

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA**

**A ABELHA MELÍFERA AFRICANIZADA (*Apis mellifera* L.) NA POLINIZAÇÃO
E PRODUÇÃO DE ÓLEO DAS SEMENTES DO PINHÃO-MANSO
(*Jatropha curcas* L.)**

RÔMULO AUGUSTO GUEDES RIZZARDO

**FORTALEZA - CE
FEVEREIRO – 2012**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA

A ABELHA MELÍFERA AFRICANIZADA (*Apis mellifera* L.) NA POLINIZAÇÃO E
PRODUÇÃO DE ÓLEO DAS SEMENTES DO PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.)

RÔMULO AUGUSTO GUEDES RIZZARDO
Zootecnista

FORTALEZA
FEVEREIRO - 2012

RÔMULO AUGUSTO GUEDES RIZZARDO

**A ABELHA MELÍFERA AFRICANIZADA (*Apis mellifera* L.) NA
POLINIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE ÓLEO DAS SEMENTES DO
PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.)**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Orientador: Prof. PhD. Breno Magalhães Freitas

FORTALEZA - CE
FEVEREIRO - 2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- R533a Rizzardo, Rômulo Augusto Guedes.
A abelha melífera africanizada (*Apis mellifera* L.) na polinização e produção de óleo das sementes do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) / Rômulo Augusto Guedes Rizzardo. – 2012.
107 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Fortaleza, 2012.
Área de Concentração: Produção Animal.
Orientação: Prof. Dr. Breno Magalhães Freitas.
1. Abelha. 2. Fertilização de plantas. I. Título.

CDD 636.08

RÔMULO AUGUSTO GUEDES RIZZARDO

A ABELHA MELÍFERA AFRICANIZADA (*Apis mellifera* L.) NA POLINIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE ÓLEO DAS SEMENTES DO PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.)

Tese defendida e aprovada pela Comissão Examinadora em 27 de fevereiro de 2012.

Comissão Examinadora:

Dra. Vera Lucia Imperatriz-Fonseca
Universidade de São Paulo – USP

Dra. Eva Mônica Sarmiento da Silva
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF

Dra. Raquel Andréa Pick
Universidade Federal do Ceará - UFC

Dr. Francisco Deoclécio Guerra Paulino
Universidade Federal do Ceará - UFC

PhD. Breno Magalhães Freitas (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

"Na vida, não vale tanto o que temos,
nem tanto importa o que somos.
Vale o que realizamos com aquilo que
possuímos e, acima de tudo,
importa o que fazemos de nós."
Emmanuel,
psicografado por Chico Xavier

Aos irmãos que dedicam a vida
ao progresso da ciência, auxiliando-nos
a compreender as leis divinas.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus por ter me confiado a oportunidade de fazer parte de uma família unida e sempre ao meu lado depositando incondicional apoio e confiança.

Aos pais, Fortunato e Maria Teresa pelo constante ensinamento e exemplo de caráter repassado ao longo da vida. Aos irmãos Marcus Vinicius e Júlio César pelo amor e união na constituição de uma família com amizade e companheirismo.

Aos Familiares, pelo crédito e incentivo que sempre recebi.

À companheira Aline, que suportando a distância, esteve sempre presente com estímulo e apoio para a conclusão dessa jornada.

Ao orientador e amigo Breno Magalhães Freitas, pelos valiosos ensinamentos, dedicação, compreensão e conselhos.

Ao Prof. Sílvio Lengler e família, exemplos de força e dedicação ao trabalho apícola.

Aos mestres, com carinho. Agradeço a todos os professores e colegas, que contribuíram para minha formação social e acadêmica, desde a pré-alfabetização no Colégio Marista Aparecida, primeiro grau na Escola Estadual de 1º e 2º Graus Cecília Meireles (atual Escola Normal Cecília Meireles) e segundo grau, na Escola de 2º Grau Região dos Vinhedos – FERVI (atual CARVI), Escola Estadual de 1º e 2º Graus Mestre Santa Bárbara e Colégio Mutirão Objetivo – BG. À Universidade Federal de Santa Maria pela formação profissional, Universidade Federal do Ceará (Programa de Pós Graduação em Zootecnia), pela oportunidade da realização dos Cursos de Mestrado e Doutorado em Zootecnia, bem como ao coordenador deste programa, Dr. Arlindo de Alencar Araripe Noronha Moura pelo incentivo à realização deste trabalho e a todo corpo docente, que prima pela excelência do programa.

À Dra. Vera Lúcia Imperatriz Fonseca pela contribuição científica e instruções para a melhoria desta tese.

À amiga Dra. Eva Mônica Sarmiento da Silva pelo apoio e sugestões.

Ao Dr. Francisco Deoclécio Guerra Paulino, pela colaboração e conselhos.

À Dra. Raquel Andréa Pick, pela amizade e desprendimento, sempre auxiliando na elaboração deste trabalho.

À colega de doutorado Patrícia Barreto de Andrade e à bolsista CNPq-IC Adrielle Albuquerque dos Santos pelo apoio durante esta jornada, principalmente na parte referente a análises laboratoriais e tabulação dos dados.

À secretária Francisca Prudêncio pela devotada agilidade e prontidão.

Ao Grupo de Pesquisa com abelhas da UFC: Marcelo de Oliveira Milfont, Isac Gabriel Abrahão Bomfim, Michelle de Oliveira Guimarães, José Everton Alves, Marcelo Casimiro Cavalcante, Mikail Olinda de Oliveira, Epifânia Emanuela de Macedo Rocha, Lilian Flores, Camila Queiroz Lemos, Tárσιο Thiago Lopes Alves, Celso Braga Magalhães, Luiz Wilson Lima-Verde, Daniel de Freitas Brasil, Afonso Odério Nogueira Lima e todos seus integrantes, pelo aprendizado proporcionado e troca de informações.

Aos funcionários do apiário, Seu Francisco José Carneiro da Silva e Hélio Rocha Lima, pelos ensinamentos práticos.

À empresa Brasil Ecodiesel - Fazenda Violetto, através do seu gerente Diego Sanagiotto, funcionários e moradores Erinaldo, Lídia e toda família Tomaz pela amizade firmada e incondicional apoio com transporte e infraestrutura; Ao setor de pesquisa e desenvolvimento desta empresa: Dra. Francineuma Ponciano de Arruda, Benilda Rodrigues de Almeida, Daisy Coutinho Alcanfôr, pela confiança e auxílio entre o campo e a matriz. Aos responsáveis técnicos Antônio Laurindo Novais Filho e família, Marciel Nunes, ao funcionário Natanael Gomes Barros; e a todos os seus integrantes, pela confiança depositada, incentivo à pesquisa, apoio material, pessoal e concessão da área experimental.

À associação dos apicultores de Cristino Castro – PI, em especial aos professores e apicultores Henrique Sobrinho e família e Paulo Ney Cordeiro de Farias e família, amigos batalhadores e apaixonados pela apicultura, pelo empréstimo das colônias de abelhas, apoio e ensinamentos repassados.

Ao laboratório de Nutrição Animal da UFC, Dra. Elzânia Sales Pereira, laboratoristas Helena Cruz e Roseane Souza e ao Dr. Ednardo Rodrigues Freitas, pelo auxílio nas análises.

Aos colegas da República 411/323, José Antonio Alves Cutrim Junior, Leonardo Hunaldo dos Santos, William de Jesus Ericeira Mochel Filho, Wellington Kelson Alvarenga Silva, Cristian Epifânio de Toledo e Fábio Henrique de Souza, pela união, convivência pacífica, amizade e companheirismo.

Aos taxonomistas Dra. Favízia Freitas de Oliveira e M.Sc. Thiago Mahlmann Vitoriano Lopes Muniz, da Universidade Federal da Bahia, e Dr. Fernando Cesar Vieira Zanella, da Universidade Federal de Campina Grande, pela identificação dos insetos coletados neste trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos que me possibilitou realizar o curso de doutorado.

A todos que participaram, direta ou indiretamente, da construção e êxito deste trabalho.

SUMÁRIO

Página

CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3
CAPÍTULO I - Referencial teórico	5
1.1 IMPORTÂNCIA DOS POLINIZADORES	6
1.1.1 Polinizadores e os biocombustíveis	7
1.2 PINHÃO-MANSO	9
1.2.1 Biologia floral	10
1.2.2 Visitantes florais e potenciais polinizadores	13
1.3 BIOCOMBUSTÍVEIS	17
1.3.1 Biodiesel	20
1.3.1.1 <i>Proporções de mistura</i>	24
1.3.1.2 <i>Custo</i>	25
1.3.2 Biocombustíveis no Brasil	26
1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
CAPÍTULO II - Biologia floral de <i>Jatropha curcas</i> L., visitantes florais e comportamento forrageiro de <i>Apis mellifera</i> L. na cultura ...	43
RESUMO	44
ABSTRACT	45
2.1 INTRODUÇÃO	46
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	48
2.2.1 Local e época.....	48
2.2.2 Biologia floral	48
2.2.2.1 <i>Horário e caráter da antese</i>	48
2.2.2.2 <i>Determinação do número de flores e longevidade da inflorescência</i>	49
2.2.2.3 <i>Receptividade do estigma, vingamento e frutificação</i>	49
2.2.3 Visitantes florais e comportamento de forrageamento.....	51
2.2.4 Análise dos dados	51

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
2.3.1 Biologia floral	52
<i>2.3.1.1 Horário e padrão da antese</i>	53
<i>2.3.1.2 Determinação do número de flores e longevidade da inflorescência</i>	55
<i>2.3.1.3 Receptividade do estigma, vingamento e frutificação</i>	57
2.3.2 Visitantes florais e comportamento de forrageamento	61
2.4 CONCLUSÕES	68
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

CAPÍTULO III - Eficiência polinizadora de *Apis mellifera* L. em *Jatropha curcas* L. e seus benefícios na produção de óleo **73**

RESUMO	74
ABSTRACT	75
3.1 INTRODUÇÃO	76
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	78
3.2.1 Local e época	78
3.2.2 Requerimento de polinização de <i>Jatropha curcas</i> L. e eficiência polinizadora de <i>Apis mellifera</i> L.	78
3.2.3 Avaliação dos frutos	79
3.2.4 Avaliação das sementes	79
3.2.5 Análise dos dados	80
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
3.3.1 Requerimento de polinização de <i>Jatropha curcas</i> L. e eficiência polinizadora da <i>Apis mellifera</i> L.	81
3.3.2 Avaliação dos frutos	83
3.3.3 Avaliação das sementes	85
3.4 CONCLUSÕES	88
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES	92

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

	Página	
1	Valores para vingamento e colheita de frutos de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.), a partir de flores polinizadas manualmente, em diferentes horários do dia. Alvorada do Gurgueia, PI. 2009.	58
2	Valores para vingamento e colheita de frutos de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.), a partir de flores polinizadas manualmente, em diferentes dias desde a antese. Alvorada do Gurgueia, PI. 2009.	59
3	Número e peso médio de frutos e sementes por fruto de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.), produzidos por flores polinizadas manualmente, em diferentes dias a partir da antese. Alvorada do Gurgueia – PI, 2009.	61
4	Insetos visitantes florais, abundância, frequência relativa e recompensas coletadas (N – néctar; P – pólen; S – seiva; F - flor) em flores de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) no Município de Alvorada do Gurgueia, PI, entre os meses de abril e julho de 2009.	63
5	Frequência absoluta e relativa, em função do horário, de insetos visitantes florais e potenciais polinizadores do pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.), observados no Município de Alvorada do Gurgueia, PI, entre os meses de abril e julho de 2009.	64

Capítulo 3

6	Vingamento, colheita de frutos e número de sementes de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) produzidas a partir de diferentes tratamentos de polinização. Alvorada do Gurgueia – PI, 2009.	82
7	Características físicas (número e peso médio) de frutos e sementes por fruto de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.), produzidos a partir de diferentes tratamentos de polinização. Alvorada do Gurgueia – PI, 2009.	84
8	Avaliação das características peso médio, porcentagem de polpa, teor de matéria seca (MS %) e extrato etéreo de sementes de <i>Jatropha curcas</i> L. produzidas a partir de diferentes tratamentos de polinização: <i>Apis</i> (uma visita de <i>Apis mellifera</i>); PCM (polinização cruzada manual); GeM (geitonogamia manual); Aberta (polinização aberta); PRT (polinização restrita por tela). Alvorada do Gurgueia – PI, 2009.	87

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

	Página
1 Antese e oferta de pólen pelas flores masculinas de pinhão-manso em diferentes horários do dia: A) 06h30min – flores em antese, com a maioria das tecas ainda fechadas; B) 09h00min – flores com as tecas abertas e máxima oferta de pólen; C) 10h00min – gradual diminuição na quantidade de pólen em função da pressão de forrageio por insetos; D) 14h00min – anteras praticamente vazias, em processo de senescência; E) 08h00min do dia seguinte – flor em senescência. Alvorada do Gurgueia, PI. 2009.	54
2 Antese das flores masculinas e femininas, e disponibilidade de pólen nas flores masculinas, em plantio comercial de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.). Alvorada do Gurgueia, PI. 2009.	55
3 Sequência da oferta de flores de <i>Jatropha curcas</i> L., levando em consideração o número diário de flores abertas na inflorescência, desde a antese do primeiro até o último botão floral. Alvorada do Gurgueia, PI. 2009.	57
4 Desenvolvimento do fruto de <i>Jatropha curcas</i> L., por intermédio de medidas de comprimento e diâmetro, desde a polinização até o momento da colheita. Alvorada do Gurgueia, PI. 2009.	60
5 Padrão de forrageamento (contagem instantânea do número de abelhas em 150 flores viáveis) de <i>Apis mellifera</i> em área de cultivo de pinhão-manso em função do horário do dia, entre os meses de abril e julho de 2009. Alvorada do Gurgueia – PI.	65
6 Visitação de <i>Apis mellifera</i> a flores masculinas de pinhão-manso, em diferentes turnos do dia: A) manhã- visão lateral posterior da abelha com abundância de pólen nas pernas, e porção ventral do tórax; B) manhã – visão frontal da abelha com a cabeça, aparelho bucal e pernas anteriores cobertas por pólen; C) tarde – visão frontal da abelha com ausência de pólen em praticamente todo o seu corpo; D) tarde – visão lateral da abelha com poucos grãos de pólen. Note a diferença entre a oferta de pólen pelas anteras, por meio da quantidade aderida ao corpo de abelhas campeiras, com comportamento de coleta de néctar, nos períodos da manhã (A e B) e da tarde (C e D). Alvorada do Gurgueia, PI. 2009.	66

Continua...

... continuação.

Capítulo 2

	Página
7 A) Flor feminina de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) antes de receber visitas de insetos, sem grãos de pólen nos estigmas. B) Coleta de néctar por <i>Apis mellifera</i> L. em flor feminina de pinhão-manso. Note-se que a abelha toca com a região ventral do abdome no estigma da flor. B) Detalhe da deposição de pólen (pontos amarelos destacados pela seta) nos estigmas após uma visita de <i>Apis mellifera</i> L. Alvorada do Gurgueia, PI. 2009.	67
8 Valores médios de umidade relativa – UR (%), temperatura do ar – Temp. (%) e temperatura do ponto de orvalho – Tpo. (%), em função das horas do dia durante os períodos de observação entre os meses de abril a julho de 2009. Alvorada do Gurgueia – PI.	68

A ABELHA MELÍFERA AFRICANIZADA (*Apis mellifera* L.) NA POLINIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE ÓLEO DAS SEMENTES DO PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.)

RESUMO GERAL - O objetivo desta tese foi investigar a possibilidade da utilização de *Apis mellifera* L. na polinização e incremento de produtividade da cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Para tanto, foram estudados a biologia floral e a polinização do pinhão-manso bem como o comportamento forrageiro e a eficiência polinizadora de *Apis mellifera*, mediante a introdução de quatro colônias em um hectare. O trabalho foi realizado em uma área de 10ha de plantio comercial já estabelecido, com cinco anos de idade, no Estado do Piauí, (08°32'19,0"S e 43°56'19,7"W e 220 metros de altitude), entre os meses de março e julho de 2009. As flores são produzidas em inflorescências protogínicas, e a antese, bem como a maior oferta de pólen, ocorrem basicamente no período matinal. As inflorescências duram, em média, 20 dias, com maior concentração de flores femininas no terço inicial e de masculinas no terço médio, com relação de 18,1:1,0 flores masculina/feminina. Embora esse fato favoreça a xenogamia, a receptividade do estigma dura, pelo menos, cinco dias, assegurando que a flor alcance o período de maior produção de pólen na própria inflorescência, facilitando a geitonogamia. As flores polinizadas até o quarto dia frutificam da mesma forma que aquelas polinizadas no primeiro, segundo e terceiro dias após antese, não havendo diferenças significativas. O forrageamento por *A. mellifera* ocorre durante todo o dia, com maior pico entre 13h00min e 15h00min, sendo típico de coleta de néctar tanto nas flores masculinas quanto nas femininas. Apenas uma visita da abelha às flores acarreta em 100% de vingamento, mostrando resultado semelhante ($p>0,05$) aos tratamentos de xenogamia manual (96%), geitonogamia manual (94%) e polinização aberta (93%). Uma visita apenas, no entanto, não é suficiente para produzir maior quantidade de óleo por semente (213mg), em comparação com o tratamento de polinização aberta, e por geitonogamia (250mg). Além disto, foi possível constatar que há maior produção de óleo por geitonogamia e não por xenogamia (237mg). Conclui-se que a *Apis mellifera* é um polinizador eficiente da cultura. Sua introdução, com quatro colônias por hectare, maximiza a produção de óleo e produz os melhores resultados para todos os parâmetros avaliados. Além disso, apenas uma visita da abelha melífera às flores do pinhão-manso é suficiente para prevenir déficit de polinização.

Palavras-chave: Extrato etéreo de pinhão-manso. Melitofilia. Peso de sementes. Polinização por abelhas. Polinização agrícola.

THE AFRICANIZED HONEY BEE (*Apis mellifera* L.) FOR POLLINATION AND SEED OIL PRODUCTION IN *Jatropha curcas* (L.)

ABSTRACT – The purpose of this thesis was to investigate the feasibility of using the honey bee (*Apis mellifera* L.) for pollination and yield increment in *Jatropha curcas* L. crops. Therefore, the floral biology and pollination process of *J. curcas* were studied as well as the foraging behavior and pollination efficiency of *A. mellifera* in this crop by the introduction of four colonies in a hectare. The work was carried out in a five years-old commercial plantation comprising 10ha, in the state of Piauí, (08°32'19,0"S and 43°56'19,7"W, 220 meters above sea level), Brazil, from March to July, 2009. Flowers were presented in protogynous inflorescences and the anthesis and most of pollen presentation took place mainly in the morning shift. Inflorescences last, in average, 20 days, with female flowers concentrating in the first third of the period and male flowers predominating in the second third, in a relation of 18.1:1 male/ female flower. Although this may favor xenogamy, the stigma receptivity lasts for, at least, five days ensuring the flower to reach the period of most pollen release in its own inflorescence, facilitating the occurrence of geitonogamy. Flowers pollinated up to four days after anthesis did not differ ($p>0.05$) in fruit setting to those pollinated in the first, second or third day after anthesis. Foraging by *A. mellifera* occurs throughout the day and peaks between 13h00min and 15h00min and is characteristic of nectar harvesting both in male and female flowers. Only one visit by *A. mellifera* to *J. curcas* flowers set 100% producing results similar ($p>0,05$) to those from manual xenogamy (96%), manual geitonogamy (94%) and open pollination (93%). However, only one visit by a bee was not enough to maximize the oil content per seed (213mg) in comparison to the open pollination and geitonogamy treatments (both 250mg). Besides that, it was possible to observe that geitonogamy led to greater oil production than xenogamy (237mg). It is concluded that *A. mellifera* is an efficient pollinator of this crop. The introduction of four honey bee colonies per hectare maximize oil production and produce the best results for all parameters studied. Furthermore, only one visit by the honey bee to *J. curcas* flowers was enough to prevent pollination deficit in this crop.

Keywords: Bee pollination. Crop pollination. *Jatropha curcas* seed oil. Melitophily. Seed weight.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A polinização é um serviço oferecido de forma natural e espontânea pelo ecossistema. Realizada principalmente por animais, é importante na manutenção do equilíbrio ecológico dos sistemas silvestres e produtividade dos sistemas agrícolas, especialmente no provimento de alimentos, fármacos e, também, matéria-prima para a geração de bioenergia (POWER, 2010).

A agricultura moderna visa a elevada produtividade com reduzido impacto ambiental. Além dos cuidados tradicionais com a fertilidade do solo, deficiência hídrica e manejo de pragas, o manejo de polinizadores também deve ser considerado como fator limitante. Vários estudos em todo o mundo apontaram deficiência na polinização de culturas agrícolas exploradas comercialmente pelo homem, mostrando que o resgate deste benefício é importante e pode atuar também na preservação de matas nativas (CARVALHEIRO *et al.*, 2011; KLEIN *et al.*, 2007; MORANDIN; WINSTON, 2006; VAISSIÈRE; FREITAS; GEMMILL-HERREN, 2011).

A produção agrícola geralmente ocorre em áreas de monocultivos, onde a produção é sincronizada para determinadas épocas do ano e o florescimento acontece de forma massiva e contingencial. Durante o florescimento, a oferta de alimento normalmente é superior à demanda dos polinizadores encontrados de forma natural no entorno da cultura, podendo acarretar em déficit de polinização. Por outro lado, se existissem tantos polinizadores quanto fossem necessários para visitar esta infinidade de flores, a maioria sucumbiria no período vegetativo da cultura, com a ausência das flores. Além disso, cerca de 75% das culturas produzidas no mundo são polinizadas por animais, o que deixa evidente a necessidade da introdução e/ou manejo de polinizadores para a produção agrícola (FREITAS; OLIVEIRA FILHO, 2003; KLEIN *et al.*, 2007; MCGREGOR, 1976; VAISSIÈRE; FREITAS; GEMMILL-HERREN, 2011).

Mesmo a natureza oferecendo vasta diversidade de polinizadores bióticos (insetos, aves, mamíferos), o animal mais utilizado no mundo para polinização agrícola é a abelha melífera *Apis mellifera*. Isso ocorre porque a espécie é cosmopolita, com um comportamento generalista e polilético, apresentando elevado número de indivíduos por colônia, manejo amplamente conhecido e, como a maioria das abelhas sociais, dependente exclusiva de pólen e néctar para sua alimentação (WINSTON, 2003).

Dentre as diversas culturas onde a *Apis mellifera* é utilizada para a polinização, encontram-se algumas representantes das oleaginosas, como a canola (*Brassica napus* L.) e o girassol (*Helianthus annuus* L.) (KLEIN *et al.*, 2007; ROSA; BLOCHTEIN; LIMA, 2011). Além destas, o uso da abelha melífera tem sido estudado em outras plantas fornecedoras de óleo, como a soja (*Glycine max* L. Merrill), mamona (*Ricinus communis* L.) e pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), com resultados positivos (DIVAKARA *et al.*, 2010; MILFONT, 2012; RIZZARDO, 2007).

O pinhão-manso é uma espécie da família *Euphorbiaceae*, que está sendo cultivada em diversas regiões do mundo, inclusive no Nordeste Brasileiro, como uma fonte de matéria-prima para a produção de biocombustíveis. No entanto, a maioria dos trabalhos sobre esta planta, no entanto, se concentra na região Sudoeste do Continente Asiático (Paquistão, Índia, China e também Indonésia), onde é considerada fortemente dependente da polinização realizada por agentes bióticos e visitada, inclusive, por várias espécies de abelhas melíferas, como *Apis cerana*, *Apis dorsata*, *Apis florea* e a própria *Apis mellifera* (DIVAKARA *et al.*, 2010; LUO *et al.*, 2007; RAJU; EZRADANAM, 2002; RIANI; SURYOBROTO; ATMOWIDI, 2010).

Portanto, esta tese teve por objetivo investigar a utilização de *Apis mellifera* na polinização e incremento de produtividade da cultura do pinhão-manso sob as condições de cultivo do Nordeste brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHEIRO, L. G. *et al.* Natural and within-farmland biodiversity enhances crop productivity. **Ecology letters**, v. 14, n. 3, p. 251-259, mar. 2011.

DIVAKARA, B. N. *et al.* Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: a review. **Applied Energy**, v. 87, n. 3, p. 732-742, mar. 2010.

FREITAS, B. M.; OLIVEIRA FILHO, J. H. de. Ninhos racionais para mamangava (*Xylocopa frontalis*) na polinização do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*). **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, p. 1135-1139, dez. 2003.

KLEIN, A. M. *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of The Royal Society**, v. 274, n. 1608, p. 303-13, fev. 2007.

LUO, C. W. *et al.* Floral display and breeding system of *Jatropha curcas* L. **Forestry Studies in China**, v. 9, n. 2, p. 114-119, jun. 2007.

McGREGOR, S. E. **Insect pollination of cultivated crop plants**. Washington, DC: USDA, 1976.

MILFONT, M. D. O. **Uso da abelha melífera (*Apis mellifera* L.) na polinização e aumento de produtividade de grãos em variedade de soja (*Glycine max.* (L.) Merrill) adaptada às condições climáticas do Nordeste brasileiro**. 2012. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

MORANDIN, L. A.; WINSTON, M. L. Pollinators provide economic incentive to preserve natural land in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 116, n. 3-4, p. 289-292, set. 2006.

POWER, A. G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, v. 365, n. 1554, p. 2959-2971, set. 2010.

RAJU, A. J. S.; EZRADANAM, V. Pollination ecology and fruiting behaviour in a monoecious species, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Current Science**, v. 83, n. 11, p. 1395-1398, dez. 2002.

RIANTI, P.; SURYOBROTO, B.; ATMOWIDI, T. diversity and effectiveness of insect pollinators of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **HAYATI Journal of Biosciences**, v. 17, n. 1, p. 38-42, mar. 2010.

RIZZARDO, R. A. G. **O papel de *Apis mellifera* L. como polinizador da mamoneira (*Ricinus communis* L.): avaliação da eficiência de polinização das abelhas e incremento de produtividade da cultura.** 2007. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

ROSA, A. de S.; BLOCHTEIN, B.; LIMA, D. K. Honey bee contribution to canola pollination in Southern Brazil. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 2, p. 255-259, abr. 2011.

VAISSIÈRE, B. E.; FREITAS, B. M.; GEMMILL-HERREN, B. **Protocol to detect and assess pollination deficits in crops**: A handbook for its use. Rome, Italy: FAO, 2011.

WINSTON, M. L. **A Biologia da Abelha.** Porto Alegre: Magister, 2003.

CAPÍTULO I

Referencial Teórico

1.1 IMPORTÂNCIA DOS POLINIZADORES

O crescimento da agricultura mundial, principalmente nos últimos 30 anos, transformou pequenos plantios de baixo nível tecnológico em grandes áreas com centenas e até milhares de hectares de monocultura, utilizando plantio direto e aplicações maciças de defensivos agrícolas. Apesar do considerável aumento na produção e desenvolvimento de variedades comerciais mais adaptadas a várias condições ecológicas, pesquisas apontam crescente declínio de produtividade das culturas dependentes de polinizadores bióticos, que constituem a maioria das plantas cultivadas. A perda de polinizadores em áreas agrícolas já chegou a situações tão extremas que para algumas culturas os produtores precisam optar entre alugar abelhas ou pagar pessoas para fazerem a polinização manual (BIESMEIJER *et al.*, 2006; FREE, 1993; FREITAS, 1995).

A polinização, apontada como o mais importante benefício das abelhas para a humanidade, é um serviço oferecido naturalmente pelo ecossistema e pode ter efeito direto no vingamento, peso e conformação de frutos, bem como no teor de óleo das sementes (FREE, 1993; RIZZARDO, 2007). Analisando dados de 200 países, Klein *et al.* (2007) mostraram que 75% dos vegetais cultivados, importantes mundialmente para a produção de alimentos, dependem da polinização mediada por animais, principalmente insetos.

Neste mesmo sentido, abrangendo o valor agrícola total das principais culturas exploradas mundialmente, Gallai *et al.* (2009) chegaram ao valor de 1,62 trilhão de euros por ano. Neste universo, o valor das culturas beneficiadas pela entomofilia somam 625 bilhões de euros por ano, dos quais 153 bilhões são atribuídos diretamente aos serviços de polinização.

O grupo das culturas comercialmente importantes para a produção de biocombustíveis, tanto comestíveis quanto não comestíveis, representa em torno de 580 bilhões de euros, anualmente, à economia mundial. Destes, estima-se que os polinizadores contribuam com 40 bilhões, ou seja, 6,9% do valor total. Pouco se sabe, no entanto, a respeito da polinização de algumas culturas deste grupo, principalmente as oleaginosas não comestíveis, que gradativamente estão aumentando sua participação na agricultura (FAOSTAT, 2012; GALLAI *et al.*, 2009; KLEIN *et al.*, 2007).

1.1.1 Polinizadores e os biocombustíveis

Dentre as culturas mais utilizadas para a produção de biocombustíveis líquidos, como é o caso do etanol e do biodiesel, existem variações na dependência de agentes polinizadores bióticos.

O etanol é produzido, principalmente, tendo por matéria-prima a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) no Brasil, do milho (*Zea mays* L.) nos Estados Unidos da América e da beterraba (*Beta vulgaris* L.) na Europa. Como as duas primeiras espécies são da família *Poaceae*, cuja polinização é toda creditada ao vento e a última da família *Chenopodiaceae*, que, mesmo podendo apresentar dispersão de pólen mediada por insetos, não aumenta sua produção em relação a anemofilia, não há dependência da polinização biótica na cadeia produtiva deste biocombustível (BRADING; EL-GABBAS; ZALAT, 2009; CAUWER *et al.*, 2010; FREE, 1993; KLEIN *et al.*, 2007; KOCKELMANN; TILCHER; FISCHER, 2011).

Na produção de biodiesel, já ocorre influência de agentes bióticos na polinização de algumas culturas. Com relação à canola, por exemplo, mesmo com flores perfeitas, consideradas de autofecundação, estudos apontam que a cultura pode apresentar entre 50 e 100% de dependência de insetos (HEIN, 2009; IMPERATRIZ-FONSECA; NUNES-SILVA, 2010). No que se refere à utilização de *Apis mellifera*, trabalhos mostram incrementos tanto no peso das sementes, em torno de 20%, quanto na produtividade da cultura, atingindo valores próximos a 50% (BOMMARCO; MARINI; VAISSIÈRE, 2012; DURÁN *et al.*, 2010; ROSA; BLOCHTEIN; LIMA, 2011; SABBAHI; OLIVEIRA; MARCEAU, 2005).

Para que ocorra a maximização na produtividade da maioria das variedades de girassol, utilizadas comercialmente também na produção de biodiesel, é necessário manter a diversidade de visitantes florais (CARVALHEIRO *et al.*, 2011; GREENLEAF; KREMEN, 2006; KLEIN *et al.*, 2007). Entrementes, Gallai *et al.* (2009) atribuem 25% da produtividade à polinização biótica, Oz *et al.* (2009) chegaram a encontrar valores superiores a 200% na produção, com a presença de *Apis mellifera* nesta cultura.

Na mamona, ocorre a polinização anemófila (ALLAN *et al.*, 2007; BALDONI *et al.*, 2011; QIU *et al.*, 2010). O vento sozinho, porém, não é capaz de maximizar a

produção de frutos. Conforme verificado em Rizzardo (2007), em condições normais de campo, a introdução de *Apis mellifera* em ricinocultura comercial aumentou de 81,7 para 93,6% o percentual de vingamento, promovendo maior número de frutos por inflorescência, bem como sementes mais pesadas e com maior teor de óleo.

Com menor dependência de polinizadores, encontra-se a soja cultivada comercialmente (*Glycine max* (L.) Merrill), considerada com elevado grau de alogamia. Alguns trabalhos, entretanto, mostram incremento, entre 0,6 e 38%, na produtividade de áreas com a visitação por *Apis mellifera* (ABUD *et al.*, 2003; CHIARI *et al.*, 2008; MILFONT, 2012; RAY *et al.*, 2003). Com efeito, além do incremento que as abelhas podem proporcionar, elas facilitam o serviço de melhoramento genético e formação de variedades, realizando com sucesso a polinização cruzada entre plantas macho-estéreis (ORTIZ-PEREZ *et al.*, 2006).

Em relação ao algodão (*Gossypium hirsutum* L.), embora apresente flores autógamias, existem variações na capacidade de autopolinização, aceitando elevados índices de polinização cruzada (SILVA, 2007). Antigamente, acreditava-se que esta planta fosse beneficiada com a visitação por insetos polinizadores, gerando maiores índices de produtividade (FREE, 1993; MCGREGOR, 1976). Em trabalho recente com a variedade BRS 187 8H, entretanto, Silva (2007) não encontrou diferenças na produção de frutos procedentes de flores visitadas ou não por polinizadores bióticos.

No caso do dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.), sua polinização é atribuída a besouros (cantarofilia). Na América Latina, os insetos mais abundantes nesta cultura pertencem às famílias *Nitidulidae* (*Mystrops costaricensis* Gillogly) e *Curculionidae* (*Elaeidobius subvittatus* Faust). Além destes, ao introduzir o besouro *Elaeidobius kamerunicus* Faust, a taxa de fecundação do dendê pode aumentar de 60 para 79% (MOURA *et al.*, 2008). A visitação por abelhas no dendê é praticamente inexistente, menor do que 1% (GARIBALDI *et al.*, 2011). Da mesma forma, o coco-babaçu (*Orbignya martiana*, *O. oleifera*, *O. phalerata*, *O. speciosa*), que também está sendo estudado para fornecimento de óleo, apresenta síndromes de polinização anemófila e cantarófila (ANDERSON; OVERAL; HENDERSON, 1988).

Outras culturas possíveis fornecedoras de óleo para biodiesel também exibem diferentes níveis de dependência de polinizadores bióticos, como é o caso do gergelim

(*Sesamum indicum* L.), entre 10 e 40%; e do amendoim (*Arachis hypogaea* L.), menos de 10% (GALLAI *et al.*, 2009).

A cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), proposta como matéria-prima para geração de biodiesel, possui alta dependência de agentes polinizadores bióticos. Além de possuir síndrome de polinização entomófila, vários autores apontam a melitofilia como principal benefício para o sucesso reprodutivo da planta (DIVAKARA *et al.*, 2010; JUHÁSZ *et al.*, 2009; LUO *et al.*, 2011; RIANI; SURYOBROTO; ATMOWIDI, 2010).

1.2 PINHÃO-MANSO

A espécie oleaginosa *Jatropha curcas* L., *Euphorbiaceae*, possui seu berço, comumente aceito, na região compreendida entre o México e América Central. Embora também existam ocorrências em áreas de vegetação nativa da América do Sul, atribui-se este fato à ação antrópica, assim como sua dispersão por meio de Cabo Verde, para a África e Ásia, em virtude da colonização portuguesa (HELLER, 1996; HERRERA *et al.*, 2010).

É um arbusto perene e rústico, chegando a seis metros de altura, que pode ser cultivado em áreas de solo pouco fértil e clima desfavorável à maioria dos vegetais utilizados na alimentação tradicional, sem a necessidade de competir por espaço na produção alimentícia. Como possui tolerância à seca, atualmente é encontrado em regiões semiáridas e, praticamente, em todas as regiões tropicais do Mundo, inclusive no Nordeste brasileiro (FAIRLESS, 2007; KING *et al.*, 2009; NÚÑEZ-COLÍN; GOYTIA-JIMÉNEZ, 2009; RAJU; EZRADANAM, 2002).

Além da utilização comercial para a produção de biodiesel e bioenergia, por apresentar elevado teor de óleo em suas sementes (27-39%), sua rusticidade permite que seja utilizado no controle de erosões em solos degradados, bem como empregado na recuperação de terrenos em fase de desertificação (DIVAKARA *et al.*, 2010; FAIRLESS, 2007; KING *et al.*, 2009).

De modo geral, os esforços globais estão voltados para políticas que minimizem as emissões de gases poluentes na atmosfera e ensejem opções para a produção de

sucedâneos ao petróleo. E, em razão da necessidade de produzir o próprio biocombustível, sem aumentar a competição por terras nobres e necessárias à produção de alimentos, vários países aumentaram o interesse nesta planta, incentivando sua produção (AGARWAL; KUMAR; AGARWAL, 2008; FAIRLESS, 2007; GILBERT, 2011).

1.2.1 Biologia floral

O pinhão-mansão caracteriza-se por ser uma planta monóica, com flores normalmente unissexuadas, agrupadas em inflorescências do tipo cimeira, que permitem, mediante o arranjo floral, maior atração e aumento na taxa de forrageamento pelos visitantes. Cada uma das cimeiras pode apresentar entre zero e 17 flores femininas e entre 49 e 238 flores masculinas, ambas na coloração branco-esverdeada, actinomorfas (semelhantes a uma pequena taça) e com exposição dos órgãos sexuais (LUO *et al.*, 2007b; RAJU; EZRADANAM, 2002). De acordo com a literatura, os dados referentes à relação entre o número de flores masculinas para cada feminina pode variar desde 13:1 (KAUR; DHILLON; GILL, 2011), 19:1 (JUHÁSZ *et al.*, 2009), 25:1 (LUO *et al.*, 2007b), 29:1 (RAJU; EZRADANAM, 2002), até 33:1 (RIANTI; SURYOBROTO; ATMOWIDI, 2010).

As flores masculinas são compostas por dez estames, diadelfos, dispostos em dois anéis sobrepostos com cinco estames em cada uma. A camada externa (linha inferior de anteras) é livre, enquanto a camada interna (linha superior) de estames é unida pelos filetes. As anteras são amarelas, com cerca de 2mm, posicionadas em torno de 1,5mm acima da linha das sépalas e são compostas por duas tecas. Possuem deiscência longicida, que se completa entre uma e duas horas após a abertura da flor (LUO *et al.*, 2007b; RAJU; EZRADANAM, 2002; WU *et al.*, 2011). Cada antera possui, em média, 122 grãos de pólen, podendo variar entre 62 e 195 grãos (KAUR; DHILLON; GILL, 2011). Quanto a sua viabilidade, é maior nas primeiras nove horas após a deiscência da antera e nula após 48 horas (LUO *et al.*, 2007a).

A antese das flores, incluindo liberação de pólen, concentra-se no período matinal, iniciando por volta das 05h30min, podendo variar um pouco, em função da

região ou continente. Até as 09h00min, porém, as flores já se encontram com acúmulo de néctar e os estigmas receptivos ou as anteras expondo o pólen. O período de maior oferta de recompensas inicia-se logo após o horário em que todas as flores já se encontram abertas, isto é, concentra-se entre o meio da manhã e início da tarde (BHATTACHARYA; DATTA; DATTA, 2005; KAUR; DHILLON; GILL, 2011; LUO *et al.*, 2007b; RAJU; EZRADANAM, 2002; RIANI; SURYOBROTO; ATMOWIDI, 2010). De acordo com Luo *et al.* (2007a), as flores femininas possuem longevidade de até 12 dias, com maior efetividade para polinização durante os quatro primeiros. Do quinto dia em diante ocorre declínio da receptividade até o nono dia, quando se encerra. As flores masculinas apresentam longevidade média de dois dias. A produção de néctar, em flores masculinas ensacadas, é de 0,081 μl no primeiro e 0,050 μl no segundo dia e, para as femininas, é de 0,071, 0,068 e 0,066 μl , para o primeiro, segundo e terceiro dias, respectivamente (BHATTACHARYA; DATTA; DATTA, 2005; LUO *et al.*, 2011; RAJU; EZRADANAM, 2002; RIANI; SURYOBROTO; ATMOWIDI, 2010).

Em virtude de o pólen ser grande, com dimensão globular de 57 μm (52.5–70), apresentar a exina rugosa e aderente no primeiro dia, fica difícil a sua dispersão pelo ar. Além disto, o tamanho reduzido do estigma, 1,62mm, a tonalidade branco-esverdeada, a leve fragrância adocicada e a oferta de néctar pelas flores de ambos os sexos sugerem, principalmente a visitação por insetos. Existe, entretanto, a possibilidade da dispersão de pólen ao vento, no segundo ou terceiro dia, por meio da agitação das flores, causada pelo impacto do forrageamento por insetos. A dispersão atribuída ao vento, porém, é muito baixa: apenas 2,8 grãos/cm²/dia, em um raio de ação de até 5 metros; e neste período, a viabilidade do pólen já está comprometida (LUO *et al.*, 2007b).

Tanto as flores pistiladas quanto as estaminadas, possuem cinco pétalas e cinco sépalas livres, com cinco glândulas na base do disco floral. As pétalas são fundidas na base, até aproximadamente 3mm, formando com a corola um tubo raso (4,5mm), com pelos brancos que protegem o disco floral com as glândulas nectaríferas: amarelas, de forma oval, com 0,03mm de comprimento e 0,02mm de largura. As sépalas possuem 5mm de comprimento, enquanto as pétalas têm 7mm (LUO *et al.*, 2007b, 2011; WU *et al.*, 2011).

As flores femininas possuem três carpelos com estigmas bífidos (WU *et al.*, 2011). Similares às flores masculinas em forma e tom, apresentam fragrância mais

intensa e maior diâmetro da corola (8,5 vs. 7,1mm das masculinas). Os estigmas são verdes, mais escuros do que as pétalas. Seu disco floral externa as cinco glândulas nectaríferas dispostas na base do ovário e sua produção de néctar pode estar ligada à atratividade para os insetos, pois é visto claramente na base da flor e é capaz de absorver os raios ultravioleta. Além de ser produzido por vários dias, entre cinco e oito, em flores ensacadas sem a visitação de insetos, o volume produzido chega a cobrir o ovário (LUO *et al.*, 2007b, 2011).

O crescimento e a maturação dos frutos ocorrem em dois meses, concentrando seu crescimento entre a terceira e quinta semanas após a polinização. Inicialmente de coloração verde, conforme o desenvolvimento, os frutos vão mudando para o amarelo e, finalmente, marrom/preto. A deiscência dos frutos é passiva, com a casca entreabrindo-se, expondo as sementes (RAJU; EZRADANAM, 2002).

É uma espécie que pode ser polinizada e vingar frutos, tanto por xenogamia quanto por geitonogamia (JUHÁSZ *et al.*, 2009; LUO *et al.*, 2007b; PAIVA NETO *et al.*, 2010; RAJU; EZRADANAM, 2002). Ao analisar o conjunto da inflorescência, verifica-se que a antese inicia com flores masculinas, abrindo diariamente até o esgotamento dos botões florais, entre 11 e 20 dias. A abertura das flores femininas se concentra nos primeiros dias da inflorescência, entre o segundo e o sexto; já as flores masculinas exibem maior concentração de antese, após a abertura das femininas, entre o nono e décimo segundo dias. Este comportamento protogínico com alta concentração das flores femininas no início do florescimento e o pico das flores masculinas, após o término das femininas, demonstra uma tendência da planta em favorecer a polinização cruzada em detrimento da geitonogamia (BHATTACHARYA; DATTA; DATTA, 2005; DIVAKARA *et al.*, 2010; JUHÁSZ *et al.*, 2009; LUO *et al.*, 2007b; RAJU; EZRADANAM, 2002).

Em se tratando, porém, da taxa de geitonogamia, existem discordâncias na literatura, com alguns autores demonstrando que a planta registra melhores resultados de frutificação com a polinização cruzada (88 a 96%), quando comparada à geitonogamia manual (72 a 79%) (JUHÁSZ *et al.*, 2009; KAUR; DHILLON; GILL, 2011; RAJU; EZRADANAM, 2002). Outros pesquisadores relatam que não existe restrição, havendo similaridade na polinização promovida pelo próprio pólen (87 a 89%) ou pelo pólen de outras plantas da mesma espécie (88 a 90%) (PAIVA NETO *et*

al., 2010; YANG *et al.*, 2007). Como também é verdadeiro o inverso, com a geitonogamia (90%) se sobressaindo à xenogamia (83%) (LUO *et al.*, 2007b). Além disso, em flores ensacadas, sem o acesso de agentes bióticos, também ocorre vingamento, mesmo que em baixo índice. Desta forma, a planta é capaz de gerar frutos, utilizando-se de outros meios. Alguns autores relatam a existência de apomixia, com taxas variando desde 5% (JUHÁSZ *et al.*, 2009), 12% (LUO *et al.*, 2007b), 32% (BHATTACHARYA; DATTA; DATTA, 2005), até 36% (KAUR; DHILLON; GILL, 2011).

À luz de uma infinidade de características, entretanto, incluindo arranjo floral, secreção de néctar, fragrância floral e tamanho dos grãos de pólen, a polinização ideal, sugerida para *Jatropha curcas*, é a cruzada, realizada por insetos (LUO *et al.*, 2007b).

A secreção de néctar coincide com a apresentação do pólen e receptividade do estigma (BHATTACHARYA; DATTA; DATTA, 2005). O néctar é abundante durante a manhã, tanto nas flores masculinas quanto nas femininas, com produção máxima por volta do meio dia (KAUR; DHILLON; GILL, 2011; LUO *et al.*, 2011). A viabilidade polínica e a receptividade estigmática são máximas no período de abertura da flor e diminuem gradativamente com o passar das horas (LUO *et al.*, 2007b). O mesmo acontece com o aroma ligeiramente adocicado, intenso no momento da antese e fraco no período da tarde (LUO *et al.*, 2011); e com a oferta de pólen, reduzindo já ao longo da manhã, em decorrência da pressão de forrageamento. De tal modo, mesmo as flores recebendo visitas ao longo do dia, a polinização no período matutino, realizada por insetos atraídos por néctar, é considerada a mais efetiva (BHATTACHARYA; DATTA; DATTA, 2005; PAIVA NETO *et al.*, 2010; RAJU; EZRADANAM, 2002).

1.2.2 Visitantes florais e potenciais polinizadores

Por possuir flores pequenas, com órgãos sexuais expostos, o pinhão-mansinho permite fácil acesso ao néctar e ao pólen, atraindo muitos visitantes florais com peças bucais curtas, o que inclui polinizadores não especializados. Assim, vários insetos são relatados como visitantes florais da cultura, destacando-se abelhas, moscas, besouros, libélulas, formigas e borboletas. Além disso, o ovário das flores de pinhão-mansinho

apresenta poucos óvulos, permitindo que pequenos visitantes florais possam ser polinizadores eficientes (KAUR; DHILLON; GILL, 2011; LUO *et al.*, 2011).

Os grãos de pólen se mantêm aderidos às anteras, geralmente até algum contato físico, possibilitando aos agentes polinizadores o recebimento de grande quantidade de pólen a cada visita às flores masculinas (LUO *et al.*, 2007b).

De acordo com relatos antigos sobre a descrição do sistema de polinização, acreditou-se na síndrome de polinização entomófila, mais precisamente por mariposas (falenofilia). As características observadas, como intenso aroma adocicado durante a noite, flores esverdeadas, anteras versáteis, néctar abundante e ausência de guias visíveis de néctar, levaram a esta crença (DEHGAN; WEBSTER, 1979). Em estudo recente, todavia, Luo *et al.* (2011), comparando eventos transcorridos durante os períodos noturno e diurno, concluíram que a *Jatropha curcas*, realmente apresenta flores com características entomófilas, e pode ser polinizada por mariposas. Demonstraram, porém, que a maior eficiência polinizadora é aquela realizada por visitantes diurnos, no período matutino.

Em outras duas espécies do gênero *Jatropha* (*Jatropha mutabilis* e *Jatropha molissima*), Neves e Viana (2011), observando *Apis mellifera*, e Santos, Machado e Lopes (2005), analisando tanto abelhas *Apis mellifera* quanto *Trigona spinipes*, reportaram comportamento semelhante para coleta de néctar e pólen entre as espécies de *Jatropha*. Quando as campeiras coletam néctar, visitam indiscriminadamente tanto flores masculinas quanto femininas, aproximando-se das flores frontalmente, pousando diretamente nas pétalas. Nas flores femininas, ao acessar o néctar, e circular ao redor do ovário para aumentar a eficiência da visita, acabam tocando os lobos estigmáticos com a região dorsal do tórax. Nas flores masculinas, introduzem a cabeça entre as pétalas e as anteras, recebendo grãos de pólen em todo o corpo. Para a coleta de pólen, as abelhas pousam diretamente nas anteras, manipulando-as com o primeiro par de pernas. Nestas duas espécies de *Jatropha*, o maior número de visitas ocorre durante o período matutino (05h00min e 11h00min), com apenas visitas esporádicas de algumas espécies à tarde.

Em *Jatropha curcas*, a abordagem às flores, pelas abelhas *Apis florea* e *Apis indica*, ocorre de forma vertical. Pousam sobre as pétalas e estames ou pétalas e estigmas, nas flores estaminadas e pistiladas, respectivamente. Após abordagem às flores estaminadas, mesmo recolhendo pólen para as corbículas, permanecem com grãos

aderidos à região ventral. Ao visitarem flores pistiladas, tornam possível a polinização, tocando os estigmas com a mesma região do corpo (RAJU; EZRADANAM, 2002).

Quando as campeiras visitam as flores por néctar, tanto nas flores masculinas quanto nas femininas, geralmente tocam, com a cabeça e porção ventral do corpo, as anteras localizadas no centro da flor. Assim acumulam grãos de pólen mesmo em coletas de néctar (LUO *et al.*, 2007b).

Em várias localidades da Índia, Raju e Ezradanam (2002) verificaram que abelhas (*Apis florea*, *Apis indica*, *Trigona iridipennis*, *Ceratina simillima*) e moscas (*Chrysomya megacephala*) possuem comportamento semelhante para coleta de recursos, intercalando flores masculinas e femininas em suas visitas. Embora todos os insetos observados pelos autores sejam potenciais polinizadores, inclusive formigas: *Camponotus* spp., *Crematogaster* sp., *Pheidole* sp., *Solenopsis* sp.; e trips: *Scirothrips* sp., *Thrips* sp., apenas abelhas e moscas foram descritas como capazes de realizar efetivamente a xenogamia.

Na China, Luo *et al.* (2011), avaliando a importância dos polinizadores diurnos e noturnos na cultura do pinhão-manso, perceberam que os polinizadores diurnos são responsáveis por índices semelhantes aos de polinização irrestrita (~60%), enquanto as flores, frequentadas apenas por visitantes noturnos, (mariposas), vingaram significativamente menos frutos (~50%). Destacaram, no entanto, sua importância no que concerne à polinização restrita aos agentes bióticos (~10%). Não obstante, relataram que a tonalidade e aroma adocicado da flor podem servir como guia para as mariposas, mas a baixa produção de néctar, neste período, restringe a visitação. Além disso, nos visitantes diurnos, abelhas melíferas (*Apis cerana* F., *Apis florea* F.), abelhas solitárias (*Delta conoideum* Gmelin, *Sceliphron modraspatanum* F., *Campsoneris phalerata* Saussure), moscas (*Chrysomya megacephala* F., *Lucilia porphyryna* Walker) e besouros (*Hypomeces squamosus* F.), os grãos de pólen foram encontrados em várias partes do corpo, como probóscide, abdome e pernas. Já nos visitantes noturnos, mariposas (*Hypocala subsatura* Guenee, *Hypocala moorei* Butler e *Melanitis leda* L.), afora baixa quantidade de visitas, menos de 10% do total, em sua maioria os grãos de pólen foram encontrados apenas na probóscide. Estes mesmos autores relataram a presença de formigas nas flores, porém, as desconsideraram como polinizadores em razão do pequeno tamanho e do limitado potencial polinizador.

Também na China, Yang *et al.* (2007) relataram abelhas melíferas (*Apis mellifera*, *Apis cerana*) e borboletas (*Catopsilia pomona*) como polinizadores efetivos, em decorrência da elevada frequência destas espécies, em dois picos de visitação, entre 10h00min e 12h00min e entre 16h00min e 17h00min. Estes autores reportaram índices de frutificação para autopolinização artificial, polinização cruzada artificial e polinização livre de 88%, 87% e 76%, respectivamente, indicando autocompatibilidade da cultura.

Dentre nove espécies de insetos (*Hymenoptera*, *Lepidoptera* e *Diptera*) visitantes florais de pinhão-mansinho na Indonésia, Rianti, Suryobroto e Atmowidi (2010), classificaram três espécies de *Hymenoptera* (*Xylocopa confusa*, *Apis cerana* e *Apis dorsata*), como polinizadores efetivos da cultura. Embora não tenham sido avaliados, individualmente, lhes foi atribuído o aumento de 3,4 vezes no número de frutos por inflorescência.

Abelhas melíferas (*Apis dorsata*, *Apis florea*, *Apis mellifera*) também foram consideradas polinizadores efetivos, enquanto que vespas (*Eumenes*) e besouros foram considerados apenas visitantes florais, em trabalho realizado na Índia, por Bhattacharya, Datta e Datta (2005).

No único trabalho desenvolvido no Brasil sobre a eficiência polinizadora de *Apis mellifera* no gênero *Jatropha*, Neves e Viana (2011) reportaram elevada eficiência da abelha, em visita única, na polinização de outras duas espécies: *J. mollissima* (100% de vingamento) e *J. mutabilis* (85% de vingamento). Essa alta eficiência foi atribuída às características florais simples das duas espécies, também relatadas para *J. curcas*, que facilitam o acesso aos órgãos sexuais da planta e o encaixe entre o tamanho corporal da abelha e as dimensões da flor.

Essa revisão sugere que várias espécies do gênero *Jatropha*, dentre elas o pinhão-mansinho (*J. curcas*), são plantas entomófilas. Esta última é mais bem polinizada, consoante a citada revista, por visitantes diurnos, principalmente abelhas. Além disto, o período matutino compreende a maior eficiência polinizadora, porque concentra a antese das flores e a maior oferta de pólen, bem como a receptividade estigmática.

Existem, no entanto, poucos trabalhos sobre polinização de pinhão-mansinho nas Américas, sua região de origem. Os dados científicos, em sua maioria, são gerados em países orientais, localizados principalmente no sudoeste asiático. Além disto, não foram

encontradas informações confiáveis sobre a eficiência direta da abelha melífera (*Apis mellifera* L.) ou algum outro visitante floral como polinizador da cultura; tampouco se acham dados sobre biologia floral do pinhão-mansão na região Nordeste do Brasil ou principais visitantes florais nas Américas.

Em razão do possível uso de grandes áreas para o plantio desta cultura na região semiárida nordestina, faz-se necessária a identificação de um polinizador efetivo, de fácil manejo e aquisição, para viabilizar a produção de sementes que serão utilizadas como matéria-prima para a produção de biocombustíveis (BRASIL, 2007a).

1.3 BIOCOMBUSTÍVEIS

O crescente cuidado com a gestão do petróleo, tanto ecológica (preservação do meio ambiente e aquecimento global) quanto econômica (oscilação dos preços internacionais e o futuro esgotamento deste recurso), estimula a sociedade a intensificar estudos e desenvolver fontes energéticas limpas e renováveis para substituí-lo. Opções como energia solar, hídrica, eólica, gravitacional e biomassa, além de contribuírem para que não haja aumento das emissões de dióxido de carbono, podem ser produzidas localmente, oferecendo empregos e aumentando a autonomia regional e agrícola (ANTCZAK *et al.*, 2009; BARNWAL; SHARMA, 2005). Em adição ao crescimento da demanda mundial por combustíveis líquidos, a preocupação com a segurança energética e a ampliação de políticas agrícolas e sociais são pontos que abrem novas áreas de interesse e oportunidades para pesquisa e desenvolvimento na produção de combustíveis renováveis (DABDOUB; BRONZEL; RAMPIN, 2009).

Políticas internacionais visam a encontrar soluções corretas para a constante ampliação da demanda pelos recursos alimentares e energéticos (NASS; PEREIRA; ELLIS, 2007). A biomassa é uma delas, gerando energia térmica, elétrica e combustível. Essa bioenergia é obtida de várias fontes (resíduos agrícolas, industriais e culturas específicas) e por vários processos (queima direta, digestão anaeróbica, fermentação, destilação, transesterificação e craqueamento) (BRASIL, 2007b).

Como os combustíveis provenientes do petróleo são amplamente utilizados nos transportes, agricultura, geração de energia doméstica e industrial, sua substituição

inicial, mesmo em pequena escala, por combustíveis alternativos, acarretaria em impacto significativo na economia e também sobre o meio ambiente (BARNWAL; SHARMA, 2005).

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), os principais combustíveis produzidos com base na biomassa e utilizados no Brasil são o etanol e o biodiesel: o primeiro, como substituto da gasolina, é produzido com suporte na fermentação de carboidratos (BALAT; BALAT; ÖZ, 2008; HARDER *et al.*, 2011). Já o segundo é produzido tendo por substrato óleos vegetais ou gorduras animais e adicionado ao diesel de petróleo em proporções variáveis (BRASIL, 2011a).

A utilização de óleo vegetal bruto, como substituto total ou parcial do óleo diesel, não é autorizada pela ANP em virtude das características distintas ao biodiesel (FARIAS *et al.*, 2011). Os triglicerídeos, tanto de origem animal, quanto vegetal, contêm maior viscosidade, menor volatilidade e glicerol em sua composição (AGARWAL; DAS, 2001; AGARWAL; KUMAR; AGARWAL, 2008). Estes atributos comprometem o desempenho mecânico, além de proporcionarem desgaste prematuro, formação de depósitos nos bicos injetores e válvulas, carbonização, entupimento das galerias de lubrificação interna e contaminação do óleo lubrificante do motor (MAZIERO *et al.*, 2007; SANTOS; MATAI, 2008). Reduzem-se, porém, ao mínimo, quando transformados em biodiesel, que são ésteres alquila (etila e metila) produzidos de triglicerídeos dos óleos vegetais, como canola, mamona, pinhão-mansão e soja, ou gorduras animais, sem a fração glicerol (AGARWAL; KUMAR; AGARWAL, 2008; BARNWAL; SHARMA, 2005; LEUNG; GUO, 2006; LIU; WANG; YAN, 2009; NIETIEDT *et al.*, 2011; OLIVEIRA; ROSA, 2010; TABILE *et al.*, 2009; UEKI *et al.*, 2011).

De acordo com a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, biocombustível é um combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. É um sucedâneo alternativo e ecologicamente correto que, por apresentar níveis de óxidos de enxofre próximo a zero, não estimula a formação de chuva ácida (BARNWAL; SHARMA, 2005). Denota baixa emissão de monóxido de carbono, partículas em suspensão e hidrocarbonetos não queimados, colaborando para que não ocorra aumento no efeito estufa; e promove na

origem a reciclagem pela fotossíntese do dióxido de carbono produzido na combustão (KORBITZ, 1999; AGARWAL; DAS, 2001; GERPEN, 2005; AGARWAL; SINHA; AGARWAL, 2006; LAPUERTA; ARMAS; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, 2008).

Um fato que deve ser estudado, no entanto, é o aumento nas emissões de óxidos de nitrogênio (NOx), principalmente pelo biodiesel (AGARWAL; SINHA; AGARWAL, 2006; GERPEN, 2005; JAYARAM *et al.*, 2011; KOOTER *et al.*, 2011). Esses óxidos são precursores na formação de O₃ e também, em conjunto com o enxofre, na constituição da chuva ácida. Dessa forma, ocorre a contraposição: o biodiesel produz menos óxidos de enxofre, o que é positivo; porém, mais óxidos de nitrogênio, o que é negativo. Comparado ao diesel, entretanto, possui menor efeito poluidor ao meio ambiente, fato esse fortalecido pela implantação de novas políticas públicas, desde 1986, que já proporcionaram redução de 90% nas emissões de poluentes (TEIXEIRA; FELTES; SANTANA, 2008).

Os biocombustíveis podem ser produzidos com suporte em recursos internos, aliviando a dependência das importações de petróleo. O biodiesel, por exemplo, é biodegradável e 100% renovável quando o álcool utilizado no processo de transesterificação também for renovável (ex. etanol da cana-de-açúcar) ou 90% renovável quando for utilizado álcool fóssil (geralmente metanol) (LAPUERTA; ARMAS; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, 2008; ZHANG *et al.*, 2003).

Dados da Agência Internacional de Energia mostram que o gás carbônico gerado pelos meios de transporte corresponde a 22,5% das emissões deste gás no mundo, sendo os combustíveis derivados de petróleo responsáveis por 97,1% desta fração, ou seja, 21,8% das emissões mundiais (IEA STATISTICS, 2010). A biomassa provê 14% da energia primária do mundo e representa, aproximadamente, 80% de toda a energia renovável consumida (UNEP, 2011). O custo inicial dos combustíveis renováveis, no entanto, é alto e a taxa de retorno é baixa, ou até mesmo negativa, não sendo atrativa à economia capitalista (ROSENBLUM, 2000). Sua produção, no entanto, pode proporcionar a geração de renda e energia em comunidades locais, mediante o plantio de espécies rústicas e potenciais produtoras de biomassa, como o pinhão-manso, sem a dependência de importações de petróleo (AGARWAL, 2007; FAIRLESS, 2007; GERPEN, 2005).

Com efeito, a utilização de biocombustíveis surge como ferramenta na transição para um setor energético sustentável e atribui ao Brasil, líder no mercado estratégico dos biocombustíveis, o importante papel de ajudar a aliviar a descarga mundial de poluentes. Por meio de seus órgãos fiscalizadores e regulatórios, o País busca meios para a certificação federal dos biocombustíveis, no intuito de manter tanto a qualidade do produto, quanto corrigir a grave problemática socioambiental e a possível expansão desordenada, principalmente do etanol. Além disso, a possibilidade de compartilhar políticas certificadoras com outros países emergentes pode ampliar a oferta mundial e, conseqüentemente, transformar o produto em *commodity* (BRASIL, 2011e).

1.3.1 Biodiesel

A utilização de óleos vegetais (ou mesmo óleo de peixe) como combustíveis é, no mínimo, tão antiga quanto o motor de combustão interna por compressão. Rudolf Diesel¹, criador deste motor que leva seu sobrenome, usou inicialmente óleo de amendoim para que seu invento pudesse funcionar (HOLDEN *et al.*, 2006; RADICH, 2004).

No início do século XX, entretanto, com a crescente oferta dos automóveis movidos a gasolina (ciclo Otto), as companhias petrolíferas foram obrigadas a refinar tanto petróleo, para suprir a demanda de gasolina, que geraram excedente de subprodutos do petróleo, entre eles o óleo diesel. Essa oferta de derivados, durante a primeira metade do século XX, fez o óleo diesel, que era mais barato, abundante e não promovia desgaste nem falhas prematuras do motor, rapidamente superar a utilização de óleos vegetais, tendo seu uso generalizado desde 1920 (HOLDEN *et al.*, 2006; RADICH, 2004; SANTOS; MATAI, 2008).

Anos mais tarde, 1973, com a crise mundial do petróleo, retomou-se o interesse em promover a utilização de combustíveis alternativos, de origem não fóssil, como foi o caso dos combustíveis de origem vegetal (HOLDEN *et al.*, 2006; PARENTE, 2003; RADICH, 2004). No Brasil, estudos foram conduzidos no intuito de produzir substitutos

¹**Rudolf Christian Karl Diesel** (1858-1913) recebeu a patente em 1893 e demonstrou a funcionalidade do motor em 1897 (<http://www.deutsches-museum.de/en/collections/machines/power-engines/combustion-engines/diesel-engines/the-first-diesel-engine-1897/>).

para o óleo diesel, tendo êxito em 1980, quando anunciada a descoberta do PRODIESEL, sucedâneo vegetal do óleo diesel. Em 1982, foi homologada a patente n. PI8007957-1B1, “Processo de produção de combustível a partir de frutos ou sementes oleaginosas”², tendo como titular o professor da Universidade Federal do Ceará Expedito José de Sá Parente (1940-2011). Além disso, no mesmo ano, foi feito um voo sobre Brasília, em avião abastecido com querosene vegetal para aviões a jato, o PROSENE, produzido pelo mesmo grupo, sob a razão social de PROERG. O programa ficou paralisado por alguns anos, em razão do fim da crise e diminuição do preço do petróleo, tornando os biocombustíveis economicamente inviáveis (PARENTE, 2003). A relação dos preços internacionais, óleos vegetais/petróleo, nos anos 1980, era de 3,30 para o dendê, 3,54 para o girassol, 3,85 para a soja e 4,54 para o amendoim (SANTOS; MATAI, 2008).

No final dos anos 1990, a crescente conscientização ambiental e a possibilidade de escassez de combustíveis fósseis motivaram o retorno da busca pelos recursos energéticos renováveis, fatores que determinam a utilização de plantas oleaginosas, visando à obtenção de biodiesel (NIETIEDT *et al.*, 2011).

A regulamentação dos combustíveis, então, ficou mais rigorosa: a Europa, por exemplo, obrigou a redução das emissões de enxofre, de 50ppm usuais para 10ppm, a partir de 2009, e isto teve consequências econômicas sobre os investimentos das companhias de petróleo e sobre o preço final do combustível. Juntamente com a oscilação no preço do barril de petróleo e a total ou parcial isenção de impostos ou taxas sobre os biocombustíveis, dependendo do país, foram abertos caminhos para a comercialização de biodiesel e bioetanol, fornecendo uma ferramenta útil no combate ao impacto causado pelos meios de transporte nas mudanças climáticas (LAPUERTA; ARMAS; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, 2008; RADICH, 2004).

No Brasil, a previsão de emissão de 50ppm de enxofre, desde 1º de janeiro de 2009, instituída pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), não foi alcançada e acabou de forma restrita apenas à frota cativa dos ônibus urbanos de São Paulo e Rio de Janeiro (TÁVORA, 2011). Atualmente são comercializados três tipos de óleo “diesel-biodiesel” B5, de acordo com o teor máximo de enxofre: S50 (50ppm de enxofre), S500 (500ppm de enxofre) e S1800 (1800ppm de enxofre). Até final de 2013

² Fonte: (<http://pesquisa.inpi.gov.br/MarcaPatente/jsp/servimg/servimg.jsp?BasePesquisa=Patentes>)

a substituição do diesel S1800 pelo S500, iniciada em 2009, deve estar concluída. Uma revisão da Resolução 42/2009 da ANP também institui a substituição integral do óleo diesel S50 pelo óleo diesel S10 (com 10ppm de enxofre), com vigência programada para 1º de janeiro de 2013 (BRASIL, 2011b).

Essa crescente discussão econômica, acadêmica e industrial sobre o potencial do biodiesel, como fonte energética alternativa e renovável, força a criação de programas de subsídio ou de uso obrigatório nas misturas com diesel por alguns países, como é o caso do Brasil, para enfrentar sérias dificuldades ao competir com o diesel de petróleo (DABDOUB; BRONZEL; RAMPIN, 2009). A conscientização global, principalmente a partir de 2004, fez a produção mundial saltar de 2,1 bilhões de litros, para 17,56 bilhões em 2009, consumidos em 63 países, tendo cinco como detentores de 55% da produção: 17% na Alemanha, 15% na França, 9% no Brasil, 8% na Itália e 7% nos Estados Unidos (EIA, 2011a; OECD/IEA, 2007).

Estima-se que a produção mundial de Biodiesel em 2010 tenha sido de, aproximadamente, 20 bilhões de litros e projeta-se uma produção crescente e constante, superando 40 bilhões de litros em 2020 (OECD/FAO, 2011). Só o Brasil produziu 2,4 bilhões de litros de biodiesel (BRASIL, 2011c). Por outro lado, em 2010, os Estados Unidos produziram 38,9% menos biodiesel do que em 2009, diminuindo de 1,92 para 1,17 bilhão de litros (EIA, 2011b). De acordo com Urbanchuk (2011), esta queda foi atribuída, principalmente, à retirada do incentivo fiscal, de um dólar por galão de biodiesel produzido, mostrando a vulnerabilidade e a dependência deste combustível a políticas de incentivos fiscais.

Com uma visão mais abrangente, o apelo para que se minimizem as emissões de gases poluentes, a diminuição das reservas de petróleo, bem como a possibilidade de auxiliar o desenvolvimento de nações, onde a aquisição do diesel de petróleo não é acessível, faz aumentar a importância do biodiesel. Além disso, pode propiciar às comunidades isoladas a produção do seu combustível, aumentando a renda de produtores com o plantio de oleaginosas, desde que negociado a preço justo. Dessa forma, o desenvolvimento do biodiesel em escala local ou industrial pode ser um caminho para a sustentabilidade (AGARWAL; KUMAR; AGARWAL, 2008; BRASIL, 2007b; GILBERT, 2011).

É considerado melhor do que o diesel convencional por emitir menos poluentes (AGARWAL; KUMAR; AGARWAL, 2008). O efeito poluidor do biodiesel, no entanto, é dependente das variações de velocidade e carga do motor, das condições ambientais, origem e qualidade do produto (LAPUERTA; ARMAS; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, 2008).

O teor de impurezas afeta diretamente as propriedades do combustível, podendo causar sérios problemas na aplicação. De acordo com os padrões da União Europeia, o biodiesel deve ter, no mínimo, 96,5% de pureza (PREDOJEVIĆ, 2008).

O ponto de fulgor é maior, comparado ao diesel, o que pode melhorar a segurança contra incêndios ou combustões indesejáveis (LIU; WANG; YAN, 2009). Apresenta maior capacidade de lubrificação e pode ser usado para corrigir o problema da lubricidade do óleo diesel com baixo teor de enxofre, melhorando a qualidade das emissões de gases do efeito estufa (GERPEN, 2005; LAPUERTA; ARMAS; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, 2008; RAMADHAS; MURALEEDHARAN; JAYARAJ, 2005; WAIN *et al.*, 2005). Ainda existem, no entanto, problemas com a ignição em condições de frio. A alta viscosidade pode causar a redução da queima de combustíveis e contribuir para a formação de depósitos, entupimento dos bicos injetores e emissões de aldeídos, dependendo, principalmente, do conteúdo de glicerol e baixas temperaturas (BARNWAL; SHARMA, 2005; PAULA *et al.*, 2011). O ponto de fluidez no frio, que acarreta entupimento do filtro, varia em função da matéria-prima utilizada. O biodiesel de canola, por exemplo, traz problemas a 2,8°C negativos. Já o biodiesel do óleo de dendê ocasiona entupimento de filtro a 12°C, restringindo sua aplicação em temperaturas menores (LIU; WANG; YAN, 2009). Não foram encontradas referências ao biodiesel do pinhão-mansão.

Os efeitos a longo prazo são questões menos exploradas e um número muito pequeno de estudos experimentais é publicado sobre este assunto (LAPUERTA; ARMAS; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, 2008). A contínua manutenção da qualidade do combustível, contudo, sem problemas operacionais, é um prerequisite para a aceitação do biodiesel no mercado (KNOTHE, 2001).

É importante também levar em consideração o fato de que a produção de biodiesel compete, com o setor alimentício, pela matéria-prima dos óleos vegetais comestíveis. Geralmente é aceito o fato de que os triglicerídeos utilizados para a

produção de biodiesel podem ser provenientes de qualquer óleo vegetal disponível (refinados, semirrefinados, degomados, crus e até alguns não comestíveis), óleos produzidos por micróbios e óleos de frituras usados, inclusive gordura natural ou artificialmente hidrogenada, sebo bovino, banha, gordura de frango, óleo de peixes. O uso de óleos vegetais não alimentícios é proposto como forma de aliviar o debate de alimentos *versus* biocombustíveis. Exemplos de uso são a mamona, pinhão-manso e karanji (*Pongamia pinnata* L.) (ANTCZAK *et al.*, 2009; DABDOUB; BRONZEL; RAMPIN, 2009).

Como subproduto, a glicerina destilada, gerada na produção do biodiesel, pode ser utilizada para produzir sabão, sabonetes e sachês (OLIVEIRA; ROSA, 2010). Só o Brasil em 2010, produziu 258 milhões de litros de glicerina (BRASIL, 2011c). Esta pode ser empregada na indústria alimentícia, para produção de nitroglicerina, espumas, medicamentos e produtos de higiene pessoal. Atualmente, dependendo da qualidade, é comercializada na Europa, entre 500 e 1000 dólares por tonelada (LUQUE *et al.*, 2010).

1.3.1.1 Proporções de mistura

Motores a diesel podem funcionar satisfatoriamente com misturas de biodiesel sem qualquer modificação na estrutura do motor. Testes apontam o B20 como a melhor concentração de mistura, pois melhora a eficiência térmica, reduz a opacidade da fumaça, o consumo específico de energia, emissões de material particulado, monóxido de carbono e dióxido de enxofre. Causa, porém, ligeiro aumento das emissões de óxido nitroso e consumo do combustível pelo motor (AGARWAL; DAS, 2001; BARNWAL; SHARMA, 2005; ROSENBLUM, 2000; SANTOS; MATAI, 2008). Outros autores apontam melhores resultados com menores proporções de mistura, como Nietiedt *et al.* (2011), que encontraram no B10 potência superior e consumo específico inferior às misturas B5 e B100. Já Tabile *et al.* (2009) não toparam diferenças significativas no consumo de combustível pelo motor até a mistura B25. Comparando B0 e B100, entretanto, o consumo horário volumétrico aumentou 14,8% e o consumo específico aumentou 38,3%. Quanto à lubricidade, a mistura B5 é superior em relação ao B0, promovendo menor desgaste para o sistema de injeção (FARIAS *et al.*, 2011).

O biodiesel possui poder calorífico (MJ/kg) cerca de 10% menor do que o diesel convencional. Assim, se a eficiência do motor for a mesma, o consumo de biodiesel deverá ser proporcionalmente maior e, conseqüentemente, a autonomia do veículo proporcionalmente menor. Este fato, segundo alguns autores, deveria ser levado em conta nas transações comerciais (JENA *et al.*, 2010; LAPUERTA; ARMAS; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, 2008; QI *et al.*, 2010).

1.3.1.2 Custo

O biodiesel, elaborado com a matéria-prima óleo vegetal ou gordura animal, é geralmente mais caro, de 10% a 50%, em relação ao diesel à base de petróleo, o que representa grande obstáculo à sua produção (DABDOUB; BRONZEL; RAMPIN, 2009; HOLDEN *et al.*, 2006).

Estudo sobre a viabilidade econômica mostra que o biodiesel obtido de óleos não comestíveis é mais barato do que de óleos comestíveis (BARNWAL; SHARMA, 2005). Em projeção feita nos Estados Unidos, para os anos de 2004 a 2013, o custo para a produção de biodiesel variou em função da matéria-prima utilizada: o biodiesel de soja ficou em torno de US\$ 0,68/L, enquanto o biodiesel de óleo de fritura descartado das redes de *fast food* – a graxa amarela – foi de US\$ 0,38/L. Ambos são superiores ao diesel oriundo do petróleo, US\$0,36/L (SILVA; FREITAS, 2008).

Os custos de produção podem diminuir substancialmente, com a construção de usinas com maior potencial de produção, o que exigirá mais investimentos em atividades de pesquisas e desenvolvimento. Além disso, também é apontada como solução para esta redução de custo a produção em países onde as sementes oleaginosas sejam mais baratas, geralmente aqueles em desenvolvimento (LUQUE *et al.*, 2010).

O uso de culturas ou variedades com maior teor de óleo, além da soja, ou da graxa amarela, pode servir como estratégia para tornar o futuro biodiesel mais barato do que o diesel de petróleo (HOLDEN *et al.*, 2006; PREDOJEVIĆ, 2008).

1.3.2 Biocombustíveis no Brasil

Pioneiro mundial no uso de biocombustíveis, o Brasil alcançou posição almejada por muitos países que buscam fontes renováveis de energia como alternativas estratégicas ao petróleo. Cerca de 45% da energia e 18% dos combustíveis consumidos no Brasil já são renováveis, enquanto a média do resto do mundo é de apenas 14% de energia renovável (BRASIL, 2011a).

Além disso, as reservas brasileiras de petróleo, em 2010, eram estimadas em 28,5 bilhões de barris, com apenas 14,2 bilhões realmente confirmados. No mesmo ano, a produção nacional foi de 750,0 milhões de barris (5,28% da reserva provada), 58,9% maior do que em 2001. No panorama internacional, a situação era semelhante, com 1,4 trilhão de barris em reservas provadas e consumo anual de 82,1 bilhões de barris (5,86% das reservas provadas). Caso estes dados de reserva e consumo de petróleo se estabilizem, o petróleo do mundo irá durar pelo menos até 2027. No caso do Brasil, se comprovadas as estimativas e o consumo se mantenha ou diminua, pode haver petróleo até por volta de 2040, possibilitando uma transição planejada para combustíveis alternativos ao combustível fóssil (BRASIL, 2011c).

O Brasil já é autossuficiente em petróleo, mas ainda necessita importar cerca de 10% do óleo diesel, utilizado principalmente no transporte de passageiros e de cargas e responde por 57,7% do consumo nacional dos combustíveis veiculares (LEITE; LEAL, 2007; LUNA, 2009).

As vendas de óleo diesel em 2010, pelas distribuidoras no Brasil, foram de 49,2 bilhões de litros, 33% superiores às de 2001. Da mistura diesel-biodiesel, foram vendidos 48,4 bilhões, sendo, 2,40 bilhões de litros de B100, ou seja, aproximadamente 5% do diesel. Esta produção atende o objetivo do B5, proposto até 2013, e diminui a necessidade da importação do óleo diesel (BRASIL, 2011c).

Na tentativa de fazer uma abordagem menos centralizadora, diferente da monocultura em grandes propriedades, como foi o início do “Proálcool”, o “Selo Combustível Social”, concedido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário aos produtores de biodiesel que compram parte da matéria-prima produzida pela agricultura familiar, visa à inclusão social e busca o desenvolvimento do pequeno agricultor. Além de dar subsídios para a produção de biodiesel, este Selo isenta a cobrança de alguns

impostos e habilita a empresa a participar de todos os leilões de biodiesel, forma para comercialização deste produto no Brasil (BRASIL, 2011f). As empresas que não detenham este Selo restringem sua participação a apenas 20% do volume disputado. A fim de garantir a qualidade da matéria-prima, porém, é necessário o envolvimento da empresa produtora de biodiesel, tanto na assistência e capacitação técnica, quanto no fornecimento de insumos para o plantio (sementes, fertilizantes, defensivos) (OLIVEIRA; ROSA, 2010). Em 2010, o programa abrangeu pouco mais de 100 mil famílias (BRASIL, 2011f).

Os dados do Selo Combustível Social ainda não se refletem, de forma expressiva, na composição do biodiesel nacional. No ano de 2010, grande parte da matéria-prima utilizada para este fim - 82,2% - foi proveniente do óleo de soja, com baixa participação da agricultura familiar. Enquanto isso, o restante ficou a cargo do sebo bovino (13,0%), óleo de algodão (2,4%) e outras fontes, como frituras, óleos vegetais diversos e gordura suína (2,4%) (BRASIL, 2011c).

Considerando a produção brasileira da soja na safra 2009/2010, de 68,7 milhões de toneladas em 23,5 milhões de hectares; o teor de óleo em 20%; densidade de 0,91; e seu rendimento na transformação para biodiesel, de 57,3% - foram necessários 22,9% da produção nacional de soja, ou seja, 15,7 milhões de toneladas em 5,4 milhões de hectares, para suprir 82,2% da demanda nacional por B5, isto é, aproximadamente 1,97 bilhão de litros de B100 (BRASIL, 2011d; FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005; PAULA *et al.*, 2011; RODRIGUES *et al.*, 2010; SARTORI *et al.*, 2009).

No caso do etanol, foram produzidos 25,5 bilhões de litros provenientes de 6,7 milhões de hectares plantados com cana-de-açúcar. Destes, 8,2 foram exportados, 17,0 consumidos pelos transportes rodoviários e o resto representou perdas no processo (BRASIL, 2007a).

Somando as áreas de cana-de-açúcar e de soja, utilizadas para a produção de biocombustíveis, resultam em 12,1 milhões de hectares (98,5% do biocombustível nacional), correspondendo a 8% dos 150 milhões de hectares plantados e disponíveis para a agricultura nacional (BRASIL, 2007a).

Sem considerar a área de cana-de-açúcar para a produção de etanol, que dispensa agentes polinizadores, a produção de biodiesel necessita de aproximadamente 6 milhões de hectares com plantio de oleaginosas para suprir a demanda do B5. No Nordeste

brasileiro, o Programa Nacional de Produção e uso de Biodiesel (PNPB) estimulou inicialmente a cultura da mamona, que apresenta rusticidade e adaptação ao semiárido. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a área plantada com mamona, safra 2011/2012 no Nordeste brasileiro, ultrapassa os 200 mil hectares (BRASIL, 2011c; BRASIL, 2012; ROUSSEFF, 2004).

Semelhante à mamona em rusticidade ao semiárido, mas possivelmente bem maior em relação à demanda por polinizadores bióticos, o pinhão-mansó enseja crescente interesse na região e sua área de cultivo se expande (ARRUDA *et al.*, 2004). Algumas empresas, estatais e privadas já possuem áreas implementadas com esta cultura recente e com potencial para expansão em locais adversos a outras oleaginosas. Como a produção de biodiesel demanda grandes áreas para produção de matéria-prima, geralmente em sistemas de monocultivos, poderá ocorrer falta de agentes polinizadores bióticos. Caso o PNPB seja mantido ou ampliado, haverá demanda muito grande de polinizadores para a completa assistência dessas novas áreas de pinhão-mansó.

1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUD, S. *et al.* Dispersão de pólen em soja transgênica na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 1229-1235, out. 2003.

AGARWAL, A. K.; DAS, L. M. Biodiesel Development and Characterization for Use as a Fuel in Compression Ignition Engines. **Journal of Engineering for Gas Turbines and Power**, v. 123, n. 2, p. 440-447, abr. 2001.

AGARWAL, A. K. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 33, n. 3, p. 233-271, jun. 2007.

AGARWAL, D.; KUMAR, L.; AGARWAL, A. Performance evaluation of a vegetable oil fuelled compression ignition engine. **Renewable Energy**, v. 33, n. 6, p. 1147-1156, jun. 2008.

AGARWAL, D.; SINHA, S.; AGARWAL, A. Experimental investigation of control of NOx emissions in biodiesel-fueled compression ignition engine. **Renewable Energy**, v. 31, n. 14, p. 2356-2369, nov. 2006.

ALLAN, G. *et al.* Worldwide genotyping of castor bean germplasm (*Ricinus communis* L.) using AFLPs and SSRs. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 55, n. 3, p. 365-378, jul. 2007.

ANDERSON, A. B.; OVERAL, W. L.; HENDERSON, A. Pollination ecology of a forest-dominant palm (*Orbignya phalerata* Mart.) in Northern Brazil. **Biotropica**, v. 20, n. 3, p. 192–205, set. 1988.

ANTCZAK, M. S. *et al.* Enzymatic biodiesel synthesis: key factors affecting efficiency of the process. **Renewable Energy**, v. 34, n. 5, p. 1185-1194, maio 2009.

ARRUDA, F. P. de. *et al.* Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 8, n. 1, p. 789-799, jan./abr. 2004.

BALAT, M.; BALAT, H.; ÖZ, C. Progress in bioethanol processing. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 34, n. 5, p. 551-573, out. 2008.

BALDONI, A. B. *et al.* Variability of ricin content in mature seeds of castor bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 7, p. 776-779, jul. 2011.

BARNWAL, B. K.; SHARMA, M. P. Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 9, p. 363-378, ago. 2005.

BOMMARCO, R.; MARINI, L.; VAISSIÈRE, B. E. Insect pollination enhances seed yield, quality, and market value in oilseed rape. **Oecologia**, fev. 2012 (versão online). Doi 10.1007/s00442-012-2271-6.

BHATTACHARYA, A.; DATTA, K.; DATTA, S. K. Floral biology, floral resource constraints and pollination limitation in *Jatropha curcas* L. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 8, n. 3, p. 456-460, mar. 2005.

BIESMEIJER, J. C. *et al.* Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. **Science**, New York, v. 313, n. 5785, p. 351-354, jul. 2006.

BRADING, P.; EL-GABBAS, A.; ZALAT, S. Biodiversity economics: the value of pollination services to Egypt. **Egyptian Journal of Biology**, v. 11, p. 46-51, 2009.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. **Biocombustíveis**. 2011a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=470>>. Acesso em: 19 out. 2011.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. **A partir de 2012, o diesel S500 substituirá o S1800 em SE, AL, PB, PE e em 700 municípios de outros estados.** 2011b. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=57840&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1319064506949>>. Acesso em: 19 out. 2011.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico 2011.** 2011c. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=57662#Se__o_4>. Acesso em: 19 out. 2011.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas.** 2011d. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>>>. Acesso em: 24 out. 2011.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira:** grãos, quarto levantamento, janeiro 2012. Brasília, DF: Conab, 2012. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>>>. Acesso em: 25 jan. 2012.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia. **Programa Brasileiro de Certificação em Biocombustíveis.** Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/biocombustiveis/index.asp>>. Acesso em: 19 out. 2011e.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030:** combustíveis líquidos. Brasília, DF: MME: EPE, 2007a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética Nacional 2030.** Brasília, DF: MME: EPE, 2007b.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Programas:** biodiesel: o selo combustível social. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/portal/saf/programas/biodiesel/2286313>>. Acesso em: 19 out. 2011f.

CARVALHEIRO, L. G. *et al.* Natural and within-farmland biodiversity enhances crop productivity. **Ecology letters**, v. 14, n. 3, p. 251-259, mar. 2011.

CAUWER, I. de. *et al.* Pollen limitation of female reproductive success at fine spatial scale in a gynodioecious and wind-pollinated species, *Beta vulgaris* ssp. *maritima*. **Journal of evolutionary biology**, v. 23, n. 12, p. 2636-47, dez. 2010.

CHIARI, W. C. *et al.* Polinização por *Apis mellifera* em soja transgênica [*Glycine max* (L.) Merrill] Roundup ReadyTM cv. BRS 245 RR e convencional cv. BRS 133. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 2, p. 267-271, abr. 2008.

DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L.; RAMPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 776-792, 2009.

DEHGAN, B.; WEBSTER, G. L. **Morphology and infrageneric relationships of the genus *Jatropha* (Euphorbiaceae)**. Berkeley, Los Angeles, London: University of California Press, 1979.

DIVAKARA, B. N. *et al.* Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: a review. **Applied Energy**, v. 87, n. 3, p. 732-742, mar. 2010.

DURÁN, X. A. *et al.* Evaluation of yield component traits of honeybee-pollinated (*Apis mellifera* L.) rapeseed canola (*Brassica napus* L.). **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 70, n. 2, p. 309-314, abr./jun. 2010.

EIA. United States Energy Information Administration. **Use of Biodiesel: basics.** 2011a. Disponível em: <http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=biofuel_biodiesel_use>. Acesso em: 19 out. 2011.

EIA. United States Energy Information Administration. **Monthly Energy Review: September 2011.** Washington, DC: U. S. Energy Information Administration, 2011b.

FAIRLESS, D. Biofuel: the little shrub that could--maybe. **Nature**, v. 449, n. 7163, p. 652-5, out. 2007.

FAOSTAT. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Value of Agricultural Production.** Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/613/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 17 jan. 2012.

FARIAS, A. C. M. de. *et al.* Os combustíveis verdes do Brasil: avaliação da lubricidade do biodiesel B5 e óleos de mamona e coco. **Holos**, v. 3, p. 3-17, 2011.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. da S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 19-23, fev. 2005.

FREE, J. B. **Insect pollination of crops.** 2. ed. London: Academic Press, 1993.

FREITAS, B. M. **The pollination efficiency of foraging bees on apple (*Malus domestica* Borkh) and cashew (*Anacardium occidentale* L.).** 1995. Thesis (PhD), University of Wales, College of Cardiff, UK, 1995.

GALLAI, N. *et al.* Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. **Ecological Economics**, v. 68, n. 3, p. 810-821, jan. 2009.

GARIBALDI, L. A. *et al.* Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. **Ecology Letters**, v. 14, n. 10, p. 1062-1072, jul. 2011.

GERPEN, J. Biodiesel processing and production. **Fuel Processing Technology**, v. 86, n. 10, p. 1097-1107, jun. 2005.

GILBERT, N. Local benefits: the seeds of an economy. **Nature**, v. 474, n. 7352, p. S18-19, jun. 2011.

GREENLEAF, S. S.; KREMEN, C. Wild bees enhance honey bees pollination of hybrid sunflower. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, n. 37, p. 13890-13895, set. 2006.

HARDER, M. N. C. *et al.* Contribuições do etanol de cana-de-açúcar na mitigação dos gases do efeito estufa. **Bioenergia em revista: Diálogos**, v. 1, n. 1, p. 84-92, jan./jun. 2011.

HEIN, L. The economic value of the pollination service, a review across scales. **The Open Ecology Journal**, v. 2, n. 1, p. 74-82, set. 2009.

HELLER, J. **Physic nut: *Jatropha curcas* L.** Rome: International Plant Genetic Resources Institute; Germany: Institute of Plant Genetic and Crop Plant Research, 1996.

HERRERA, J. M. *et al.* Agroclimatic conditions, chemical and nutritional characterization of different provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. **European Journal of Scientific Research**, v. 39, n. 3, p. 396-407, jan. 2010.

HOLDEN, B. *et al.* **Effect of biodiesel on diesel engine nitrogen oxide and other regulated emissions:** project no. WP-0308. 2006. Disponível em: <http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/20060501_gen371.pdf>. Acesso em: 30 set. 2011.

IEA STATISTICS. International Energy Agency. **CO₂ emissions from fuel combustion**: Highlights. Paris: OECD: IEA, 2010.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; NUNES-SILVA, P. As abelhas, os serviços ecossistêmicos e o Código Florestal Brasileiro. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, p. 59-62, dez. 2010.

JAYARAM, V. *et al.* Real-time gaseous, PM and ultrafine particle emissions from a modern marine engine operating on biodiesel. **Environmental Science and Technology**, v. 45, n. 6, p. 2286-2292, mar. 2011.

JENA, P. C. *et al.* Biodiesel production from mixture of mahua and simarouba oils with high free fatty acids. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 8, p. 1108-1116, ago. 2010.

JUHÁSZ, A. C. P. *et al.* Biologia floral e polinização artificial de pinhão-manso no norte de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1073-1077, set. 2009.

KAUR, K.; DHILLON, G. P. S.; GILL, R. I. S. Floral biology and breeding system of *Jatropha curcas* in North-Western India. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 23, n. 1, p. 4-9, 2011.

KING, A. J. *et al.* Potential of *Jatropha curcas* as a source of renewable oil and animal feed. **Journal of experimental botany**, v. 60, n. 10, p. 2897-905, jan. 2009.

KLEIN, A. M. *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of The Royal Society**, v. 274, n. 1608, p. 303-13, fev. 2007.

KNOTHE, G. Analytical methods used in the production and fuel quality assessment of biodiesel. **Transactions of the ASAE**, v. 44, n. 2, p. 193-200, mar./abr. 2001.

KOCKELMANN, A.; TILCHER, R.; FISCHER, U. Seed production and processing. **Sugar Tech**, v. 12, n. 3-4, p. 267-275, jan. 2011.

KOOTER, I. M. *et al.* Toxicological characterization of diesel engine emissions using biodiesel and a closed soot filter. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 8, p. 1574-1580, mar. 2011.

KORBITZ, W. Biodiesel production in Europe and North America, an encouraging prospect. **Renewable Energy**, v. 16, n. 1-4, p. 1078-1083, jan. 1999.

LAPUERTA, M.; ARMAS, O.; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, J. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 34, n. 2, p. 198-223, abr. 2008.

LEITE, R. C. D. C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Novos Estudos - CEBRAP**, n. 78, p. 15-21, jul. 2007.

LEUNG, D.; GUO, Y. Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production. **Fuel Processing Technology**, v. 87, n. 10, p. 883-890, out. 2006.

LIU, Y.; WANG, L.; YAN, Y. Biodiesel synthesis combining pre-esterification with alkali catalyzed process from rapeseed oil deodorizer distillate. **Fuel Processing Technology**, v. 90, n. 7-8, p. 857-862, jul. 2009.

LUNA, D. Importação de diesel deve cair para menos de 10% do consumo. **O Estadão**, São Paulo, p. 2, 27 abr. 2009.

LUO, C. W. *et al.* Contribution of diurnal and nocturnal insects to the pollination of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) in Southwestern China. **Journal of Economic Entomology**, v. 104, n. 1, p. 149-154, fev. 2011.

LUO, C. W. *et al.* Pollen viability, stigma receptivity and reproductive features of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica**, v. 27, n. 10, 2007a.

LUO, C. W. *et al.* Floral display and breeding system of *Jatropha curcas* L. **Forestry Studies in China**, v. 9, n. 2, p. 114-119, jun. 2007b.

LUQUE, R. *et al.* Biodiesel as feasible petrol fuel replacement: a multidisciplinary overview. **Energy and Environmental Science**, v. 3, n. 11, p. 1706-1721, nov. 2010.

MAZIERO, J. V. G. *et al.* Desempenho de um motor diesel com óleo bruto de girassol. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 249-255, abr./jun. 2007.

MCGREGOR, S. E. **Insect pollination of cultivated crop plants**. Washington, DC: USDA, 1976.

MILFONT, M. O. **Uso da abelha melífera (*Apis mellifera* L.) na polinização e aumento de produtividade de grãos em variedade de soja (*Glycine max.* (L.) Merrill) adaptada às condições climáticas do Nordeste brasileiro**. 2012. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

MOURA, J. I. L. *et al.* Polinização do dendezeiro por besouros no Sul da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 289–294, mar. 2008.

NASS, L. L.; PEREIRA, P. A. A.; ELLIS, D. Biofuels in Brazil: an overview. **Crop Science**, v. 47, n. 6, p. 2228-2237, nov./dez. 2007.

NEVES, E. L.; VIANA, B. F. Pollination efficiency of *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Hymenoptera, Apidae) on the monoecious plants *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. and *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) in a semi-arid Caatinga area, northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 107-113, fev. 2011.

NIETIEDT, G. H. *et al.* Desempenho de motor de injeção direta sob misturas de biodiesel metílico de soja. **Ciência Rural**, v. 41, n. 7, p. 1177-1182, jul. 2011.

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, set. 2009.

OECD/FAO. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2011-2020**. [S.l.]: OECD: FAO, 2011.

OECD/IEA. ENERGY TECHNOLOGY ESSENTIALS. **Biofuel production**. 2007. Disponível em: <www.iea.org/techno/essentials2.pdf>. Acesso em: 7 out. 2011.

OLIVEIRA, J. N. D. de; ROSA, L. C. da. Modelagem de processos IDEF: modelo descritivo da cadeia produtiva do biodiesel. **Revista Gestão Industrial**, v. 6, n. 2, p. 159-174, 30 jun. 2010.

ORTIZ-PEREZ, E. *et al.* Insect-mediated seed-set evaluation of 21 soybean lines segregating for male sterility at 10 different loci. **Euphytica**, v. 152, n. 3, p. 351-360, ago. 2006.

OZ, M. *et al.* M. Effects of honeybee (*Apis mellifera*) pollination on seed set in hybrid sunflower (*Helianthus annuus* L.). **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 6, p. 1037-1043, mar. 2009.

PAIVA NETO, V. B. de. *et al.* Aspectos da biologia reprodutiva de *Jatropha curcas* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 558-563, jun. 2010.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel**: uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: [s.n.], 2003.

PAULA, A. J. A. de. *et al.* Utilização de argilas para purificação de biodiesel. **Química Nova**, v. 34, n. 1, p. 91-95, 2011.

PREDOJEVIĆ, Z. J. The production of biodiesel from waste frying oils: a comparison of different purification steps. **Fuel**, v. 87, n. 17-18, p. 3522-3528, dez. 2008.

QI, D. H. *et al.* Performance and combustion characteristics of biodiesel–diesel–methanol blend fuelled engine. **Applied Energy**, v. 87, n. 5, p. 1679-1686, maio 2010.

QIU, L. *et al.* Exploiting EST databases for the development and characterization of EST-SSR markers in castor bean (*Ricinus communis* L.). **BMC plant biology**, v. 10, n. 1, p. 278, jan. 2010.

RADICH, A. **Biodiesel Performance, Costs, and Use**. 2004. Disponível em: <<http://www.eia.gov/oiaf/analysispaper/biodiesel/index.html>>. Acesso em: 30 set. 2011.

RAJU, A. J. S.; EZRADANAM, V. Pollination ecology and fruiting behaviour in a monoecious species, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Current Science**, v. 83, n. 11, p. 1395-1398, dez. 2002.

RAMADHAS, A; MURALEEDHARAN, C.; JAYARAJ, S. Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil. **Renewable Energy**, v. 30, n. 12, p. 1789-1800, out. 2005.

RAY, J. D. *et al.* Soybean natural cross-pollination rates under field conditions. **Environmental biosafety research**, v. 2, n. 2, p. 133-8, abr./jun. 2003.

RIANTI, P.; SURYOBROTO, B.; ATMOWIDI, T. Diversity and Effectiveness of Insect Pollinators of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **HAYATI Journal of Biosciences**, v. 17, n. 1, p. 38-42, mar. 2010.

RIZZARDO, R. A. G. **O papel de *Apis mellifera* L. como polinizador da mamoneira (*Ricinus communis* L.): avaliação da eficiência de polinização das abelhas e incremento de produtividade da cultura.** 2007. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

RODRIGUES, J. I. da S. *et al.* Mapeamento de QTL para conteúdos de proteína e óleo em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 472-480, maio 2010.

ROSA, A. de S.; BLOCHTEIN, B.; LIMA, D. K. Honey bee contribution to canola pollination in Southern Brazil. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 2, p. 255-259, abr. 2011.

ROSENBLUM, J. L. Feasibility of Biodiesel for Rural Electrification in India. **Draft**, p. 1-15, jun. 2000.

ROUSSEFF, D. **Biodiesel: o novo combustível do Brasil: Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel.** [Brasília, DF]: [Ministério de Minas e Energia], [2004]. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/Publicacoes.html>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

SABBAHI, R.; OLIVEIRA, D. de; MARCEAU, J. Influence of honey bee (Hymenoptera: Apidae) density on the production of canola (Crucifera: Brassicaceae). **Journal of economic entomology**, v. 98, n. 2, p. 367-72, abr. 2005.

SANTOS, M. A. dos; MATAI, P. H. L. dos. Aspectos técnicos e ambientais relativos ao uso de biodiesel. **INTERFACEHS - Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 3, n. 1, p. 1-18, jan./abr. 2008.

SANTOS, M. J.; MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Biologia reprodutiva de duas espécies de *Jatropha* L. (Euphorbiaceae) em caatinga, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n. 2, p. 361-373, jun. 2005.

SARTORI, M. A. *et al.* Análise de arranjos para extração de óleos vegetais e suprimento de usina de biodiesel. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 47, n. 2, jun. 2009.

SILVA, E. M. S. da. **Abelhas visitantes florais do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) em Quixeramobim e Quixeré, Estado do Ceará, e seus efeitos na qualidade da fibra e semente**. 2007. 99 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

SILVA, P. R. F. da; FREITAS, T. F. S. de. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 843-851, jun. 2008.

TABILE, R. A. *et al.* Biodiesel de mamona no diesel interior e metropolitano em trator agrícola. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 268, set. 2009.

TEIXEIRA, E. C.; FELTES, S.; SANTANA, E. R. R. de. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Química Nova**, v. 31, n. 2, p. 244-248, mar. 2008.

TÁVORA, F. L. **História e economia dos biocombustíveis no Brasil**. Brasília - DF: Senado Federal, 2011. Disponível em: <<http://www2.senado.gov.br/bdsf/item/id/198732>>. Acesso em: 19 out. 2011

UEKI, Y. *et al.* Rapid biodiesel fuel production using novel fibrous catalyst synthesized by radiation-induced graft polymerization. **International Journal of Organic Chemistry**, v. 1, n. 2, p. 20-25, jun. 2011.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Bioenergy**. [2011]. Disponível em: <<http://www.unep.org/climatechange/mitigation/Bioenergy/tabid/29345/Default.aspx>>. Acesso em: 19 out. 2011.

URBANCHUK, J. M. **Economic Analysis: Economic Impact of Removing the Biodiesel Tax Credit for 2010 And Implementation of RFS2 Targets Through 2015**. New Castle, DE, USA: Cardno ENTRIX, 2011. Disponível em: <http://www.biodiesel.org/news/pressreleases/supporting_docs/20110615_Economic_Impact.pdf>. Acesso em: 7 out. 2011.

WAIN, K. S. *et al.* Alternative and low sulfur fuel options: boundary lubrication performance and potential problems. **Tribology International**, v. 38, n. 3, p. 313-319, mar. 2005.

WU, J. *et al.* A study on structural features in early flower development of *Jatropha curcas* L . and the classification of its inflorescences. **Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 2, p. 275-284, jan. 2011.

YANG, Q. *et al.* Study on pollination biology of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae). **Journal of South China Agricultural University**, v. 28, n. 3, p. 62-66, 2007.

ZHANG, Y. *et al.* Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. **Bioresource Technology**, v. 89, n. 1, p. 1-16, ago. 2003.

CAPÍTULO II

Biologia floral de *Jatropha curcas* L., visitantes florais e comportamento forrageiro de *Apis mellifera* L. na cultura

Biologia floral de *Jatropha curcas*, visitantes florais e comportamento forrageiro de *Apis mellifera* na cultura

RESUMO

O estudo foi conduzido entre março e julho de 2009, em Alvorada do Gurgueia, Piauí. Teve como objetivo descrever a biologia floral do pinhão-mansão, visitantes florais da cultura e avaliar o comportamento forrageiro da *Apis mellifera*, em cultivo no semiárido nordestino. O pinhão-mansão apresentou flores unissexuadas distribuídas em cimeiras de caráter predominantemente protogínico e antese com maior liberação de pólen no período matinal. As inflorescências duraram, em média, 20 dias, com relação de 18,1 flores masculinas para cada feminina. A polinização realizada do primeiro ao quarto dia de antese ensejou semelhante porcentagem de frutificação (93%) e peso médio de 2,7g/fruto, sendo 61,7% de sementes e o restante de casca. Cada fruto conteve, em média, 2,6 sementes com peso de 0,66g (0,56-0,72g) cada uma. Dentre as cinco ordens de insetos observadas nas flores, *Hymenoptera*, *Diptera*, *Lepidoptera*, *Hemiptera* e *Orthoptera*, apenas as três primeiras fizeram visitas legítimas, destacando-se a abelha *Apis mellifera*, com abundância de 67,1% entre os potenciais polinizadores. O forrageamento desta abelha nas flores ocorreu durante todo o dia, iniciando por volta das 07h00min e encerrando ao final da tarde, as 18h00min, invariavelmente tocando as estruturas reprodutivas da flor. O comportamento apresentado pela abelha foi típico de coleta de néctar, com preferência por flores femininas, favorecendo a polinização.

Palavras-chave: Forrageamento de abelha africanizada. Longevidade das flores. Pinhão-mansão no Brasil. Potenciais polinizadores.

Floral biology of *Jatropha curcas* L., floral visitors and foraging behavior of *Apis mellifera* L.

ABSTRACT

The study was carried out between March and July, 2009, in Alvorada do Gurgueia, Piauí, Brazil. It aimed to describe the floral biology of *Jatropha curcas*, its floral visitors and to evaluate the foraging behavior of *Apis mellifera* in the semiarid NE Brazil. *Jatropha curcas* presented unisexual flowers distributed in inflorescences predominantly protogynous and anthesis with greater pollen release in the morning shift. Inflorescences last, in average, 20 days, in a relation of 18.1:1 male/female flower. Pollination carried out between the first and fourth day of anthesis produced similar percentage of fruit set (93%) and mean weight of 2.7g/fruit, which was comprised by 61.7% of seeds and the remaining of shelf. Each fruit bore, in average, 2.6 seeds weighing 0.66g (0.56-0.72g) each. Among the five insect Orders observed on flowers, *Hymenoptera*, *Diptera*, *Lepidoptera*, *Hemiptera* and *Orthoptera*, only the first three made legitimate visits to flowers and the bee *Apis mellifera* stood out with an abundance of 67.1% among the potential pollinators. Honey bee foraging in flowers took place throughout the day, beginning around 07h00min and finishing by 18h00min, always touching the reproductive structures of the flowers. The behavior shown by the honey bee when handling the flower was characteristic of nectar harvesting, showing preference for female flowers, favoring pollination.

Keywords: Honey bee foraging. Flower longevity. *Jatropha curcas* in Brazil. Potential pollinators.

2.1 INTRODUÇÃO

A espécie oleaginosa *Jatropha curcas* L. - *Euphorbiaceae* possui seu berço, comumente aceito, na região compreendida entre o México e América Central. Embora também existam ocorrências em áreas de vegetação nativa da América do Sul, atribui-se este fato à ação antrópica, assim como sua dispersão através de Cabo Verde, para a África e Ásia, em decorrência da colonização portuguesa (HELLER, 1996; HERRERA *et al.*, 2010).

É uma planta de porte arbustivo, monóica, com flores masculinas e femininas dispostas em inflorescências do tipo cimeira, que contém, geralmente, entre zero e 17 flores femininas e entre 49 e 238 flores masculinas por inflorescência, proporcionando uma relação variável entre 13 e 33 flores masculinas para cada feminina. Ambas apresentam coloração branco-esverdeada, com exposição dos órgãos sexuais, garantindo fácil acesso pelos visitantes. Possuem cinco pétalas e cinco sépalas, com cinco glândulas na base do disco floral. As pétalas são fundidas na base, até aproximadamente 3mm, formando com a corola um tubo raso (4,5mm), com pelos brancos que protegem o disco floral com as glândulas nectaríferas na base (KAUR; DHILLON; GILL, 2011; LUO *et al.*, 2007b, 2011; RAJU; EZRADANAM, 2002; RIANI; SURYOBROTO; ATMOWIDI, 2010; WU *et al.*, 2011).

As flores femininas possuem três carpelos com estigmas bífidos (WU *et al.*, 2011). Similares às flores masculinas em forma e tom, apresentam fragrância mais intensa e maior diâmetro da corola (8,5 vs. 7,1mm das masculinas). Sua antese é matinal e possui longevidade de até 12 dias, com maior efetividade para polinização durante os quatro primeiros (LUO *et al.*, 2007a, 2007b, 2011).

As flores masculinas são compostas por dez estames, diadelfos, dispostos em dois anéis sobrepostos com cinco estames em cada qual. As anteras são amarelas, com cerca de 2mm, posicionadas em torno de 1,5mm acima da linha das sépalas. Possui deiscência longicida, que se completa, em torno de uma hora após a antese, normalmente do início até a metade da manhã. (LUO *et al.*, 2007b; RAJU; EZRADANAM, 2002; WU *et al.*, 2011). Os grãos de pólen possuem a maior viabilidade no momento da antese, diminuindo gradativamente, até a perda total da viabilidade após 48 horas (LUO *et al.*, 2007a).

Por ser uma planta que tem fácil acesso às recompensas florais, é visitada por muitos insetos, com maior concentração de visitantes entre às 11h00min e 13h00min. Há relatos de abelhas, moscas, besouros, libélulas, formigas e borboletas como visitantes florais desta cultura (KAUR; DHILLON; GILL, 2011).

As características do pólen, como rugosidade, aderência, diâmetro e peso, tornam difícil a dispersão pelo vento. Além disso, o tamanho reduzido do estigma, o tom branco-esverdeado, a leve fragrância adocicada e a oferta de néctar pelas flores de ambos os sexos sugerem principalmente a entomofilia (LUO *et al.*, 2007b).

Seu período de maior oferta de recompensas florais, tanto pólen quanto néctar, inicia-se logo após a antese, isto é, entre o meio e final da manhã, diminuindo rapidamente em decorrência da pressão de pastejo. De efeito, mesmo as flores recebendo visitas durante todo o dia, a polinização no período matutino, realizada por insetos atraídos por néctar, é considerada a mais efetiva para a polinização (BHATTACHARYA; DATTA; DATTA, 2005; KAUR; DHILLON; GILL, 2011; PAIVA NETO *et al.*, 2010; RAJU; EZRADANAM, 2002).

Mesmo, porém, sendo uma espécie americana, que pode ocorrer em todo o território brasileiro, em sua maioria, os trabalhos, inclusive aqueles referentes à biologia floral e visitantes florais, são feitos no sudoeste da Ásia, principalmente no Paquistão, Índia, China e Indonésia (BHATTACHARYA; DATTA; DATTA, 2005; KAUR; DHILLON; GILL, 2011; LUO *et al.*, 2007b; RAJU; EZRADANAM, 2002). No Brasil, existem poucos estudos realizados sobre biologia floral e requerimentos de polinização (JUHÁSZ *et al.*, 2009; PAIVA NETO *et al.*, 2010). Esses trabalhos, no entanto, são desenvolvidos nas regiões Sudeste e Centro-Oeste e carecem de informações sobre o comportamento de forrageio de potenciais polinizadores. Embora o comportamento de forrageamento da *Apis mellifera*, no pinhão-manso, já tenha sido relatado em estudos feitos no Exterior, não foram encontrados trabalhos concisos sobre o assunto no Brasil ou no Continente Americano. De tal maneira, este capítulo se propõe estudar a biologia floral do pinhão-manso, bem como descrever os visitantes florais e avaliar o comportamento de forrageio da *Apis mellifera* na cultura, sob as condições de cultivo no Nordeste do Brasil.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Local e época

O trabalho foi conduzido em uma área de 10ha de plantio comercial de pinhão-manso já estabelecido, com cinco anos de idade, pertencente à empresa Brasil Ecodiesel Indústria e Comércio de Biocombustíveis e Óleos Vegetais S.A., no Município de Alvorada do Gurgueia, (08°32'19,0"S e 43°56'19,7"W e 220 metros de altitude), região do semiárido nordestino (bioma cerrado), Estado do Piauí, a 502km ao sul da capital, Teresina. Embora o período de florescimento tenha sido de janeiro a julho de 2009, os experimentos foram concentrados entre os meses de março e julho, sendo possível encontrar, na mesma planta, desde botões florais até a presença de frutos maduros. Foram mensurados os dados meteorológicos referentes a temperatura, umidade relativa do ar e temperatura do ponto de orvalho, com o auxílio de dois aparelhos *data logger* HOBO H8. O estudo foi dividido entre os experimentos expressos na sequência.

2.2.2 Biologia floral

Foram escolhidas, ao acaso, 40 plantas de *Jatropha curcas* e acompanhadas para a realização deste trabalho. Tanto as plantas quanto as inflorescências foram marcadas com fitas coloridas e numeradas para melhor identificação. Já os botões florais foram identificados com linhas de algodão amarradas ao pecíolo. Os parâmetros avaliados serão descritos seguidamente.

2.2.2.1 Horário e caráter da antese

Foram acompanhados 100 botões florais de cada sexo, a intervalos de duas horas, entre 03h00min e 17h00min, quanto à antese. No caso das flores estaminadas, observaram-se também o horário de liberação de pólen, com auxílio de uma lente ocular

10x, e a longevidade das flores. As anteras foram avaliadas quanto a deiscência e exposição de pólen da seguinte forma: anteras fechadas - sem liberação de pólen; anteras em deiscência - com exposição parcial do pólen; e anteras deiscentes - máxima exposição do pólen. Após a completa deiscência, as flores foram avaliadas, de forma subjetiva, quanto à presença de pólen nas anteras: muito pólen (anteras com grãos de pólen cobrindo as tecas); pouco pólen (tecas descobertas com alguns grãos de pólen dispersos); e mínimo (traços de pólen nas tecas). Foi possível elaborar, então, um gráfico da oferta de pólen pela cultura, em função do horário do dia. Além das flores, foram acompanhadas 145 inflorescências, em pré-antese, diariamente, até o primeiro dia do florescimento de cada uma delas, para avaliar a porcentagem de inflorescências com protoginia ou protandria.

2.2.2.2 Determinação do número de flores e longevidade da inflorescência

Noventa e cinco inflorescências foram marcadas em pré-antese e avaliadas diariamente, a partir da antese do primeiro botão floral, quanto ao número de flores abertas por dia, até a antese do último botão floral. As observações foram realizadas entre as 10h00min e 13h00min.

2.2.2.3 Receptividade do estigma, vingamento e frutificação

Para acessar a receptividade estigmática utilizou-se o método *in vivo*, descrito por Dafni, Kevan e Husband (2005), porém, em vez de se avaliar a germinação do pólen nos estigmas, avaliou-se o vingamento de frutos após 15 dias da polinização. Para tanto, foram marcados 329 botões florais, em 70 inflorescências protegidas por tela de náilon ($\varnothing \sim 1,0\text{mm}$) contra a visitação de insetos. Estes botões foram distribuídos entre os diferentes tratamentos, conforme experimentos descritos a seguir.

a) Diferentes horários do dia.

- No dia da antese, das 08h00min às 18h00min, a cada duas horas, resultando em cinco intervalos distintos, flores foram desensacadas, polinizadas manualmente e

novamente protegidas. Cada tratamento foi representado por um intervalo (08h01min às 10h00min; 10h01min às 12h00min; 12h01min às 14h00min; 14h01min às 16h00min e 16h01min às 18h00min) e constou de um número mínimo de 22 e máximo de 53 flores, conforme a disponibilidade nas inflorescências protegidas. Estas permaneceram ensacadas para a constatação do vingamento, aos 15 dias; e colheita dos frutos maduros, geralmente após 60 dias (coloração marrom/preta, normalmente enrugados e com algumas fissuras longitudinais, mostrando de forma parcial as sementes).

b) Diferentes dias a partir da antese.

- Semelhante ao tratamento anterior, exceto pelo momento da polinização. Neste, as flores foram polinizadas em diferentes dias desde a antese, do primeiro até o quinto dia, sempre no período matinal, entre as 10h01min e 12h00min.

A polinização utilizada para todos os tratamentos foi a manual, com mistura de pólen cruzado e da própria planta, extraído até duas horas antes da polinização, de flores masculinas também ensacadas e com antese no dia corrente.

Para avaliar os parâmetros crescimento, desenvolvimento e maturação dos frutos, foram acompanhadas 25 flores polinizadas no dia da antese, entre 10h01min e 12h00min, tomadas aleatoriamente dentre as disponíveis no tratamento “a”. Desde o momento da polinização, as flores foram mensuradas quanto ao comprimento e diâmetro médio, a intervalos de dez dias, com auxílio de um paquímetro Eccofer (resolução de 0,05mm), até o momento da colheita.

Os frutos foram colhidos de acordo com o tratamento, secos ao sol por pelo menos três dias, ou até que a casca estivesse completamente enrijecida. Após secagem, foram mantidos à sombra até atingir temperatura ambiente e acondicionados em recipiente fechado para transporte até o Laboratório de Abelhas, pertencente ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza, CE. No Laboratório foram obtidos o peso do fruto e o peso de sementes por fruto, com auxílio de balança eletrônica de precisão, marca/modelo Marte AL500C, 0,001g, e número de sementes por fruto mediante contagem manual.

2.2.3 Visitantes florais e comportamento de forrageamento

Entre os meses de abril e julho, a intervalos médios de nove dias, foram realizadas contagens instantâneas do número de insetos em 150 flores verificadas em sequência, durante caminhada em uma entre linha da cultura, escolhida ao acaso e distante pelo menos 20m da bordadura, totalizando 12 dias de avaliação. As contagens foram feitas entre as 07h00min e 17h00min, a cada duas horas. Observou-se o comportamento de forrageamento dos insetos nas flores de pinhão-manso, quanto à frequência de visitação e preferência por flores femininas ou masculinas e recursos florais. Entre as contagens, os insetos foram coletados com auxílio de rede entomológica e acondicionados em recipientes individuais numerados. Posteriormente, foram montados em alfinetes entomológicos, seguindo a numeração da coleta e submetidos a identificação pelos taxonomistas Dra. Favízia Freitas de Oliveira e M.Sc. Thiago Mahlmann Vitoriano Lopes Muniz, da Universidade Federal da Bahia, e Dr. Fernando Cesar Vieira Zanella, da Universidade Federal de Campina Grande.

2.2.4 Análise dos dados

Todas as variáveis analisadas foram submetidas a testes de normalidade. Aquelas que apresentaram distribuição normal foram submetidas a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Nos dados sobre visitação e coleta de recompensas por abelhas melíferas foi aplicada análise de regressão. Os resultados foram apresentados com o erro-padrão da média.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Biologia floral

O pinhão-manso apresentou, em sua maioria, flores unissexuadas agrupadas em inflorescências do tipo cimeiras. Foi verificado, dentre as 95 cimeiras acompanhadas integralmente, a presença de 10.177 flores masculinas (94,51%), 562 flores femininas (5,22%) e 29 flores hermafroditas (0,27%), totalizando 10.768 flores. Em decorrência da reduzida participação de flores hermafroditas, estas não foram avaliadas neste experimento.

As flores de ambos os sexos exibiram simetria radial, com cinco sépalas e cinco pétalas de coloração verde-clara, formando um pequeno tubo, protegido por pelos, que leva a cinco glândulas nectaríferas na base do disco floral. As pétalas, com o passar das horas após a abertura da flor, diminuíram gradativamente a tonalidade para branco-esverdeado. Estas observações estão de acordo com informações presentes na literatura (LUO *et al.*, 2007b; RAJU; EZRADANAM, 2002; WU *et al.*, 2011).

As flores femininas mostraram pedúnculo mais espesso e diâmetro da corola visualmente maior do que as masculinas, três carpelos, ovário súpero e estigmas bífidados, destacando-se do restante da flor pela coloração verde mais intensa. Já as flores masculinas eram compostas por dez estames diadelfos, divididos em dois círculos sobrepostos na região central da flor. As anteras amarelas, com deiscência longicida voltada para as pétalas, estavam situadas no centro da flor, logo acima dos verticilos protetores. A posição das anteras foi equivalente à ocupada pelos estigmas nas flores femininas. Em acordo com estes resultados, Luo *et al.* (2007b), na China, também verificaram características semelhantes às descritas há pouco, bem como relataram a posição dos estames a 1,5mm acima das sépalas.

2.3.1.1 Horário e padrão da antese

Levando em conta o primeiro dia de antese de cada inflorescência de pinhão-manso, ocorreu maior participação de flores femininas. Dentre as 145 cimeiras observadas, 83 (57,2%) demonstraram protoginia; outras 30 (20,7%) apresentaram protandria e 32 (22,1%) iniciaram a antese com flores masculina(s) e feminina(s).

A antese das flores ocorreu no período matinal (Figura 1A) e início da tarde, sendo que, às 13h00min todas as flores, de ambos os sexos, já se encontravam abertas.

Conforme a Figura 2, as flores masculinas iniciaram seu processo de antese durante a madrugada e terminaram as 07h00min, com todas abertas. A deiscência total das anteras ocorreu, em média, duas horas após o início da antese, apresentando o pico, por volta das 09h00min (Figura 1B,C). A partir deste horário, a oferta de pólen começou a diminuir em consequência da pressão de forrageamento. Durante o dia, além das pétalas, as sépalas também mudaram a aparência (Figura 1D), externando coloração desbotada, menos intensa. As anteras, da mesma forma, começaram a alterar de tom, do amarelo para o marrom (Figura 1E) e após as 11h00min já era possível visualizar anteras na tonalidade marrom. Das 13h00min em diante, algumas flores masculinas já começavam a cair, entretanto, a maioria (82%) caía durante a primeira noite e dia seguinte.

Considerando que a flor estaminada cumpre seu papel reprodutivo quando tem o pólen removido, provavelmente a presença deste nas anteras esteja relacionada à longevidade da flor, e promova algum estímulo a sua manutenção. Por outro lado, essa diferença na longevidade pode estar associada ao número de visitas recebidas e a lesões provocadas pelos visitantes. Consoante Mommaerts, Put e Smaghe (2011) e Palma *et al.* (2008), em culturas como o morango (*Fragaria vesca* L. var. ostara) e pimenta Habanero (*Capsicum chinense*), um elevado número de visitas pode danificar as flores, em função da força que os insetos fazem para se agarrarem nas pétalas ou acessarem as recompensas. Isso poderia explicar a reduzida longevidade das flores masculinas não ensacadas, ou seja, abertas aos visitantes florais. Flores femininas submetidas às mesmas condições, no entanto, não apresentaram redução na longevidade.



Figura 1 – Antese e oferta de pólen pelas flores masculinas de pinhão-mansinho em diferentes horários do dia: A) 06h30min – flores em antese, com a maioria das tecas ainda fechadas; B) 09h00min – flores com as tecas abertas e máxima oferta de pólen; C) 10h00min – gradual diminuição na quantidade de pólen em função da pressão de forrageio por insetos; D) 14h00min – anteras praticamente vazias, em processo de senescência; E) 08h00min do dia seguinte – flor em senescência. Alvorada do Gurgueia, PI. 2009.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na China, Luo *et al.* (2007a) verificaram que as flores masculinas apresentam vida útil de dois dias, coincidindo com a viabilidade polínica: alta durante as primeiras nove horas após antese, baixa após 33h e nula após 48h. Não fazem inferências, entretanto sobre a visitação por insetos nessas flores.

Outras flores permaneciam murchas ou até secas na planta por mais de três dias - provavelmente como unidades de atração aos visitantes, uma vez que as anteras se encontram secas e apenas com resíduo de pólen. Essa permanência de flores por vários dias na inflorescência servindo, possivelmente, para atrair visitantes, também foi verificada na cultura do caju (*Anacardium occidentale*), por Freitas (1995).

As flores femininas registraram uma diferença de aproximadamente duas horas de atraso na antese em relação às masculinas, ocorrendo durante toda a manhã e início da tarde, entre as 05h00min e 13h00min. Isso faz com que a abertura das flores femininas coincida com a deiscência das anteras nas flores masculinas, sendo este o momento de maior oferta de pólen na cultura. Ao meio da manhã, 09h00min, pico da disponibilidade de pólen, 90% das flores femininas já se encontravam abertas (Figura 2).

A observação de que na maioria das inflorescências observadas foram as flores femininas as primeiras que abriram no primeiro dia de florescimento da cimeira, diverge dos dados publicados por diversos autores em países asiáticos, que relatam ocorrer maior quantidade de inflorescências cujas primeiras flores a abrir são masculinas (KAUR; DHILLON; GILL, 2011; LUO *et al.*, 2007b; RAJU; EZRADANAM, 2002; RIANI; SURYOBROTO; ATMOWIDI, 2010). Parece consenso, entretanto, a ideia de que a antese das flores, incluindo liberação de pólen, ocorre cedo da manhã, podendo variar na dependência da região ou país. Até as 09h00min, as flores já se encontram com acúmulo de néctar e as anteras expondo o pólen. O período de maior oferta de recursos florais ocorre entre o meio da manhã e início da tarde, quando a maioria das flores está aberta e as últimas flores femininas a serem abertas naquele dia estão iniciando a antese.

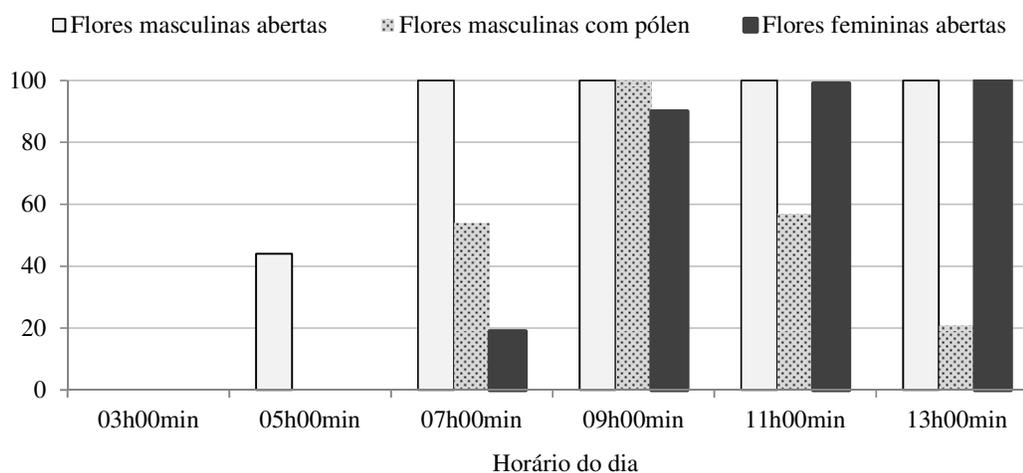


Figura 2 – Antese das flores masculinas e femininas, e disponibilidade de pólen nas flores masculinas, em plantio comercial de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Alvorada do Gurgueia, PI. 2009.
Fonte: Elaboração própria com base nos indicadores do experimento.

2.3.1.2 Determinação do número de flores e longevidade da inflorescência

O número de flores masculinas por inflorescência variou de zero a 277, com média de $107,13 \pm 5,8$. A variação para as flores femininas foi menor, entre zero e 21, com média de $5,92 \pm 0,4$. Estes dados revelam uma relação de 18,1 flores masculinas para cada flor feminina. Vale ressaltar que, neste experimento, dentre as 95

inflorescências acompanhadas, duas apresentaram, exclusivamente, flores masculinas, outras duas exibiram flores hermafroditas e uma somente flores femininas. Mesmo raras, flores hermafroditas já haviam sido relatadas como presentes na cultura do pinhão-manso (HELLER, 1996).

A relação entre flores masculinas e femininas tem variado desde 13:1 (KAUR; DHILLON; GILL, 2011), 19:1 (JUHÁSZ *et al.*, 2009), 25:1 (LUO *et al.* 2007b; WU *et al.*, 2011), 29:1 (RAJU; EZRADANAM, 2002), até 33:1 (RIANTI; SURYOBROTO; ATMOWIDI, 2010). Além desta relação, o número de flores por inflorescência também demarca uma grande oscilação. No Brasil, por exemplo, Juhász *et al.* (2009) encontraram variações de 94 a 234; e de 4 a 12 flores masculinas e femininas, respectivamente, por inflorescência. Na China, Wu *et al.* (2011) relatam a presença de inflorescências exclusivamente masculinas, como também apontam que a participação média de flores femininas, em algumas inflorescências, pode chegar a 99,9%. Também na China, Luo *et al.* (2007b) encontraram variações entre zero e 17 flores femininas e entre 49 e 238 flores masculinas por inflorescência. Estes dados mostram que existe grande variação na quantidade e distribuição das flores entre as inflorescências e esta característica pode ser vinculada à variabilidade genética da planta, como também a condições climáticas, conforme relatado por Wu *et al.* (2011). Provavelmente, a idade da planta, posição da inflorescência, número de inflorescências por planta, estágio do florescimento e adubação possam também influenciar o número de flores por inflorescência.

Considerando a cimeira, a antese das flores femininas ocorre de forma concentrada nos primeiros dias (Figura 3), apresentando 94,6% do total de flores femininas abertas até o sétimo dia (terço inicial). Para as flores masculinas, a antese ocorre durante todos os dias da inflorescência, mantendo um padrão crescente até o nono dia (13,1 flores), quando então decresce até o vigésimo dia, com o término dos botões florais (Figura 3).

Este comportamento protogínico com alta concentração de flores femininas no início do florescimento, e o pico das flores masculinas após o seu término, demonstra a possibilidade de a planta favorecer a polinização cruzada. Constatação semelhante a esta foi feita por Juhász *et al.* (2009) no Brasil, Luo *et al.* (2007b) na China e Raju e Ezradanam (2002) na Índia, que, mesmo tendo reportado protandria, apontam menor

concentração de flores masculinas nos primeiros dias de antese da inflorescência. Isto permite inferir que as flores femininas apresentam, pelo menos nos primeiros dias da inflorescência, maior probabilidade de receber pólen exógeno.

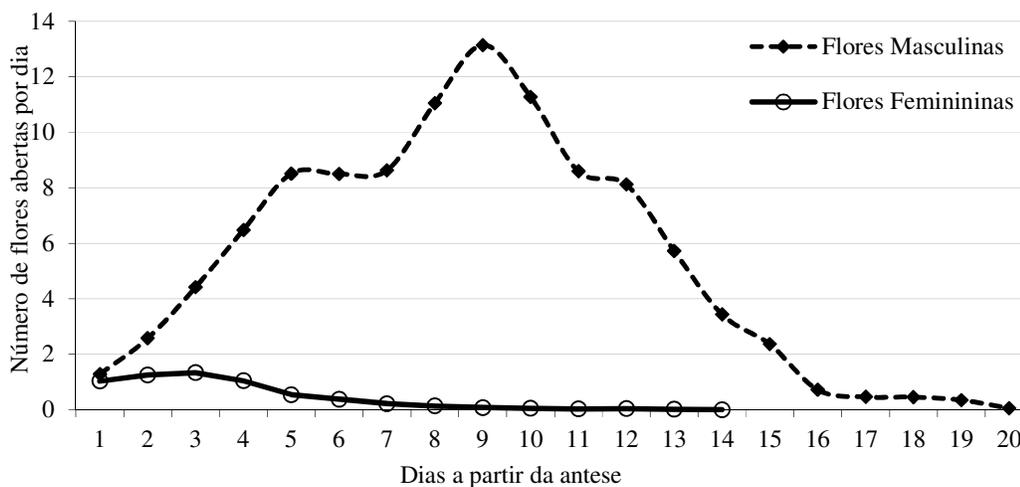


Figura 3 - Sequência da oferta de flores de *Jatropha curcas* L., levando em consideração o número diário de flores abertas na inflorescência, desde a antese do primeiro até o último botão floral. Alvorada do Gurgueia, PI. 2009.

Fonte: Elaboração própria com base nos indicadores do experimento.

2.3.1.3 Receptividade do estigma, vingamento e frutificação

O estigma mostrou-se receptivo durante todo o dia (Tabela 1), sem diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os horários avaliados. É importante ressaltar, porém, que, durante a tarde, a disposição de pólen pela cultura reduz drasticamente (Figura 2), dificultando a polinização natural.

A não existência de diferenças significativas ($P > 0,05$) no vingamento de frutos nas flores polinizadas manualmente, ao longo do dia, sugere que o pólen do pinhão-mansinho mantém sua viabilidade no mínimo por nove horas. Haja vista que a partir das 09h00min não há mais liberação de pólen por parte das anteras, aquele pólen utilizado as 18h00min (nove horas após) produziu resultados semelhantes ao dos demais tratamentos (Tabela 1). Essas observações corroboram os achados de Luo *et al.* (2007a), que relatam elevada viabilidade polínica durante as nove primeiras horas.

Tabela 1 – Valores para vingamento e colheita de frutos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), a partir de flores polinizadas manualmente, em diferentes horários do dia. Alvorada do Gurgueia, PI. 2009.

Tratamentos	Flores	Vingamento		Colheita	
		Frutos	(%)	Frutos	(%)
08h01min às 10h00min	22	22	100	22	100
10h01min às 12h00min	53	51	96,23	50	94,34
12h01min às 14h00min	38	38	100	37	97,37
14h01min às 16h00min	24	23	95,83	23	95,83
16h01min às 18h00min	34	32	94,12	32	94,12

Fonte: Pesquisa direta do próprio autor.

Ao avaliar a receptividade estigmática ao longo de vários dias, houve diferenças significativas ($p < 0,05$) para o percentual de vingamento e colheita de frutos (Tabela 2). Flores com um, dois, três e quatro dias não diferiram entre si no vingamento e produção final de frutos, mas as flores de um, dois e três dias diferiram significativamente ($p < 0,05$) das de cinco dias em relação à porcentagem de frutos colhidos. Flores de quatro e cinco dias não diferiram ($p > 0,05$) entre si. Apesar da diferença em receptividade observada entre as flores mais jovens e as flores de cinco dias, aproximadamente 64% dessas flores produziram frutos, mostrando que a flor do pinhão-manso permanece receptiva por, pelo menos, cinco dias; no entanto, foram alcançados os melhores índices de polinização somente até o quarto dia após a abertura da flor.

A manutenção das flores femininas receptivas por vários dias também foi relatada por outros autores para o pinhão-manso (LUO *et al.* 2007a; RAJU; EZRADANAM, 2002). De forma semelhante, em outra *Euphorbiaceae* utilizada para a produção de biodiesel na região Nordeste do Brasil, a mamona, Rizzardo (2007) verificou que as flores permaneceram, pelo menos três dias, com o estigma receptivo sem comprometer o vingamento dos frutos.

Outro aspecto importante em relação à extensa receptividade das flores femininas no pinhão-manso é que a abertura dessas flores se concentra nos primeiros sete dias de florescimento da cimeira, favorecendo a xenogamia. Como, porém, a flor permanece passível de fecundação, no mínimo, por cinco dias, a inflorescência apresenta então flores femininas receptivas até cerca de 12 dias do início do

florescimento. Esse período se sobrepõe à época de maior abertura de flores masculinas e oferta de pólen pela própria inflorescência (oitavo ao décimo dia), propiciando a geitonogamia. Desta forma, a prolongada receptividade destas flores pode propiciar um maior sucesso reprodutivo, tanto quantitativo, assegurando maior produção de frutos independentemente do sistema de cruzamento, quanto qualitativo, favorecendo uma competitividade polínica e produção de sementes superiores.

Tabela 2 – Valores para vingamento e colheita de frutos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), a partir de flores polinizadas manualmente, em diferentes dias desde a antese. Alvorada do Gurgueia, PI. 2009.

Tratamentos	Flores	Vingamento		Colheita	
		Frutos	(%)	Frutos	(%)
Primeiro dia	88	86	97,73a	84	95,45a
Segundo dia	31	30	96,77a	30	96,77a
Terceiro dia	21	20	95,24ab	20	95,24a
Quarto dia	7	6	85,71ab	6	85,71 ab
Quinto dia	11	8	72,73b	7	63,64b

Valores seguidos por letras diferentes diferem significativamente entre si, (p<0,05).

Fonte: Pesquisa direta do próprio autor.

Após ser polinizada, a flor passa por um período de aproximadamente oito dias sem alterar suas dimensões. Então, gradativamente, inicia o crescimento do fruto, prolongando-se até o quadragésimo dia. Deste, até o quinquagésimo dia, o fruto inicia a fase de maturação, quando começa a mudar de tom, do verde ao amarelo e, posteriormente, do amarelo ao castanho (marrom/preto), chegando ao ponto de colheita aos 60 dias, em média (Figura 4). Na Índia, Raju e Ezradanam (2002) também descrevem desenvolvimento com maturação em dois meses, porém apontam desenvolvimento concentrado entre a terceira e quinta semanas, ou seja, entre 15 e 41 dias. Neste ensaio não foi verificado crescimento concentrado, mas sim gradativo, entre o décimo e o quadragésimo dia.

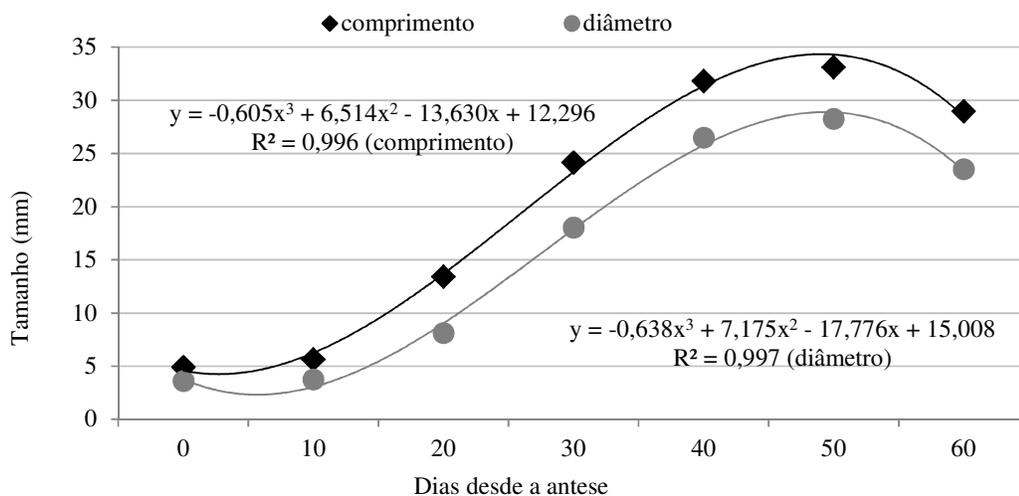


Figura 4 - Desenvolvimento do fruto de *Jatropha curcas* L., por intermédio de medidas de comprimento e diâmetro, desde a polinização até o momento da colheita. Alvorada do Gurgueia, PI. 2009. Fonte: Pesquisa direta do próprio autor.

Os dados referentes aos frutos de pinhão-manso produzidos com a polinização, em diferentes dias após antese, estão apresentados na Tabela 3. Não houve diferenças significativas entre as variáveis estudadas: peso médio dos frutos, número médio de sementes por fruto, peso total de sementes e porcentagem de sementes no fruto. Como não houve diferenças significativas entre os dados obtidos na Tabela 1 e o tratamento “Primeiro dia” da Tabela 2, estes serão discutidos como tratamento “Primeiro dia” na Tabela 3.

O peso médio do fruto foi de 2,68g, sendo 61,67% de sementes e o restante de casca (Tabela 3). Cada fruto continha, em média, 2,57 sementes e, cada semente pesou, em média, 0,66g (0,56-0,72g). Estes resultados são muito próximos aos 2,7 e 0,67g encontrados em Minas Gerais, por Juhász *et al.* (2009), para número de sementes por fruto e peso médio de semente, respectivamente. Em dados coletados nas Américas do Norte e Central, África e Ásia, Makkar *et al.* (1997) encontraram peso de sementes variando entre 0,49g em Cabo Verde a 0,86g na Nicarágua, com média de 0,64g por semente, semelhante à média encontrada neste trabalho.

Tabela 3 - Número e peso médio de frutos e sementes por fruto de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), produzidos por flores polinizadas manualmente, em diferentes dias a partir da antese. Alvorada do Gurgueia – PI, 2009.

Tratamentos	Frutos		Sementes por Fruto	
	Peso médio (g)	Número médio	Peso total (g)	(%)
Primeiro dia	2,73 ± 0,08	2,43 ± 0,08	1,74 ± 0,06	62,13 ± 0,96
Segundo dia	2,74 ± 0,12	2,53 ± 0,16	1,69 ± 0,12	58,69 ± 3,27
Terceiro dia	2,69 ± 0,13	2,50 ± 0,17	1,69 ± 0,13	61,07 ± 3,34
Quarto dia	2,77 ± 0,17	2,67 ± 0,21	1,81 ± 0,13	65,35 ± 0,85
Quinto dia	2,45 ± 0,18	2,71 ± 0,18	1,51 ± 0,15	61,09 ± 2,78
Média	2,68	2,57	1,69	61,67

Fonte: Pesquisa direta do próprio autor.

2.3.2 Visitantes florais e comportamento de forrageamento

Muitos insetos foram observados visitando as flores do pinhão-manso. No total foram 988 indivíduos de cinco ordens: *Hymenoptera* (50,91%), *Diptera* (4,25%), *Lepidoptera* (2,43%), *Hemiptera* (39,88%) e *Orthoptera* (2,53%), conforme Tabela 4.

A ordem *Orthoptera*, neste experimento, mostrou indivíduos que visitaram as flores apenas para se alimentarem dos verticilos florais (cálice, corola, androceu e/ou gineceu), devorando, muitas vezes, a flor por completo.

Os insetos da ordem *Hemiptera* visitaram as flores provavelmente em busca de algum tecido vegetal menos resistente à penetração dos estiletos para coleta de seiva. Como são considerados insetos fitófagos, sua visitação às flores, embora não tenha sido avaliada diretamente neste experimento, pode acarretar maiores danos do que benefícios à fertilização, conforme relatado por Garlet, Roman e Costa (2010). Aqueles do gênero *Hypselonotus* apresentaram elevada frequência relativa (36,84%) provavelmente porque não houve intervenção humana para controle de pragas: conforme as observações, estes despendiam mais de 20 minutos em cada flor, imóveis, apoiados nas pétalas, com o aparelho bucal sugador inserido em direção aos nectários, no tubo formado pelas pétalas e sépalas, eventualmente tocando as estruturas reprodutivas. É atribuído, porém, a estes

insetos, bem como aos do gênero *Pachycoris*, elevado número de abortamentos e produção de frutos de pinhão-manso com sementes ocas e deformadas (GRIMM, 1999).

Já os insetos das ordens *Hymenoptera*, *Diptera* e *Lepidoptera* visitaram as flores de forma legítima, em busca de néctar, apresentando comportamento potencial polinizador. Os representantes das duas primeiras ordens, geralmente, tocavam as estruturas reprodutivas da planta com a cabeça, tórax e região ventral do abdome. Aqueles da ordem *Lepidoptera* não tocavam as estruturas reprodutivas das flores com outra parte do corpo a não ser com a espirotromba. Mesmo assim, eles também podem ser considerados potenciais polinizadores, pelo reduzido número de óvulos e grãos de pólen suficientes para a geração do fruto do pinhão-manso. Estes resultados estão de acordo com a literatura, que aponta insetos destas três ordens como potenciais polinizadores do pinhão-manso (LUO *et al.*, 2011; RAJU; EZRADANAM, 2002; RIANI; SURYOBROTO; ATMOWIDI, 2010; YANG *et al.*, 2007).

Dentre os visitantes florais e potenciais polinizadores observados (*Hymenoptera*, *Diptera* e *Lepidoptera*) aqueles da ordem *Hymenoptera* foram os mais abundantes (50,91%), com principal destaque para a abelha *Apis mellifera*, responsável por 38,66% de todas as visitas recebidas pela cultura (Tabela 4). Este foi o único inseto a visitar a planta em busca exclusiva de pólen, entretanto, foram verificadas apenas sete abelhas, com comportamento para coleta de pólen, dentre as 382 observações de *A. mellifera*. As demais 375 visitas realizadas pela abelha foram para coleta de néctar.

Embora a abelha melífera tenha efetuado poucas visitas com o comportamento para coleta de pólen, a visita por néctar pode ser mais vantajosa para a planta, levando em consideração o fato de que há presença de néctar tanto nas flores masculinas quanto nas femininas e ambas são visitadas concomitantemente. Em outras culturas, a exemplo do caju, totalmente adaptada ao semiárido, e do girassol, oleaginosa utilizada para a produção de óleo comestível e também biodiesel, ocorre semelhante comportamento, cuja visitação da abelha melífera por néctar é a mais eficiente para a polinização (FREITAS; PAXTON, 1998; PAIVA; TERADA; TOLEDO, 2002).

No mesmo sentido, além do maior número de indivíduos na cultura, a *Apis mellifera* foi o inseto mais frequente durante todo o período compreendido entre o início da manhã e meio da tarde (07h00min e 15h00min), registrando mais de 60% das visitas (Tabela 5). Também se pode observar que a maior frequência relativa desta abelha

(79,3%) coincide com o pico de liberação de pólen e número de flores femininas receptivas pela cultura, às 09h00min (Figura 2), destacando sua importância como potencial polinizador, tanto pela abundância quanto pela frequência no horário de maior eficiência de polinização para a cultura, em relação aos demais visitantes florais descritos neste relatório de pesquisa.

Tabela 4 - Insetos visitantes florais, abundância, frequência relativa e recompensas coletadas (N – néctar; P – pólen; S – seiva; F - flor) em flores de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) no Município de Alvorada do Gurgueia, PI, entre os meses de abril e julho de 2009.

Ordem/Família	Gênero/espécie	Nº. Indivíduos	%	Coleta
Hymenoptera		503	50,91	N + P
<i>Apidae</i>	<i>Apis mellifera</i>	382	38,66	N + P
<i>Apidae</i>	<i>Trigona spinipes</i>	2	0,20	N
<i>Pompilidae</i>	<i>Pepsis decorata</i>	3	0,30	N
<i>Chrysididae</i>		5	0,51	N
<i>Halictidae</i>		3	0,30	N
<i>Vespidae</i>		64	6,48	N
<i>Formicidae</i>		44	4,45	N
Diptera		42	4,25	N
	<i>Musca domestica</i>	21	2,13	N
	<i>Ornidia</i> sp.	1	0,10	N
<i>Chyromiidae</i>		5	0,51	N
<i>Sarcophagidae</i>		15	1,52	N
Lepidoptera		24	2,43	N
Hemiptera		394	39,88	S
	<i>Hypselonotus</i> sp.	364	36,84	S
	<i>Pachycoris</i> sp.	30	3,04	S
Orthoptera		25	2,53	F
<i>Tettigonidae</i>		18	1,82	F
<i>Gryllidae</i>		7	0,71	F
TOTAL		988	100,0	

Fonte: Pesquisa direta do próprio autor.

O forrageamento de *A. mellifera* nas flores de pinhão-manso ocorreu durante todo o dia. Teve início por volta das 07h00min e se estendeu ao longo do dia, até por volta das 17h00min, com maior pico entre 11h00min e 15h00min (Figura 5).

Abelhas do gênero *Apis* normalmente visitam as flores do pinhão-manso durante todo o dia, tanto no período da manhã quanto à tarde. Kaur, Dhillon e Gill (2011), na Índia, encontraram *Apis dorsata* e *Apis florea* com principal pico de visitação compreendido entre 11h00min e 13h00min. Yang *et al.* (2007), na Indonésia, encontraram *Apis mellifera* e *Apis cerana* em dois principais picos de visitação, entre 10h00min e 12h00min e entre 16h00min e 17h00min. Rianti, Suryobroto e Atmowidi (2010), na China, observaram *Apis cerana* e *Apis dorsata* entre 08h00min e 09h00min, e entre 15h00min e 17h00min.

Tabela 5 – Frequência absoluta e relativa, em função do horário, de insetos visitantes florais e potenciais polinizadores do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), observados no Município de Alvorada do Gurgueia, PI, entre os meses de abril e julho de 2009.

Táxon	07h00min		09h00min		11h00min		13h00min		15h00min		17h00min	
	n.	%	n.	%								
<i>Apis mellifera</i>	24	63,2	65	79,3	80	66,7	94	71,2	98	71,0	21	35,6
Outros <i>Hymenoptera</i>	10	26,3	4	4,9	31	25,8	28	21,2	26	18,8	22	37,3
<i>Diptera</i>	3	7,9	7	8,5	5	4,2	7	5,3	8	5,8	12	20,3
<i>Lepidoptera</i>	1	2,6	6	7,3	4	3,3	3	2,3	6	4,3	4	6,8
TOTAL	38		82		120		132		138		59	

Fonte: Pesquisa direta do próprio autor.

A equa o $y = -0,233x^3 + 1,503x^2 - 0,549x + 1,556$; ($R^2 = 0,942$) descreve o padrão de forrageamento apresentado pela *Apis mellifera* no pinhão-manso; sendo $x=1$ para 07h00min e $x=6$ para 17h00min.

A quantidade de abelhas visitando a cultura manteve-se elevada até o meio da tarde, independentemente da diminui o da oferta de pólen observada nas flores (Figuras 1 e 2), deixando evidente, mais uma vez, o fato de que a visitação decorre da oferta de néctar e não de pólen. Este fato pode ser explicado pelo comportamento das abelhas no pinhão-manso, forrageando basicamente por néctar, tanto nas flores masculinas quanto nas femininas (Figuras 6A-D e 7B).

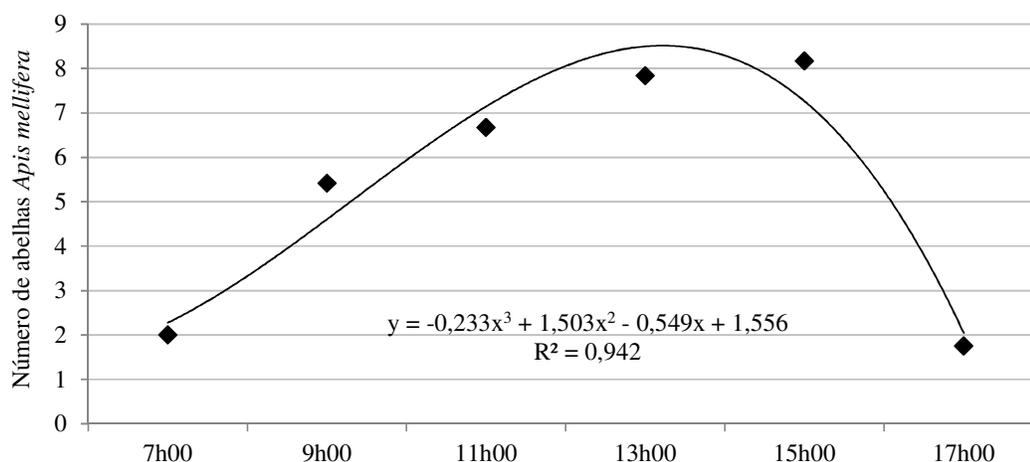


Figura 5 - Padrão de forrageamento (contagem instantânea do número de abelhas em 150 flores viáveis) de *Apis mellifera* em área de cultivo de pinhão-manso em função do horário do dia, entre os meses de abril e julho de 2009. Alvorada do Gurgueia – PI.
Fonte: Pesquisa direta do próprio autor.

Como o pólen é pesado, pegajoso e de dispersão difícil pelo ar (LUO *et al.*, 2007b), ele se mantém nas anteras até algum contato físico. Ao acessar o néctar das flores masculinas, a abelha toca, geralmente com a cabeça e porção ventral do tórax e abdome, as anteras que se localizam no centro da flor (Figura 6A). Dessa forma, as abelhas recebem grande quantidade de pólen, durante a manhã, em cada visita às flores masculinas, que são a maioria na cultura, sendo possível observar abelhas com pólen em suas corbículas (Figura 6A). Esse comportamento também é bastante sugestivo de que a abelha melífera possa ser um bom polinizador do pinhão-manso. Isso porque as abelhas, ao acessarem os nectários das flores femininas, depositam pólen nos estigmas (Figura 7A,B,C). Na Índia, em abelhas do mesmo gênero - *Apis florea* e *Apis indica* - Raju e Ezradanam (2002) também observaram visitaçã durante todo o dia, porém, por pólen e néctar, além da maior preferência relativa das abelhas pelas flores masculinas.

Durante o dia, tendo como base a contagem instantânea de 150 flores, a cultura apresentou 17,6 flores femininas e 132,4 flores masculinas. A procura por flores de ambos os sexos manteve uma relação instantânea média de $0,033 \pm 0,008$ abelhas por flor masculina e $0,068 \pm 0,016$ abelhas por flor feminina. É possível, mediante estes resultados, sugerir que, mesmo em quantidade bem menor, as flores femininas foram visitadas o dobro de vezes do que as masculinas, discordando dos dados observados por Raju e Ezradanam (2002). A preferência das abelhas por flores femininas neste

experimento, no entanto, pode ser justificada pela sua maior produção de néctar, conforme relatado por Kaur, Dhillon e Gill (2011) e Rianti, Suryobroto e Atmowidi (2010).

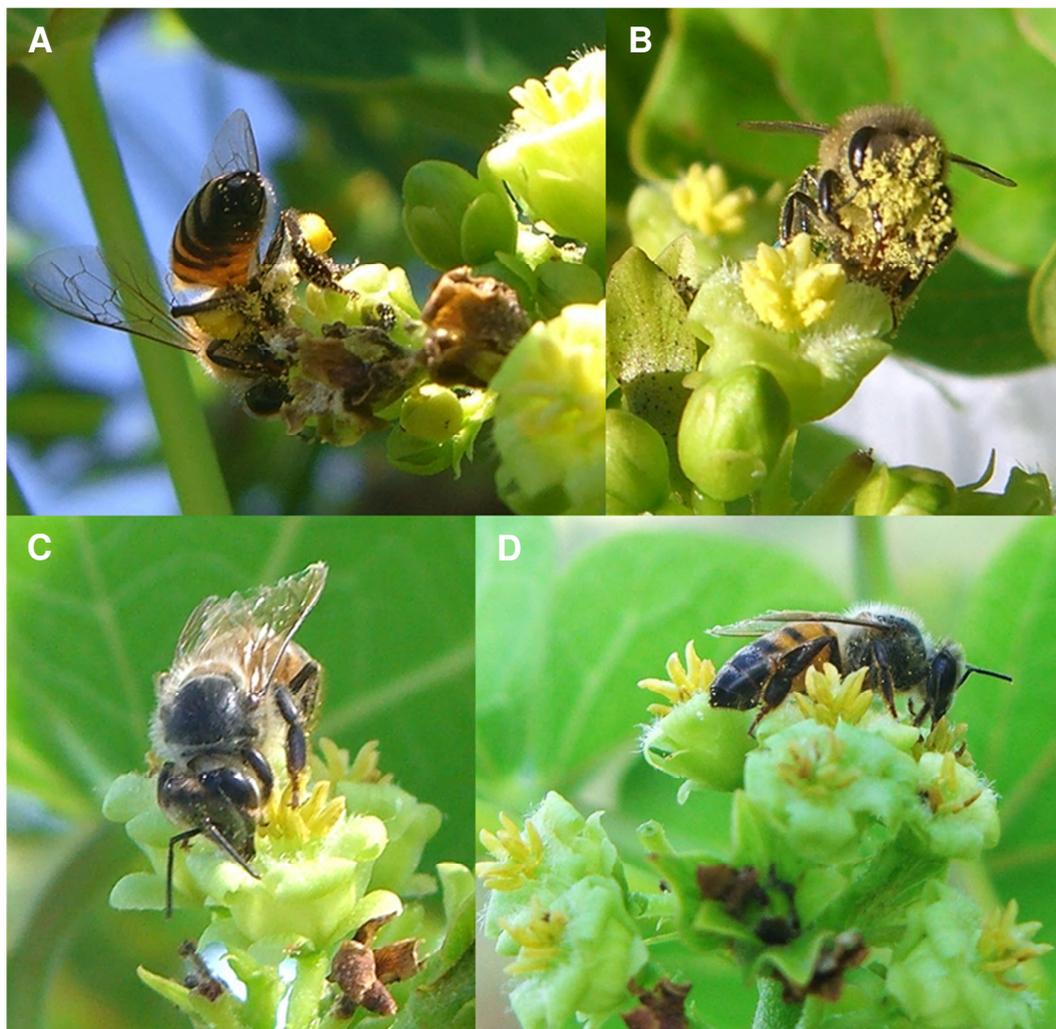


Figura 6 - Visitação de *Apis mellifera* às flores masculinas de pinhão-mansão, em diferentes turnos do dia: A) manhã- visão lateral posterior da abelha com abundância de pólen nas pernas, e porção ventral do tórax; B) manhã – visão frontal da abelha com a cabeça, aparelho bucal e pernas anteriores cobertas por pólen; C) tarde – visão frontal da abelha com ausência de pólen em praticamente todo o seu corpo; D) tarde – visão lateral da abelha com poucos grãos de pólen. Note-se a diferença entre a oferta de pólen pelas anteras, por meio da quantidade aderida ao corpo de abelhas campeiras, com comportamento de coleta de néctar, nos períodos da manhã (A e B) e da tarde (C e D). Alvorada do Gurgueia, PI. 2009. Fonte: Elaborada pelo autor.

Embora algumas flores já estivessem abertas antes das 07h00min, não houve visitação por parte das abelhas. De acordo com a Figura 2, já havia flores masculinas e

femininas abertas neste horário, porém, se apresentavam úmidas, em razão da presença de orvalho registrado na cultura. Este fato impossibilitava a coleta de recompensas florais.

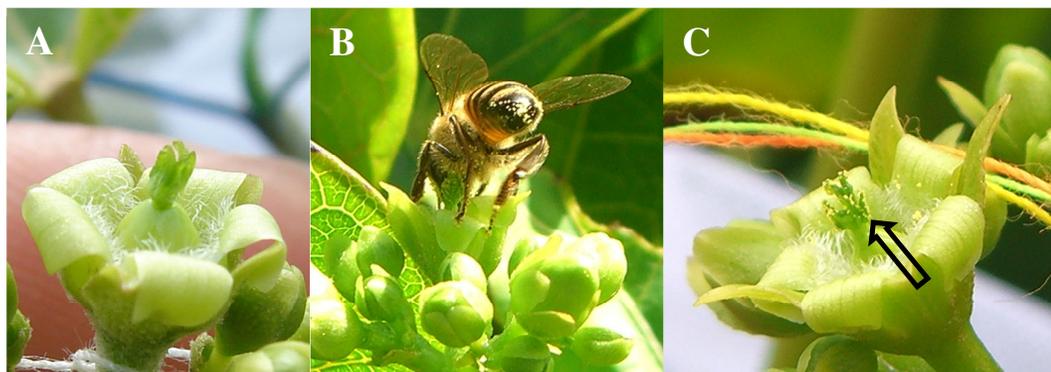


Figura 7- A) Flor feminina de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) antes de receber visitas de insetos, sem grãos de pólen nos estigmas. B) Coleta de néctar por *Apis mellifera* L. em flor feminina de pinhão-mansão. Note que a abelha toca com a região ventral do abdome no estigma da flor. C) Detalhe da deposição de pólen (pontos amarelos destacados pela seta) nos estigmas após uma visita de *Apis mellifera* L. Alvorada do Gurgueia, PI. 2009.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Mediante os dados da Figura 8, é possível verificar a elevada umidade relativa do ar e formação de orvalho durante a noite e início da manhã. Com a elevação da temperatura ao longo do dia, promovendo redução da umidade e permitindo a antese total, disponibilizando os recursos florais, foi estimulado o aumento na frequência de visitação pelas abelhas e demais insetos, conforme pode ser verificado na Tabela 5. Como a maioria dos insetos visitou as flores por néctar, a maior abundância de visitantes concentrada no horário mais quente do dia, provavelmente, decorre de um possível aumento no teor de açúcares do néctar, reflexo da maior desidratação sofrida no período do dia em que a temperatura do ar é maior e a umidade relativa é menor.

As máximas temperaturas registradas variaram entre 40,9°C – 1/abril e 30,4°C – 13/maio, com média de 35,6°C; as temperaturas mínimas variaram entre 23,1°C – 13/maio e 15,6°C – 3/julho, com média de 19,9°C. Para a umidade relativa do ar, as máximas variaram entre 99,7% - 9/abril e 87,1 – 13/junho, com média de 95,2% e os menores valores registrados foram entre 63,6% - 27/abril e 24,7% - 3/julho, com média de 40,1%. Estes valores estão dentro dos padrões de forrageamento para *Apis mellifera* (FREE, 1993; VAISSIÈRE; FREITAS; GEMMILL-HERREN, 2011).

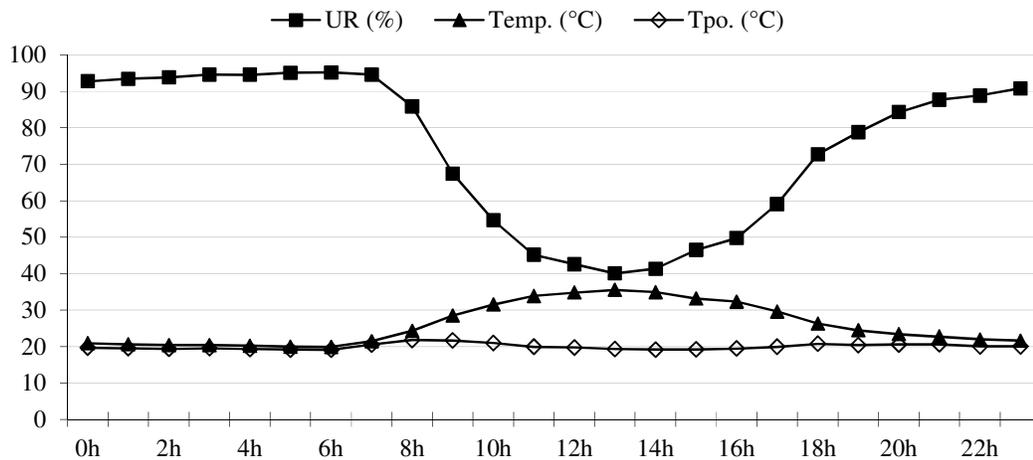


Figura 8 - Valores médios de umidade relativa – UR (%), temperatura do ar – Temp. (°C) e temperatura do ponto de orvalho – Tpo. (°C), em função das horas do dia durante os períodos de observação entre os meses de abril a julho de 2009. Alvorada do Gurgueia – PI.
Fonte: Elaborada pelo autor.

2.4 CONCLUSÕES

O pinhão-manso exibe síndrome de polinização entomófila, cujas flores femininas possuem receptividade prolongada que favorecem tanto a xenogamia quanto a geitonogamia, sem comprometimento da quantidade e qualidade dos frutos produzidos;

Espécies pertencentes às ordens *Hymenoptera*, *Diptera* e *Lepidoptera* constituem os potenciais polinizadores da cultura, sendo *Apis mellifera* o visitante mais frequente;

Dentre todos os insetos observados, a abelha melífera africanizada apresenta o comportamento de forrageio mais adequado à polinização das flores do pinhão-manso.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHATTACHARYA, A.; DATTA, K.; DATTA, S. K. Floral biology, floral resource constraints and pollination limitation in *Jatropha curcas* L. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 8, n. 3, p. 456-460, mar. 2005.

DAFNI, A.; KEVAN, P. G.; HUSBAND, B. C. **Practical pollination biology**. 1. ed. Cambridge: Enviroquest, 2005.

FREE, J. B. **Insect pollination of crops**. 2. ed. London: Academic Press, 1993.

FREITAS, B. M. **The pollination efficiency of foraging bees on apple (*Malus domestica* Borkh) and cashew (*Anacardium occidentale* L.)**. 1995. Thesis (PhD), University of Wales, College of Cardiff, UK, 1995.

FREITAS, B. M.; PAXTON, R. J. A comparison of two pollinators: the introduced honey bee *Apis mellifera* and an indigenous bee *Centris tarsata* on cashew *Anacardium occidentale* in its native range of NE Brazil. **Journal of Applied Ecology**, v. 35, n. 1, p. 109-121, fev. 1998.

GARLET, J.; ROMAN, M.; COSTA, E. C. Pentatomídeos (Hemiptera) associados a espécies nativas em Itaara, RS, Brasil. **Biotemas**, v. 23, n. 1, p. 91-96, abr. 2010.

GRIMM, C. Evaluation of damage to physic nut (*Jatropha curcas*) by true bugs. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 92, n. 2, p. 127-136, ago. 1999.

HELLER, J. **Physic nut: *Jatropha curcas* L.** Rome: International Plant Genetic Resources Institute; Germany: Institute of Plant Genetic and Crop Plant Research, 1996.

HERRERA, J. M. *et al.* Agroclimatic conditions, chemical and nutritional characterization of different provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. **European Journal of Scientific Research**, v. 39, n. 3, p. 396-407, jan. 2010.

JUHÁSZ, A. C. P. *et al.* Biologia floral e polinização artificial de pinhão-manso no norte de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1073-1077, set. 2009.

KAUR, K.; DHILLON, G. P. S.; GILL, R. I. S. Floral biology and breeding system of *Jatropha curcas* in North-Western India. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 23, n. 1, p. 4-9, 2011.

LUO, C. W. *et al.* Contribution of diurnal and nocturnal insects to the pollination of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) in Southwestern China. **Journal of Economic Entomology**, v. 104, n. 1, p. 149-154, fev. 2011.

LUO, C. W. *et al.* Pollen Viability, Stigma Receptivity and Reproductive Features of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica**, v. 27, n. 10, p. 1994-2001, 2007a.

LUO, C. W. *et al.* Floral display and breeding system of *Jatropha curcas* L. **Forestry Studies in China**, v. 9, n. 2, p. 114-119, jun. 2007b.

MAKKAR, H. P. S. *et al.* 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, ago. 1997.

MOMMAERTS, V.; PUT, K.; SMAGGHE, G. *Bombus terrestris* as pollinator-and-vector to suppress *Botrytis cinerea* in greenhouse strawberry. **Pest management science**, v. 67, n. 9, p. 1069-1075, Sept. 2011.

PAIVA NETO, V. B. de. *et al.* Aspectos da biologia reprodutiva de *Jatropha curcas* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 558-563, jun. 2010.

PAIVA, G. J.; TERADA, Y.; TOLEDO, V. A. A. de. Behavior of *Apis mellifera* L. Africanized honeybees in sunflower (*Helianthus annuus* L.) and evaluation of *Apis mellifera* L. colony inside covered area of sunflower. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 4, p. 851–855, 2002.

PALMA, G. *et al.* Comparative efficiency of *Nannotrigona perilampoides*, *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apoidea), and Mechanical Vibration on Fruit Production of Enclosed Habanero Pepper. **Journal of Economic Entomology**, v. 101, n. 1, p. 132-138, fev. 2008.

RAJU, A. J. S.; EZRADANAM, V. Pollination ecology and fruiting behaviour in a monoecious species, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Current Science**, v. 83, n. 11, p. 1395-1398, dez. 2002.

RIANTI, P.; SURYOBROTO, B.; ATMOWIDI, T. Diversity and effectiveness of insect pollinators of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **HAYATI Journal of Biosciences**, v. 17, n. 1, p. 38-42, mar. 2010.

RIZZARDO, R. A. G. **O papel de *Apis mellifera* L. como polinizador da mamoneira (*Ricinus communis* L.): avaliação da eficiência de polinização das abelhas e incremento de produtividade da cultura.** 2007. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

VAISSIÈRE, B. E.; FREITAS, B. M.; GEMMILL-HERREN, B. **Protocol to detect and assess pollination deficits in crops: a handbook for its use.** Rome: FAO, 2011.

WU, J. *et al.* A study on structural features in early flower development of *Jatropha curcas* L. and the classification of its inflorescences. **Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 2, p. 275-284, jan. 2011.

YANG, Q. *et al.* Study on pollination biology of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae). **Journal of South China Agricultural University**, v. 28, n. 3, p. 62-66, 2007.

CAPÍTULO III

**Eficiência polinizadora de *Apis mellifera* L. em *Jatropha curcas* L. e seus
benefícios na produção de óleo**

Eficiência polinizadora de *Apis mellifera* em *Jatropha curcas* e seus benefícios na produção de óleo

RESUMO

O pinhão-manso (*Jatropha curcas*) é uma espécie cultivada principalmente para a produção de biodiesel que apresenta polinização entomófila. Existem, porém, poucas informações sobre o manejo de polinizadores ou eficiência da utilização de insetos consagrados e manejados racionalmente, como é o caso da *Apis mellifera*, nesta cultura. Este ensaio teve por objetivo avaliar o requerimento de polinização da cultura, bem como a eficiência da introdução de *Apis mellifera* na polinização e produção de óleo pelas sementes, em cultivo de pinhão-manso no semiárido nordestino. O experimento foi realizado em uma área de 10ha de plantio comercial já estabelecido, com cinco anos de idade, em Alvorada do Gurgueia, Piauí, entre os meses de abril e julho de 2009. Quatro colmeias racionais povoadas por abelhas *A. mellifera* foram introduzidas na cultura e os dados coletados a um raio de aproximadamente 60 metros de distância delas. Como resultado, obteve-se que, apenas uma visita da abelha à flor acarretou em 100% de frutificação, resultados semelhantes ($p>0,05$) aos de xenogamia manual (96%), geitonogamia manual (94%), e polinização aberta (93%). Uma visita apenas, no entanto, não foi suficiente para produzir maior quantidade de óleo por semente (213mg), em comparação com os tratamentos polinização aberta e por geitonogamia manual (250mg). Além disto, foi possível avaliar que, para a produção de óleo, a planta se beneficia mais quando polinizada com o próprio pólen do que quando recebe polinização cruzada (237mg). Conclui-se que a *Apis mellifera* é um polinizador eficiente nesta cultura, porém, há a necessidade de mais do que uma visita da abelha à flor para maximizar a produção de óleo. A introdução de quatro colônias por hectare, entretanto, foi suficiente para evitar déficit de polinização na cultura.

Palavras-chave: Déficit de polinização. Geitonogamia. Polinização agrícola. Polinização por abelhas. Produção de óleo do pinhão-manso.

Pollination efficiency of *Apis mellifera* in *Jatropha curcas* and its benefit for oil production

ABSTRACT

Jatropha curcas is an oil-producing species cultivated mainly for biodiesel production that relies on entomophilous pollination. However, there are little information on the efficiency and appropriate management for pollinating insects, such as *Apis mellifera*, for this crop. The present work aimed to investigate the pollination requirements of *J. curcas* as well as the effectiveness of introducing *Apis mellifera* for pollination and seed oil production by this crop in the semiarid NE Brazil. The experiment was carried out in a 10ha commercial plantation made of five year-old trees, in Alvorada do Gurgueia, Piauí, between April and July 2009. Four hives inhabited by *A. mellifera* colonies were introduced in the cultivated area and a data were collected within a ray of 60m. Results showed that one single bee visit set 100% of flowers, similar to ($p>0,05$) manual xenogamy (96%), manual geitonogamy (94%), and open pollination (93%). However, only one visit by a bee was not enough to maximize the oil content per seed (213mg) in comparison to the open pollination and geitonogamy treatments (both 250mg). Besides that, it was possible to observe that geitonogamy led to greater oil production than xenogamy (237mg). It is concluded that *A. mellifera* is an efficient pollinator of this crop. The introduction of four honey bee colonies per hectare maximize oil production and produce the best results for all parameters studied. Furthermore, only one visit by the honey bee to *J. curcas* flowers was enough to prevent pollination deficit in this crop.

Keywords: Bee pollination. Crop pollination. Geitonogamy. Oil production by *Jatropha curcas*. Pollination deficit.

3.1 INTRODUÇÃO

O pinhão-mansão (*Jatropha curcas*) é uma oleaginosa, da família *Euphorbiaceae*, cujo cultivo é estimulado para a obtenção de óleo vegetal, visando à produção de biodiesel (FAIRLESS, 2007; KING *et al.*, 2009).

A espécie apresenta flores unissexuadas, de coloração branco-esverdeada, leve fragrância adocicada, grãos de pólen grandes com exina rugosa e aderente e presença de néctar com fácil acesso aos visitantes, tanto nas flores masculinas quanto nas femininas. Segundo Kaur, Dhillon e Gill (2011) e Luo *et al.* (2011), estas características sobre a biologia floral sugerem síndrome de polinização entomófila.

Apesar de alguns autores terem demonstrado que visitantes noturnos podem ter um papel na polinização do pinhão-mansão, a maioria dos trabalhos concorda com a ideia de que a polinização efetiva é feita por visitantes florais diurnos, haja vista que o contributo para a polinização desta cultura por parte dos visitantes noturnos é muito pequena em virtude da restrita oferta de recursos florais neste período (KAUR; DHILLON; GILL, 2011; LUO *et al.*, 2011; RAJU; EZRADANAM, 2002; RIANI; SURYOBROTO; ATMOWIDI, 2010).

Entre os visitantes florais do pinhão-mansão, as abelhas do gênero *Apis*, especialmente *A. mellifera*, se destacam como as mais frequentes e são apontadas como aqueles com maior potencial de polinização da cultura (LUO *et al.*, 2011; RIANI; SURYOBROTO; ATMOWIDI, 2010; YANG *et al.*, 2007). Não há, no entanto, estudos sobre a eficiência de polinização desta abelha na cultura do pinhão-mansão. Estudo conduzido por Neves e Viana (2011), no entanto, em outras espécies do mesmo gênero, *J. mollissima* e *J. mutabilis*, demonstrou que uma visita desta abelha foi suficiente para vingar 100% e 85% das flores, respectivamente. Isso sugere que *A. mellifera* possa ser também um polinizador eficiente em *J. curcas*.

O sistema de cruzamento desta espécie, todavia, parece de interpretação difícil. Enquanto alguns autores explicam melhores resultados de frutificação obtidos por meio de polinização cruzada (JUHÁSZ *et al.*, 2009; KAUR; DHILLON; GILL, 2011; RAJU; EZRADANAM, 2002), outros relatam não haver restrições, tendo observado similaridade de resultados tanto quando a planta é submetida a geitonogamia quanto à xenogamia (PAIVA NETO *et al.*, 2010; YANG *et al.*, 2007), como também existem dados favoráveis à geitonogamia em relação à xenogamia (LUO *et al.*, 2007). Além disso, demonstra-se que a apomixia acontece no pinhão-mansão. Embora reduzida quanto se ambicione atingir elevados

índices de produção, autores relatam variações desde 5% até 36% nestas taxas de vingamento (JUHÁSZ *et al.*, 2009; KAUR; DHILLON; GILL, 2011; LUO *et al.*, 2007).

Com efeito, o ensaio sob relatório pretende contribuir para o estudo da polinização do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), investigando seus requerimentos de polinização e a eficiência de polinização da *Apis mellifera* e seus benefícios na produção de óleo em cultivo no semiárido nordestino.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local e época

O trabalho foi conduzido em uma área, de 10ha, de plantio comercial de pinhão-manso já estabelecido, com 5 anos de idade, pertencente à empresa Brasil Ecodiesel Indústria e Comércio de Biocombustíveis e Óleos Vegetais S.A., no município de Alvorada do Gurgueia, PI, (08°32'19,0"S e 43°56'19,7"W e 220 metros de altitude), 502km ao sul da capital, Teresina. O local está inserido na região do Semiárido Nordestino (Bioma cerrado). Os experimentos foram realizados entre abril e julho de 2009. O estudo foi dividido entre os seguintes experimentos:

3.2.2 Requerimento de polinização de *Jatropha curcas* L. e eficiência polinizadora de *Apis mellifera* L.

Buscando conhecer o requerimento de polinização do pinhão-manso e o potencial da abelha melífera na polinização da cultura, durante o período de florescimento, entre os meses de abril e julho de 2009, foram introduzidas quatro colônias de *Apis mellifera* no interior do cultivo. Os dados foram coletados em 13 plantas marcadas, a uma distância de até 60 metros das colmeias, perfazendo a circunferência de um hectare. Foram realizados, então, os tratamentos s seguir delineados.

- a) Polinização aberta - foram marcados 121 botões florais, distribuídos entre os cimos das diferentes plantas, com linha de algodão em seu pedicelo. As inflorescências foram identificadas com fitas coloridas e numeradas para representar o tratamento e facilitar a coleta dos dados. Após a antese, as flores permaneceram livres à visitação por dez dias e depois foram protegidas, com sacos feitos de tela de náilon – Ø ~ 1,0mm, até a queda da flor ou colheita do fruto;
- b) polinização restrita por tela - oitenta e um botões florais foram isolados de agentes polinizadores bióticos, com sacos de tela de náilon, conforme descrito acima, até a queda da flor ou colheita do fruto;
- c) polinização cruzada manual - foi utilizado o mesmo procedimento descrito no tratamento “b)”, exceto que, após a antese, as 53 flores foram desensacadas apenas no

momento da polinização manual, realizada com grãos de pólen provenientes de, pelo menos, três outras plantas de pinhão-manso. Após a polinização, as flores foram reensacadas para prevenir polinizações indesejadas;

d) geitonogamia manual - idem ao tratamento “c)”, porém, as 53 flores deste tratamento receberam grãos de pólen oriundos de flores da mesma planta;

e) uma visita de *Apis mellifera* - idem ao tratamento anterior, porém, em vez de efetuar a polinização manual, 33 flores foram desensacadas e mantidas livres até a primeira visita de uma abelha *Apis mellifera*. Imediatamente após a saída da abelha, a flor foi ensacada novamente. Flores que receberam eventual visita de outro animal, enquanto desensacadas, foram descartadas.

Em todos os tratamentos, a coleta de dados para quantificar o número de frutos vingados foi realizada aos 15 dias após a marcação e, para a colheita, os frutos foram verificados a cada dois dias a partir do 50º dia após antese e colhidos manual e individualmente, conforme a maturação de cada fruto. A queda das flores até o décimo quinto dia foi considerada como não vingada e, deste período até a colheita, eventual queda foi considerada como aborto.

3.2.3 Avaliação dos frutos

Na colheita, cada fruto foi envelopado, individualmente, com identificação de tratamento e repetição. Estes foram secos ao sol por, pelo menos, três dias, ou até que a casca estivesse completamente enrijecida. Desde então, foram levados à sombra para atingir temperatura ambiente e acondicionados em recipientes fechados para transporte até o Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza, CE.

No Laboratório de Abelhas, da UFC, obtiveram-se as variáveis de peso de fruto e número e peso de sementes por fruto.

3.2.4 Avaliação das sementes

Já no Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Federal do Ceará, as sementes de cada tratamento foram distribuídas em quatro grupos com 15 sementes cada qual (balanceadas por peso médio e representatividade de classes de peso entre 400 e 900mg, de

modo que cada repetição mantivesse peso médio próximo ao do tratamento e desvios-padrão semelhante entre si). Em consequência da baixa porcentagem de frutificação para o tratamento “b) polinização restrita por tela”, todas as sementes colhidas neste tratamento foram agrupadas em uma repetição, com 14 sementes, apenas para fins de constatação dos valores, não sendo considerado na análise estatística. Foram realizadas nas sementes, determinações de porcentagem de polpa, matéria seca e teor de extrato etéreo, com extrator de Soxhlet, seguindo a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002).

3.2.5 Análise dos dados

Todas as variáveis analisadas foram submetidas a testes de normalidade. Aquelas que apresentaram distribuição normal foram submetidas a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Quando não houve distribuição normal, caso específico das variáveis vingamento e frutos colhidos, por possuírem caráter binomial (colhido=1 e não colhido=0), foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e os resultados comparados por intermédio do teste de Mann-Whitney.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Requerimento de polinização de *Jatropha curcas* L. e eficiência polinizadora da *Apis mellifera* L.

Os resultados mostraram que houve diferenças significativas entre os tratamentos, mas apenas o tratamento “Polinização restrita por tela” diferiu dos demais, ($p < 0,05$), apresentando dados de vingamento significativamente inferiores (Tabela 6).

Os dados referentes aos tratamentos “Polinização aberta”, “Polinização cruzada manual” (PC), “Geitonogamia manual” (PG) e “Uma visita de *Apis mellifera*” não diferiram entre si ($\mu = 96\%$), mostrando que a planta tanto aceita o próprio pólen quanto o de outras plantas, não havendo diferenças entre a xenogamia e a geitonogamia. Também mostram que apenas uma visita da abelha *Apis mellifera* foi suficiente para assegurar a quantidade de pólen necessária para o vingamento do fruto, independentemente de este ser endógeno ou exógeno, produzindo resultado semelhante ao de várias visitas (polinização aberta).

Este resultado diverge das observações favoráveis à polinização cruzada encontradas por Raju e Ezradanam (2002), com valores de 96% (PC) vs. 77% (PG); Kaur, Dhillon e Gill (2011), que reportaram médias de 93% (PC) vs. 72% (PG) e Juhász *et al.* (2009), em Minas Gerais, com valores de 88% (PC) vs. 79% (PG). Também dissentem dos resultados de Luo *et al.* (2007), ao apresentarem dados favoráveis à geitonogamia, com valores de 83% (PC) vs. 93% (PG). Concordam, porém, com os resultados de Yang *et al.* (2007), que registraram equivalência entre 87% (PC) vs. 88% (PG) e Paiva Neto *et al.* (2010), em Mato Grosso do Sul, com valores de 89% (PC) vs. 90% (PG), sem que houvesse diferenças significativas entre as fontes de origem do pólen. Além disso, não ocorreram abortamentos significativos para nenhum dos tratamentos, como havia sido reportado em Raju e Ezradanam (2002), sendo considerados nessa discussão os valores para porcentagem de frutos colhidos.

Os resultados deste experimento mostraram que, para as variáveis vingamento e colheita de frutos, a planta foi beneficiada, da mesma forma, ($p > 0,05$), com os grãos de pólen próprios ou cruzados. Foram alcançados índices elevados, tanto para geitonogamia (94%), quanto xenogamia (96%), em comparação com aqueles encontrados na literatura. Realmente, neste trabalho pôde-se perceber que a planta exibe índice elevado de frutificação, quando não há fatores limitantes na polinização.

Em flores que permaneceram ensacadas, sem a participação de abelhas, ocorreu baixo índice de vingamento (12%), diferindo dos demais tratamentos ($p < 0,05$) e mostrando a dependência da planta por agentes bióticos na polinização. Considerando, entretanto, que as flores são unissexuadas e o vento não apresenta papel significativo no transporte de pólen, provavelmente os dados encontrados neste tratamento podem decorrer da apomixia, forma de reprodução já relatada por vários autores no pinhão-manso (BHATTACHARYA; DATTA; DATTA, 2005; JUHÁSZ *et al.*, 2009; KAUR; DHILLON; GILL, 2011; LUO *et al.*, 2007).

Para a polinização aberta (93%), o resultado de frutificação foi semelhante ($p > 0,05$) aos encontrados nos tratamentos de polinização manual, 96 e 94%, para xenogamia e geitonogamia, respectivamente (Tabela 6). Neste trabalho, pois, não houve déficit de polinização, conforme definido por Vaissière; Freitas e Gemmill-Herren (2011). Provavelmente a introdução de quatro colmeias por hectare tenha suprido a necessidade de polinizadores para a cultura, haja vista que os dados foram coletados até 60 metros de distância das abelhas, correspondendo aproximadamente a um hectare. Estes valores reforçam a necessidade de polinização entomófila e, sobretudo, a eficiência específica das abelhas para o pinhão-manso. Alguns autores apresentam a cultura com déficit de polinização, variando desde níveis mais elevados, em torno de 35%, conforme verificado em Raju e Ezradanam (2002); até déficit mais brando, em torno de 14%, relatado por Kaur, Dhillon e Gill (2011), ou menos de 5% (LUO *et al.*, 2007).

Tabela 6 – Vingamento, colheita de frutos e número de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) produzidas a partir de diferentes tratamentos de polinização. Alvorada do Gurgueia – PI, 2009.

Tratamentos	Flores	Vingamento	Frutos colhidos	Número de sementes	
				Total	Média por flor
Uma visita de <i>Apis mellifera</i>	33	33 a	33 a (100%)	77	2,33±0,16 a
Polinização cruzada manual	53	52 a	51 a (96,23%)	121	2,28±0,12 a
Geitonogamia manual	53	51 a	50 a (94,34%)	132	2,49±0,12 a
Polinização aberta	121	115 a	113 a (93,39%)	278	2,30±0,08 a
Polinização restrita por tela	81	10 b	10 b (12,35%)	14	0,17±0,06 b

Valores seguidos por letras iguais não diferem significativamente entre si, na mesma coluna ($p > 0,05$).

Fonte: Pesquisa direta do próprio autor.

Outro aspecto a ser observado é a eficiência da polinização realizada por *Apis mellifera*. Com apenas uma visita à flor feminina, a abelha efetuou perfeita polinização, garantindo produção de 100% de frutos (Tabela 6). Embora ainda não tenha sido observada a eficiência direta da polinização por estas abelhas em *Jatropha curcas*, Neves e Viana (2011) relataram semelhante resultado para a espécie *Jatropha mollissima* (100%), em vegetação nativa.

3.3.2 Avaliação dos frutos

Houve diferenças significativas entre os parâmetros relacionados ao peso dos frutos, número e peso de sementes por fruto nos diferentes tratamentos avaliados (Tabela 7).

O tratamento “polinização restrita por tela” (ReT) apresentou-se diferente, tendo sido significativamente inferior ($p < 0,05$) aos demais tratamentos que exibiram igualdade de médias para todos os parâmetros avaliados na Tabela 7. Os frutos dos quatro primeiros tratamentos apresentaram-se com 2,46 sementes e peso médio de 2,71g, não apresentando diferenças entre si ($p > 0,05$). Além disto, o percentual de 63% do peso do fruto foi representado pelo peso das sementes (1,71g). Apenas o tratamento ReT produziu frutos mais leves (Tabela 7).

Confirmando o que se obteve na quantidade de frutos colhidos por tratamento (Tabela 6), estes resultados apontam, novamente, para a dependência do pinhão-manso por agentes polinizadores bióticos. Além disto, as abelhas melíferas realizaram eficiente serviço de polinização. Com apenas uma visita, possibilitaram a geração, pela flor, de frutos e sementes com o mesmo peso ($p > 0,05$) daqueles gerados nos tratamentos que receberam muitos grãos de pólen (polinização cruzada manual e geitonogamia manual), ou tiveram a possibilidade de receber inúmeras visitas de abelhas (polinização aberta).

O número médio de sementes por fruto, exceto para o tratamento ReT, é semelhante aos resultados encontrados por Kaur, Dhillon e Gill (2011), para polinização aberta (2,6 sementes/fruto), e polinização cruzada (2,4 sementes/fruto), sem diferenças significativas. Estes autores ainda reportaram a superioridade da polinização ante a apomixia, com produção, de apenas, 1,6 semente/fruto - dados similares aos obtidos neste experimento, com o tratamento que não recebeu a presença de agentes polinizadores bióticos, ReT (1,4 semente/fruto). Provavelmente, os baixos valores encontrados para vingamento e produção de frutos sem a presença de insetos, tanto na literatura quanto neste ensaio, demonstram que a

planta demonstra preferência por polinização biótica e sexuada, em detrimento da assexuada. Como o pinhão-manso é uma planta em estado selvagem, sem variedades definidas até o momento, ainda mantém características que possam garantir, mesmo que em baixo percentual, a frutificação e a sobrevivência da espécie em locais onde possa ocorrer de forma isolada ou sem a presença de polinizadores.

O peso médio dos frutos, conforme indicado na Tabela 7, exceto para o tratamento ReT, foi de 2,7g. Este valor é idêntico ao limite superior encontrado por Grimm (1999), entre 2,6 e 2,7g/fruto, e próximo aos relatados no Estado de Minas Gerais, por Juhász *et al.* (2009), de 3,0g por fruto oriundo de polinização natural, geitonogamia ou xenogamia e 1,8g por fruto procedente de tratamento restrito a visitação por insetos.

Tabela 7 - Características físicas (número e peso médio) de frutos e sementes por fruto de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), produzidos a partir de diferentes tratamentos de polinização. Alvorada do Gurgueia – PI, 2009.

Tratamentos	Frutos		Sementes por Fruto	
	Peso médio (g)	Número médio	Peso total (g)	(%)
Geitonogamia manual	2,93 ± 0,10 a	2,68 ± 0,08 a	1,90 ± 0,08 a	64,18
Polinização Aberta	2,78 ± 0,07 a	2,44 ± 0,07 a	1,78 ± 0,05 a	62,66
Polinização cruzada manual	2,65 ± 0,10 a	2,37 ± 0,11 a	1,67 ± 0,08 a	61,15
Uma visita de <i>Apis mellifera</i>	2,49 ± 0,11 a	2,33 ± 0,16 a	1,50 ± 0,11 a	56,77
Polinização restrita por tela	1,68 ± 0,29 b	1,40 ± 0,31 b	0,98 ± 0,24 b	52,35

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente entre si, (p<0,05).

Fonte: Pesquisa direta do próprio autor.

A entomofilia é importante, ao avaliar, tanto a frutificação, quanto a produção e peso de sementes. Com este experimento, foi possível observar que a planta produz, praticamente, o dobro de sementes por fruto, além da grande diferença para frutificação, quando ocorre a presença de insetos. Com efeito, Rianti, Suryobroto e Atmowidi (2010) relataram aumento de 250% na produção e 389% no peso total de sementes, produzidas em plantas que receberam a visitação de insetos contra as que não receberam (plantas restritas por tela). No trabalho sob relação, o tratamento que recebeu apenas uma visita de *Apis mellifera* produziu 13,5 vezes mais sementes e 12,4 vezes o peso de sementes em relação ao tratamento ReT.

3.3.3 Avaliação das sementes

Apesar dos tratamentos “uma visita de *Apis mellifera*”, “polinização cruzada manual”, “geitonogamia manual” e “polinização aberta” não terem apresentado diferenças significativas ($p > 0,05$) nas variáveis estudadas até o momento (vingamento, frutos colhidos, peso de fruto, número e peso de sementes por fruto). No teor de óleo foi possível verificar diferença significativa favorável aos tratamentos que receberam maior quantidade de pólen, associada a sua procedência.

Os tratamentos “geitonogamia manual” e “polinização aberta” registraram o maior valor para peso de óleo por semente, diferindo estatisticamente dos demais. O tratamento que recebeu pólen cruzado (polinização cruzada manual), mesmo com grande carga polínica depositada no estigma, não foi suficiente para expressar a máxima produção de óleo por semente. Este último, no entanto, foi significativamente superior ao tratamento “uma visita de *Apis mellifera*”, que provavelmente tenha recebido menor quantidade de pólen do que os demais.

Quanto às sementes oriundas do tratamento “polinização restrita por tela”, foi possível verificar que, mesmo com reduzido número de frutos, mais leves e com poucas sementes, mostraram-se normais no que diz respeito aos parâmetros avaliados neste experimento.

O tratamento que recebeu apenas uma visita de *Apis mellifera*, embora não tenha diferido dos demais, em teor de extrato etéreo, externou menor produção de óleo por semente, em decorrência, em grande parte, do menor peso médio apresentado pelas sementes (Tabela 8). As abelhas não alteraram a composição física das sementes, muito menos o teor de óleo contido nelas. Simplesmente produziram sementes mais leves e, proporcionalmente, com menor conteúdo de polpa, que, embora sem diferenças estatísticas quando separadas, produziram menor peso de óleo quando unidas.

O tratamento “polinização cruzada manual” mesmo tendo recebido os mesmos benefícios de polinização que o tratamento “geitonogamia manual”, mas com pólen proveniente de outras plantas da mesma espécie, não foi capaz de alcançar os mesmos índices para quantidade de óleo por semente. Mesmo semelhante nas variáveis “peso médio da semente”, “porcentagem de polpa” e “matéria seca”, a relação entre elas afetou o peso de óleo por semente. De tal modo, diferentemente de vários autores, que consideraram melhor desempenho com a xenogamia para o pinhão-manso, nesta variável, foi verificado o inverso, ou seja, para a produção de óleo, as sementes apresentam melhores resultados com a geitonogamia. Essa característica também foi constatada em Rizzardo (2007) na mamoneira

(*Ricinus communis*), outra *Euphorbiaceae* oleaginosa, com tolerância a seca e utilizada no Nordeste brasileiro para produção de biodiesel, onde a geitonogamia manual expressou melhores resultados em relação à polinização cruzada manual.

Em razão desses resultados, é possível verificar que apenas uma visita de *Apis mellifera*, embora garanta total frutificação, não assegura a máxima eficiência na produção de sementes, como pode ser percebido na polinização aberta. Quanto maior a quantidade de grãos de pólen da própria planta, depositados no estigma, melhor será, todavia, a competição destes em fecundar o óvulo, possibilitando que os grãos com maior viabilidade, vigor e velocidade para emissão do tubo polínico possam efetuar a fecundação (FREE, 1993).

No pinhão-mansão, o benefício para a maior produção de óleo provém do próprio pólen (geitonogamia), apresentando equivalência ao tratamento de polinização aberta (Tabela 8); isto é, dentre todos os tratamentos com polinização dirigida, ou manipulada, o único que expressou os melhores resultados para todos os parâmetros avaliados foi aquele em que a planta recebeu o próprio pólen, equivalente ao tratamento no qual a planta pôde receber inúmeras visitas de agentes polinizadores, carreando grande diversidade de pólen, sem a ação antrópica. Assim também é possível concluir que, na polinização aberta, os insetos carregam para os estigmas grande quantidade de pólen endógeno, por haver sido atingido níveis semelhantes aos de “geitonogamia manual” e superiores àqueles do tratamento “polinização cruzada manual”.

De acordo com a literatura, o peso de sementes pode ser variável em função do local. Estudando 18 amostras, colhidas na África, América do Norte, América Central e Ásia, Makkar *et al.* (1997) encontraram peso médio de 0,64 grama, com variações no peso das amostras, entre 0,49g em Cabo Verde e 0,86g na Nicarágua. Também na Nicarágua, Grimm (1999) encontrou valores médios, para polinização natural, entre 0,66 e 0,68g/semente. Neste trabalho, no entanto, o peso de semente, dos três primeiros tratamentos, foi de 0,72g, superiores ao relatados no único estudo brasileiro, conduzido por Juhász *et al.* (2009), em MG, entre 0,65 e 0,69g.

Para a porcentagem de polpa, não houve diferenças significativas, entre os tratamentos, relatando média de 61%. Estes dados condizem como a literatura, tendo sido encontrados valores médios, também de 61%, com variações entre 54 e 64%, por Makkar *et al.* (1997), entre 62 e 74% por Herrera *et al.* (2010), entre 60 e 70%, por King *et al.* (2009), e 65% encontrados por Becker e Makkar (2008).

A matéria seca média das sementes (94%) foi semelhante aos dados reportados na literatura para esta variável - entre 94 e 96% (HERRERA *et al.*, 2010).

Quanto aos teores de óleo, neste experimento, foram de 34% nas sementes e 56% na polpa, não registrando diferenças entre os tratamentos. Estes resultados estão dentro dos padrões encontrados na literatura, para porcentagem de óleo nas sementes, que podem variar entre 27 e 39% (DIVAKARA *et al.*, 2010; KAUSHIK *et al.*, 2007; KING *et al.*, 2009).

Da mesma forma que para teor de óleo na semente, a porcentagem de óleo na polpa (56%), fração onde se concentra, praticamente, toda esta substância, está de acordo com aqueles reportados por diversos autores, variando entre 43 e 64% (BECKER; MAKKAR, 2008; GRIMM, 1999; HERRERA *et al.*, 2010; KING *et al.*, 2009; MAKKAR *et al.*, 1997; MARTINEZ-HERRERA *et al.*, 2006).

Tabela 8 - Avaliação das características peso médio, porcentagem de polpa, teor de matéria seca (MS %) e extrato etéreo de sementes de *Jatropha curcas* L. produzidas a partir de diferentes tratamentos de polinização: *Apis* (uma visita de *Apis mellifera*); PCM (polinização cruzada manual); GeM (geitonogamia manual); Aberta (polinização aberta); PRT (polinização restrita por tela). Alvorada do Gurgueia – PI, 2009.

Trats.	Peso médio (mg)	Polpa (%)	MS (%)	Extrato etéreo	
				(%)	(mg/semente)
Aberta	726,38±11,46 a	60,61±0,38	94,25±0,10	34,44±0,68	250,19±3,38 a
GeM	715,37±10,94 a	61,79±0,18	93,76±0,14	34,92±0,46	249,84±2,40 a
PCM	712,83±09,56 a	61,05±0,29	94,73±0,07	33,28±0,42	237,24±1,99 b
<i>Apis</i>	640,53±10,10 b	59,66±0,28	92,69±0,02	33,22±0,20	212,77±0,97 c
PRT	702,36±25,34 ‡	61,39	92,35	34,75	243,97

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente entre si, (p<0,05).

‡ Não foi analisado estatisticamente. Apenas uma repetição com 14 sementes.

Fonte: Pesquisa direta do próprio autor.

3.4 CONCLUSÕES

O pinhão-manso é uma planta com sistema de cruzamento misto, aceitando tanto a geitonogamia quanto a xenogamia para a produção de sementes.

Sem a visitação de agentes bióticos, a planta consegue produzir uma quantidade de sementes provavelmente suficiente para assegurar a perpetuação da espécie, mas sem valor do ponto de vista agrícola.

A abelha *Apis mellifera* é um eficiente polinizador do pinhão-manso, sendo capaz de assegurar alta produção de sementes com apenas uma visita à flor, no entanto, existe a necessidade de mais de uma visita por flor para maximizar a produção de óleo.

Quatro colônias de *Apis mellifera* por hectare mostraram-se suficientes para prevenir déficit de polinização na cultura.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, K.; MAKKAR, H. P. S. *Jatropha curcas*: A potential source for tomorrow's oil and biodiesel. **Lipid Technology**, v. 20, n. 5, p. 104-107, maio 2008.

BHATTACHARYA, A.; DATTA, K.; DATTA, S. K. Floral biology, floral resource constraints and pollination limitation in *Jatropha curcas* L. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 8, n. 3, p. 456-460, mar. 2005.

DIVAKARA, B. N. *et al.* Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: a review. **Applied Energy**, v. 87, n. 3, p. 732-742, mar. 2010.

FAIRLESS, D. Biofuel: the little shrub that could-maybe. **Nature**, v. 449, n. 7163, p. 652-655, out. 2007.

FREE, J. B. **Insect pollination of crops**. 2. ed. London: Academic Press, 1993.

GRIMM, C. Evaluation of damage to physic nut (*Jatropha curcas*) by true bugs. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 92, n. 2, p. 127-136, ago. 1999.

HERRERA, J. M. *et al.* Agroclimatic conditions, chemical and nutritional characterization of different provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. **European Journal of Scientific Research**, v. 39, n. 3, p. 396-407, jan. 2010.

JUHÁSZ, A. C. P. *et al.* Biologia floral e polinização artificial de pinhão-manso no norte de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1073-1077, set. 2009.

KAUR, K.; DHILLON, G. P. S.; GILL, R. I. S. Floral biology and breeding system of *Jatropha curcas* in North-Western India. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 23, n. 1, p. 4-9, 2011.

KAUSHIK, N. *et al.* 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, jul. 2007.

KING, A. J. *et al.* Potential of *Jatropha curcas* as a source of renewable oil and animal feed. **Journal of experimental botany**, v. 60, n. 10, p. 2897-2905, jan. 2009.

LUO, C. W. *et al.* Contribution of diurnal and nocturnal insects to the pollination of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) in Southwestern China. **Journal of Economic Entomology**, v. 104, n. 1, p. 149-154, fev. 2011.

LUO, C. W. *et al.* Floral display and breeding system of *Jatropha curcas* L. **Forestry Studies in China**, v. 9, n. 2, p. 114-119, jun. 2007.

MAKKAR, H. P. S. *et al.* 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, ago. 1997.

MARTINEZ-HERRERA, J. *et al.* 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, maio 2006.

NEVES, E. L.; VIANA, B. F. Pollination efficiency of *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Hymenoptera, Apidae) on the monoecious plants *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. and *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) in a semi-arid Caatinga area, northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 107-113, fev. 2011.

PAIVA NETO, V. B. de. *et al.* Aspectos da biologia reprodutiva de *Jatropha curcas* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 558-563, jun. 2010.

RAJU, A. J. S.; EZRADANAM, V. Pollination ecology and fruiting behaviour in a monoecious species, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Current Science**, v. 83, n. 11, p. 1395-1398, dez. 2002.

RIANTI, P.; SURYOBROTO, B.; ATMOWIDI, T. Diversity and effectiveness of insect pollinators of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **HAYATI Journal of Biosciences**, v. 17, n. 1, p. 38-42, mar. 2010.

RIZZARDO, R. A. G. **O papel de *Apis mellifera* L. como polinizador da mamoneira (*Ricinus communis* L.):** avaliação da eficiência de polinização das abelhas e incremento de produtividade da cultura. 2007. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos:** métodos químicos e biológicos. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2002.

VAISSIÈRE, B. E.; FREITAS, B. M.; GEMMILL-HERREN, B. **Protocol to detect and assess pollination deficits in crops:** A handbook for its use. Rome, Italy: FAO, 2011.

YANG, Q. *et al.* Study on pollination biology of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae). **Journal of South China Agricultural University**, v. 28, n. 3, p. 62-66, 2007.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES

O pinhão-manso é estimulado para produção de óleo como matéria-prima na produção de biodiesel no Nordeste brasileiro. Apesar de existirem muitas dúvidas sobre a cultura, este trabalho pôde contribuir com esclarecimentos sobre aspectos relacionados à biologia floral e ao sistema de polinização desta planta, bem como demonstrar o potencial de uso da abelha *Apis mellifera* na polinização das flores.

A planta possui autocompatibilidade reprodutiva e essa possibilidade da polinização pelo próprio pólen garante elevadas taxas de vingamento e frutificação, sem que ocorram prejuízos produtivos na cultura. Pelo contrário, quando comparada à polinização cruzada, foi verificado que a geitonogamia proporciona acréscimo na quantidade de óleo das sementes e isto é um atributo desejável quando se pretende a utilização como matéria-prima na produção de biodiesel.

Outro ponto relevante para o sucesso reprodutivo é a receptividade estigmática por vários dias, coincidindo com a antese diária de um grande número de flores masculinas pela inflorescência. Dessa forma, a planta assegura intenso fluxo polínico e maior taxa de polinização, independentemente de xenogamia ou geitonogamia.

A abelha *Apis mellifera* contribui positivamente no vingamento e produção de frutos pela cultura. Nossos dados mostram que uma só visita é suficiente para garantir a maior produção de frutos e sementes, equivalendo-se aos tratamentos que expressaram os melhores resultados. Visando a produção de óleo, entretanto, a única visita não foi suficiente para atingir o potencial máximo das plantas. A introdução, porém, de quatro colônias por hectare garante o número de abelhas e visitas suficientes para a maximização da produção de sementes com maior quantidade de óleo, semelhante aos resultados obtidos por geitonogamia manual e superior àquelas polinizadas com pólen de outras plantas. O arranjo das flores femininas e masculinas intercaladas na mesma cimeira, com anteses simultâneas e ambos os tipos de flores, possibilita aos visitantes florais, marcadamente *Apis mellifera*, visitarem muitas flores vizinhas e realizarem a polinização por geitonogamia.

Considerando que o pinhão-manso é uma planta com síndrome de polinização entomófila e a *Apis mellifera* demonstra máxima eficiência na polinização da cultura, inclusive com comportamento de forrageio que favorece a geitonogamia e maior teor de óleo nas sementes, a interação de apicultores com produtores de pinhão-manso deve proporcionar novos nichos de mercado para o agronegócio e/ou fortalecimento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel.

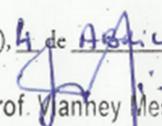


ACADEMIA CEARENSE
DA LÍNGUA PORTUGUESA

DVLACIONAM ET CANORAM LINGVAM CANO

Declara-se, para constituir prova junto ao (à) DOCTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA
do (da) UFC/UEPB/UFPE,
que, por intermédio do acadêmico titular infra-assinado, foi procedida à correção gramatical e estilística
do (da) TESE DE DOUTORAMENTO intitulado (da) "A ABELHA MELÍFERA AFRICANIZADA
(APIS MELLIFERA) NA POL. E PROD. DE ÓLEO DAS SEM. DO P. MANIS (Jatropha curcas L.)",
da autoria de RÔMULO AUGUSTO GUEDES RIZZARO,
orientado (a) pelo (a) PROF. DR. BRENO MAGALHÃES FREITAS,
razão por que se firma a presente, a fim de que surta os efeitos legais, nos termos do novo Acordo Orto-
gráfico Lusófono, vigente desde 01.01.2009.

Fortaleza (CE), 4 de ABRIL de 2012.


Prof. Vianney Mesquita
Reg. Profissional
CE 00489JP

Prof. João VIANNEY Campos de MESQUITA
Acadêmico Titular da Cadeira número 37 da ACLP.
Escritor e docente Adjunto IV da Universidade Federal do Ceará
Reg. Prof. MTE00489JP.