propacin and jatrophin from the roots of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae). **Journal of the Science Society of Thailand**, v. 20, p. 73-83, 1994. DOI: 10.2306/scienceasia1513-1874.1994.20.073.

NAMULI, A.; ABDULLAH, N.; SIEO, C. C.; ZUHAINIS, S. W.; OSKOUAEIAN, E. Phytochemical compounds and antibacterial activity of *Jatropha curcas* Linn. extracts. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 5, n. 16, p. 3982-3990, Aug. 2011.

NATH, L. K.; DUTTA, S. K. Acute toxicity studies and wound healing response of curcain, a proteolytic enzyme extract from the latex of *Jatropha curcas* Linn. In: GÜBITZ, G. M.; MITTELBACH, M.; TRABI, M. (Ed.). **Biofuels and industrial products from *Jatropha curcas***. Graz: Technische Universit at Graz, 1997. p. 82.

NATH, L. K.; DUTTA, S. K. Acute toxicity studies and wound healing response of curcain, a proteolytic enzyme extract from the latex of *Jatropha curcas* L. **Biofuels and Industrial Products from *Jatropha curcas***. **DBV Graz**, p. 82-86, 1997.

NATH, L. K.; DUTTA, S. K. Extraction and purification of curcain, a protease from the latex of *Jatropha curcas* L. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 43, n. 2. p. 111-114, Feb. 1991. DOI: 10.1111/j.2042-7158.1991.tb06642.x.

NATH, L. K.; DUTTA, S. K. Extraction and study of certain physicochemical properties of a new proteolytic enzyme from the latex of *Jatropha curcas* Linn. **Indian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 50, n. 2, p. 125-127, 1988.

NATH, L. K.; DUTTA, S. K. Kinetic studies on curcain, a protease from the latex of *J. curcas* Linn. **Indian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 50, p. 43-47, 1989.

NATH, L. K.; DUTTA, S. K. Wound healing response of the proteolytic enzyme curcain. **Indian Journal of Pharmacology**, v. 24, n. 2, p. 114-115, 1992.

NAYAK, B. S.; PATEL, K. N. Anti-inflammatory screening of *Jatropha curcas* root, stem and leaf in albino rats. **Romanian Journal of Biology Plant-Biology**, v. 55, n. 1, p. 9-13, 2010.

NEUWINGER, H. D. **African ethnobotany: poisons and drugs: chemistry, pharmacology, toxicology**. New York: Chapman and Hall, 1996. p. 500-509.

OBASI, N. L.; EJKEME, M. P.; EGBUONU, C. A. C. Antimicrobial and phytochemical activity of methanolic extract and its fractions of *Jatropha curcas* Linn. (Euphorbiaceae) stem bark. **African Journal of Pure and Applied Chemistry**, v. 5, n. 5, p. 92-96, May 2011.

ODUSOTE, O. M.; ABIOYE, A. O.; ROTIBI, M. O. *Jatropha curcas* seed oil Linn (Euphor Biaceae): contraceptive activity and an oral formulation. **Nigerian Quarterly Journal of Hospital Medicine**, v. 12, n. 1, p. 44-47, 2002. DOI: 10.4314/nqjhm.v12i1.12319.

ORTÍZ-MARTÍNEZ, D. M.; CORDERO-PÉREZ, P.; LEOS-RIVAS, C. **Actividad antidiabética**. In: RIVAS-MORALES, C.; ORANDAY-CARDENAS, M. A.; VERDE-STAR, M. J. (Ed.). **Investigación en plantas de importancia médica**. Barcelona: OmniaScience, 2016. p. 215-268.

OSKOUJEIAN, E.; ABULLAH, N.; AHMAD, S.; SAAD, W. Z.; OMAR, A.; HO, Y. W. Bioactive compounds and biological activities of *Jatropha curcas* L. kernel meal extract. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, n. 9, p. 5955-5970, 2011a. DOI: 10.3390/ijms12095955.

OSKOUJEIAN, E.; ABULLAH, N.; SAAD, W. Z.; OMAR, A.; AHMED, S.; KUAN, W. B.; ZOLKIFLI, N. A.; HENDRA, R.; HO, Y. W. Antioxidant, anti-inflammatory and anticancer activities of methanolic extracts from *Jatropha curcas* Linn. **Journal of Medicinal Plant Research**, v. 5, n. 1, p. 49-57, 2011b.

OSONIYI, O.; ONAJOBI, F. Coagulant and anticoagulant activities in *Jatropha curcas* latex. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 89, n. 1, p. 101-105, Nov. 2003. DOI: 10.1016/S0378-8741(03)00263-0.

OTHMAN, A. R.; ABDULLAH, N.; AHMAD, S.; ISMAIL, I. S.; ZAKARIA, M. P. Elucidation of in-vitro anti-inflammatory bioactive compounds isolated from *Jatropha curcas* L. plant root. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, 15, article number 11, 2015. DOI: 10.1186/s12906-015-0528-4.

OWUSU, R. K.; COWAN, D. A. Correlation between microbial protein thermostability and resistance to denaturation in aqueous: organic solvent two phase systems. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 11, n. 9, p. 568-574, Sept. 1989. DOI: 10.1016/0141-0229(89)90084-7.

OYI, A. R.; ONAOLAPO, J. A.; HARUNA, A. K.; MORAH, C. O. Antimicrobial screening and stability studies of the crude extract of *Jatropha curcas* Linn latex (Euphorbiaceae). **Nigerian Journal of Pharmaceutical Science**, v. 6, n. 2, p. 14-20, Oct. 2007.

PERTINO, M.; SCHMEDA-HIRSCHMANN, G.; RODRÍGUEZ, J. A.; THEODULOZ, C. Gastroprotective effect and cytotoxicity of semisynthetic jatropholone derivatives. **Planta Medica**, v. 73, n. 10, p. 1095-1100, 2007. DOI: 10.1055/s-2007-981580.

PIETERS, L. A. C.; BRUYNE, T. E. D.; VLIETINCK, A. J. Low molecular weight compounds with complement activity. In: WAGNER, H. (Ed.). **Immunomodulatory agents from plants**. Basel: Birkhäuser, Basel, 1999. p. 137-160. (Progress in inflammation research). DOI: 10.1007/978-3-0348-8763-2_6.

RAI, D. K.; LAKHANPAL, P. *Jatropha curcas* poisoning in pediatric patients, Mauritius. **The Internet Journal of Pediatrics and Neonatology**, v. 8, p. 1-6, 2008. DOI: 10.5580/7ff.

RAO, G. R. et al. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. **Trees**, v. 22, n. 5, p. 697-709, 2008.

- RAVINDRANATH, N.; REDDY, M. R.; MAHENDER, G.; RAMU, R.; KUMAR, K. R.; DAS, B. Deoxypreussomerins from *Jatropha curcas*: are they also plant metabolites? **Phytochemistry**, v. 65, n. 16, p. 2387-2390, Aug. 2004a. DOI: 10.1016/j.phytochem.2004.06.032.
- RAVINDRANATH, N.; REDDY, M. R.; RAMESH, C.; RAMU, R.; PRABHAKAR, A.; JAGADEESH, B.; DAS, B. New lathyrene and podocarpane diterpenoids from *Jatropha curcas*. **Chemical and Pharmaceutical Bulletin**, v. 52, n. 5, p. 608-611, 2004b. DOI: 10.1248/cpb.52.608.
- RUDI, P. L. Immunomodulatory compounds. In: STEVEN, M. C.; RUSSEL, J. M.; (Ed.). **Bioactive natural products**: detection, isolation, and structure determination. London: CRC Press, 1993. p. 280-317.
- SABANDAR, C. W.; AHMAT, N.; JAAFAR, F. M.; SAHIDIN, I. Medicinal property, phytochemistry and pharmacology of several *Jatropha* species (Euphorbiaceae): a review. **Phytochemistry**, v. 85, p. 7-29, Jan. 2013. DOI: 10.1016/j.phytochem.2012.10.009.
- SARABIA, F.; CHAMMAA, S.; RUIZ, A. S.; ORTIZ, L. M.; LOPEZ HERRERA, F. J. CHEMISTRY and biology of cyclic depsipeptides of medicinal and biological interest. **Current Medicinal Chemistry**, v. 11, n. 10, p. 1309-1332, 2004. DOI: 10.2174/0929867043365224.
- SHARMA, S.; DHAMIJA, H. K.; PARASHAR, B. *Jatropha curcas*: a review. **Asian Journal of Pharmaceutical Science**, v. 2, p. 107-111, 2012.
- SHETTY, S.; UDUPA, S. L.; UDUPA, A. L.; VOLLALA, V. R. Wound healing activities of bark extract of *Jatropha curcas* Linn in albino rats. **Saudi Medical Journal**, v. 27, n. 10, p. 1473-1476, Oct. 2006. DOI: 10.1136/bcr-2012-007028.
- SINGH, R. K.; SINGH, D.; MAHENDRAKAR, A. G. *Jatropha* poisoning in children. **Medical Journal Armed Forces India**, v. 66, n. 1, p. 80-81, Jan. 2010. DOI: 10.1016/S0377-1237(10)80106-6.
- STAUBMANN, R.; NCUBE, I.; GÜBITZ, G. M.; STEINER, W.; READ, J. S. Esterase and lipase activity in *Jatropha curcas* L. seeds. **Journal of Biotechnology**, v. 75, n. 2-3, p. 117-126, Oct. 1999a. DOI: 10.1016/S0168-1656(99)00151-0.
- STAUBMANN, R.; SCHUBERT-ZSILAVECZ, M.; HIERMANN, A.; KARTNIG, T. A complex of 5-hydroxypyrrrolidin-2-one and pyrimidine-2,4-dione isolated from *Jatropha curcas*. **Phytochemistry**, v. 50, n. 2, p. 337-338, Jan. 1999b. DOI: 10.1016/S0031-9422(98)00531-7.
- STIRPE, F.; BATELLI, M. G. Ribosome-inactivating proteins: progress and problems. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 63, n. 16, p. 1850-1866, Aug. 2006. DOI: 10.1007/s00018-006-6078-7.
- STIRPE, F.; PESSION-BRIZZI, A.; LORENZONI, E.; STROCCHI, P.; MONTANARO, L.; SPERTI, S. Studies on the proteins from the seeds of *Croton tiglium* and of *Jatropha curcas*. **Biochemical Journal**, v. 156, n. 1, p. 1-6, Apr. 1976. DOI: 10.1042/bj1560001.

SUTTHIVAIYAKIT, S.; MONGKOLVISUT, W.; PRABPAI, S.; KONGSAEREE, P. Diterpenes, sesquiterpenes, and a sesquiterpene-coumarin conjugate from *Jatropha integerrima*. **Journal of Natural Products**, v. 72, n. 11, p. 2024-2027, 2009. DOI: 10.1021/np900342b.

THEODULOZ, C.; RODRÍGUEZ, J. A.; PERTINO, M.; SCHMEDA-HIRSCHMANN, G. Antitumor activity of jatrophone and jatropholone derivatives. **Planta Medica**, v. 75, n. 14, p. 1520-1522, 2009. DOI: 10.1055/s-0029-1185834.

UCHE, F. I.; APRIOKU, J. S.; The phytochemical constituents, analgesic and anti-inflammatory effects of methanol extract of *Jatropha curcas* leaves in mice and Wister albino rats. **Journal of Applied Science and Environmental Management**, v. 12, n. 4, p. 99-102, 2008. DOI: 10.4314/jasem.v12i4.55247.

VAN DEN BERG, A. J. J.; HORSTEN, S. F. A. J.; KETTENES-VAN DEN BOSCH, J. J.; BEUKELMAN, C. J.; KROES, B. H.; LEEFLANG, B. R.; LABADIE, R. Podacycline A and B, two cyclic peptides in the latex of *Jatropha podagrica*. **Phytochemistry**, v. 42, n. 1, p. 129-133, May 1996. DOI: 10.1016/0031-9422(95)00912-4.

VAN DEN BERG, A. J. J.; HORSTEN, S. F. A. J.; KETTENES-VAN DEN BOSCH, J. J.; KROES, B. H.; BEUKELMAN, C. J.; LEEFLANG, B. R.; LABADIE, R. P. Curcacycline A – a novel cyclic octapeptide isolated from the latex of *Jatropha curcas* L. **FEBS Letters**, v. 358, n. 3, p. 215-218, Jan. 1995. DOI: 10.1016/0014-5793(94)01405-P.

VILLASEÑOR, Irene M.; CARIÑO, Florida A. Antimicrobial activity of new phorbins from *Jatropha curcas* Linn.(Euphorbiaceae) leaves. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 66, n. 9-10, p. 441-446, 2011.

VILLEGAS, L. F.; FERNÁNDEZ, I. D.; MALDONADO, H.; TORRES, R.; ZAVALA, A.; VAISBERG, A. J.; HAMMOND, G. B. Evaluation of the wound-healing activity of selected traditional medicinal plants from Perú. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 55, n. 3, p. 193-200, Feb. 1997. DOI: 10.1016/S0378-8741(96)01500-0.

VISSER, E. M.; OLIVEIRA FILHO, D.; MARTINS, M. A.; STEWARD, B. L. Bioethanol production potential from Brazilian biodiesel co-products. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, N. 1, p. 489-494, Jan. 2011. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.09.009.

WANG, X.-C.; ZHENG, Z.-P.; GAN, X.-W.; HU, L.-H. Jatrophalactam, a novel diterpenoid lactam isolated from *Jatropha curcas*. **Organic Letters**, v. 11, n. 23, p. 5522-5524, Nov. 2009. DOI: 10.1021/ol902349f.

WATT, J. M.; BREYER-BRANDWIJK, M. G. **The medicinal and poisonous plants of Southern and Eastern Africa**: being an account of their medicinal and other uses, chemical composition, pharmacological effects and toxicology in man and animal. 2nd ed. Edinburgh; London: E & S. Livingstone, 1962. 1457 p.

WEIKE, C.; QI, Z.; XINGCHUN, C.; KEXIU, W.; YING, X.; LIN, T.; SHENGHUA, W.; JIE, B.; FANG, C. Chemical modification of *Jatropha curcas* RIPs (curcin) and effect of the modification on relative activity of curcin. **Chinese Journal of Applied Environmental Biology**, v. 12, p. 329-333, 2006.

WENDER, P. A.; KEE, J.-M.; WARRINGTON, J. M. Practical synthesis of postratin, DPP, and their analogs, adjuvant leads against latent HIV. **Science**, v. 320, n. 5876, p. 649-652, May 2008. DOI: 10.1126/science.1154690.

XIAO, J.; ZHANG, H.; NIU, L.; WANG, X. Efficient screening of a novel antimicrobial peptide from *Jatropha curcas* by cell membrane affinity chromatography. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 4, p. 1145-1151, Feb. 2011. DOI: 10.1021/jf103876b.

YAO, L.; HAN, C.; CHEN, G.; SONG, X.; CHANG, Y.; ZANG, W. A new asymmetric diamide from the seed cake of *Jatropha curcas* L. **Fitoterapia**, v. 83, n. 8, p. 1318-1321, Dec. 2012. DOI: 10.1016/j.fitote.2012.04.001.

YUSUF, O. S.; MAXWELL, E. I. Analgesic activity of the methanolic leaf extract of *Jatropha curcas* (Linn). **African Journal of Biomedical Research**, v. 13, p. 149-152, 2010.

ZHANG, X.-P.; ZHANG, M.-L.; SU, X.-H.; HUO, C.-H.; GU, Y.-C.; SHI, Q.-W. Chemical constituents of the plants from genus *Jatropha*. **Chemistry and Biodiversity**, v. 6, n. 12, p. 2166-2183, Dec. 2009. DOI: 10.1002/cbdv.200700461.

Literatura Recomendada

ABDELGADIR, H. A.; JÄGER, A. K.; JOHNSON, S. D.; VAN STADEN, J. Influence of plant growth regulators on flowering, fruiting, seed oil content, and oil quality of *Jatropha curcas*. **South African Journal of Botany**, v. 76, n. 3, p. 440-446, Aug. 2010. DOI: 10.1016/j.sajb.2010.02.088.

ABDELGADIR, H. A.; JOHNSON, S. D.; VAN STADEN, J. Pollinator effectiveness, breeding system, and tests for inbreeding depression in the biofuel seed crop, *Jatropha curcas*. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 84, n. 3, p. 319-324, 2009. DOI: 10.1080/14620316.2009.11512524.

ABDELGADIR, H. A.; VAN STADEN, J. Ethnobotany, ethnopharmacology and toxicity of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae): a review. **South African Journal of Botany**, v. 88, p. 204-218, Sept. 2013. DOI: 10.1016/j.sajb.2013.07.021.

BARAGUEY, C.; AUVIN-GUETTE, C.; BLOND, A.; CAVELIER, F.; LEZENVEN, F.; POUSETT, J. L.; BODO, B. Isolation, structure and synthesis of chevalierins A, B and C, cyclic peptides from the latex of *Jatropha chevalieri*. **Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 1**, v. 1, p. 3033-3040, 1998. DOI: 10.1039/a804003f.

BARBIERI, L.; BATTELLI, M.; STIRPE, F. Ribosome-inactivating protein from plants. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Reviews on Biomembranes**, v. 1154, n. 3-4, p. 237-282, Dec. 1993. DOI: 10.1016/0304-4157(93)90002-6.

DEHAGAN, B.; WEBSTER, G. L. **Morphology and infrageneric relationships of genus *Jatropha* (Euphorbiaceae)**. Berkeley: University of California Press, 1979. 73 p. (University of California publications in botany, v. 74).

DEVAPPA, R. K.; SWAMYLINGAPPA, B. Effect of processing methods on the removal of toxic and antinutritional constituents of *Jatropha* meal: a potential protein source. **Journal of Food Science & Technology Nepal**, v. 3, p. 88-95, 2007.

DUKE, J. A.; AYENSU, E. S. **Medicinal plants of China**. Algonac: Reference Publication, 1985.

GÜBITZ, G. M.; MITTELBACH, M.; TRABI, M. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. **Bioresource Technology**, v. 67, n. 1, p. 73-82, Jan. 1999. DOI: 10.1016/S0960-8524(99)00069-3.

HORSTEN, S. F. A. J.; BERG, A. J. van den; BOSCH, J. J. K. van den; LEEFLANG, B. R.; LABADIE, R. P. Cyclogossine A: a novel cyclic heptapeptide isolated from the latex of *Jatropha gossypifolia*. **Planta Medica**, v. 62, n. 1, p. 46-50, 1996. DOI: 10.1055/s-2006-957795.

JIN-XIA, Z.; QIN, W.; LI-JUN, Z.; GUO-JIN, L.; YU, C.; LIN, T.; FANG, C. The extraction of -1,3- β -glucanase and analysis of partial characteristics in *Jatropha curcas*. **Southwest China Journal of Agricultural Science**, v. 18, p. 328-333, 2005.

LIN, J.; YAN, F.; TANG, L.; CHEN, F. Isolation, purification and functional investigation on the N-glycosidase activity of curcin from the seeds of *Jatropha curcas*. **Gaojishu Tongxun**, v. 12, n. 11, p. 36-40, Jan. 2002.

LUO, M. J.; LIU, W. X.; YANG, X. Y.; XU, Y.; YAN, F.; HUANG, P.; CHEN, F. Cloning, expression, and antitumor activity of recombinant protein of curcin. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 54, n. 2, p. 202-206, Apr. 2007. DOI: 10.1134/S1021443707020070.

MANAGUA. **Proceedings...** Graz: DBV für die Technische Universität Graz, 1997. p. 190-205. Contributors: Gübitz, G. M.; Mittelbach, M.; Trabi, M.

SHARMA, S. Kr.; SINGH, H. A review on pharmacological significance of genus *Jatropha* (Euphorbiaceae). **Chinese Journal of Integrative Medicine**, v. 18, n. 1, p. 868-880, Nov. 2012. DOI: 10.1007/s11655-012-1267-8.

XU, J.-J.; FAN, J.-J.; ZENG, G.-Z.; TAN, N.-H. A new tetracyclic diterpene from *Jatropha curcas*. **Helvetica Chimica Acta**, v. 94, n. 5, p. 842-846, May 2011. DOI: 10.1002/hlca.201000313.

YAHARA, S.; SHIGEYAMA, C.; NOHARA, T.; OKUDA, H.; WAKAMATSU, K.; YASUHARA, T. Structures of anti-ace and -renin peptides from lycii radices cortex. **Tetrahedron Letters**, v. 30, n. 44, p. 6041-6042, 1989. DOI: 10.1016/S0040-4039(01)93849-3.

YESODHARAN, K.; SUJANA, K. A. Ethnomedicinal knowledge among Malamalasar tribe of Parambikulam wildlife sanctuary, Kerala. **Indian Journal of Traditional Knowledge**, v. 6, n. 3, p. 481-485, July 2007.



**Viabilidade econômica,
social e ambiental
da cadeia produtiva
do pinhão-manso**

Viabilidade econômica, social e ambiental da cadeia produtiva do pinhão-manso

*Alceu Richetti
Gilmar Souza Santos*

Introdução

Com o advento do Programa Brasileiro de Biodiesel, o pinhão-manso foi incluído como alternativa para o fornecimento de matéria-prima para a produção de biocombustível (Beltrão et al., 2006). Com isso, surgiram lavouras comerciais sem o devido conhecimento das informações sobre produtividade e rentabilidade, de forma confiável.

Existe uma forte demanda mundial por novas matérias-primas para produção de energia e biocombustíveis. Nesse contexto, o pinhão-manso pode contribuir de forma significativa e tornar-se uma cultura energética com paridade de custos em relação aos combustíveis fósseis. No entanto, o cultivo do pinhão-manso possui atualmente algumas limitações, derrubando, assim, o mito da extrema rusticidade e da produção em solos pouco férteis. Para atingir produtividades economicamente viáveis, necessita de correção de solos e irrigação suplementar, bem como tratamentos culturais, a fim de controlar a ocorrência de plantas daninhas e o aparecimento de pragas e doenças (Roscoe; Silva, 2007). Além disso, o que aumenta significativamente os custos de produção é a colheita manual, realizada inúmeras vezes durante a produção, por causa da maturação desuniforme dos frutos.

O sucesso da cultura de pinhão-manso depende de alguns fatores críticos, os quais influenciam sua sustentabilidade, tais como: cultivar resistente a pragas e com alta produtividade, sistema de produção para a cultura, economia de escopo e de escala na sua industrialização, modelo de negócios baseado em biorrefinarias e ecologia industrial, consórcio com culturas alimentares e aproveitamento integral de resíduos (torta, epicarpo, glicerina, etc.).

Nas avaliações dos sistemas de produção, são necessárias, além das análises técnicas, avaliações econômicas para que se possa medir a lucratividade e a rentabilidade

de cada sistema (Richetti; Ceccon, 2009). Zanon et al. (2014), ao realizarem a análise econômica do pinhão-mansão, constataram que o custo de implantação da cultura é alto e sua viabilidade técnica e econômica ainda depende de muitas pesquisas e estruturação da cadeia produtiva. Para Richetti e Guiducci (2012), o pleno conhecimento da viabilidade econômica dos sistemas de produção contribui para melhorar a tomada de decisão, bem como para verificar a rentabilidade do negócio.

A configuração de um sistema de produção determina o resultado técnico e econômico a ser obtido. Para tanto, a avaliação de qual seria o melhor sistema a ser adotado precisa deixar claro qual tecnologia deve ser utilizada, além de conhecer o custo de produção de uma unidade de produto. Uma vez que são conhecidos os sistemas e os custos de produção, é possível deduzir a rentabilidade da atividade e, conseqüentemente, a viabilidade econômica. Nesse sentido, este estudo tem por objetivo analisar a viabilidade econômica social e ambiental da cadeia produtiva do pinhão-mansão em Dourados, MS, e em Piracuruca, PI. O segundo estudo (Fazenda em Piracuruca) possibilitou uma pesquisa mais abrangente, pela disponibilidade de dados ambientais do pinhão-mansão na localidade e também por incluir pequenos produtores rurais (assentamentos rurais).

Metodologia de avaliação da sustentabilidade da cadeia produtiva do pinhão-mansão

O primeiro estudo tem como base procedimentos metodológicos baseados na abordagem sistêmica. A partir desse pressuposto, considerou-se que o modo de produção na propriedade agrícola caracteriza-se como um processo de produção.

Considera-se processo de produção todas as atividades envolvidas na produção de determinado bem, dentro de certo prazo suficiente para que se obtenham os resultados em forma do produto final.

Na propriedade, o processo produtivo de atividades agrícolas caracteriza-se por cinco etapas básicas: planejamento, manejo da área, semeadura e adubação, tratamentos culturais e colheita (Figura 1).

Todo processo produtivo faz parte do custo de produção. Entende-se como custo de produção a soma dos valores gastos em recursos (insumos) e operações agrícolas

(serviços) utilizados de forma econômica no processo produtivo de determinada atividade, a fim de obter determinada quantidade de produto.

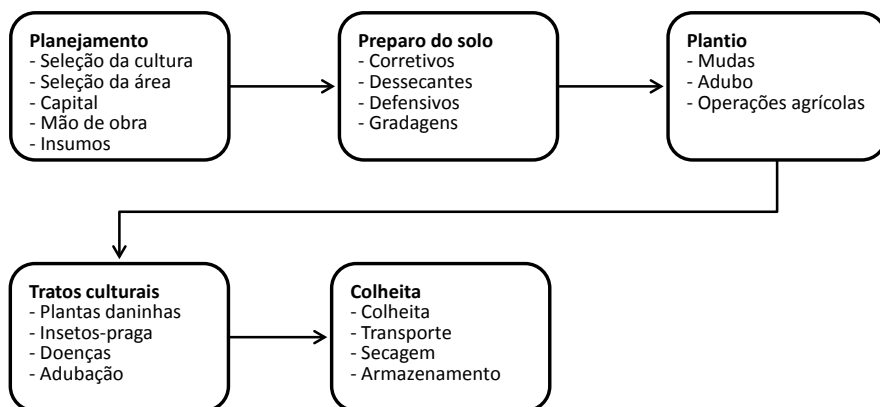


Figura 1. Fluxograma básico do processo produtivo na agricultura.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2010).

O levantamento das informações do sistema, bem como dos coeficientes técnicos empregados na elaboração dos custos de produção, constou de entrevistas com especialistas e com o proprietário da fazenda.

Para o cálculo dos custos de produção, utilizou-se a metodologia adotada pela Embrapa (Guiducci et al., 2012), a qual consiste dos seguintes tipos de dispêndio: a) custeio; b) depreciação do capital; e c) custo de oportunidade. Com a contabilização das despesas, obtém-se o custo operacional, que tem um componente efetivo, exigindo desembolso por parte do produtor, e um componente de depreciação.

Na análise de viabilidade econômica dos sistemas estudados, foram considerados os preços de fatores e do produto vigentes na cidade de Dourados, MS, no mês de dezembro de 2014. Também foram considerados os custos operacionais com insumos, operações com máquinas e implementos e serviços (mão de obra), por hectare, conforme preços praticados em Dourados, MS. A depreciação, sendo um custo indireto que incide sobre os bens que possuem vida útil limitada, foi calculada pelo método linear sobre máqui-

nas, equipamentos e benfeitorias. Quanto aos custos de oportunidade, que correspondem à oportunidade que o produtor, ao planejar sua atividade, poderia decidir por arrendar sua área de lavoura ou optar por uma alternativa mais atraente, incluíram-se a remuneração do fator terra, aqui representado pelo valor do arrendamento por hectare, e a remuneração do capital de custeio e de investimento (juros de 6% ao ano, por um período de 12 meses).

O segundo estudo foi realizado na região de Piracuruca, PI, na Fazenda Tiraçanga e na empresa Brasil Ecoenergia. Buscou-se uma avaliação da sustentabilidade e do mercado potencial para os produtos e resíduos da cadeia produtiva do pinhão-mansão. Para o cálculo dos custos de produção, utilizou-se também a metodologia adotada pela Embrapa (Guiducci et al., 2012). Para as avaliações sociais e ambientais, foram utilizados os padrões de Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) (Valdivia et al., 2011) e o Social Life Cycle Assessment (SLCA) da ONU Meio Ambiente (Benóit; Mazijn, 2009).

Pelo aspecto prospectivo, o público-alvo do segundo estudo relacionado à cadeia produtiva do pinhão-mansão foram os agricultores familiares (viabilidade de consórcio com culturas anuais), grandes agricultores (viabilidade de integração lavoura-pecuária-florestas – ILPF), indústrias de biodiesel, indústrias de bioquerosene de aviação e indústrias químicas (bioprodutos, biomateriais).

Caracterização dos sistemas de produção identificados de pinhão-mansão

Nos sistemas estudados, o nível de investimento em tecnologias (adubação, tratamento de sementes, controle de plantas daninhas, de pragas e de doenças) varia de acordo com os seguintes fatores: nível tecnológico do produtor, época de semeadura e tendência de mercado dos produtos. Está relacionado também com a produtividade do pinhão-mansão, a qual varia de acordo com os seguintes aspectos: região de plantio, método de cultivo e tratamentos culturais, idade da cultura, bem como quantidade de chuva e fertilidade do solo. Dessa forma, houve necessidade de realizar o estudo em duas regiões diferentes do Brasil.

O primeiro sistema de produção estudado foi o praticado na Fazenda Paraíso, localizada no município de Dourados, MS. Na propriedade, foram cultivados 100 ha com pinhão-mansão e implantados em área de pastagem. O solo predominante na fazenda é o Latossolo Vermelho de textura média, pobre em fósforo (P), acidez e alumínio, corrigidos pela cala-

gem, antes do plantio. O pinhão-mansão, no sistema de produção estudado, foi plantado nos meses de setembro e outubro, com espaçamento de 4,0 m x 2,0 m. A produção inicia-se já no primeiro ano, mas atinge a plena produtividade no quarto ou quinto ano em diante.

O segundo sistema de produção estudado foi o praticado na Fazenda Tiracanga, localizada no município de Piracuruca, PI, cuja área cultivada com pinhão-mansão era de 1.200 ha. O solo é pobre em macro e micronutrientes, mas com algumas concentrações de P e potássio (K). É do tipo Latossolo, arenoso do ponto de vista físico, com alta acidez do ponto de vista químico e rico em fauna e flora no aspecto biológico. Predomina o bioma Caatinga e a temperatura média é de 31 °C, com 1.300 mm de chuvas anuais concentradas de janeiro a abril. O pinhão-mansão foi plantado em espaçamento também de 4,0 m x 2,0 m, com produção iniciando no segundo ano e pico de produtividade no 6º ano.

Primeiro estudo: Fazenda Paraíso, Dourados, MS

No sistema de produção, destacaram-se os seguintes aspectos tecnológicos:

Implantação da cultura

- **Manejo da área:** na área com pastagem, realizou-se a destruição mecânica dos cupinzeiros e, em seguida, procedeu-se à aplicação de cupinícida e de formícida.
- **Correção do solo:** a correção do solo foi realizada com 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico. Além do calcário, utilizou-se gesso na dose de 1,5 t ha⁻¹. Para a incorporação dos corretivos, fez-se uma gradagem pesada.
- **Preparo do solo:** o preparo do solo, além da gradagem de incorporação dos corretivos, consistiu de subsolagem e gradagem niveladora. Além do preparo mecânico do solo, utilizaram-se herbicidas para dessecar as plantas invasoras germinadas.
- **Plantio e adubação:** realizou-se abertura mecânica dos sulcos para o plantio das mudas. Foram utilizados 350 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 8-20-20, o qual foi distribuído mecanicamente no momento da abertura dos sulcos. A distribuição e o plantio das mudas foram atividades realizadas manualmente. Fo-

ram utilizadas 1.250 mudas por hectare. Acrescenta-se aqui 30% de perdas de mudas. O espaçamento utilizado foi de 4,0 m entre linhas e 2,0 m entre plantas.

- **Controle vegetativo:** 30 a 40 dias após o plantio (DAP), fez-se uma aplicação, em área total, de graminicida para controle da vegetação. Aos 150 e aos 270 DAP, realizou-se o controle mecânico de plantas daninhas. Aos 150 e aos 210 DAP, fez-se o coroamento, operação manual realizada com enxada, que consiste na retirada das ervas daninhas ao redor da planta de pinhão-manso. Nas linhas de plantio, realizou-se uma aplicação de herbicida dessecante com pulverizador costal manual.
- **Controle fitossanitário:** o controle sanitário consiste em aplicações de defensivos agrícolas para controle de pragas e doenças do pinhão-manso. Para o controle de ácaros e lagartas, foram realizadas duas aplicações de inseticidas. Para o controle do oídio e da ferrugem, foi feita uma pulverização de fungicida. Essas operações foram realizadas mecanicamente com pulverizador turboatomizador. Em todas as operações de controle fitossanitário, utilizou-se um adjuvante com a finalidade de dar maior eficiência ao produto usado.
- **Colheita e beneficiamento:** a colheita foi realizada manualmente. A secagem do produto colhido foi realizada em terreiro de cimento, para secar os grãos verdes e padronizar o teor de umidade dos grãos. A debulha foi realizada com debulhador mecânico, e a limpeza dos grãos feita, manualmente, utilizando-se uma peneira.

Manutenção e condução da cultura

- **Adubação e calagem:** o fertilizante formulado (NPK) 08-20-20 foi aplicado na linha, e o adubo nitrogenado (ureia) foi aplicado em cobertura. O calcário foi aplicado a lanço, em área total, nas entrelinhas do pinhão-manso.
- **Controle vegetativo:** foi realizada poda manual dos galhos de pinhão-manso para facilitar a passagem de trator e roçadeira, bem como roçada mecânica da vegetação nas entrelinhas.

- **Controle fitossanitário:** foram realizados os controles de plantas daninhas, nas linhas de pinhão-mansão, com herbicidas específicos, além da aplicação de inseticidas para controle de insetos-praga e fungicidas para o controle de doenças.
- **Colheita e beneficiamento:** a colheita foi realizada manualmente. A secagem do produto colhido foi realizado em terreiro de cimento para secar os grãos verdes e padronizar o teor de umidades dos grãos. A debulha foi realizada com debulhador mecânico e a limpeza dos grãos feita, manualmente, utilizando-se uma peneira.

Análise dos custos

O custo total de implantação da cultura do pinhão-mansão é de R\$ 4.858,93. Considerando-se apenas o valor gasto pelo produtor com insumos, operações mecânicas e manuais, assistência técnica e administração, na condução da atividade, foram desembolsados R\$ 4.181,28, o que corresponde a 86,05% do custo total.

O custo operacional, no qual é considerada a soma dos gastos nas diversas etapas do processo produtivo e a depreciação, atingiu 87,83% do custo total (R\$ 4.267,88). A diferença entre o custo total e o operacional refere-se aos custos de oportunidade (Tabela 1).

Na etapa do preparo do solo (R\$ 763,47), o componente que gerou o maior impacto no custo foi a aplicação de gesso e calcário, o que corresponde a 7,63% (Tabela 1).

O plantio tem forte impacto no custo de implantação da cultura do pinhão-mansão, atingindo 38,47%. Desses, os gastos com as mudas chega a 20,07% do custo total, o que corresponde ao maior valor na implantação da cultura. Os gastos com fertilizantes são menores, atingindo 9,73% dos custos (Tabela 1).

Na fase dos tratos culturais, destaca-se o controle vegetativo das plantas daninhas. Nesse item, o coroamento (capinas realizadas no entorno das plantas de pinhão-mansão para controle de ervas daninhas) é uma atividade manual, exigindo grande dispêndio com mão de obra, o que corresponde a 11,59% do custo total. Na fase de implantação da cultura, o controle fitossanitário tem pouca representatividade (3,88%) no custo de produção (Tabela 1).

A colheita, quando realizada manualmente, é exigente em mão de obra, mesmo no primeiro ano de produção, atingindo 4,76% do custo. Conforme a planta de pinhão-mansão

adquire a maturidade, a produção tende a crescer e, conseqüentemente, há aumento da exigência de mão de obra para a colheita (Tabela 1).

As operações de pós-colheita exigem disponibilidade de tempo da mão de obra a fim de controlar a secagem dos grãos e até que eles atinjam o ponto de debulha. A secagem em terreiro cimentado absorve 5,15% dos custos (Tabela 1).

Os dispêndios com o item relacionado a outros custos, que envolve os gastos com assistência técnica administrativa, atingiu 3,30% dos custos (Tabela 1).

A remuneração dos fatores de produção, aqui entendida como custo de oportunidade, caracteriza-se por não ser desembolsável. Corresponde à oportunidade que o produtor, ao planejar sua atividade, tem para decidir por arrendar sua área de lavoura ou optar por uma alternativa mais atraente. Seu custo atingiu R\$ 591,05 por hectare, o que representa 12,17% do total (Tabela 1).

A depreciação, de acordo com Nogueira (2004), tem como função contabilizar as perdas reais de valores dos bens disponíveis para a produção, sem esquecer sua finalidade, que é o de reserva de capital para a renovação. Seu impacto no custo de produção foi de 1,78% (Tabela 1). A fase de implantação da cultura do pinhão manso é muito exigente no que se refere à mão de obra, correspondendo a R\$ 1.568,38, ou seja, 32,28% dos custos são gastos com atividades manuais (Tabela 1).

Tabela 1. Custo de produção da cultura do pinhão-manso, por etapa do processo produtivo, na Fazenda Paraíso, em Dourados, MS.

Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$ ha ⁻¹)	Participação (%)
Preparo do solo				763,47	15,71
Destruição mecânica do cupinzeiro	hm	1,00	41,68	41,68	0,86
Cupinicida	L	0,50	25,00	12,50	0,26
Aplicação manual de cupinicida	dh	1,00	62,56	62,56	1,29
Formicida	kg	5,00	20,00	100,00	2,06

Continua...

Tabela 1. Continuação

Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$ ha ⁻¹)	Participação (%)
Aplicação manual de formicida	dh	0,50	62,56	31,28	0,64
Calcário	t	2,00	90,00	180,00	3,70
Gesso	t	1,50	116,43	174,65	3,59
Distribuição mecânica de corretivos	hm	0,50	33,32	16,66	0,34
Gradagens	hm	1,20	41,68	50,02	1,03
Subsolagem	hm	1,00	41,68	41,68	0,86
Herbicida dessecante	L	3,50	11,65	40,78	0,84
Espalhante adesivo	L	0,20	9,00	1,80	0,04
Aplicação mecânica de herbicida	hm	0,30	32,87	9,86	0,20
Plantio				1.869,06	38,47
Fertilizante	t	0,35	1.351,00	472,85	9,73
Sulcamento e adubação	hm	1,10	41,68	45,85	0,94
Mudas	un	1.625,00	0,60	975,00	20,07
Plantio e replantio de mudas	dh	6,00	62,56	375,36	7,73
Tratos culturais				797,25	16,41
Controle vegetativo				608,93	12,43
Coroamento	dh	9,00	62,56	563,04	11,59
Roçada mecânica	hm	1,40	32,78	45,89	0,94
Controle fitossanitário				188,32	3,88
Herbicida 1	L	0,50	54,57	27,29	0,56
Aplicação mecânica de herbicida	hm	0,30	32,87	9,86	0,20

Continua...

Tabela 1. Continuação

Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$ ha ⁻¹)	Participação (%)
Herbicida 2	L	1,20	11,65	13,98	0,29
Aplicação manual de herbicida	dh	0,44	62,56	27,53	0,57
Fungicida	L	0,30	107,21	32,16	0,66
Aplicação mecânica de fungicida	hm	0,30	32,94	9,88	0,20
Inseticida 1	L	0,28	27,00	7,56	0,16
Inseticida 2	L	0,20	111,50	22,30	0,46
Espalhante adesivo	L	2,00	9,00	18,00	0,37
Aplicação mecânica de inseticida	hm	0,60	32,94	19,76	0,41
Colheita				271,47	5,59
Colheita manual	dh	3,70	62,56	231,47	4,76
Vasilhame	un	1,00	10,00	10,00	0,21
Sacaria	un	6,00	5,00	30,00	0,62
Pós-colheita				319,21	6,57
Secagem	dh	4,00	62,56	250,24	5,15
Debulha mecânica	hm	0,33	32,71	10,79	0,22
Debulha manual	dh	0,90	62,56	56,30	1,16
Abanação	dh	0,03	62,56	1,88	0,04
Outros				160,82	3,30
Assistência técnica	%	2,00	4.020,46	80,41	1,65
Administração	%	2,00	4.020,46	80,41	1,65
Depreciação				86,60	1,78
Depreciação do capital	R\$	1,00	86,60	86,60	1,78

Continua...

Tabela 1. Continuação

Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$ ha ⁻¹)	Participação (%)
Custo operacional				4.267,88	87,83
Remuneração dos fatores				591,05	12,17
Remuneração da terra	R\$	10,00	47,50	475,00	9,78
Remuneração do custeio	R\$	1,00	41,81	41,81	0,86
Remuneração do capital	R\$	1,00	74,24	74,24	1,53
Total				4.858,93	100,00
Desembolso	R\$			4.181,28	86,05

No segundo ano, o custo total foi 32,44% menor que no primeiro, atingindo R\$ 3.282,38. O desembolso foi de R\$ 2.562,44, correspondendo a 78,06% do custo total, enquanto o custo operacional atingiu 81,55% do custo total, somando R\$ 2.677,22 (Tabela 2).

Na fase de manutenção e condução, o componente adubação e calagem atingiu R\$ 803,68, correspondendo a 24,48% do custo total. Por sua vez, o controle vegetativo (R\$ 114,73) representou 3,49%, enquanto o controle fitossanitário (R\$ 438,87) atingiu 13,37%. As fases de colheita e pós-colheita, juntas, representaram R\$ 1.106,60, correspondendo a 33,71% do custo total. Esses itens destacaram-se pela elevada utilização de mão de obra, que chegou a atingir 29,05% do custo (Tabela 2).

Os itens relacionados a outros custos, remuneração dos fatores de produção e depreciação totalizaram R\$ 818,95, representando 24,95% do total (Tabela 2).

A partir do terceiro ano, os custos de produção voltaram a subir. O custo total, no terceiro ano, no valor de R\$ 3.784,09, foi 15,27% maior que o do segundo ano. O custo operacional atingiu 83,78% do custo total, somando R\$ 3.170,35, enquanto o desembolso totalizou R\$ 3.040,45, correspondendo a 80,61% do custo total (Tabela 2).

Neste ano, foram acrescentadas as operações de calagem (R\$ 188,33) e poda manual (R\$ 31,28). Houve pequeno aumento de mão de obra para as fases de colheita e pós-colheita do pinhão-manso (Tabela 2).

O gasto total com mão de obra, no terceiro ano, foi de R\$ 1.187,39, correspondendo a 31,38% do custo total. Desse montante, 90,41% foram utilizados nas fases de colheita e pós-colheita (Tabela 2).

No quarto ano, o custo total foi 9,31% maior que no terceiro ano, atingindo R\$ 4.136,54. O desembolso atingiu R\$ 3.397,54, correspondendo a 82,14% do custo total, enquanto o custo operacional totalizou R\$ 3.520,31, atingindo 85,10% do total.

Da mesma forma que nos anos anteriores, o custo com mão de obra foi o item mais impactante, atingindo R\$ 1.869,29, dos quais 95,58% foram destinados às operações de colheita e pós-colheita (Tabela 2). A elevação do custo com mão de obra foi consequência da elevação da produtividade da cultura, o que exigiu maior dedicação de tempo para as atividades de colheita e pós-colheita (Tabela 2).

Tabela 2. Custo de produção da cultura do pinhão-manso, por etapa do processo produtivo, na Fazenda Paraíso, em Dourados, MS.

Componentes do custo	Unidade	Valor unitário (R\$)	Ano 2		Ano 3		Ano 4	
			Quantidade	Valor total (R\$ ha ⁻¹)	Quantidade	Valor total (R\$ ha ⁻¹)	Quantidade	Valor total (R\$ ha ⁻¹)
Manutenção e condução				1.357,28		1.576,89		1.357,28
Adubação e calagem				803,68		992,01		803,68
Calcário dolomítico	t	90,00			2,00	180,00		
Aplicação mecânica de calcário	hm	33,32			0,25	8,33		
Fertilizante 1	t	1.351,00	0,40	540,40	0,40	540,40	0,40	540,40
Fertilizante 2	t	1.650,00	0,10	165,00	0,10	165,00	0,10	165,00
Adubação mecânica	hm	32,76	3,00	98,28	3,00	98,28	3,00	98,28

Continua...

Tabela 2. Continuação

Componentes do custo	Unidade	Valor unitário (R\$)	Ano 2		Ano 3		Ano 4	
			Quantidade	Valor total (R\$ ha ⁻¹)	Quantidade	Valor total (R\$ ha ⁻¹)	Quantidade	Valor total (R\$ ha ⁻¹)
Controle vegetativo				114,73		146,01		114,73
Poda manual	dh	62,56			0,50	31,28		
Roçada mecânica	hm	32,78	3,50	114,73	3,50	114,73	3,50	114,73
Controle fitossanitário				438,87		438,87		438,87
Herbicida	L	11,65	3,60	41,94	3,60	41,94	3,60	41,94
Aplicação manual de herbicidas	dh	62,56	1,32	82,58	1,32	82,58	1,32	82,58
Fungicida 1	L	34,20	2,40	82,08	2,40	82,08	2,40	82,08
Fungicida 2	L	107,21	0,60	64,33	0,60	64,33	0,60	64,33
Aplicação mecânica de fungicida	hm	32,94	1,20	39,53	1,20	39,53	1,20	39,53
Inseticida 1	L	27,00	0,84	22,68	0,84	22,68	0,84	22,68
Inseticida 2	L	111,50	0,40	44,60	0,40	44,60	0,40	44,60
Espalhante adesivo	L	9,00	2,40	21,60	2,40	21,60	2,40	21,60
Aplicação mecânica de inseticida	hm	32,94	1,20	39,53	1,20	39,53	1,20	39,53
Colheita				630,50		710,58		890,75
Colheita manual	dh	62,56	8,32	520,50	9,60	600,58	12,48	780,75
Vasilhame	un	10,00	5,00	50,00	5,00	50,00	5,00	50,00
Sacaria	un	6,00	10,00	60,00	10,00	60,00	10,00	60,00

Continua...

Tabela 2. Continuação

Componentes do custo	Unidade	Valor unitário (R\$)	Ano 2		Ano 3		Ano 4	
			Quantidade	Valor total (R\$ ha ⁻¹)	Quantidade	Valor total (R\$ ha ⁻¹)	Quantidade	Valor total (R\$ ha ⁻¹)
Pós-colheita				476,10		645,66		1.019,04
Secagem	dh	62,56	3,20	200,19	3,20	200,19	3,20	200,19
Debulha mecânica	hm	32,71	1,32	43,18	5,28	172,71	0,40	13,08
Debulha manual	dh	62,56	3,60	225,22	4,00	250,24	12,48	780,75
Abanação	dh	62,56	0,12	7,51	0,36	22,52	0,40	25,02
Outros				99,80		117,32		131,94
Assistência técnica	%	2,00	2.495,16	49,90	2.933,13	58,66	3.298,35	65,97
Administração	%	2,00	2.495,16	49,90	2.933,13	58,66	3.298,35	65,97
Depreciação				114,78		119,90		122,56
Depreciação do capital	R\$	1,00	1,00	114,78	1,00	119,90	1,00	122,56
Custo operacional				2.677,22		3.170,35		3.520,31
Remuneração dos fatores				605,61		613,74		616,23
Remuneração da terra	R\$	1,00	1,00	475,00	1,00	475,00	1,00	475,00
Remuneração do custeio	R\$	1,00	1,00	24,81	1,00	29,36	1,00	33,16
Remuneração do capital	R\$	1,00	1,00	105,80	1,00	109,38	1,00	108,07
Total				3.282,83		3.784,09		4.136,54
Desembolso	R\$			2.562,44		3.050,45		3.397,75
Relação desembolso x custo total	%			78,06		80,61		82,14

Análise dos indicadores de eficiência econômica

De acordo com dados da Tabela 3, a receita bruta obtida, por hectare, com o pinhão-manso, nos 4 anos estudados, é inferior aos custos de produção. A receita foi obtida multiplicando-se a produtividade por hectare, medida em quilogramas, pelo preço estimado de mercado. Nesta análise, considerou-se o preço médio de mercado de R\$ 0,50 por quilograma. De acordo com diversos autores, a produtividade do pinhão-manso seria estabilizada a partir do terceiro ano de cultivo e atingiria quantidades elevadas. No entanto, isso não ocorreu na área do estudo. A produtividade obtida no primeiro ano (60 kg ha^{-1}) foi baixíssima. Nos anos subsequentes, houve pequena elevação da produtividade, que chegou a $37,50 \text{ kg ha}^{-1}$ no segundo ano; 115 kg ha^{-1} no terceiro ano; e 225 kg ha^{-1} no quarto ano. Dessa forma, a renda líquida, obtida pela subtração entre receita e custo total, foi negativa em todo o período analisado. Esse resultado indica que o pinhão-manso, cultivado nas condições da Fazenda Paraíso, é inviável economicamente, por causa das baixas produtividades obtidas nos anos iniciais.

Tabela 3. Indicadores de eficiência econômica da cultura do pinhão-manso, na Fazenda Paraíso, em Dourados, MS.

Indicador	Unidade	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano
Produtividade	kg ha^{-1}	60,00	75,00	230,00	450,00
Receitas	$\text{R\$ ha}^{-1}$	30,00	37,50	115,00	225,00
Custo total	$\text{R\$ ha}^{-1}$	4.858,93	3.282,83	3.784,09	4.136,54
Renda líquida	$\text{R\$ ha}^{-1}$	-4.828,93	-3.245,33	-3.669,09	-3.911,54
Ponto de nivelamento	kg ha^{-1}	9.717,90	6.565,70	7.568,20	8.273,10
Taxa de retorno	%	-99,38	-98,86	-96,96	-94,56
Produtividade total dos fatores		0,0062	0,0114	0,0304	0,0544

Considerando-se o preço de mercado (R\$ 0,50 por quilograma) utilizado neste estudo, o ponto de nivelamento, entendido como a quantidade de produto necessária para pagar o custo de produção, no primeiro ano foi de $9.717,9 \text{ kg ha}^{-1}$; no segundo ano de $6.565,7 \text{ kg ha}^{-1}$; no terceiro ano de $7.568,2 \text{ kg ha}^{-1}$; e no quarto ano de $8.273,1 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 3).

A taxa de retorno, que consiste na relação renda líquida-custo total, também foi negativa nos quatro anos estudados, variando de -99,38% a -94,56%. Isso significa que, para

cada R\$ 1,00 gasto na cultura do pinhão-manso, o retorno financeiro foi negativo, variando entre R\$ -0,99 e R\$ -0,94 (Tabela 3).

A produtividade total dos fatores (eficiência) foi obtida pela divisão entre as receitas e o valor dos custos (Guiducci et al., 2012). Assim, os índices de eficiência variaram entre 0,0062 e 0,0544, indicando que a produção de pinhão-manso, na Fazenda Paraíso, foi ineficiente. Salienta-se que essa relação é alterada de acordo com as flutuações do preço de mercado do produto (Tabela 3).

Segundo estudo: Fazenda Tiracanga/Brasil Ecoenergia, Piracuruca, PI

O estudo teve uma finalidade mais prospectiva no que diz respeito à viabilidade futura, considerando toda a cadeia produtiva do pinhão-manso, a despeito de a situação atual da cultura (ausência de cultivar padronizada, sistema de produção consolidado, frutificação não uniforme e não aproveitamento dos resíduos e coprodutos) indicar a sua inviabilidade econômica.

Foram considerados os valores das vendas do óleo, da torta e da casca para energia, como também a inserção da cultura no mercado de crédito de carbono. A produtividade, baseada em genótipos superiores, medida em quantidade grãos por hectare, foi baixa no primeiro ano. No entanto, a partir do segundo ano ocorreu um incremento acentuado na

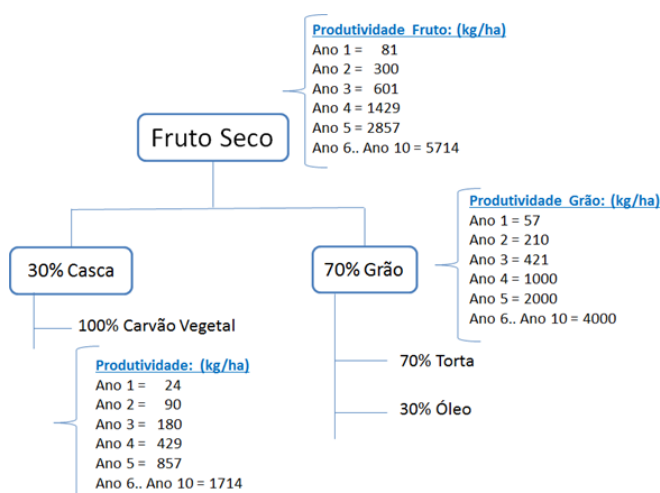


Figura 2. Produtividade projetada do pinhão-manso na Fazenda Tiracanga, em Piracuruca, PI.

quantidade de grãos por hectare. O acompanhamento em campo foi realizado até o quinto ano. A partir do sexto ano, foi utilizada a produtividade média do melhor genótipo nos bancos de germoplasmas da Embrapa Cerrados e da Embrapa Rondônia. Os critérios para os cálculos dos custos de produção do pinhão-mansão na Fazenda Tiracanga, localizada em Piracuruca, PI, são apresentados na Figura 2.

Estudo de mercado para a cadeia produtiva do pinhão-mansão

O mercado de biocombustíveis de pinhão-mansão leva em consideração dois produtos principais: o biodiesel e o bioquerosene de aviação. No curto prazo, a principal força propulsora do crescimento da demanda por esses produtos será a pressão social pela substituição dos combustíveis fósseis. Além disso, no mercado brasileiro, existe a necessidade de óleos de qualidade e, com isso, de busca por matérias-primas convencionais que atendam às crescentes demandas nacionais e globais em bioenergia. Entre as espécies potenciais, o pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) é uma das alternativas de interesse.

O mercado de óleos vegetais vem crescendo a uma taxa de 3,7% ao ano (Romano, 2011), e o volume produzido no mundo é muito grande quando se considera apenas o consumo de alimentos. No entanto, quando se compara o consumo de óleos vegetais com o consumo de petróleo, percebe-se que, para atender ao mercado de biocombustíveis, esse volume é pouco expressivo. A produção mundial de óleos vegetais corresponde somente a 5% do consumo de petróleo, e ainda se deve considerar que grande parte desse óleo continuará sendo consumida como alimento de forma que apenas um pequeno excedente está disponível para o mercado energético. Os três principais óleos produzidos mundialmente são a soja, a palma e a canola, os quais correspondem a mais de 2/3 do total produzido. A Figura 3 mostra os valores médios praticados para os principais óleos comercializados nos mercados mundiais.

Neste contexto, o óleo de pinhão-mansão será mais uma alternativa a ser disponibilizada no mercado de biodiesel, e seu preço deverá ser competitivo em relação aos óleos de soja e de algodão.

Outro produto potencial da cadeia produtiva do pinhão-mansão é a glicerina, a qual pode ser comercializada de forma bruta ou purificada. Em 2013, o País exportou 180,6 mil toneladas de glicerina, o que correspondeu a 7% a mais que em 2012 (Tabela 4).

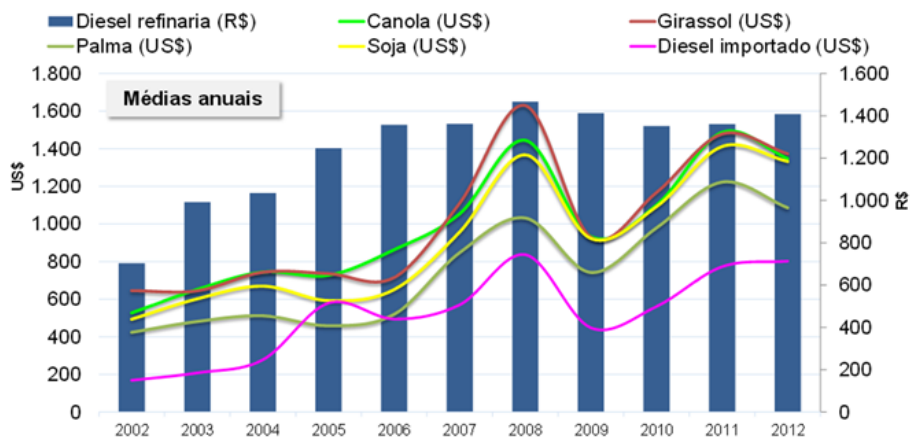


Figura 3. Principais óleos comercializados no mundo.

Fonte: Adaptado de Oil World (2014).

Tabela 4. Exportações de glicerina pelo Brasil.

Ano	Valor (US\$)	Volume (t)	Preço (US\$ t ⁻¹)
2007	1.648	5.434	303,26
2008	11.873	33.866	350,60
2009	12.073	101.167	119,34
2010	22.812	141.484	161,23
2011	41.901	155.941	268,70
2012	46.181	168.712	273,73
2013	65.926	180.649	364,94

Fonte: Brasil (2014).

No mercado de nutrição animal, a torta resultante da extração do óleo das sementes de pinhão-mansão constitui excelente adubo orgânico, rico em nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Além disso, a torta de pinhão-mansão é rica em proteínas (de 46% a 63%, dependendo do método de extração do óleo), e poderá ser usada como suplemento proteico altamente nutritivo em dietas de ruminantes e monogástricos. As pesquisas para destoxificação da torta das cultivares tóxicas do pinhão-mansão estão em estágio avançado. A presença de compostos bioativos tóxicos, alergênicos e antinutricionais ainda restringe o uso da torta para nutrição animal, sendo os ésteres de forbol (EF) os principais componentes tóxicos.

O mercado de biodiesel cresce por causa do diesel mineral e dos marcos regulatórios. Em 2015, no Brasil, a mistura era de 7% do biodiesel no óleo diesel (B7), e pode chegar a 20% nos próximos 10 anos, conforme a evolução de novos marcos regulatórios (B10 e B20). Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (Empresa de Pesquisa Energética, 2014), a projeção da demanda de óleo diesel para transporte deriva do uso de veículos rodoviários pesados (ônibus e caminhão), de veículos comerciais leves e dos modais aquaviário (embarcações nacionais) e ferroviário. Para o modal rodoviário, que concentra a maior demanda de diesel do transporte, foram estabelecidas metodologias específicas por tipo de veículo (*bottom-up*). Em linhas gerais, são projetadas variáveis-chaves, como frota, consumo específico (L/km), quilometragem média anual e fator de ocupação. No caso da projeção de frota, foram elaboradas curvas de sucateamento para ônibus e caminhões, bem como para veículos comerciais leves.

A demanda por bioquerosene de aviação vai variar conforme o querosene de aviação (QAV). Conforme a Empresa de Pesquisa Energética (2014), a demanda de QAV é estimada com base no cálculo da demanda total potencial de QAV, descontados os potenciais ganhos de eficiência no transporte aeroviário. A projeção da demanda total potencial de QAV no Brasil (incluindo aeronaves estrangeiras) é elaborada a partir de uma correlação com o PIB brasileiro, considerando também fatores exógenos, em períodos determinados (Tabela 5).

Tabela 5. Projeção da demanda de querosene de aviação.

Ano	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste	Brasil
Milhões de litros						
2013	409	1.113	496	2.105	616	4.739
2017	480	1.413	639	2.465	748	5.745
2022	598	1.944	897	3.066	972	7.478
Período	Variação no período (mil m ³)					
2013-2022	202	890	428	1.024	381	2.926
Período	Variação (% a.a.)					
2013-2017	3,9	6,0	6,4	3,8	4,8	4,8
2018-2022	4,5	6,6	7,0	4,5	5,4	5,4
2013-2022	4,2	6,3	6,7	4,1	5,1	5,1

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2014).

Outro aspecto do mercado de BioQAV, o qual poderá favorecer a cultura do pinhão-manso, é a existência de metas do setor de transporte aéreo estabelecidos pela Associação Internacional de Transportes Aéreos(Iata): melhorar a eficiência de combustível de 1,5% até 2020, limitar as emissões da indústria a partir de 2020 e reduzir em 50% as emissões da indústria até 2050, tendo como linha de base 2005.

Competição dos produtos da cadeia produtiva do pinhão-manso

Por meio do Programa Brasileiro de Produção do Biodiesel (PNPB), o governo brasileiro promoveu o biodiesel a fim de fomentar o desenvolvimento regional, reduzir as desigualdades sociais, gerar emprego e renda no campo e reduzir a necessidade de divisas para importação de diesel. Atualmente, o biodiesel pode ser produzido a partir de diversos tipos de óleos vegetais (soja, canola, girassol, mamona, pinhão-manso, algodão, dendê,

etc.), gordura animal e também de óleo de fritura. Conforme a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)¹, em 2014, o óleo de soja representou 74% da produção de biodiesel; a gordura animal, 20%; o óleo de algodão, 2%; e óleo de fritura, 1%.

Avaliando a competição por fontes de matéria-prima no Brasil, verifica-se que existe grande oportunidade de inserção do óleo de pinhão-mansão na produção de biodiesel, principalmente em regiões como o Nordeste brasileiro, onde quase toda a soja utilizada é trazida de outras regiões. No Sudeste, também existem grandes possibilidades de diversificação de matérias-primas. Pela Tabela 6, segundo informações divulgadas em março de 2014 pela ANP, pode-se observar a distribuição geográfica de uso de fontes para biodiesel.

Tabela 6. Distribuição geográfica e fonte de matérias-primas do biodiesel (março de 2014).

Matéria-prima	Região				
	Norte (%)	Nordeste (%)	Centro-Oeste (%)	Sudeste (%)	Sul (%)
Óleo de soja	64,61	67,17	87,81	42,86	64,86
Gordura bovina	24,96	12,60	8,98	52,26	31,77
Óleo de algodão		20,12	1,32	1,89	
Outros materiais graxos	10,43		0,74	0,62	0,83
Óleo de fritura usado		0,11	1,08	2,37	0,50
Gordura de porco			0,07		1,94
Gordura de frango					0,10

Fonte: Agência Nacional do Petróleo (2014).

No mercado de óleos virgens para bioenergia, os concorrentes diretos do pinhão-mansão são o óleo de soja, a palma, o algodão, o girassol e a canola (colza). No entanto, o pinhão-mansão tem a vantagem da não concorrência com a segurança alimentar. Além disso, alguns tipos de óleos possuem preços bem superiores, por serem considerados nobres, a exemplo do óleo de canola e de girassol.

¹ Disponível em: <www.anp.gov.br>.

No mercado de péletes/carvão vegetal, a casca dura e lenhosa do pinhão-mansão (pericarpo) não concorre diretamente com outros resíduos que são peletizáveis, a exemplo do bagaço de cana e do cavaco de eucalipto, pois podem ser utilizados de forma conjunta. Quanto à glicerina, a concorrência é alta no que diz respeito à produção de bioprodutos. Porém, trata-se de um resíduo da produção do biodiesel e que sempre terá mercado cativo, pois é matéria-prima para uma série de produtos, incluindo na química fina.

Roadmap da cadeia produtiva do pinhão-mansão

Na Fazenda Tiracanga, foi realizada uma série de estudos relacionados ao futuro da cultura e às tecnologias envolvidas para viabilizá-los. Conforme Coutinho e Bomtempo (2011), o estudo de *roadmap* tecnológico é uma ferramenta que pode ser usada para avaliar a viabilidade de matérias-primas renováveis quando se procura integrar os aspectos relevantes do negócio (mercados, produtos, tecnologias e recursos) à dimensão tempo. Segundo os autores, um *roadmap* aplicado às matérias-primas renováveis pode ser visto como um exercício inicial, cujo resultado é aberto às discussões e contribuições dentro da empresa e no ambiente externo dos grupos de interesse. A Tabela 7 apresenta um *roadmap* em que as necessidades de mercado no curto, médio e longo prazos foram alinhadas com as necessidades de produtos para atendê-las, bem como os recursos e as competências que serão exigidas para os desafios propostos.

Nos próximos anos, o grande atrativo da viabilidade econômica, ambiental e social da cultura do pinhão-mansão será um mercado crescente de biodiesel, com marcos regulatórios previsíveis, bem como a alta demanda prevista para o bioquerosene de aviação e para o aproveitamento de seus coprodutos, como a torta e a glicerina (a partir de 2025). Por sua vez, existem grandes desafios para o desenvolvimento de uma cultivar padronizada e um sistema de produção consolidado no médio prazo (a partir de 2020).

Tabela 7. Roadmap da cadeia produtiva do pinhão-manso.

	Curto prazo (2020)	Médio prazo (2025)	Longo prazo (2030)
Demanda de mercado	<ul style="list-style-type: none"> • B10 de biodiesel • Demandas de energia • Demandas de adubação 	<ul style="list-style-type: none"> • B15 de biodiesel • Bioquerosene de aviação em pequena escala • Química fina a partir do óleo • Nutrição animal restrita • Energia • Adubação 	<ul style="list-style-type: none"> • B20 de biodiesel • Bioquerosene de aviação em larga escala • Química fina em larga escala (oleoquímica e glicerolquímica) • Nutrição animal em larga escala • Energia • Adubação
Produtos/ Tecnologias	<ul style="list-style-type: none"> • Óleo de pinhão-manso • Torta para adubação • Briquetes/péletes • Carvão vegetal • Genótipos de melhores desempenhos • Transesterificação • Extração do óleo • Melhoramento genético • Sistema de produção dos melhores Genótipos 	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivar padronizada • Sistema de produção consolidado • Óleo de pinhão-manso • Torta para adubação • Briquetes/péletes • Carvão vegetal • Biorrefinaria (processos termoquímicos e hidrotreatamento) • Biotecnologia 	<ul style="list-style-type: none"> • Óleo de pinhão-manso • Torta para adubação • Briquetes/péletes • Carvão vegetal • Biorrefinaria – processos termoquímicos (gaseificação, pirólise e hidrotreatamento) • Biologia sintética • Tecnologias para gliceroquímica e oleoquímica de pinhão-manso
Recursos/ Competências	<ul style="list-style-type: none"> • Banco Ativo de Germoplasma (BAG) • Pesquisadores e analistas em agronomia, biologia e economia do pinhão-manso • Laboratórios da Embrapa • Projeto de melhoramento e manejo do pinhão-manso 	<ul style="list-style-type: none"> • BAG • Pesquisadores e analistas em agronomia, biologia e economia do pinhão-manso • Laboratórios da Embrapa e outros Institutos de Ciência e Tecnologia • Projetos de biotecnologia • Planta-piloto de biodiesel e bioquerosene de pinhão-manso 	<ul style="list-style-type: none"> • BAG • Pesquisadores e analistas em agronomia, biologia e economia do pinhão-manso • Laboratórios da Embrapa e outras ICTs • Projeto de biorrefinaria do pinhão-manso

Estratégia de precificação dos produtos e dos coprodutos do pinhão-mansão

Na Fazenda Tiracanga, o litro do óleo de pinhão-mansão foi vendido para o exterior (Colômbia) por R\$ 2,30. Discutiu-se, durante os estudos na localidade, qual seria o preço justo e competitivo para os produtos do pinhão-mansão. Nesse aspecto, uma análise da precificação dos produtos da cadeia mostrou-se necessária. A precificação do óleo do pinhão-mansão poderá ser equiparada às cotações do óleo de soja. Para efeito de comparação, a Associação Brasileira de Óleos Vegetais (Abiove) apresenta, mensalmente, os dados históricos do preço do óleo de soja e seus respectivos produtos e coprodutos.

Por seu valor relacionado à fertilidade do solo, a torta de pinhão-mansão para adubação poderá ser vendida a preços equivalentes à torta do algodão, como também equiparada ao farelo de soja. Já os valores do biodiesel seguem de perto a evolução dos preços do óleo de soja, o qual representa 80% do seu custo. A ANP realiza, desde 2005, os leilões de biodiesel em que são estabelecidos os preços do litro. Nos leilões, refinarias compram o biodiesel para misturá-lo ao diesel derivado do petróleo. Quanto à glicerina, os preços seguirão os estabelecidos no mercado internacional (cotados, em 2014, a US\$ 350,00 por tonelada).

Viabilidade econômica, ambiental e social da cadeia produtiva do pinhão-mansão

Os estudos foram realizados na Fazenda Tiracanga por meio de simulações baseadas no mercado e nos experimentos da Embrapa.

Estudos econômicos

Na Fazenda Tiracanga, no Piauí, o custo de produção por hectare variou de R\$ 2.968,17 no primeiro ano (por causa da implantação da cultura) a R\$ 848,77 no quinto ano. A partir do sexto ano, os valores foram extrapolados até o décimo ano para o cálculo de retorno do investimento. Considerou-se o custo de extração em 20% sobre o total dos custos agrícolas. Nota-se que os valores são bem inferiores aos de Mato Grosso do Sul.

A receita foi obtida apenas no quinto ano, com a venda do óleo (para a Colômbia) que estava armazenado desde o segundo ano ao preço de R\$ 2,30 por litro. O valor da torta (base de 70% do grão) foi de R\$ 500,00 por tonelada, considerando o custo de oportunidade do adubo aplicado na lavoura. A rentabilidade projetada acumulada foi positiva no final do sexto ano, por causa do aumento de produtividade.

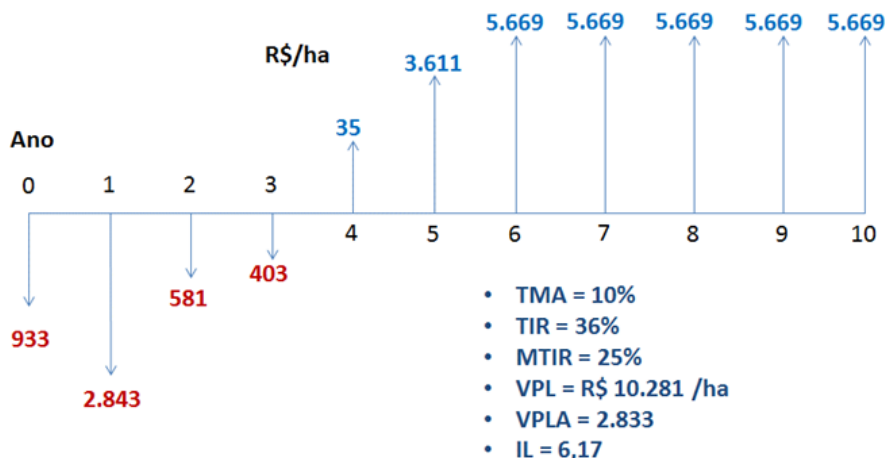


Figura 4. Fluxo de caixa projetado na Fazenda Tiracanga e na empresa Brasil Ecoenergia.

A partir do 6º ano, a rentabilidade evoluiu de um prejuízo de R\$ 2.848,71 por hectare para um lucro de R\$ 5.613,94 por hectare, com acumulado de R\$ 27.610,43. O critério adotado foi a coleta de valores reais de custos e de receita até o quinto ano. A partir do sexto ano, os valores foram estimados, considerando-se os ganhos de produtividade e também os valores de custos no quinto ano.

Os valores da receita do mercado de carbono consideraram uma captura de CO₂ equivalente a 1.450 kg, por hectare, e um valor médio de US\$ 6,00 no mercado voluntário por cada crédito (1.000 toneladas de CO₂), conforme padrão do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

O fluxo de caixa projetado considerou 10 anos de lavoura, bem como a venda do óleo e dos demais coprodutos de forma anual. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) considerada foi de 10%, equivalente à taxa Selic no final de 2013. Obteve-se uma Taxa Interna

de Retorno Modificada (MTIR) de 25%, bem acima das taxas de mercado. O valor anual de retorno para o produtor, por hectare (medido pelo Valor Presente Líquido Atualizado – VPLa), foi de R\$ 2.833,34. Outro indicador importante foi o Índice de Lucratividade (IL), que indicou que o produtor receberá R\$ 6,17 para cada R\$ 1,00 investido na lavoura de pinhão-manso. O *payback* descontado indicou que o retorno do investimento será obtido por volta do sexto ano da lavoura. É importante ressaltar que os números não levaram em conta um consórcio com culturas anuais, o que pode abreviar esse período.

O fluxo de caixa é negativo nos três primeiros anos, em razão do investimento inicial relativo à aquisição da propriedade e das instalações para o plantio do pinhão-manso. A rentabilidade é negativa por causa da ausência de receita com a comercialização do óleo. A partir do quarto ano, o fluxo torna-se positivo com o custo de oportunidade da torta, do carvão vegetal e com a receita da venda do óleo (Figura 4).

No estudo realizado (considerando os custos indicados pela equipe da Universidade Federal de Viçosa – UFV), o óleo do pinhão-manso foi vendido para o exterior a R\$ 2,30 por litro. Esse valor pode variar principalmente se comparado com o valor do litro do óleo de soja utilizado para biodiesel, que oscila em torno de R\$ 3,00. A partir de variações da receita total, provocadas por variações no nível dos preços do óleo, os resultados da rentabilidade do produtor também poderão sofrer variações. Conforme a Metodologia da Embrapa para Avaliação de Investimentos em Lavoura, a fim de verificar em que nível de preços ou em que nível de produtividade um determinado investimento é viável, propõe-se a análise de sensibilidade, conforme a Tabela 8.

Tabela 8. Análise de sensibilidade com base nas variações dos preços e das quantidades produzidas de pinhão-manso.

Indicador	Variações nos níveis de preços do óleo (R\$ 2,30)					
	-30%	-20%	-10%	10%	20%	30%
<i>Payback</i> (anos)	9,00	8,90	8,70	8,50	7,60	7,20
VPLa	805	897	1.001	1.129	1.410	1.557
Índice de lucratividade	1,86	1,96	2,07	2,21	2,51	2,66
MTIR	12%	12%	13%	14%	15%	16%

VPLa = Valor Presente Líquido Anualizado; MTIR = Taxa Interna de Retorno Modificada.

A simulação na Tabela 8 mostra que choques nos preços do óleo vendido tem uma grande resposta por parte dos indicadores de retorno de investimentos, como também o *payback*. De forma similar, podem-se realizar simulações de outras variáveis importantes como o preço da torta, a produtividade, o rendimento da extração do óleo, o preço do crédito de carbono e também os indicadores sociais, como a quantidade de empregos gerados (convertidos em reais e acrescentados à receita).

Estudos ambientais

Para os aspectos ambientais do pinhão-mansão, foi utilizado o método de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), normatizado pelas normas ISO 14040 e ISO 14044. Por envolver um estudo da fauna e da flora da região, também foi considerado como fonte o padrão dos Estudos de Impactos Ambientais – Relatórios de Impacto ao Meio Ambiente (EIA-RIMA), normatizado pela resolução Conama nº 1/1986 (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1986). Os trabalhos foram conduzidos na região de Piracuruca, PI. Todo o processo envolvido na cadeia produtiva do pinhão-mansão foi avaliado.

Os estudos ambientais para o bioma da região apontaram como principais geradores de acidificação e eutrofização o uso de corretivos de solos, como o calcário e a adubação sintética (macronutrientes) à base de K, P, N, cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Pesticidas e herbicidas para controle inicial de ervas e para manejo de pragas e também para capina química dirigida com glifosato foram outros produtos sintéticos que contribuíram para o impacto.

Na Fazenda Tiracanga/Brasil Ecoenergia, na área diretamente afetada (ADA), sobre a qual incidiram os efeitos ambientais gerados pelo cultivo e pelo processo de extração de óleo do pinhão-mansão, não ocorreram alterações das condições naturais da atmosfera (poluição). A qualidade do ar na área continuou sendo de uma zona rural típica.

A construção de um açude para aproveitamento da água da chuva visando à irrigação não ocasionou impacto de erosão hídrica. Com essa medida, não houve necessidade de captura de água no Rio Piracuruca, o que gerou impacto positivo na degradação de ecossistemas e depleção dos recursos hídricos.

O aproveitamento da torta do pinhão-manso para adubação de campo e também para produção de carvão vegetal na fazenda contribuiu para os seguintes indicadores: toxicidade humana, mudanças climáticas, depleção de recursos fósseis da avaliação do ciclo de vida.

Na área de influência direta (AID) do cultivo do pinhão-manso e extração do seu óleo, foram identificadas várias espécies vegetais e de animais, tanto nas áreas densas de vegetação como nos campos abertos. Boa parte das espécies observadas dependia, em algum grau, de áreas florestadas. O desmatamento realizado para a produção agrícola gerou impacto no indicador de depleção de recursos florestais. Outro impacto foi gerado por emissão e vibrações advindas do trânsito de veículos, tratores, bem como do funcionamento dos equipamentos da fazenda, além da própria presença humana local, que provoca a dispersão de animais silvestres para as regiões circunvizinhas e áreas urbanas. Esse processo pode provocar eventuais desequilíbrios na estrutura das comunidades faunísticas locais, impactando negativamente na categoria depleção de recursos bióticos.

Na produção de biodiesel a partir do óleo do pinhão-manso, a avaliação potencial de impactos ambientais foi considerada conforme o descrito no relatório do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) (Benefícios..., 2014). Entre os impactos positivos, destaca-se a redução de emissões, tanto de gases de efeito estufa (GEE) quanto de outras substâncias nocivas à saúde humana, favorecendo as categorias de mudanças climáticas e toxicidade humana. A adição de biodiesel traz melhorias significativas nas emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e materiais particulados (MP), com pequeno incremento nas emissões do óxido de nitrogênio (NOx).

Ressalta-se o papel do biodiesel enquanto beneficiador da saúde do ser humano, haja vista o potencial efeito redutor de mortalidade, internações e tratamentos contra doenças ligadas à má qualidade do ar respirado. Quanto maior o teor de biodiesel misturado ao diesel mineral, maior será a redução de emissões de GEE. Pelo estudo realizado no Mapa, no B7 (7% de mistura), a redução é de 5%, enquanto no cenário do B10, o patamar de redução de emissões de GEE chegaria a 7,3%. Atualmente, com o B7, estão sendo evitadas emissões de cerca de 7,3 milhões de toneladas de CO₂ eq. De forma aproximada, cada percentual a mais de biodiesel mandatário no Brasil é equivalente ao plantio de cerca de 7,2 milhões de árvores (Benefícios..., 2014).

Estudos sociais

Os estudos de viabilidade social foram realizados também no Assentamento Bela Vista na zona rural de Piracuruca. Foi reservado 1 ha para o plantio do pinhão-manso em consórcio com culturas anuais como o milho, o amendoim e o feijão-caupi. Concluiu-se que a produção do pinhão-manso pode trazer várias contribuições sociais. Apesar de ser uma planta perene, o consorciamento com outras culturas é uma alternativa para o fluxo de caixa de pequenos e médios agricultores nos primeiros anos de cultivo. A parceria com empresas da região ou com grandes conglomerados pode agregar valor aos produtos.

Baseado no método SLCA da ONU Meio Ambiente, foram avaliados os potenciais impactos sociais, tanto positivos como negativos, de produtos/serviços em todo o ciclo de vida (do berço ao túmulo). Seguindo a metodologia, foram avaliados os impactos ambientais da cadeia produtiva do pinhão-manso sob quatro aspectos: a) *stakeholder* “trabalhador”; b) *stakeholders* “consumidor” e “comunidade local”; c) *stakeholder* “sociedade”. Todos esses indicadores foram avaliados em visita realizada no assentamento Bela Vista. Em seguida foram compilados para suporte à elaboração do balanço social da cultura do pinhão-manso do projeto.

Em Piracuruca, realizou-se visita ao assentamento Bela Vista, na zona rural do município, onde vivem 20 famílias. Existem outras 39 comunidades rurais com sistemas de subsistência bem semelhantes. No assentamento, já existiam plantações de feijão, amendoim e milho. O interesse da comunidade rural é depender exclusivamente da agricultura familiar. Os pais de família trabalham na cidade em subempregos, deixando as atividades agrícolas com as mulheres e os filhos.

Na Tabela 9, os indicadores sociais foram avaliados em quatro dimensões: empregos, renda, saúde e educação. São mostrados os critérios para os cálculos dos benefícios sociais potenciais e os valores obtidos para cada dimensão.

Tabela 9. Avaliação de Impacto Social – Assentamento Bela Vista, PI.

	Indicador Social	Critério	Valor (R\$)
1	10 Empregos gerados por 5 ha de assentamento	<ul style="list-style-type: none"> • 5 ha por assentamento • 10 famílias por assentamento • 50% da área ocupada por pinhão-manso • 1 salário mínimo por família (R\$ 724) • $[(10 \times 724 / 5) \times 0,50] = \text{R\\$ } 724$ por hectare 	R\$ 724,00 ha ⁻¹ por mês
2	Renda da região impulsionada pelos 39 assentamentos	<ul style="list-style-type: none"> • PIB Piracuruca – Fonte: IBGE 2008 → R\$ 86.202.000 • Aumento de 4% no PIB em razão do cultivo do pinhão-manso em 39 comunidades (7.240,00 por assentamento mensal x 12 x 39) = R\$ 3.388.320 / 86.202.000 = 4% 	R\$ 3.388.320,00 por ano
3	Redução de internação (melhoria da saúde)	<ul style="list-style-type: none"> • R\$ 455,51 – valor anual médio de internação por paciente no SUS no Estado do Piauí – Fonte: Datasus – Ministério da Saúde (2005) • Redução de 1 internação por assentamento durante o ano, considerando aumento da qualidade de vida por conta do cultivo do pinhão-manso • (39 assentamentos x 10 x 455,51) = R\$ 177.648,90 	R\$ 177.648,90 por ano
4	Aumento da educação (20% dos jovens do assentamento com acesso às profissões de nível superior)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 pessoa por família com profissão técnica ou de nível superior na área agrícola e que permanecerá na região após formado • Salário médio = R\$ 2.000,00 • (39 x 10 x 2.000) = R\$ 780.000,00 	R\$ 780.000,00 por ano

Por fim, foi realizado o estudo de sustentabilidade da cadeia produtiva do pinhão-manso na região, considerando-se as três dimensões: econômica, social e ambiental, conforme mostrado na Tabela 10. Foi utilizada como metodologia a LCSA da ONU Meio Ambiente (Valdivia et al., 2012). O estudo consistiu em comparar os indicadores de um ou mais produtos, a partir dos aspectos sociais, econômicos e ambientais. As três aborda-

gens de sustentabilidade contemplam a avaliação do ciclo de vida do ponto de vista social, ambiental e econômico.

Tabela 10. Sustentabilidade social, ambiental e econômica do pinhão-mansão na região de Piracurca, PI.

Social (S-LCA)				
Indicador	Empregos (mês por hectare)	Educação (R\$ por ano)	Saúde (R\$ por ano)	Renda regional (incremento)
Pinhão-mansão	R\$ 724 ha ⁻¹ por mês	R\$ 780.000 por ano	R\$ 177.651 por ano	R\$ 3.400 milhões
Ambiental (E-LCA)				
Indicador	Toxicidade humana	Depleção de recursos hídricos e bióticos	Mudanças climáticas	
Pinhão-mansão	Redução (adubação pela torta) de problemas de saúde pelo uso do biodiesel	Redução da depleção pelo aproveitamento da água da chuva e aumento da depleção de recursos bióticos.	Redução do estoque de carbono no solo e de gases de efeito estufa no uso do biodiesel	
Econômico (LCC)				
Indicador	VPLa (R\$ ha por ano)	MTIR (% a.a.)	IL (Proporção/ano)	
Pinhão-mansão	R\$ 1.129 por hectare	14%	2,21	

S-LCA: Avaliação do Ciclo de Vida; E-LCA: Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental; VPLa: Valor Presente Líquido Anualizado; MTIR: Taxa Interna de Retorno Modificada; IL: Índice de Lucratividade.

Com base no estudo realizado, conclui-se que a cadeia de pinhão-mansão apresenta oportunidade nos três pilares da sustentabilidade.

Considerações finais

No primeiro estudo, o custo total de implantação da cultura do pinhão-mansão é alto, por causa da ocorrência de gastos significativos com a compra de mudas e com as operações agrícolas, que correspondem, respectivamente, a 33,3% e 24,1% do custo total.

À medida que aumenta a produtividade de pinhão-manso ao longo das safras agrícolas, há elevação considerável da utilização de mão de obra, e isso exige maior dedicação de tempo para as atividades de colheita e pós-colheita.

Do ponto de vista econômico, a produção de pinhão-manso, conforme o sistema de produção adotado na Fazenda Paraíso, não apresenta viabilidade econômico-financeira autossustentável. Espera-se que, com a evolução do melhoramento genético da cultura, haja melhorias nas formas de colheita, a fim de reduzir a mão de obra e, conseqüentemente, elevar a lucratividade do produtor.

No segundo estudo, realizado na Fazenda Tiracanga, no PI, conclui-se que, nos aspectos prospectivos de médio e longo prazo (2025 e 2030), a cadeia produtiva do pinhão-manso é viável do ponto de vista econômico, social e ambiental. O estudo considerou dados reais obtidos no local da pesquisa e dados de simulação que consideraram as tendências e projeções baseadas nos caminhos futuros de PD&I da cultura. Algumas perspectivas foram obtidas para viabilizar a sustentabilidade, como, por exemplo: incentivo em PD&I para redução de custos com a mecanização da lavoura, necessidade de desenvolver o mercado para o óleo e os coprodutos do pinhão-manso, mesmo antes de lançamento de uma cultivar padronizada, aproveitamento integral do pinhão-manso no conceito de biorrefinaria e também de ciclo fechado da ecologia industrial, necessidade de políticas públicas para inserção do pinhão-manso no selo de combustível social, consórcio com culturas anuais nos anos iniciais de plantio, incentivos aos pequenos agricultores durante os primeiros anos da cultura (fluxo de caixa negativo), capacitação e disponibilização de assistência técnica por parte da extensão rural, bem como parceria entre grandes, médios e pequenos agricultores para melhor aproveitamento da cadeia produtiva. Outras conclusões importantes do estudo estão relacionadas aos seguintes aspectos: necessidade de aumentar o valor agregado da torta; execução de políticas públicas para que a extração do óleo possa ser realizada de forma conjunta por uma determinada quantidade de produtores rurais, compartilhando custos e reduzindo a ociosidade; necessidade de gestão de PD&I bem próxima dos produtores (acompanhamento mensal), fornecendo toda a assistência agrônômica e de sustentabilidade necessária. Nesta fase, não existe possibilidade de terceirizar essa atividade de pesquisa com técnicos agrícolas ou de consultoria com interesse comercial.

No que se refere à viabilidade econômica, chegou-se à conclusão de que a cadeia produtiva do pinhão-manso tem potencial de rentabilidade para o investidor, podendo

chegar a R\$ 2,51 para cada real investido, considerando um valor competitivo médio do óleo de R\$ 2,30 por litro e custos realistas. Outra análise econômica importante é que a rentabilidade média anualizada do pinhão-manso, medida pelo VPLa ficou em R\$ 1.129 por hectare, considerando custos realistas e a receita obtida pela Fazenda Tiracanga. Esses resultados demonstram o grande potencial econômico da cultura no médio e longo prazo.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (Brasil). **Relatório mensal do biodiesel**: março/2014. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/publicacoes/boletins-anp/2386-boletim-mensal-do-biodiesel>>. Acesso em: 6 jun. 2014.
- BELTRÃO, N. E. de M.; SEVERINO, L. S.; VELOSO, J. F.; JUNQUEIRA, N.; FIDELIS, M.; GONÇALVES, N. P.; SATURNINO, H. M.; ROSCOE, R.; GAZZONI, D.; DUARTE, J. de O.; DRUMOND, M. A.; ANJOS, J. B. dos. **Alerta sobre o plantio do pinhão manso no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 15 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 155).
- BENEFÍCIOS ambientais da produção e uso do biodiesel. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária, 2014. 33 p.
- BENOÎT, C.; MAZIEN, B. **Guidelines for social life cycle assessment of products**. [S.l.]: United Nations Environment Programme, 2009. 103 p.
- BRASIL. **Base de dados do Comex Stat**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/base-de-dados-do-comercio-exterior-brasileiro-arquivos-para-download>>. Acesso em: 14 jun. 2014.
- COMEX. Base de Dados do Comércio Exterior – MDIC. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/index.php/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/base-de-dados-do-comercio-exterior-brasileiro-arquivos-para-download>. Acesso em: 7 jun. 2014.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução Conama nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 17 fev. 1986. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 29 maio 2019.
- COUTINHO, P.; BOMTEMPO, J. V. *Roadmap* tecnológico em matérias-primas renováveis: uma base para a construção de políticas e estratégias no Brasil. **Química Nova**, v. 34, n. 5, p. 910-916, 2011. DOI: 10.1590/S0100-40422011000500032.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Energia 2014 – 2023 (PDE 2023)**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde>>. Acesso em: 29 maio 2019.

GUIDUCCI, R. do C. N.; ALVES, E. R. de A.; LIMA FILHO, J. R.; MOTA, M. M. Aspectos metodológicos da análise de viabilidade econômica de sistemas de produção. In: GUIDUCCI, R. do C. N.; LIMA FILHO, J. R.; MOTA, M. M. **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudos de caso**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 17-78.

NOGUEIRA, M. P. **Gestão de custos e avaliação de resultados**: agricultura e pecuária. Bebedouro: Scot Consultoria, 2004. 219 p.

OIL WORLD: independent global market analyses & forecasts since 1958. Disponível em: <<https://www.oilworld.biz/>>. Acesso em: 25 out. 2014.

RICHETTI, A.; CECCON, G. Análise econômica de sistemas de produção de milho safrinha em cultivo consorciado. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 10., 2009, Rio Verde. **Anais...** Rio Verde: ABMS: FESURV, 2009. p. 207-213.

RICHETTI, A.; GUIDUCCI, R. do C. N. Viabilidade econômica do sistema de produção soja-milho safrinha consorciado com braquiária. In: GUIDUCCI, R. do C. N.; LIMA FILHO, J. R. de; MOTA, M. M. (Ed.). **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudos de caso**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 477-508.

ROMANO, A. Preços dos óleos vegetais sob a lupa do mercado. In: BIODIESEL CONGRESS: GLOBAL MEETING IN BRAZIL, 7th, 2011, São Paulo. [**Proceedings...**] São Paulo, 2011. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/fabiohpaes/08h30-2807-amarylis-romano-tendencia-consultoriasl-mercado>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

ROSCOE, R.; SILVA, C. J. da. Pinhão-manso não faz milagres, mas é boa opção para biodiesel. **Agrianual 2008**: anuário da agricultura brasileira, p. 43-45, 2007.

SILVA, J. F. V.; RICHETTI, A.; HIRAKURI, M. H.; CASTRO, A. M. G. de. Sistema produtivo de soja para a produção de biodiesel. In: CASTRO, A. M. G. de; LIMA, S. M. V.; SILVA, J. F. V. (Ed.). **Complexo agroindustrial de biodiesel no Brasil**: competitividade das cadeias produtivas de matérias-primas. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2010. p. 501-542.

VALDIVIA, S.; UGAYA, C. M. L.; SONNEMANN, G.; HILDENBRAND, J. (Ed.). **Towards a life cycle sustainability assessment**: making informed choices on products. [S.l.]: United Nations Environment Programme, 2011. 65 p.

ZANON, N. B.; LEAL, S. T.; TARSITANO, M. A. A.; FURLANI JÚNIOR, E.; ROSSETTO, J. E. Análise econômica da cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L). In: WORKSHOP AGROENERGIA MATÉRIAS PRIMAS, 8., 2014, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Apta; IAC, 2014. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/agroenergia/cd/busca-no-cd.html>>. Acesso em: 26 fev. 2015.

Literatura recomendada

ASSAF, A. **Finanças corporativas e valor**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

DURÃES, F. O. M.; LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A. Potential and challenges in making physic nut (*Jatropha curcas* L.) a viable biofuel crop: the Brazilian perspective. **Cab Reviews**, v. 6, n. 43, 2011.

METODOLOGIA para avaliação de viabilidade econômica de tecnologias. Brasília, DF: Embrapa, Secretaria Geral, 2011.

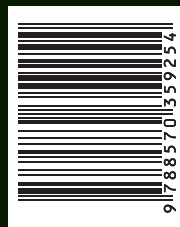
VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS, V. F. S. Potencial Energético da Biomassa e Carvão Vegetal do Epicarpo e da Torta de Pinhão-Manso. **Revista Cerne**, v. 17, n. 2. p. 267-273, 2011.

Embrapa
Agroenergia

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL



CGPE 15481