VERSÃO CORRIGIDA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FFCLRP - DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENTOMOLOGIA

“Adaptações comportamentais de *Melipona subnitida* (Apidae, Meliponini) às condições ambientais do semiárido brasileiro”.

Tese apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras
de Ribeirão Preto da USP, como parte das exigências para a
obtenção do título de Doutor em Ciências, Área:
ENTOMOLOGIA

Orientadora: Profa. Dra. Vera Lucia Imperatriz Fonseca

RIBEIRÃO PRETO - SP

2013

Autorizo a divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Maia-Silva, Camila

Adaptações comportamentais de *Melipona subnitida* (Apidae, Meliponini) às condições ambientais do semiárido brasileiro. Ribeirão Preto/SP, 2013. 132 p.

Tese apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto/USP, Área de Concentração: Entomologia. Orientadora: Profa. Dra. Vera Lucia Imperatriz-Fonseca

1. Abelhas sem ferrão. 2. Caatinga. 3. Forrageamento de pólen. 4. Conservação. 5. Mudanças Climáticas

COMISSÃO JUGADORA:

Profa. Dra. Vera Lúcia Imperatriz-Fonseca - Orientadora

Prof. Dr. Vitor de Oliveira Lunardi

Prof. Dr. Klaus Hartmann Hartfelder

Prof. Dr. Mauro Ramalho

Prof. Dr. Carlos Alberto Garófalo

DEDICO AO MEU AMOR, MICHAEL HRNCIR

Agradecimentos

À minha querida orientadora Dra. Vera Lucia Imperatriz Fonseca, pelos incontáveis ensinamentos, conselhos, sobretudo ao carinho, dedicação e a alegria contagiante;

Ao meu marido Michael Hrcir, cuja lista de agradecimentos não caberia aqui. Obrigada pelo seu amor e companheirismo. *Eu te amo*;

À minha família, pai, mãe, Nana, Carla, Bruna e Maite, o amor que sinto por vocês supera qualquer distância e me acalma nas horas mais difíceis. *Eu amo vocês*;

À minha família e aos meus amigos austríacos pela torcida e energias positivas. *Vielen Dank*;

Aos professores, à coordenação e à secretaria da Pós Graduação em Entomologia da FFCLRP/USP pelo apoio concedido;

À Universidade Federal Rural do Semi-árido/UFERSA pelo apoio e infraestrutura concedidos;

Ao Prof. Dr. Lionel Segui Gonçalves e ao CETAPIS/RN pelas facilidades disponibilizadas para a realização desse estudo;

Aos meus amigos da FFCLRP/USP e da UFERSA;

À CAPES pela bolsa de estudo e ao CNPq (Projeto Universal: 482218/2010-0) pelo auxílio financeiro;

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização dessa tese.

Resumo

Os estudos que visam avaliar a influência dos fatores bióticos (disponibilidade de recursos florais e competição) e abióticos (variáveis climáticas) nas atividades externas (comportamento de forrageamento de pólen) e internas (taxa de construção de células de cria) das colônias de abelhas sem ferrão são importantes para compreender as adaptações comportamentais das espécies. A Caatinga, região semiárida do nordeste brasileiro, é caracterizada por temperaturas anuais elevadas e longos períodos de seca. Nesse estudo, nós investigamos respostas comportamentais de *Melipona subnitida* Ducke (Apidae, Meliponini) às condições ambientais desse bioma. Os experimentos foram realizados no município de Mossoró/RN, Brasil, esta região foi considerada como uma das 26 áreas de extrema prioridade para a conservação do bioma Caatinga. Na área de estudo nós registramos fontes importantes de pólen e néctar para as abelhas, incluindo espécies fundamentais para a manutenção das colônias durante a estação seca. As abelhas forrageiras de *M. subnitida* coletaram em um período curto do dia e do ano grandes quantidades de recursos disponíveis, concentrando a força forrageira nas fontes mais lucrativas. Visto que a quantidade de pólen estocado dentro do ninho (oferta) controla a produção de cria, a observada redução da taxa de construção de células de cria durante a estação quente e seca sugere um mecanismo importante para economizar recursos polínicos estocados e consequentemente permiti a sobrevivência das colônias durante períodos prolongados de escassez. Através da modelagem de distribuição de espécies, verificamos um potencial déficit de recursos forrageiros para espécie *M. subnitida* nas próximas décadas. Diante dessas observações foram discutidas as principais estratégias para a conservação dessa espécie de abelha sem ferrão na região semiárida do nordeste brasileiro.

Abstract

For a profound understanding of behavioural adaptations of stingless bee species to certain environmental conditions, studies are necessary that aim at evaluating the influence of biotic (availability of floral resources and competition) and abiotic factors (climatic variables) on colony-external activities (pollen foraging) as well as colony-internal activities (brood cell-construction). We investigated the behavioural responses of *Melipona subnitida* Ducke (Apidae, Meliponini) to the environmental conditions of the Caatinga, a biome in the Brazilian North-East characterized by elevated ambient temperatures and extended dry periods. The experiments were performed in the surroundings of Mossoró/RN, Brazil, which is considered one of the 26 priority areas concerning the conservation of the Caatinga. In the study area, we found important pollen and nectar sources for bees, including tree species of fundamental importance for colony maintenance during the dry season. The foragers of *M. subnitida* collected large quantities of pollen during a short period during the day and a short period in the course of the year, concentrating their foraging efforts predominantly at highly rewarding resources. Given that the offer of pollen within the nest directly influences brood production, the observed reduction of brood cell-construction during the hot and dry season suggests an important mechanism for economizing the stored pollen, which guarantees the survival of the colony during extended periods of dearth. Modeling future distribution of the species, we identified a potential deficit of food resources for *M. subnitida* in the next decades. Using the results of our study, we discussed the main strategies for the conservation of this stingless bee species in the semiarid region of the Brazilian Northeast.

Índice

Resumo.....	i
Abstract.....	ii
Introdução Geral.....	9
Objetivos Gerais.....	10
Referências Bibliográficas.....	12
 Capítulo 1: Diagnóstico da composição florística e da estrutura fitossociológica de um remanescente de Caatinga: uma perspectiva para a conservação de plantas e abelhas do semiárido brasileiro	
Introdução.....	16
Material e Métodos.....	17
Resultados.....	20
Discussão.....	30
Referências Bibliográficas.....	34
 Capítulo 2: Respostas comportamentais de <i>Melipona subnitida</i> (Apidae, Meliponini) às variações ambientais do semiárido brasileiro	
Introdução.....	41
Material e Métodos.....	43
Resultados.....	47
Discussão.....	56
Referências Bibliográficas.....	61
 Capítulo 3: A oferta de pólen controla a produção de cria em <i>Melipona subnitida</i> (Apidae, Meliponini)	
Introdução.....	72
Material e Métodos.....	73
Resultados.....	76
Discussão.....	82
Referências Bibliográficas.....	88
 Capítulo 4: Redução potencial nas áreas de distribuição futura de plantas visitadas por <i>Melipona subnitida</i> (Apidae, Meliponini) na região semiárida brasileira	
Introdução.....	93
Material e Métodos.....	95
Resultados.....	97
Discussão.....	108
Referências Bibliográficas.....	111
 Conclusão Geral: Estratégias para a conservação da abelha jandaíra.....	118

INTRODUÇÃO GERAL

Foto: Michael Hrcir

ADAPTAÇÕES COMPORTAMENTAIS DE *MELIPONA SUBNITIDA* (APIDAE, MELIPONINI) ÀS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.

ADAPTAÇÕES COMPORTAMENTAIS DE *MELIPONA SUBNITIDA* (APIDAE, MELIPONINI) ÀS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.

As abelhas sem ferrão (Apidae, Meliponini) pertencem a um grupo de abelhas altamente eussociais com distribuição geográfica nas regiões tropicais e subtropicais do planeta (Michener, 1974; Michener, 2000; Camargo; Pedro, 2012). Devido a grande diversidade dos Meliponini, esse grupo apresenta uma ampla variação quanto às características comportamentais, às estratégias de forrageamento e de comunicação, às densidades populacionais, às arquiteturas dos ninhos, entre outros (Michener, 1974). Em regiões com temperaturas ambientais mais baixas, mecanismos comportamentais relacionados aos fatores climáticos são fundamentais para a sobrevivência das espécies de abelhas sem ferrão (Kleinert-Giovannini; Imperatriz-Fonseca, 1986; Benthem et al., 1995; Pick; Blochtein, 2002; Ribeiro et al., 2003; Nunes-Silva et al., 2010). No entanto, ainda não foram investigadas detalhadamente as adaptações comportamentais de abelhas sem ferrão que ocorrem em ambientes quentes e secos, como a região semiárida brasileira.

Os estudos que visam avaliar a influência dos fatores bióticos (disponibilidade de recursos florais e competição) e abióticos (variáveis climáticas) nas atividades externas (comportamento de forrageamento de pólen) e internas (taxa de construção de células de cria) das colônias são importantes para compreender as adaptações comportamentais das espécies. O monitoramento da construção de células de cria é fundamental para avaliar a dinâmica populacional das colônias e os efeitos da sazonalidade de recursos. Através de estudos palinológicos é possível identificar as principais fontes de recursos florais utilizadas pelas espécies abelhas, favorecendo a elaboração de planos de manejo adequados. Além disso, esses estudos podem auxiliar nas investigações relacionadas às futuras mudanças climáticas globais e contribuir com informações valiosas para a conservação das espécies.

OBJETIVOS E ORGANIZAÇÃO GERAL DA TESE

O principal objetivo deste estudo foi investigar as adaptações comportamentais de *Melipona subnitida* Ducke (Apidae, Meliponini) às condições ambientais do semiárido brasileiro. Embora a abelha *M. subnitida* ocorra em algumas áreas úmidas como os manguezais, por exemplo, no estado do Maranhão, essa espécie tem sua distribuição relacionada principalmente à região semiárida brasileira (Zanella, 2000; Camargo; Pedro, 2012). Possivelmente trata-se de uma espécie altamente adaptada às condições ambientais extremas e variações sazonais definidas por temperaturas anuais elevadas e longos períodos de seca. O índice de chuvas nessa região também é extremamente irregular de um ano para outro, resultando em secas periódicas severas (Krol et al., 2001; Prado, 2003; Chiang; Koutavas, 2004). Foram investigadas quais as principais plantas fontes de recursos florais (pólen e néctar) para esta espécie de abelha na Caatinga, e quais as influências das variáveis climáticas, da disponibilidade de recursos e da quantidade de pólen estocado no comportamento das colônias. Estas investigações permitiram a modelagem ecológica e previsões de estratégias para a conservação dessa espécie. A tese foi dividida em quatro capítulos no formato de manuscritos para publicação e uma conclusão geral.

CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO DA COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E DA ESTRUTURA FITOSSOCIOLÓGICA DE UM REMANESCENTE DE CAATINGA: UMA PERSPECTIVA PARA A CONSERVAÇÃO DE PLANTAS E ABELHAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.

Devido à interdependência entre plantas e abelhas, e a necessidade de preservação da biodiversidade da região semiárida brasileira, este capítulo priorizou: (1) Caracterizar a composição florística e a estrutura fitossociológica da vegetação arbóreo-arbustiva ocorrente em dois trechos de Caatinga, com diferentes históricos de degradação ambiental. (2) Destacar a importância da preservação de plantas e abelhas para a manutenção da biodiversidade do semiárido brasileiro.

CAPÍTULO 2: RESPOSTAS COMPORTAMENTAIS DE *MELIPONA SUBNITIDA* (APIDAE, MELIPONINI) ÀS VARIAÇÕES AMBIENTAIS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.

No segundo capítulo foi avaliada a influência dos fatores ambientais (fatores abióticos e bióticos) sobre atividades externas (comportamento de forrageamento de pólen) e internas (taxa de construção de células de cria) de colônias de *Melipona subnitida*, visando responder as seguintes perguntas: (1) Quais fatores climáticos influenciam a atividade forrageira de pólen? (2) A disponibilidade de recursos influencia a atividade forrageira de pólen? (3) Quais fatores ambientais influenciam a taxa de construção de células de cria?

CAPÍTULO 3: A OFERTA DE PÓLEN CONTROLA A PRODUÇÃO DE CRIA EM *MELIPONA SUBNITIDA* (APIDAE, MELIPONINI).

O terceiro capítulo descreve um estudo experimental realizado para avaliar as possíveis relações entre a atividade forrageira de pólen, a quantidade de pólen estocado no ninho e a produção de cria, em colônias de abelhas sem ferrão (*Melipona subnitida*), visando responder as seguintes perguntas: (1) A quantidade de pólen estocado dentro do ninho (pólen extra e ausência de pólen) influencia a atividade forrageira de pólen das colônias? (2) A quantidade de pólen estocado dentro do ninho (pólen extra e ausência de pólen) influencia a taxa de construção de células de crias?

CAPÍTULO 4: REDUÇÃO POTENCIAL NAS ÁREAS DE DISTRIBUIÇÃO FUTURA DE PLANTAS VISITADAS POR *MELIPONA SUBNITIDA* (APIDAE, MELIPONINI) NA REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA.

O objetivo principal deste quarto capítulo foi identificar futuras áreas de distribuição potencial para a espécie *Melipona subnitida* e para as principais espécies de plantas fontes de recursos, pólen e néctar, coletadas por essa abelha na região semiárida do nordeste brasileiro, utilizando um cenário futuro de mudança moderada de clima.

CONCLUSÃO GERAL: ESTRATÉGIAS PARA A CONSERVAÇÃO DA ABELHA JANDAÍRA.

Na conclusão geral foram discutidas as principais estratégias para a conservação da abelha jandaíra (*Melipona subnitida*): (1) Ameaças antrópicas ao semiárido brasileiro. (2) A importância da abelha jandaíra para o semiárido brasileiro. (3) A importância do pólen para a manutenção dos ninhos de jandaíra. (4) A importância do plantio de mudas nativas do semiárido. (5) Mudanças climáticas e a importância das áreas de conservação. (6) Educação ambiental: uma ferramenta fundamental para a conservação de abelhas e plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENTHEM F. D. J., IMPERATRIZ-FONSECA V. L., VELTHUIS H. H. W. Biology of the stingless bee *Plebeia remota* (Holmberg): observations and evolutionary implications **Insectes Sociaux** 42, 71-87, 1995.
- CAMARGO, J. M. F.; PEDRO, S. R. M. Meliponini Lepeletier, 1836. In Moure, J. S., Urban, D.; Melo, G. A. R. (Eds.). **Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region**. Available at <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>. 2012.
- CHIANG, J. C. H.; KOUTAVAS. A. Climate change: tropical flip-flop connections. **Nature**, v. 432, p. 684-685, 2004.
- KLEINERT-GIOVANNINI A., IMPERATRIZ-FONSECA V. L. Flight activity and responses to climatic conditions of two subspecies of *Melipona marginata* Lepeletier (Apidae, Meliponinae). **Journal of Apicultural Research** 25, 3- 8, 1986.
- KROL, M. S. *et al.* The semi-arid integrated model (SIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability of ecosystems and society in NE-Brazil. **Physics and Chemistry of the Earth (B)**, v. 26, n. 7, p. 529-533, 2001.
- MICHENER, C. D. **The social behavior of the bees: a comparative study**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1974. p. 404.
- MICHENER, C. D. **The bees of the world**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2000.
- NUNES-SILVA, P. *et al.* Foraging activity in *Plebeia remota*, a stingless bees species, is influenced by the reproductive state of a colony. **Psyche: A Journal of Entomology**, v. 2010, n. Article ID 241204, p. 16, 2010.
- PICK R. A., BLOCHTEIN, B. Atividades de vôo de *Plebeia saiqui* (Holmberg) (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae) durante o período de postura da rainha e em diapausa. **Revista Brasileira de Zoologia** 19, 827-839, 2002.

- PRADO, D. 2003. As caatingas da América do Sul. *In*: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1. ed. Recife PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 75-134.
- RIBEIRO M. F., IMPERATRIZ-FONSECA V. L., SANTOS FILHO, P. S. A interrupção da construção de células de cria e postura em *Plebeia remota* (Holmberg) (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). *In*: **Apoidea Neotropica: Homenagem aos 90 Anos de Jesus Santiago Moure**. MELO, G. A. R.; ALVES DOS SANTOS, I. (Eds). Criciúma, SC: Editora UNESC. 2003. p. 177-188.
- ZANELLA, F. The bees of the Caatinga (Hymenoptera, Apoidea, Apiformes): a species list and comparative notes regarding their distribution. **Apidologie**, v. 31, p. 579-592, 2000.

CAPÍTULO 1

DIAGNÓSTICO DA COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E DA ESTRUTURA FITOSSOCIOLÓGICA DE UM REMANESCENTE DE CAATINGA: UMA PERSPECTIVA PARA A CONSERVAÇÃO DE PLANTAS E ABELHAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.

CAMILA MAIA-SILVA, MICHAEL HRNCIR, AMANDA A. CASTRO LIMÃO, ULYSSES MADUREIRA MAIA, RUBENS TEIXEIRA DE QUEIROZ E VERA LUCIA IMPERATRIZ-FONSECA

DIAGNÓSTICO DA COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E DA ESTRUTURA FITOSSOCIOLÓGICA DE UM REMANESCENTE DE CAATINGA: UMA PERSPECTIVA PARA A CONSERVAÇÃO DE PLANTAS E ABELHAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.

RESUMO

As abelhas atuam na base da cadeia alimentar e através da polinização prestam um importante serviço ecossistêmico na manutenção da biodiversidade. O principal objetivo desse estudo foi realizar um diagnóstico da composição florística e da estrutura fitossociológica da vegetação arbóreo-arbustiva de uma região semiárida, com vegetação de caatinga hipoxerófila e destacar espécies de plantas importantes para a manutenção das populações de abelhas do semiárido brasileiro. O diagnóstico foi realizado em Mossoró-RN, Brasil e foram amostradas duas áreas com diferentes históricos de degradação ambiental. Foram estabelecidas 33 parcelas (10 x 10 m), sendo 25 parcelas na área menos degradada e 8 parcelas na área mais degradada, onde foram amostrados todos os indivíduos vivos com circunferência do caule ao nível do solo ≥ 10 cm e altura total ≥ 1 m. Foram construídos mapas *hotspots* para comparar a composição florística e a estrutura fitossociológica das parcelas estabelecidas na área estudada. Na área menos degradada foram amostradas 29 espécies, sendo 11 espécies endêmicas do bioma Caatinga. As espécies com maior densidade relativa foram: *Mimosa caesalpinifolia* na área menos degradada e *Mimosa tenuiflora* na área degradada. Os dados aqui apresentados indicam que o remanescente abriga espécies-chave para a conservação da biodiversidade de abelhas e plantas do semiárido brasileiro. Foram destacadas fontes de pólen e néctar importantes para a manutenção das populações de abelhas, incluindo as espécies com floração durante a estação seca, período de escassez de recursos na Caatinga e também espécies utilizadas para a construção de ninhos. Nossos resultados são importantes para estudos sobre a composição florística e a estrutura fitossociológica de vegetação arbóreo-arbustiva em regiões semiáridas.

Palavras-chave: Vegetação hipoxerófila. Mapas *Hotspots*. Polinizadores. Mudanças Climáticas.

INTRODUÇÃO

Grande parte da vegetação da Caatinga, região semiárida brasileira, foi altamente modificada pela utilização e ocupação humana e a perda de paisagens causa consequências drásticas para a manutenção das espécies (Leal et al., 2003a; Castelletti et al., 2004; Silva et al., 2004; Leal et al., 2005; Santos et al., 2011). O uso insustentável contínuo dos recursos naturais tem provocado graves alterações ambientais, levando ao rápido desaparecimento de espécies únicas (Castelletti et al., 2004). Devido a perturbações antrópicas causadas pelo desmatamento e a substituição da vegetação natural por culturas agrícolas, os solos em várias regiões da Caatinga estão sofrendo um processo acelerado de desertificação (Castelletti et al., 2004; Leal et al., 2005). Além disso, o aquecimento global previsto para as próximas décadas (Houghton et al., 2001; Marengo et al., 2009) representa uma ameaça potencial para a biodiversidade restante da Caatinga. O aumento da temperatura média anual em 4°C e a dramática redução de chuvas (Oyama; Nobre, 2003; Trenberth et al., 2007) criará uma situação climática ainda mais adversa para seres vivos de ambientes tropicais áridos.

Os polinizadores são elementos-chave para a conservação e manutenção dos ecossistemas naturais (Wratten et al., 2012). No entanto, os sistemas plantas-polinizadores são sistemas frágeis frente às perturbações antrópicas ambientais (Memmott et al., 2007; Hoover et al., 2012). Cerca de 90% das plantas com flores (Ollerton et al., 2011) dependem em algum momento de animais polinizadores. Consequentemente, o declínio dos polinizadores levaria à redução dos frutos e sementes produzidos pelas plantas e, consequentemente, das populações que dependem delas. Devido ao fato de que os polinizadores atuam na base da cadeia alimentar e prestam um importante serviço ecossistêmico na manutenção da biodiversidade (Biesmeijer et al., 2006; Potts et al., 2010; Wratten et al., 2012), a conservação dos polinizadores torna-se fundamental para a manutenção dos ecossistemas (Imperatriz-Fonseca et al., 2012).

Há muitos animais polinizadores, mas as abelhas, tanto as solitárias como as sociais, são os principais polinizadores da maioria das plantas com flores (Heard, 1999; Slaa et al., 2006;

Ollerton et al., 2011; Machado; Lopes, 2004). Além de sofrer com as ações antrópicas, como o desmatamento, a fragmentação de habitats e o uso indiscriminado de pesticidas (Biesmeijer et al., 2006; Gill et al., 2012), as populações de abelhas são ameaçadas pelas mudanças climáticas globais, que afetam tanto a distribuição das espécies como também as interações com as plantas (Parmesan, 2006; Giannini et al., 2012; Rafferty; Ives, 2012; Saraiva et al., 2012).

Estudos que visam ampliar o conhecimento sobre a disponibilidade de plantas utilizadas pelas abelhas, como locais de nidificação e também como fonte de recursos em regiões semiáridas, são fundamentais para definir estratégias de conservação e para a manutenção dos serviços ecossistêmicos associados à polinização. O principal objetivo desse estudo foi: (1) caracterizar a composição florística e a estrutura fitossociológica da vegetação arbóreo-arbustiva de uma região semiárida, com vegetação de caatinga hipoxerófila, e (2) destacar espécies de plantas importantes para a manutenção das populações de abelhas do semiárido brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

1. ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada em um remanescente de Caatinga arbóreo-arbustiva em uma área da Reserva Legal da Estação Experimental Rafael Fernandes (RLEERF) da Universidade Federal Rural do Semi-árido/UFERSA. A Estação Experimental possui cerca de 400 ha e está localizada no município de Mossoró, Rio Grande do Norte/RN, Brasil ($5^{\circ}03'54.45''S$, $37^{\circ}24'03.64''O$, altitude 79 m). Dista aproximadamente 4 km do Parque Nacional da Fuma Feia/RN (Serra Mossoró). A área de estudo está localizada na região da Chapada do Apodi (Depressão Sertaneja Setentrional), com clima quente e semiárido e precipitação média anual entre 500 e 800 mm, e vegetação caducifólia espinhosa (caatinga hipoxerófila) (Velloso et al., 2002). Devido à particularidade da região e à intensa exploração e crescimento populacional humano, esta foi considerada como uma das 26 áreas de extrema prioridade para a conservação da Caatinga (Tabarelli; Silva, 2003; Silva et al., 2004).

O remanescente estudado possui aproximadamente 26 ha e atualmente faz parte da RLEERF, porém anteriormente foi utilizado para pastejo de gado bovino e para a exploração seletiva de madeira para estaca e lenha. Por volta de 1980 houve também um registro de incêndio accidental na área. Nós comparamos as características da vegetação de duas áreas com diferentes históricos de uso (Figura 1.1). Cerca de 21 ha com cobertura vegetal nativa sofreu menos distúrbios antrópicos (área I - pouco degradada). Cerca de 5 ha correspondem a uma área degradada a qual foi utilizada para cultivos agrícolas e abandonada há cerca de 5 anos (área II - degradada) e está em fase de regeneração. Além dessas duas áreas existe um trecho de carnaubal, o qual não foi amostrado devido à alta densidade da espécie *Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore (Figura 1.1A).

Para o diagnóstico da composição florística e da estrutura fitossociológica foram estabelecidas 33 parcelas de 10 m x 10 m, totalizando uma área amostral de 3.300 m², sendo 25 parcelas na área I (totalizando 2.500 m²) e 8 parcelas na área II (totalizando 800 m², Figura 1.1). As parcelas foram georreferenciadas com o auxílio do GPS (GPSMAP 60CSx; Garmin Ltd., Estados Unidos).

2. COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Entre setembro de 2011 e fevereiro de 2012 foram mensurados e identificados todos os indivíduos vivos com circunferência da base maior ou igual a 10 cm e altura maior ou igual a 1m. Quando um indivíduo apresentava-se ramificado desde a base todos os fustes foram mensurados. Amostras de material botânico foram coletadas para identificação e o material herborizado foi depositado no herbário Dárdano de Andrade Lima na UFERSA (MOSS).

A caracterização da estrutura horizontal da comunidade arbóreo-arbustiva foi estimada por meio dos parâmetros fitossociológicos de cálculos da frequência, densidade, dominância e dos índices de valor de importância de cada espécie amostrada (Rodal et al., 1992). A diversidade florística foi estimada pelo índice de Shannon-Wiener (H'). Os cálculos e gráficos

foram obtidos com o auxílio dos softwares SigmaStat 3.5 (Systat Software Inc®, Estados Unidos) e SigmaPlot 10.0 (Systat Software Inc®, Estados Unidos).

3. Mapas *Hotspots*

Para melhor visualização de alguns parâmetros importantes relacionados ao valor da área estudada, foram elaborados mapas *Hotspots*. Para a construção desses mapas, foi formada uma grade, delimitando áreas no entorno das parcelas (Figura 1.1B). As linhas da grade resultaram das conexões entre os pontos médios dos triângulos, definidos pelas conexões retas entre parcelas próximas, e os pontos médios das conexões retas entre parcelas (Figura 1.1C). No caso de parcelas próximas a bordas (cerca, carnaubal, fronteira entre área I e área II), as linhas da grade foram estendidas até as bordas. A cada área delimitada pela grade foram atribuídos os valores dos seguintes parâmetros encontrados em cada parcela: (a) número de espécies, (b) número de espécies endêmicas (de acordo com a classificação de Giulietti et al., 2004), (c) DAS médio (cm), (d) DAS máximo (cm), (e) valor da parcela (Equação 1), e (f) abundância de *Mimosa caesalpinifolia*. O parâmetro valor da parcela (V_i) foi definido como:

$$V_i = \frac{\left(\frac{NS_i}{NS_{max}}\right) + \left(\frac{NE_i}{NE_{max}}\right) + \left(\frac{DAS_{med_i}}{DAS_{med_{max}}}\right)}{3} \quad \text{Equação 1}$$

onde NS_i é o número de espécies na parcela i , NS_{max} é o número máximo de espécies por parcela encontrada na área, NE_i é o número de espécies endêmicas na parcela i , NE_{max} é o número máximo de espécies endêmicas por parcela encontrada na área, DAS_{med_i} é o diâmetro (DAS) médio das árvores na parcela i , e $DAS_{med_{max}}$ é o diâmetro médio máximo encontrado na área, sendo que, V_i varia entre 0 (valor mínimo) e 1 (valor máximo). Para melhor visualização, os valores dos parâmetros foram transformados em uma cor, utilizando uma codificação de cores HLS ("Hue, Lightness, Saturation"; valores fixos: L = 50; S = 100; valor variável: H = 0 [vermelho; valor máximo] – 250 [azul; valor mínimo]). Os mapas foram elaborados com o auxílio de GPS (GPSMAP 60CSx; Garmin Ltd., Estados Unidos) e do software CorelDraw Graphics Suite X6 (64 bit) (Corel Corporation, Estados Unidos).

Figura 1.1. Área amostral (RLEERF, Mossoró/RN, Brasil). **(A)** Na área I (área pouco degradada) foram estabelecidas 25 parcelas (área I = 21 ha, 25 parcelas 10 X 10 m = 2.500 m²). Na área II (área degradada) foram estabelecidas 8 parcelas (área II = 5 ha, 8 parcelas 10 X 10 = 800 m²). **(B)** Grade delimitando áreas no entorno das parcelas. **(C)** As linhas da grade resultaram das conexões entre os pontos médios dos triângulos, definidos pelas conexões retas entre parcelas próximas, e os pontos médios das conexões retas entre parcelas.

RESULTADOS

1. COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E ESTRUTURA FITOSSOCIOLÓGICA: ÁREA POUCO DEGRADADA

A curva de acumulação de espécies tendeu a estabilização a partir da 15^a parcela, indicando suficiência amostral para caracterizar a composição florística do fragmento estudado ($n_{\text{espécies}} = 29$, Regressão exponencial: $n \text{ espécies} = 26,6 \times (1 - \exp(-0,26 \times n \text{ parcelas}))$, $r^2 = 0,83$, $p < 0,001$, Figura 1.2).

Na área I (área pouco degradada) foram amostradas 29 espécies distribuídas em 27 gêneros e 15 famílias botânicas (Tabela 1.1). De acordo com a classificação de Giullietti et al.,

(2004) onze espécies amostradas são endêmicas da Caatinga (Tabela 1.1). A diversidade de espécies estimada foi 2,58 nats/indivíduo (H' de Shannon-Wiener).

A família Fabaceae foi representada por maior número de espécies e densidade de indivíduos (13 espécies, DR= 59,4%), seguida pela família Euphorbiaceae (3 espécies, DR= 16,8%) e as outras famílias foram representadas por apenas uma espécie (Tabela 1.1, Figura 1.3A). As quatro espécies que se destacaram com maiores valores de densidade, *Mimosa caesalpinifolia* Benth., *Croton sonderianus* Müll. Arg., *Senegalia polyphylla* (DC.) e *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud., representaram 57,4% da densidade relativa total de indivíduos amostrados na área de estudo (Tabela 1.2, Figura 1.3B). Entre estas, *Mimosa caesalpinifolia* apresentou maior abundância e dominância entre as espécies, se destacou devido à sua alta frequência nas parcelas analisadas e, portanto obteve o maior índice de valor de importância (DR=24,5%; FR=10,6%; DoR=39%; VI=24,7%, Tabela 1.2).

A densidade total na área estudada foi 4.044 ind./ha (total de 1011 indivíduos amostrados) e a área basal total foi 77,3 m²/ha (Tabela 1.2). O diâmetro máximo registrado foi 64,6 cm correspondente a um indivíduo de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan e em média os fustes analisados apresentaram diâmetro de 11,8 cm. Houve maior concentração de indivíduos na classe de diâmetros menores (70,2%), entre 3 e 13 cm de diâmetro (Figura 1.4A). Os parâmetros estruturais (densidade, área basal total e diâmetro do fuste) apontam para uma vegetação densa (densidade total), com indivíduos adultos (área basal e diâmetro do fuste).

2. COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E ESTRUTURA FITOSSOCIOLÓGICA: ÁREA DEGRADADA

A área II (área degradada), em contraste com a área I (área pouco degradada), apresentou riqueza de espécies extremamente baixa, pois foram amostrados apenas 3 espécies pertencentes à 3 gêneros e 2 famílias botânicas: *Libidibia ferrea* (Mart.) L.P. Queiroz (Fabaceae - Caesalpinioideae), *Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore (Arecaceae) e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Fabaceae - Mimosoideae).

Em algumas parcelas foi observada cobertura vegetal constituída principalmente por trepadeiras herbáceas, dominada por espécies como *Ipomoea asarifolia* (Desr) Roem. & Schult. Foram observados indivíduos jovens (circunferência do caule < 10 cm) de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. e *Poincianella bracteosa* (Tul.) L.P. Queiroz. A espécie *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. foi dominante nessa área, com área basal total de 9,04 m²/ha (63% do total) e apresentou densidade relativa de 97,9%. Os indivíduos pertencentes às espécies *Libidibia ferrea* (Mart.) L.P. Queiroz (n = 1) e *Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore (n = 2) eram adultos (diâmetros: 59,8 cm, 27,6 cm e 29,6 cm respectivamente), os quais provavelmente não foram suprimidos durante a instalação das plantações.

A densidade total foi 1862 ind./ha (total de 149 indivíduos amostrados) e a área basal total foi 14,17 m²/ha. Considerando apenas os indivíduos da espécie *Mimosa tenuiflora* o diâmetro máximo registrado foi 19,09 cm e em média os fustes analisados apresentaram diâmetro de 7,27 cm. Houve maior concentração de indivíduos na primeira classe de diâmetro (91%), entre 3 e 13 cm de diâmetro (Figura 1.4B). Os parâmetros estruturais (densidade, área basal total e diâmetro do fuste) possuem valores mais baixos comparados à área I (pouco degradada), indicando uma vegetação mais aberta (baixa densidade), com indivíduos mais jovens (baixa área basal e diâmetro do fuste).

3. HOTSPOTS

Nós investigamos, através de mapas *hotspots*, quais as zonas dentro das áreas estudadas com maior valor ecológico (número de espécies, número de espécies endêmicas, valor da parcela e abundância de *Mimosa caesalpinifolia*) e, conseqüentemente, mais importantes para planos de manejo e conservação. Com relação à riqueza de espécies, a área pouco degradada (área I), mostrou uma distribuição relativamente homogênea, a maioria das parcelas (15 de 25) apresentou entre 8 e 10 espécies. Os *hotspots*, neste caso, com 11 ou 12 espécies de árvores por parcela, encontraram-se no centro da área, no extremo norte e leste (divisa com as plantações da fazenda), e no sul (divisa com a área II e o carnaubal) (Figura 1.5A). A distribuição das espécies

endêmicas (*hotspots* com 4 ou 5 espécies por parcela) concentraram-se em duas zonas principais, uma ao longo da fronteira nordeste (divisa com as plantações da fazenda), e a outra no sul da trilha principal ligando a área degradada com o carnaubal (Figura 1.5B).

Os menores valores de diâmetro médio dos fustes das parcelas (DAS médio) foram registrados nas áreas próximas ao carnaubal e próximas a área II (Figura 1.5C). As árvores com maiores diâmetros (DAS máximo) foram concentradas principalmente em duas áreas, sendo uma na parte mais central e uma na porção final da trilha principal (Figura 1.5D).

A partir dos valores "número de espécies", "número de espécies endêmicas" e "valor DAS médio" foi estimado o valor da parcela (V). Os *hotspots*, neste caso, com valores acima de $V = 0,75$, localizaram-se ao longo da fronteira nordeste e em uma zona mais ampla, ligando a área degradada com o carnaubal (no sul da trilha principal) incluindo também a parte central da área I (Figura 1.5E). Com respeito à distribuição de *M. caesalpinifolia*, representando a espécie mais abundante da área, e também uma espécie endêmica da Caatinga e ameaçada de extinção, foi observada uma abundância reduzida nas parcelas perto de cercas no norte e leste (divisas com plantações da fazenda), na zona central da área I e, parcialmente, perto do carnaubal. Os *hotspots* (abundância de *M. caesalpinifolia* > 50%) se encontravam no extremo sul da área I e em uma parcela vizinha da área II (Figura F).

Por outro lado, a área degradada (área II) apresentou valores baixos de: número total de espécies (1 ou 2 espécies por parcela), número de espécies endêmicas (uma única parcela com 1 espécie endêmica), e abundância de *Mimosa caesalpinifolia* (0 em todas as parcelas) (Figura 1.5A-F).

Tabela 1.1. Espécies arbóreo-arbustivas amostradas na área I (pouco degradada) da Fazenda Experimental Rafael Fernandes/UFERSA, Mossoró/RN, Brasil.

Familia	Espécies	Nome popular	Origem
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	aroeira	nativa
Arecaceae	<i>Copernicia prunifera</i> (Mill.) H.E. Moore	carnauba	endêmica
Malvaceae	<i>Pseudobombax marginatum</i> (A. St. Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns	embiratanha	endêmica
Boraginaceae	<i>Cordia oncocalyx</i> Allemão	pau-branco	endêmica
Burseraceae	<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	imburana	endêmica
Cactaceae	<i>Cereus jamacaru</i> P. DC	mandacaru	endêmica
Capparaceae	<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J.Presl	feijão-bravo	endêmica
Combretaceae	<i>Combretum leprosum</i> Mart.	mofumbo	nativa
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum nummularia</i> Peyr.		nativa
Euphorbiaceae	<i>Croton sonderianus</i> Müll. Arg.	marmeleiro	nativa
Euphorbiaceae	<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	pinhão	endêmica
Euphorbiaceae	<i>Manihot glaziovii</i> Muell. Arg.	maniçoba	endêmica
Fabaceae - Caesalpinioideae	<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	mororó	nativa
Fabaceae - Caesalpinioideae	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	jucá	nativa
Fabaceae - Caesalpinioideae	<i>Poincianella bracteosa</i> (Tul.) L.P.Queiroz	catingueira	nativa
Fabaceae - Caesalpinioideae	<i>Senna macranthera</i> (DC. ex Collad.) Irwin & Barneby	são-joão	nativa
Fabaceae - Mimosoideae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	angico	nativa
Fabaceae - Mimosoideae	<i>Chloroleucon dumosum</i> (Benth.) G.P. Lewis	arapiraca	endêmica
Fabaceae - Mimosoideae	<i>Mimosa arenosa</i> (Willd.) Poir.	calumbi	nativa
Fabaceae - Mimosoideae	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.	sabiá	endêmica
Fabaceae - Mimosoideae	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	jurema-preta	nativa
Fabaceae - Mimosoideae	<i>Piptadenia stipularia</i> (Benth.) Ducke	jurema-branca	nativa
Fabaceae - Mimosoideae	<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W.Jobson	catanduva	nativa
Fabaceae - Mimosoideae	<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	espinheiro	nativa
Fabaceae - Papilionoideae	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	cumaru	nativa
Nyctaginaceae	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	joão-mole	nativa
Olacaceae	<i>Ximenia americana</i> L.	ameixa	nativa
Rhamnaceae	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	juazeiro	endêmica
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.	cambará	nativa

Tabela 1.2. Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreo-arbustivas amostradas na área I (pouco degradada) da Fazenda Experimental Rafael Fernandes/UFERSA Mossoró/RN, Brasil.

Espécies	Máx (DAS)	Média (DAS)	DA	DR (%)	FA	FR (%)	DoA (m ² /ha)	DoR (%)	VI (%)	AB (m ² /ha)
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	62,39	15,73	992	24,53	0,96	10,67	30,15	39,01	24,74	30,15
<i>Croton sonderianus</i>	48,51	9,60	636	15,73	0,64	7,11	6,77	8,76	10,53	6,77
<i>Senegalia polyphylla</i>	47,75	12,17	356	8,80	0,60	6,67	6,55	8,48	7,98	6,55
<i>Poincianella bracteosa</i>	60,16	12,42	240	5,93	0,72	8,00	5,61	7,25	7,06	5,61
<i>Bauhinia cheilantha</i>	43,19	7,87	340	8,41	0,60	6,67	2,64	3,42	6,16	2,64
<i>Cynophalla flexuosa</i>	33,74	7,79	276	6,82	0,76	8,44	2,07	2,68	5,98	2,07
<i>Combretum leprosum</i>	33,10	8,08	212	5,24	0,68	7,56	1,72	2,22	5,01	1,72
<i>Mimosa tenuiflora</i>	42,02	19,58	100	2,47	0,52	5,78	3,68	4,76	4,34	3,68
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	53,16	20,08	84	2,08	0,44	4,89	4,20	5,44	4,14	4,20
<i>Mimosa arenosa</i>	38,83	8,70	168	4,15	0,48	5,33	1,44	1,87	3,79	1,44
<i>Ziziphus joazeiro</i>	34,06	11,06	84	2,08	0,32	3,56	1,18	1,53	2,39	1,18
<i>Copernicia prunifera</i>	43,93	34,26	32	0,79	0,20	2,22	3,00	3,88	2,30	3,00
<i>Cordia oncocalyx</i>	19,54	9,24	84	2,08	0,28	3,11	0,70	0,91	2,03	0,70
<i>Anadenanthera colubrina</i>	64,62	24,22	28	0,69	0,20	2,22	2,40	3,10	2,00	2,40
<i>Libidibia ferrea</i>	39,92	14,49	32	0,79	0,28	3,11	0,87	1,13	1,68	0,87
<i>Ximenia americana</i>	41,70	7,53	84	2,08	0,08	0,89	0,82	1,06	1,34	0,82
<i>Piptadenia stipularia</i>	11,40	5,68	40	0,99	0,24	2,67	0,12	0,15	1,27	0,12
<i>Cereus jamacaru</i>	35,01	11,78	24	0,59	0,16	1,78	0,49	0,63	1,00	0,49
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>	24,51	9,40	40	0,99	0,12	1,33	0,47	0,61	0,98	0,47
<i>Manihot glaziovii</i>	13,37	7,99	28	0,69	0,16	1,78	0,16	0,21	0,89	0,16
<i>Chloroleucon dumosum</i>	28,84	15,36	28	0,69	0,08	0,89	0,69	0,90	0,83	0,69
<i>Commiphora leptophloeos</i>	35,65	14,74	24	0,59	0,08	0,89	0,61	0,80	0,76	0,61
<i>Jatropha mollissima</i>	11,46	7,58	16	0,40	0,12	1,33	0,08	0,10	0,61	0,08
<i>Amburana cearensis</i>	17,51	9,74	28	0,69	0,04	0,44	0,25	0,32	0,49	0,25
<i>Senna macranthera</i>	4,33	3,82	16	0,40	0,08	0,89	0,02	0,02	0,44	0,02
<i>Lantana camara</i>	6,43	4,40	32	0,79	0,04	0,44	0,05	0,07	0,43	0,05
<i>Pseudobombax marginatum</i>	33,55	33,55	4	0,10	0,04	0,44	0,35	0,46	0,33	0,35
<i>Erythroxylum nummularia</i>	15,92	10,50	12	0,30	0,04	0,44	0,12	0,15	0,30	0,12
<i>Guapira opposita</i>	12,73	12,73	4	0,10	0,04	0,44	0,05	0,07	0,20	0,05
Total			4044	100	9	100	77,3	100	100	77,3

AB = área basal (m²/ha); DA = densidade absoluta (ind./ha); DR = densidade relativa (%); FA = frequência absoluta (%); FR = frequência relativa (%); DoA = dominância absoluta (m²/ha); DoR = dominância relativa (%); em ordem decrescente de VI = valor de importância (%).

Figura 1.2. Curva de acumulação (curva do coletor) de espécies arbóreo-arbustivas em relação à área I (pouco degradada) amostrada da Fazenda Experimental Rafael Fernandes/UFERSA, Mossoró/RN, Brasil. Regressão exponencial: $n \text{ espécies} = 26,6 \times (1 - \exp(-0,26 \times n \text{ parcelas}))$, $r^2 = 0,83$, $p < 0,001$.

Figura 1.3. Densidade relativa das famílias e espécies amostradas na área I (pouco degradada) da Fazenda Experimental Rafael Fernandes/UFERSA, Mossoró/RN, Brasil. **(A)** Densidade relativa (%) das famílias amostradas na área I (pouco degradada). **(B)** Densidade relativa (%) das espécies amostradas na área I (pouco degradada).

Figura 1.4. Distribuição dos fustes por classe de diâmetros amostradas na Fazenda Experimental Rafael Fernandes/UFERSA, Mossoró/RN, Brasil. **(A)** Classes de diâmetros área I (pouco degradada). Regressão exponencial decrescente: indivíduos (%) = $393 \times \exp(-0,1 \times \text{classe de diâmetros})$, $r^2 = 1,0$, $p < 0,001$. **(B)** Classes de diâmetros área II (degradada). Regressão exponencial decrescente: indivíduos (%) = $2652 \times \exp(-0,3 \times \text{classe de diâmetros})$, $r^2 = 1,0$, $p < 0,001$.

* Valor da parcela i: $V_i = [(NS/NS_{max}) + (NE/NE_{max}) + DASmed/DASmed_{max}] / 3$
 onde NS = número total de espécies na parcela, NE = número de espécies endêmicas na parcela
 e DASmed = diâmetro médio (DAS) das árvores na parcela

Figura 1.5. Hotspots na área amostral (RLEERF, Mossoró/RN, Brasil). **(A)** Riqueza de espécies arbóreo-arbustivas: número de espécies amostradas em cada parcela. **(B)** Endemismo: número de espécies arbóreo-arbustivas endêmicas em cada parcela. **(C)** Valor DAS médio (cm) de cada parcela. **(D)** Valor DAS máximo (cm) de cada parcela. **(E)** Valor da área amostral: número total de espécies + número de espécies endêmicas de cada parcela amostrada + valor DAS médio. **(F)** Abundância de *Mimosa caesalpinifolia*: porcentagem de indivíduos da espécie *M. caesalpinifolia* em cada parcela.

DISCUSSÃO

Nossos resultados fornecem modelos importantes para estudos sobre a composição florística e a estrutura fitossociológica de vegetação arbóreo-arbustiva em regiões semiáridas. A construção de mapas *Hotspots* permitiu caracterizar a vegetação, destacando a riqueza de espécies e parâmetros fitossociológicos de cada parcela estudada. Visto que as regiões semiáridas poderão ser drasticamente afetadas pelas mudanças de temperatura e de umidade previstas (Marengo et al., 2009), o método desenvolvido no presente estudo poderá ser utilizado para o monitoramento dos efeitos das mudanças climáticas globais sobre a composição e a estrutura da vegetação, bem como para subsidiar planos de manejo e conservação da vegetação da Caatinga.

Os dados aqui apresentados indicam que o remanescente estudado abriga espécies-chave para a conservação da biodiversidade vegetal do semiárido brasileiro. A riqueza e a diversidade de espécies arbóreo-arbustivas (29 espécies e 2,58 nats/indivíduo) na área pouco degradada foram semelhantes a outros estudos realizados em áreas de Caatinga, nas quais a riqueza variou entre 14 e 28 espécies e a diversidade de espécies entre 1,28 e 2,54 nats/indivíduo (Maracajá et al., 2003; Amorim et al., 2005; Santana; Souto, 2006; Lira et al., 2007; Rodal et al., 2008; Guedes et al., 2012). Em algumas áreas a riqueza e a diversidade de espécies podem atingir valores mais elevados, principalmente nas regiões do nordeste brasileiro com maiores disponibilidade e uniformidade de água durante o ano ou com melhores históricos de conservação e proteção ambiental (Alcoforado-Filho et al., 2003; Pereira et al., 2002; Pereira et al., 2003; Cestaro; Soares, 2004).

A estrutura da vegetação em áreas de Caatinga também é fortemente influenciada pela disponibilidade de água e pelo nível de conservação de cada área (Pereira et al., 2002; Pereira et al., 2003; Alcoforado Filho et al., 2003; Ferraz et al., 2003). Na área pouco degradada, os valores referentes à estrutura da vegetação (densidade, área basal total, diâmetro do fuste) encontram-se entre os mais altos registrados para áreas de caatinga (vegetação caducifolia espinhosa), sendo semelhante às áreas preservadas e protegidas (Pereira et al., 2002; Pereira et al., 2003). Embora

existam registros de incêndios, retirada de madeiras e pastejo de gado bovino, nossos resultados (riqueza, diversidade, densidade e porte da vegetação) indicam que a área da RLEERF apresenta boa regeneração.

1. PERSPECTIVAS PARA A CONSERVAÇÃO DE PLANTAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Uma característica importante do remanescente estudado (área pouco degradada) é a presença das espécies *Mimosa caesalpinifolia* e *Amburana cearensis* consideradas ameaçadas de extinção (IUCN, 2013). A espécie *A. cearensis* apresentou baixa densidade de indivíduos (Tabela 1.2), porém de acordo com Rodal et al. (2008) essa espécie apresenta densidades maiores em áreas mais úmidas que a RLEERF. Devido à alta qualidade da madeira, a espécie *M. caesalpinifolia* é frequentemente muito explorada, reduzindo suas populações nativas (Giulietti et al., 2004). No entanto, o fato dessa espécie apresentar o maior índice de valor de importância é também uma forte evidência de conservação na área (Tabela 1.2). Em particular, as flores de *M. caesalpinifolia* disponibilizam recursos florais, pólen e néctar, em abundância para muitas espécies de abelhas nativas. A espécie *Mimosa tenuiflora* que se destacou no estrato arbóreo-arbustivo da área mais degradada, também disponibiliza grandes quantidades de recursos florais para as abelhas (Maia-Silva et al., 2012; Capítulo 2). Assim, esses resultados indicam que área estudada é importante tanto para conservação destas espécies de plantas ameaçadas de extinção como também para manutenção das espécies de abelhas as quais dependem de seus recursos florais para alimentação.

Após a supressão total da vegetação da área II (área degradada) apenas a espécie *M. tenuiflora*, no estrato arbóreo-arbustivo, apresentou regeneração natural até o momento (5 anos). A maior concentração de indivíduos nas classes de diâmetros menores demonstra a que a dominância desta espécie ainda se estenderá por vários anos. Vários estudos indicam que essa espécie é pioneira, abundante em áreas degradadas de caatinga em estágio inicial de sucessão ecológica (Sampaio et al., 1998; Calixto Junior; Drumond, 2011; Pereira et al., 2003), e dominante durante um longo período do processo de sucessão (Sampaio et al., 1998). Ainda

existe uma grande lacuna no conhecimento sobre a resiliência da Caatinga e regeneração natural desse bioma (Albuquerque et al., 2012) e estudos comparativos como este, com mais réplicas em outras áreas de estudos, poderão fornecer informações importantes sobre a dinâmica da regeneração natural desse bioma.

Áreas de agricultura que foram abandonadas podem demorar décadas para reestabelecer uma vegetação semelhante à original (Pereira et al., 2003; Andrade et al., 2005; Calixto Junior; Drumond, 2011). De fato, a regeneração natural da vegetação é lenta nessas áreas abandonadas, pois geralmente todas as possibilidades de rebrotas e o banco de sementes são eliminados. Além disso, ocorre redução da qualidade do solo, com a retirada de nutrientes pelas culturas, queda no teor de matéria orgânica e maior susceptibilidade à erosão (Sampaio et al., 1998).

As atividades humanas não sustentáveis, como a agricultura de corte, extração de madeira para lenha, a caça de animais e a contínua remoção da vegetação para a criação de bovinos e caprinos tem causado degradação ambiental em larga escala na Caatinga (Leal et al., 2005; Alves et al., 2009). Essas atividades afetam a abundância de populações, a riqueza e diversidade de espécies, a estrutura física de comunidades vegetais e a capacidade de regeneração natural da Caatinga (Leal et al., 2003b).

2. PERSPECTIVAS PARA A CONSERVAÇÃO DE ABELHAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

A manutenção de um ecossistema não depende da diversidade de espécies, por si só, mas sim das interações entre os organismos (Kaiser-Bunbury et al., 2010; Wratten et al., 2012). As interações ecológicas mutualísticas como a dispersão e a polinização são fundamentais para garantir a regeneração da vegetação de uma área degradada ou em processo de degradação (Forup et al., 2007; Aparicio et al., 2008; Kaiser-Bunbury et al., 2010; Menz et al., 2011).

O serviço de polinização prestado pelas abelhas é fundamental para a conservação de habitats naturais afetados por processos de fragmentação (Menz et al., 2011, Machado; Lopes, 2004). Na Caatinga, Machado e Lopes (2004) verificaram que entre 142 espécies de plantas houve uma predominância do sistema de polinização por insetos (69,9%), sendo a maioria delas

polinizada por abelhas (43,1%). Por sua vez, a maioria das espécies de abelhas depende exclusivamente dos recursos alimentares proveniente das flores (Roubik, 1989). As espécies arbóreo-arbustivas amostradas neste estudo são fontes importante de pólen e/ou néctar para muitas espécies de abelhas da Caatinga (Maia-Silva et al., 2012, Capítulo 2).

O pico de florescimento de plantas na Caatinga ocorre no início da estação chuvosa, mas há floração de espécies arbóreo-arbustivas durante todo o ano (Machado et al., 1997; Barbosa et al., 2003; Amorin et al., 2009). Portanto, os polinizadores obtêm suprimento contínuo de florações, apesar do reduzido número de espécies durante a estação seca (Machado et al., 1997). As espécies que florescem nesse período, *Myracrodruon urundeuva* (aroeira), *Anadenanthera colubrina* (angico), *Cynophalla flexuosa* (feijão-bravo) e *Ziziphus joazeiro* (juazeiro) (Machado et al., 1997; Amorim et al., 2009) são plantas-chave para a manutenção das espécies de abelhas durante esse período de escassez de recursos na Caatinga (Maia-Silva et al., 2012; Capítulo 2). A presença dessas espécies na área de estudo indica que há disponibilidade de recursos de florais durante a estação seca para a manutenção das populações de abelhas (Tabela 1.2).

Além de coletar recursos alimentares nas flores, muitas espécies de abelhas sociais e solitárias nidificam em cavidades de árvores (Roubik, 1983; Zanella; Martins, 2003) como, por exemplo, em troncos de *Poincianella* spp. (Martins et al., 2004; Medeiros, 2011). Em áreas de Caatinga, o diâmetro mínimo de árvores utilizadas para nidificação por abelhas sem ferrão pode variar entre de 13,68 e 17,19 cm, dependendo da espécie de abelha (Medeiros, 2011). A conservação de espécies utilizadas para nidificação é crucial para a manutenção de várias abelhas da Caatinga (Martins et al., 2004). Neste estudo verificamos que *Poincianella bracteosa* (catingueira) foi a sexta espécie mais abundante na área (Tabela 1.2) e possui diâmetro médio 12,4 cm e máximo de 60,1 cm, ou seja, trata-se de uma vegetação com estrutura capaz de abrigar ninhos naturais de várias espécies de abelhas nativas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de São Paulo/USP e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA pelo auxílio e ao Centro Tecnológico de Apicultura e Meliponicultura do RN/ CETAPIS pelas facilidades colocadas à disposição. Aos alunos Noeide S. Ferreira, Luiz Luz S. Junior, Micarla A. Silva e Glebson D. Silva pelo auxílio na coleta de dados. A CAPES (bolsa de doutorado CMS) e ao CNPq (processos VLIF: 482218/2010-0 e MH: 304722/2010-3, 481256/2010-5) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, U. P. *et al.* Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. **The Scientific World Journal**, doi:10.110, 2012.
- ALCOFORADO-FILHO, F.; SAMPAIO, E.; RODAL, M. Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia espinhosa arbórea em Caruaru, Pernambuco. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, n. 2, p. 287-303, 2003.
- ALVES, J.; ARAUJO, M.; NASCIMENTO, S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.
- AMORIM, I. DE; SAMPAIO, E.; ARAÚJO, E. DE L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de Caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 3, p. 615-623, 2005.
- AMORIM, I.; SAMPAIO, E.; ARAÚJO, E. Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga do Seridó, RN. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 491-499, 2009.
- ANDRADE, L. *et al.* Análise da cobertura de duas fitofisionomias de Caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, estado da Paraíba. **Cerne**, v. 11, n. 3, p. 253-262, 2005.
- APARICIO, A. *et al.* Dispersal potentials determine responses of woody plant species richness to environmental factors in fragmented Mediterranean landscapes. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 7, p. 2894-2906, 2008.
- BARBOSA, D.; BARBOSA, M.; LIMA, L. C. M. DE. Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1. ed. Recife PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 657-694.
- BIESMEIJER, J. C. *et al.* Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. **Science (New York, N.Y.)**, v. 313, n. 5785, p. 351-354, 2006.

- CALIXTO JÚNIOR, J.; DRUMOND, M. Estrutura fitossociológica de um fragmento de Caatinga sensu stricto 30 anos após corte raso, Petrolina-PE, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 67-74, 2011.
- CASTELLETI, C. H. M. *et al.* Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: SILVA, J. M. C. *et al.* (Eds.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 92-100.
- CESTARO, L. A.; SOARES, J. Variações florística e estrutural e relações fitogeográficas de um fragmento de floresta decídua no Rio Grande do Norte, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n. 2, p. 203-218, 2004.
- FERRAZ, E. M. N.; RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B. Physiognomy and structure of vegetation along an altitudinal gradient in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Phytocoenologia**, v. 33, n. 1, p. 71-92, 2003.
- FORUP, M. L. *et al.* The restoration of ecological interactions: plant-pollinator networks on ancient and restored heathlands. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, n. 3, p. 742-752, 2007.
- GIANNINI, T. C. *et al.* Pollination services at risk: Bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. **Ecological Modelling**, v. 244, p. 127-131, 2012.
- GILL, R. J.; RAMOS-RODRIGUEZ, O.; RAINE, N. E. Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. **Nature**, v. 491, n. 7422, p. 105-8, 2012.
- GIULIETTI, A. M. *et al.* Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: SILVA, J. M. C. *et al.* (Eds.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 48-90.
- GUEDES, R. *et al.* Caracterização florístico-fitossociológica do componente lenhoso de um trecho de Caatinga no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 99-108, 2012.
- HEARD, T. The role of stingless bees in crop pollination. **Annual Review of Entomology**, n. 131, p. 183-206, 1999.
- HOUGHTON, J. T. *et al.* **Climatic Change 2001 - The Scientific Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- HOOVER, S. E. R. *et al.* Warming, CO₂, and nitrogen deposition interactively affect a plant-pollinator mutualism. **Ecology Letters**, v. 15, n. 3, p. 227-34, 2012.
- IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. *et al.* **Polinizadores no Brasil - Contribuição e Perspectivas para a Biodiversidade, Uso Sustentável, Conservação e Serviços Ambientais**. 1. ed. São Paulo: SP: EDUSP, 2012. p. 488.
- IUCN - Red List of Threatened Species. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org>, 2013.

- KAISER-BUNBURY, C. N.; TRAVESET, A.; HANSEN, D. M. Conservation and restoration of plant–animal mutualisms on oceanic islands. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 12, n. 2, p. 131-143, 2010.
- LEAL, I. *et al.* Mudando o curso da conservação da biodiversidade na caatinga do nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, 2005.
- LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1. ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003a. v. 1p. 822
- LEAL, I. R.; VICENTE, A.; TABARELLI, M. Herbivoria por caprinos na Caatinga da região de xingó: uma análise preliminar. *In*: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1. ed. Recife PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003b. p. 695-716.
- LIRA, R. *et al.* Estudo da composição florística arbóreo-arbustivo na Floresta Nacional de Açu no semi árido do RN Brasil. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 3, p. 23-30, 2010.
- MACHADO, I. C. S.; BARROS, L. M.; SAMPAIO, E. V. S. B. Phenology of caatinga species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. **Biotropica**, v. 29, n. 1, p. 57-68, 1997.
- MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Floral traits and pollination systems in the caatinga, a Brazilian tropical dry forest. **Annals of Botany**, v. 94, n. 3, p. 365-76, 2004.
- MAIA-SILVA, C. *et al.* **Guia de Plantas: visitadas por abelhas na Caatinga**. 1. ed. Fortaleza, CE: Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012. p. 191
- MARACAJÁ, P. B. *et al.* Levantamento florístico e fitossociológico do extrato arbustivo-arbóreo de dois ambientes na Vila Santa Catarina, Serra do Mel , RN. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 3, 2003.
- MARENGO, J. A. *et al.* Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 2241-2255, 2009.
- MARTINS, C. F. *et al.* Tree species used for nidification by stingless bees in the Brazilian caatinga (Seridó, PB; João Câmara, RN). **Biota Neotropica**, v. 4, n. 2, p. BN00104022004, 2004.
- MEDEIROS, A. V. S. **Taxocenoses de Meliponina, seus recursos florais e sítios de nidificação em áreas da caatinga, no Seridó nordestino**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, 2011.
- MEMMOTT, J. *et al.* Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. **Ecology Letters**, v. 10, n. 8, p. 710-7, 2007.
- MENZ, M. H. M. *et al.* Reconnecting plants and pollinators: challenges in the restoration of pollination mutualisms. **Trends in Plant Science**, v. 16, n. 1, p. 4-12, 2011.

- OLLERTON, J.; WINFREE, R.; TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals? **Oikos**, v. 120, p. 321-326, 2011.
- OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical Research Letter**, v. 30, p. 21-99, 2003.
- PARMESAN, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 3, p. 637-669, 2006.
- PEREIRA, I. M. *et al.* Composição florística e análise fitossociológica do componente arbustivo-arbóreo de um remanescente florestal no agreste paraibano. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 3, p. 357-369, 2002.
- PEREIRA, I. M. *et al.* Use-history effects on structure and flora of caatinga. **Biotropica**, v. 35, n. 2, p. 154-165, 2003.
- POTTS, S. G. *et al.* Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 25, n. 6, p. 345-53, 2010.
- RAFFERTY, N. E.; IVES, A. R. Pollinator effectiveness varies with experimental shifts in flowering time. **Ecology**, v. 93, n. 4, p. 803-14, 2012.
- RODAL, M. J. N.; COSTA, K. C. C.; SILVA, A. C. B. L. E. Estrutura da vegetação caducifolia espinhosa (Caatinga) de uma área do sertão central de Pernambuco. **Hoehnea**, v. 35, n. 2, p. 209-217, 2008.
- RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S.; FIGUEIREDO, M. A. **Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico - ecossistema caatinga**. Brasília: Sociedade Botânica do Brasil, 1992.
- ROUBIK, D. W. Nest and colony characteristics of stingless bees from Panama (Hymenoptera, Apidae). **Journal of the Kansas Entomological Society**, v. 56, n. 3, p. 327-355, 1983.
- ROUBIK, D. W. **Ecology and Natural History of Tropical Bees**. New York, NY: Cambridge University Press, 1989.
- SAMPAIO, E. *et al.* Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 5, p. 621-632, 1998.
- SANTANA, J. A. S.; SOUTO, J. S. Diversidade e estrutura fitossociológica da caatinga na estação ecológica do Seridó-RN. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 232-242, 2006.
- SANTOS, J. C. *et al.* Caatinga : the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 276-286, 2011.
- SARAIVA, A. M. *et al.* Influência das alterações climáticas sobre a distribuição de algumas espécies de *Melipona* no Brasil. In: IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. *et al.* (Eds.). **Polinizadores no Brasil - Contribuição e Perspectivas para a Biodiversidade, Uso**

- Sustentável, Conservação e Serviços Ambientais.** 1. ed. São Paulo: SP: EDUSP, 2012. p. 349-359.
- SILVA, J. M. C. *et al.* **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.
- SLAA, E. J. *et al.* Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives of pollination in commercially grown. *Apidologie*, v. 37, p. 293-315, 2006.
- TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Áreas e ações prioritárias para a conservação da Caatinga. *In*: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga.** 1. ed. Recife PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 777-796.
- TRENBERTH, K. E. *et al.* Observations: surface and atmospheric climate change. *In*: SOLOMON, S. *et al.* (Eds.). **Climate change 2007: the physical science basis. contribution of working Group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.** New York, NY: Cambridge University Press, 2007.
- VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões proposta para o bioma caatinga.** 1. ed. Recife PE: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002. p. 76.
- WRATTEN, S. D. *et al.* Pollinator habitat enhancement: benefits to other ecosystem services. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 159, p. 112-122, 2012.
- ZANELLA, F. C. V.; MARTINS, C. F. Abelhas da caatinga: biogeografia, ecologia e conservação. *In*: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga.** 1. ed. Recife PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 75-134.

Foto: Michael Hrnčíř

RESPOSTAS COMPORTAMENTAIS DE *MELIPONA SUBNITIDA* (APIDAE, MELIPONINI) ÀS VARIAÇÕES AMBIENTAIS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.

RESPOSTAS COMPORTAMENTAIS DE *MELIPONA SUBNITIDA* (APIDAE, MELIPONINI) ÀS VARIAÇÕES AMBIENTAIS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.

RESUMO

Espécies de abelhas sem ferrão que ocorrem no semiárido brasileiro são adaptadas ao clima quente e seco dessa região. No semiárido brasileiro os recursos florais disponíveis para a alimentação das abelhas variam muito ao longo do ano. Os fatores climáticos associados à variação na disponibilidade de recursos podem definir as atividades internas e externas das colônias. Entretanto, ainda não foram investigadas com detalhes as respostas comportamentais de abelhas sem ferrão adaptadas a esses ambientes. No presente estudo foi avaliada a influência dos fatores ambientais (fatores abióticos e bióticos) sobre atividades externas (comportamento de forrageamento de pólen) e internas (taxa de construção de células de cria) de colônias de *Melipona subnitida*. A atividade forrageira (horário do início e do pico do forrageamento) foi influenciada principalmente pela temperatura e pelo horário do nascer do sol. A faixa de temperatura ambiental na qual as abelhas coletaram pólen foi entre 22 a 28°C. O número máximo de forrageadoras e o final do forrageamento foram influenciados pela disponibilidade de recursos florais, ou seja, quanto mais espécies de plantas em floração, maior foi a força forrageira e mais tarde as abelhas terminaram o forrageamento. Nos meses mais quentes e secos a atividade forrageira e a taxa de construção de células sofreram forte redução. Os resultados sugerem ajustes comportamentais às variações ambientais da região semiárida: (1) As colônias de *M. subnitida* coletam em um período curto do dia e do ano grandes quantidades de recursos disponíveis, concentrando a força forrageira nas fontes mais lucrativas. (2) A redução na taxa da construção de células de cria é um mecanismo importante para economizar recursos polínicos estocados e consequentemente aumentar as chances de sobrevivência das colônias durante a seca.

Palavras-chave: Abelhas sem ferrão. Recursos florais. Pólen. Construção de células de cria.

INTRODUÇÃO

As abelhas sem ferrão (Apidae, Meliponini) possuem distribuição geográfica nas regiões tropicais e subtropicais do planeta (Michener, 1974; Michener, 2000; Camargo; Pedro, 2012). Algumas espécies que ocorrem nas regiões subtropicais do hemisfério sul, principalmente no sul do Brasil, são capazes de tolerar baixas temperaturas no inverno (Michener, 1974; Ribeiro et al., 2003; Borges; Blochtein, 2006), enquanto outras são adaptadas à climas quentes e secos, principalmente no semiárido brasileiro (Zanella, 2000; Zanella; Martins, 2003).

As colônias de abelhas modificam suas atividades internas (construção de células de cria) e externas (forrageamento) em função das variações climáticas sazonais (Pick; Blochtein, 2002; Ribeiro et al., 2003; Borges; Blochtein, 2006; Ferreira Junior et al., 2010). As temperaturas ambientais baixas limitam a atividade de forrageamento de algumas espécies, pois as abelhas precisam aumentar a temperatura corporal para iniciar a atividade de voo (Heinrich, 1993). A influência da temperatura ambiental varia entre as diferentes espécies em função do tamanho, coloração e pilosidade do corpo (Pereboom; Biesmeijer, 2003; Biesmeijer et al., 1999). As espécies grandes com músculos de vôo maiores (relacionada com o tamanho do tórax) são capazes de aquecer o corpo de forma mais eficiente e podem iniciar a atividade forrageira em temperaturas ambientais baixas do que as espécies pequenas (Heinrich, 1993).

Temperaturas ambientais elevadas expõem as abelhas ao perigo de superaquecimento, durante o forrageamento (Willmer; Corbet, 1981). Sob as mesmas condições ambientais abelhas de cores mais claras sofrem menor risco de superaquecimento por insolação e são capazes de continuar coletando recursos, enquanto abelhas de cores mais escuras sofrem restrições térmicas e limitam a atividade forrageira. Consequentemente, as espécies escuras preferem manchas com flores sombreadas e evitam as manchas mais ensolaradas (Willmer; Corbet, 1981; Bruijn; Sommeijer, 1997; Pereboom; Biesmeijer, 2003; Biesmeijer et al., 1999).

Durante o vôo em temperaturas ambientais elevadas as forrageadoras de néctar podem regurgitar o conteúdo da carga de néctar armazenada dentro da vesícula nectarífera, assim

causando um resfriamento evaporativo do corpo (Heinrich, 1979). Porém esse mecanismo não é possível para as forrageadoras de pólen, uma vez que essas saem do ninho com néctar armazenado na vesícula nectarífera, que em parte é consumido durante a viagem de coleta (fonte de energia) e outra parte é adicionada ao pólen para o empacotamento nas corbículas (Leonhardt et al., 2007). Essa diferença com relação à termorregulação entre forrageadoras de néctar e de pólen, em combinação com o fato de que o aumento da taxa de evaporação em períodos de maior radiação solar torna o néctar das flores mais concentrado (Roubik; Buchmann, 1984), podem explicar a diminuição na coleta de pólen e aumento na coleta de néctar ao longo do dia (Sommeijer et al., 1983; Bruijn; Sommeijer, 1997; Pierrot; Schlindwein, 2003; Silva et al., 2011).

Os fatores climáticos associados à variação na disponibilidade de recursos florais no ambiente podem definir o padrão de forrageamento dessas abelhas (Roubik, 1982; Kleinert-Giovannini; Imperatriz-Fonseca, 1986; Kajobe; Echazarreta, 2005). Visto que a atividade forrageira influencia diretamente na quantidade de recursos armazenados nas colônias (Roubik, 1982) também é possível que as colônias modifiquem as atividades internas do ninho (por exemplo, a produção de cria) em respostas às alterações ambientais. Na região semiárida brasileira o clima é caracterizado por temperaturas anuais elevadas e longos períodos de escassez de água, com uma estação quente e seca e outra quente e chuvosa (Prado, 2003), período em que se concentram as florações (Zanella; Martins, 2003; Maia-Silva et al., 2012). Entretanto, ainda não foram investigadas com detalhes as respostas comportamentais de abelhas sem ferrão a essas variações ambientais na região semiárida brasileira.

No presente estudo foi avaliada a influência dos fatores ambientais (fatores abióticos e bióticos) sobre atividades externas (comportamento de forrageamento de pólen) e internas (taxa de construção de células de cria) de colônias de *Melipona subnitida*, visando responder as seguintes perguntas: (1) Quais fatores climáticos influenciam a atividade forrageira de pólen? (2)

A disponibilidade de recursos influencia a atividade forrageira de pólen? (3) Quais fatores ambientais influenciam a taxa de construção de células de cria?

MATERIAL E MÉTODOS

1. PERÍODO E LOCAL DE ESTUDO

As investigações foram realizadas no período entre maio de 2011 e maio de 2012, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA, município de Mossoró/RN (5°03'54.45''S, 37°24'03.64''O, altitude 79 m), que possui cerca de 400 ha. Os estudos foram realizados em uma área com cerca de 21 ha de vegetação nativa pertencente a Reserva Legal da Estação (para detalhes ver Capítulo 1). Nesta área foram estabelecidas quatro colônias de *Melipona subnitida* Ducke, popularmente conhecida como jandaíra, que ocorre somente na região nordeste brasileira, nos estados de Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Maranhão (Zanella, 2000; Camargo; Pedro, 2012). As colônias foram estabelecidas em caixas de observação, há pelo menos um ano antes do início dos experimentos.

2. VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E PLANTAS EM FLORAÇÃO

Durante as observações foram registradas a temperatura e a umidade relativa diárias, com auxílio de um termohigrômetro. Os horários do nascer do sol e os dados de precipitação mensal (mm) foram obtidos a partir dos sites www.suncalc.net e www.inmet.gov.br, respectivamente. Mensalmente foram percorridas áreas ao redor do local de estudo para registrar o número de plantas em floração e para coletar amostras polínicas das anteras de espécies em floração. Amostras de material botânico foram coletadas para identificação das espécies e o material herborizado foi depositado no herbário Dárdano de Andrade Lima na UFERSA (MOSS). O material polínico coletado foi depositado nas coleções de referências (palinotecas) da FFCLRP/USP e da UFERSA.

3. ATIVIDADE FORRAGEIRA DE PÓLEN

Para registrar a atividade forrageira mensal foi contabilizado o número de abelhas forrageiras que retornaram às colônias com pólen na corbícula. As contagens foram realizadas nos períodos de maior atividade de coleta de pólen, entre 5:00 e 12:00h. Em geral foram realizados três dias (durante a estação seca) ou seis dias (durante a estação chuvosa) de contagens mensais. Durante a estação seca o número de observações foi menor devido à redução na atividade forrageira. Nos horários de maior atividade de vôo foram feitas observações por 5 min com intervalos de 10 min (uma observação a cada 15 minutos) Após a redução na intensidade forrageira foram feitas observações por 5 minutos e com intervalos de 25 minutos (uma observação a cada 30 minutos).

4. ORIGEM FLORAL DO PÓLEN COLETADO PELAS ABELHAS

Para avaliar a origem floral do pólen coletado pelas colônias foram amostradas as cargas polínicas das abelhas forrageiras, após os dias de contagem de atividade forrageira. As colônias foram fechadas por no máximo 5 minutos e as abelhas forrageiras de pólen foram coletadas individualmente na entrada de cada colônia. No decorrer da atividade forrageira, as abelhas foram coletadas em pelo menos dois e no máximo três horários distintos, com intervalos de 1h entre si. Para não provocar uma redução da atividade forrageira foram coletadas no máximo três abelhas em cada horário. Em geral, foram coletadas seis abelhas por dia de cada colônia (duas repetições, máximo de 12 abelhas por colônia).

Para retirar a carga polínica das corbículas, as abelhas forrageiras foram coletadas com tubos esterilizados e, posteriormente foram adormecidas no gelo, apenas para serem manipuladas. O material polínico foi acetolisado (Erdtman, 1960) e foram confeccionadas lâminas para a posterior identificação comparando-se com o material polínico de referência das plantas das coleções polínicas da FFCLRP/USP e da UFERSA.

As análises quantitativas foram feitas mediante a contagem dos primeiros 400 grãos de pólen e em seguida, foram determinadas as porcentagens de ocorrência dos grãos (Nagamitsu et al., 1999). Para evitar interpretações erradas devido à contaminação durante a manipulação do

pólen e também das abelhas durante a atividade de forrageamento, os grãos de pólen representados com menos de 0,5%, foram considerados contaminações e omitidos das análises. Em amostras com entre 100% até 95% do mesmo tipo polínico, as cargas polínicas foram consideradas puras, monoflorais (Eltz et al., 2001). A maioria das amostras foi constituída por apenas um tipo polínico (monoflorais), no entanto em amostras com dois ou mais tipos polínicos apenas o pólen dominante foi considerado para as análises (Nagamitsu et al., 1999).

5. CONSTRUÇÃO DE CÉLULAS DE CRIAS

Por três dias consecutivos, com intervalos controlados de 24h, a região de postura foi fotografada. O mapeamento da área de postura e a comparação entre as fotos foram realizados com auxílio do software Adobe Photoshop CS3, o qual permite marcar e numerar as células de crias (Figura 2.1). Dessa maneira foi registrado o número de células construídas por dia em cada colônia. Essas investigações foram realizadas mensalmente durante todo o período de estudo.

6. ANÁLISES DOS DADOS

Parâmetros avaliados. Os parâmetros coloniais avaliados foram: (i) F_{INI} , horário de início do forrageamento; (ii) F_{PICO} , horário do pico do forrageamento, (iii) F_{FIM} , horário do fim do forrageamento; (iv) F_{MAX} , número máximo de abelhas forrageiras; (v) T-CONS, taxa de construção de células de cria; (vi) P-COL, número de espécies de plantas coletadas. O horário de início do forrageamento foi considerado o primeiro horário no qual foram contabilizadas abelhas retornando ao ninho com pólen. O horário de pico do forrageamento foi calculado como vetor médio da atividade forrageira através do software de estatística circular Oriana 4.01 (Kovach Computing Services, Anglesey, Wales). O horário do final do forrageamento foi o horário da última contagem de atividade contínua (dentro do período de observação, ou seja, entre 5:00 e 12:00h), seguida por pelo menos dois eventos de contagem de zero forrageadoras. Para as análises estatísticas, os dados de tempo (hora:minuto) foram transformados em números decimais, hora + (minutos/60), de modo que, por exemplo, 05:50h tornou-se 5,83.

Os parâmetros ambientais avaliados foram: (vii) T_{MAX} , temperatura máxima do mês (°C); (viii) T_{MIN} , temperatura mínima do mês (°C); (ix) T_{MED} , temperatura média do mês (°C); (x) UR_{MED} , umidade relativa média do mês (%); (xi) CHUVA, precipitação mensal (mm); (xii) P-FLOR, número de espécies de plantas em floração; (xiii) SOL, horário do nascer do sol.

Testes estatísticos. Para verificar possíveis diferenças das variáveis coloniais entre os meses de estudo foram aplicados testes Repeated Measures ANOVA (teste de Tukey para comparação entre pares). Quando não houve distribuição normal dos dados foi utilizada uma transformação de raiz quadrada (Zar, 1999).

As possíveis relações entre os parâmetros coloniais (VC: i-vi) e os parâmetros ambientais (VA: vii-xiii) foram avaliadas através de modelos de regressão múltipla - melhores subconjuntos (*Best Subset Regression Models*) usando C_p de Mallows como medida de qualidade dos modelos de ajuste. O C_p de Mallows tende a encontrar o melhor subconjunto que inclui apenas os fatores preditivos importantes da respectiva variável dependente, sendo menos dependente do número de efeitos no modelo sendo R^2 o estimador da qualidade do ajuste (Gorman; Toman, 1966). O coeficiente de determinação ajustado R^2_{ADJ} (R^2 corrigido para o número de variáveis independentes no modelo) foi utilizado para determinar a proporção da variabilidade nos dados que se explica pelo respectivo modelo (Zar, 1999). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SigmaPlot 10.0 & SigmaStat 3.5 (Systat Software Inc., EUA) e Statistica 8.0 (StatSoft Inc., EUA). O nível considerado como diferença estatisticamente significativa foi $P \leq 0,05$. Nas tabelas são apresentados os valores médios $\pm$ desvio padrão, N refere-se ao número de colônias estudadas e n indica o número de observações.

Figura 2.1. Mapeamento para a comparação da construção diária de células de cria de *Melipona subnitida* no semiárido brasileiro. **(A)** Fotografia do primeiro dia. **(B)** Fotografia do segundo dia. **(C)** Fotografia do terceiro dia de experimento. As marcas coloridas (vermelho, amarelo e verde) nas imagens indicam a construção diária de células novas. Fotos: CMS.

RESULTADOS

1. VARIÁVEIS AMBIENTAIS

A temperatura e umidade relativa do ar (média, mínima e máxima) apresentaram variações ao longo do ano. A temperatura mínima registrada foi 18,3 °C (09/11) e a máxima foi 39,2 °C (01/12). A menor umidade relativa média registrada foi 60,9 % (09/11) e a maior foi 96,2 % (05/11). Também foram registradas variações nos horários do nascer do sol, sendo que o horário mais cedo registrado foi às 05:05h no mês de novembro (quente e seco). A precipitação concentrou-se em apenas poucos meses e, em quase todos os meses ficou abaixo de 100 mm. O valor máximo registrado foi 163 mm no mês de 05/11, durante três meses não houve precipitação (08, 09 e 11/11) e em alguns meses a precipitação ficou abaixo de 20 mm (Figura 2.2A - C; Tabela 2.1). Observou-se uma grande variação nos valores de precipitação, temperatura e umidade relativa entre maio de 2011 e maio de 2012 denotando um índice irregular de ano para ano.

O número de plantas em floração sofreu forte redução durante os meses mais quentes e secos. Foram registradas no máximo 42 espécies de plantas (05/11) e no mínimo 4 espécies (01/12) (Figura 2.2D; Tabela 2.1). A variação no número de plantas em floração foi atribuída principalmente à variação na umidade relativa e na precipitação, sendo o maior número de

espécies durante os meses mais úmidos e com maior precipitação (Tabela 2.2). Durante os meses mais quentes e secos foram registradas principalmente espécies arbóreo-arbustivas em floração e as espécies herbáceas floresceram principalmente nos meses mais úmidos (Anexo 2.1).

2. ATIVIDADE FORRAGEIRA DE PÓLEN

Os horários do início (F_{INI}) e do pico de forrageamento (F_{PICO}) foram influenciados pela temperatura mínima mensal, pela umidade relativa média mensal e pelo horário do nascer do sol. Em meses com temperaturas mínimas mais baixas, as colônias iniciaram o forrageamento de pólen mais tarde e conseqüentemente o pico de forrageamento ocorreu mais tarde (Tabela 2.2). O efeito da temperatura foi mais relevante para o início e pico do forrageamento do que o horário do nascer do sol (Tabela 2.2). Entretanto, o horário do nascer do sol explica parte da variação observada no horário do início e do pico do forrageamento (Tabela 2.2). Os menores e maiores horários registrados foram respectivamente: menor $F_{INI} = 05:00h \pm 00'$ (11/11) e maior $F_{INI} = 07:30h \pm 32'$ (08/11); menor $F_{PICO} = 05:24h \pm 08'$ (11/11) e maior $F_{PICO} = 08:46h \pm 16'$ (08/11) (Figura 2.3A e C; Tabela 2.3).

Além de ser explicado pelo horário do nascer do sol e pela temperatura mínima mensal, conforme os resultados obtidos para F_{INI} e F_{PICO} , o horário do final do forrageamento de pólen (F_{FIM}) foi influenciado pelo número de plantas em floração (Tabela 2.2). Quanto maior o número de plantas em floração mais tarde foi o horário do final do forrageamento. Os menores e maiores horários registrados foram respectivamente: menor $F_{FIM} = 06:01h \pm 18'$ (11/11) e maior $F_{FIM} = 11:15h \pm 30'$ (05/11) (Figura 2.3B; Tabela 2.3).

O número máximo de abelhas forrageiras (F_{MAX}) sofreu forte redução nos meses mais quentes e secos. O maior valor médio registrado foi de $7,0 \pm 2,2$ abelhas forrageiras (05/11) e os menores valores médios foram $0,3 \pm 0,3$ e $0,3 \pm 0,2$ abelhas forrageiras (09/11 e 12/11 respectivamente; Figura 2.3D; Tabela 2.3). Essa variação no número máximo de abelhas forrageiras foi explicada principalmente pelo número de plantas em floração, sendo que nos

meses com mais recursos alimentares a força forrageira das colônias foi maior (Tabela 2.2). Um fator importante influenciando o número de forrageadoras de pólen foi a temperatura ambiental, sendo que a coleta de pólen ocorreu principalmente na faixa de temperatura entre 22 e 28°C (Figura 2.4A).

3. ORIGEM FLORAL DO PÓLEN COLETADO PELAS ABELHAS

Foram identificados 14 tipos polínicos coletados pelas abelhas forrageiras (Figura 2.5A; Anexo 2.2). O número de tipos polínicos coletados (P-COL) diminuiu nos meses mais quentes e secos. O maior valor médio registrado foi $4,5 \pm 0,6$ tipos polínicos (05/11) e o menor valor médio registrado foi $1,0 \pm 0,0$ tipo polínico (11/11; Figura 2.5B; Tabela 2.3). No mês de novembro (quente e seco) foi registrado somente um tipo polínico, espécie *Anadenanthera colubrina*, sendo este a única fonte de pólen coletado durante a estação seca, período entre 09/11 e 01/12 (Figura 2.5A).

4. CONSTRUÇÃO DE CÉLULAS DE CRIAS

O número de células construídas sofreu redução nos meses mais quentes e secos do ano, principalmente entre 09/11 e 12/11. O maior valor médio registrado foi $33,1 \pm 11,7$ células de cria (05/11) e o menor valor registrado foi $5,8 \pm 1,6$ células de cria (11/11; Figura 2.6A; Tabela 2.3). A taxa de construção de células de cria foi influenciada principalmente pela umidade relativa mensal, mas também pela temperatura máxima mensal. Quanto maior a umidade relativa mensal e a menor temperatura máxima mensal, maior foi a taxa de construção de células de cria (Tabela 2.2).

Tabela 2.1. Registros das variáveis ambientais (VA) entre os meses de observação no semiárido brasileiro (T_{MED} , temperatura média; T_{MAX} , temperatura máxima; T_{MIN} , temperatura mínima; UR_{MED} , umidade relativa do ar média; CHUVA, precipitação mensal; SOL, horário do nascimento do sol; P-FLOR, número de espécies de plantas em floração).

	Mês de Observação												
VA	05/11	06/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11	12/11	01/12	02/12	03/12	04/12	05/12
T_{MAX} (°C)	31,1	31,9	31,1	36,1	38,3	38,3	38,3	39,2	39,2	38,3	35,3	35,7	36,6
T_{MIN} (°C)	21,3	20,2	19,4	17,9	18,3	19,0	19,4	20,2	20,6	21,3	20,6	19,8	19,4
T_{MED} (°C)	26,0	25,8	24,4	25,4	27,4	28,2	28,7	28,7	28,6	27,2	27,3	28,1	27,9
UR_{MED} (%)	96,2	91,5	80,1	73,4	60,9	64,1	63,3	64,2	66,5	73,8	75,5	71,2	67,5
CHUVA (mm)	163	15	27	0	0	11	0	49	5	59	40	28	3
SOL (horas)	05:30	05:35	05:39	05:38	05:27	05:12	05:05	05:14	05:32	05:37	05:33	05:30	05:30
P-FLOR	42	25	15	18	10	7	11	6	4	12	22	11	6

Tabela 2.2. Modelos de Regressão Múltipla – Melhores Subconjuntos. As variáveis dependentes foram variáveis coloniais (VC): F_{INI} , horário de início do forrageamento; F_{PICO} , horário do pico do forrageamento, F_{FIM} , horário do fim do forrageamento; F_{MAX} , número máximo de forrageadoras; P-COL, número de espécies de plantas coletadas; T-CONS, taxa de construção de células de cria; e uma variável ambiental (VA): P-FLOR, número de espécies em plantas em floração; as variáveis independentes (variáveis ambientais) testadas foram: T_{MAX} , temperatura máxima do mês (°C); T_{MIN} , temperatura mínima do mês (°C); UR_{MED} , umidade relativa média do mês (%); CHUVA, precipitação mensal (mm); P-FLOR, número de espécies em plantas em floração; SOL, horário do nascimento do sol.

Modelos de Regressão Múltipla – Melhores Subconjuntos

VC	CO	Variáveis ambientais						Regressão		
		T_{MAX}	T_{MIN}	UR_{MED}	CHUVA	P-FLOR	SOL	N	F	R^2_{ADJ}
F_{INI}	-1,6 ^{n.s.}	s.e.	-0,45** [1]	0,04** [3]	s.e.	s.e.	2,55** [2]	8	49,4**	0,95
F_{PICO}	0,58 ^{n.s.}	s.e.	-0,65* [2]	0,09** [1]	s.e.	s.e.	2,75 ^{n.s.} [3]	8	17,3**	0,88
F_{FIM}	2,8 ^{n.s.}	s.e.	-0,83* [2]	s.e.	s.e.	0,12** [1]	3,59 ^{n.s.} [3]	8	8,3*	0,76
F_{MAX}	18,4 ^{n.s.}	s.e.	s.e.	s.e.	s.e.	0,19*** [1]	-3,48 ^{n.s.} [2]	13	11,2**	0,63
P-COL	13,3 ^{n.s.}	s.e.	-0,74 ^{n.s.} [2]	0,05 ^{n.s.} [3]	0,03 ^{n.s.} [1]	s.e.	s.e.	9	1,3 ^{n.s.}	0,09
T-CONS	- 173,1**	2,51** [2]	s.e.	1,32*** [1]	s.e.	s.e.	s.e.	13	38,8***	0,86
VA										
P-FLOR	21,5	s.e.	-3,09 ^{n.s.}	0,70***	0,11*		s.e.	13	24,2***	0,85

^{n.s.} $P > 0,05$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$. O melhor subconjunto de cada regressão linear múltipla foi escolhido através do critério C_p de Mallows, eliminando variáveis ambientais sem efeito significativo (s.e.). CO é um valor constante da regressão linear múltipla. N indica o número de observações. O valor F descreve o nível de confiança do modelo da respectiva regressão. O valor R^2_{ADJ} (corrigido para o número de variáveis independentes no modelo) indica a proporção da variabilidade nos dados explicada pelo modelo. Valores entre parênteses [1]-[3] indicam o grau de influência (classificado em ordem dos valores t no respectivo modelo de regressão) das respectivas variáveis independentes. [1] influência alta; [2] influência moderada; [3] influência baixa.

Tabela 2.3. Flutuação das variáveis coloniais de *Melipona subnitida* durante os meses de observação no semiárido brasileiro. (VC: F_{INI}, horário de início do forrageamento; F_{PICO}, horário do pico do forrageamento, F_{FIM}, horário do fim do forrageamento; F_{MAX}, número máximo de forrageadoras; P-COL, número de espécies de plantas coletadas; T-CONS, taxa de construção de células de cria) entre os meses de observação foram avaliados através de testes One Way Repeated Measures ANOVA (sujeitos: colônias, $N = 4$; tratamento: mês de observação, $N_{F_{MAX}, T-CONS} = 13$; $N_{P-COL} = 9$; $N_{F_{INI}, F_{PICO}, F_{FIM}} = 8$).

	Mês de Observação													ANOVA
VC	05/11	06/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11	12/11	01/12	02/12	03/12	04/12	05/12	<i>F</i>
F _{INI}	06:16 ± 24' a,b	06:51 ± 45' b,c	s.d.	07:30 ± 32' c	s.d.	s.d.	05:00 ± 00' d	s.d.	s.d.	05:56 ± 19' a	06:03 ± 14' a	05:57 ± 05' a	05:56 ± 06' a,d	19,6***
F _{PICO}	08:34 ± 19' a	08:05 ± 57' a	s.d.	08:46 ± 16' a	s.d.	s.d.	05:24 ± 08' b	s.d.	s.d.	06:24 ± 09' c	06:52 ± 23' c,d	06:24 ± 05' c	07:05 ± 37' d	120,2***
F _{FIM}	11:15 ± 30' a	09:11 ± 80' a,f	s.d.	10:24 ± 29' a	s.d.	s.d.	06:01 ± 18' b	s.d.	s.d.	06:45 ± 18' b,c	07:55 ± 27' d,e	07:03 ± 14' c,d	08:22 ± 68' e,f	95,2***
F _{MAX}	7,0 ± 2,2 a	2,7 ± 0,1 b,c	0,9 ± 0,1 c,e	1,3 ± 0,7 c,e	0,3 ± 0,3 e	0,4 ± 0,6 e	4,4 ± 1,9 a,b	0,3 ± 0,2 e	0,6 ± 0,5 d,e	1,1 ± 0,5 c,e	6,0 ± 2,4 a	2,3 ± 0,9 b,c,d	1,3 ± 0,4 c,e	18,4***†
P-COL	4,5 ± 0,6 a	3,0 ± 0,0 a,b	1,3 ± 0,6 b	2,5 ± 0,7 a,b	s.d.	s.d.	1,0 ± 0,0 b	s.d.	s.d.	2,0 ± 0,0 a,b	1,8 ± 0,5 a,b	2,0 ± 2,1 a,b	1,5 ± 0,7 a,b	5,2**
T-CONS	33,1 ± 11,7 a	29,0 ± 12,7 a,b	9,7 ± 3,3 b,c	9,6 ± 3,7 b,c	6,0 ± 3,6 c	7,2 ± 2,9 c	5,8 ± 1,6 c	8,5 ± 4,4 b,c	17,0 ± 3,0 a,c	17,8 ± 7,0 a,c	10,1 ± 4,5 b,c	10,5 ± 1,1 b,c	11,5 ± 5,6 b,c	7,1***†

** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; † One Way Repeated Measures ANOVA feito com dados transformados (Zar, 1999): $X' = \sqrt{X + \frac{3}{8}}$. Dados são os valores médios ± desvio padrão das colônias em cada mês de observação. Em alguns meses, não foi possível levantar os dados relacionados ao forrageamento devido à atividade reduzida das colônias (s.d., sem dados). Os resultados dos testes ANOVA são representados pelo valor *F*. Diferentes letras indicam diferenças significativas (teste *post-hoc* Tukey, $P < 0,05$) entre os respectivos meses.

Figura 2.2. Flutuação das variáveis ambientais durante o período de estudo (maio de 2011 e maio de 2012) no semiárido brasileiro. **(A)** Temperatura média (círculos brancos) e umidade relativa do ar média mensal (círculos cinza). **(B)** Precipitação mensal. **(C)** Horário do nascer do sol (média mensal). **(D)** Número de plantas em floração.

Figura 2.3. Variação mensal da atividade forrageira de pólen das colônias de *Melipona subnitida* (jandaíra) no semiárido brasileiro. **(A)** F_{INI} , horário de início do forrageamento. **(B)** F_{FIM} , horário do fim do forrageamento. **(C)** F_{PICO} , horário do pico do forrageamento. **(D)** F_{MAX} , número máximo de abelhas forrageiras. Em alguns meses não foi possível levantar os dados relacionados ao forrageamento devido à atividade reduzida das colônias.

Figura 2.4. Relação entre temperatura ambiental e forrageamento de pólen de colônias de *Melipona subnitida* (jandaíra) no semiárido brasileiro. **(A)** Frequência relativa das forrageadoras retornando às colônias com pólen em temperaturas entre 20 e 34°C. **(B)** Abelha forrageira de pólen. Foto: MH.

Figura 2.5. Tipos polínicos coletados pelas abelhas forrageiras *Melipona subnitida* (jandaíra) ao longo do estudo no semiárido brasileiro. **(A)** Distribuição mensal dos tipos polínicos amostrados nas corbículas das abelhas forrageiras. Na legenda - Outros - indica: *Desmantus* (tipo), $n = 3$; *Eucalyptus* sp., $n = 1$; *Psidium guajava*, $n = 1$; *Senna* sp., $n = 2$; *Senna trapchpus*, $n = 1$; *Senna uniflora*, $n = 1$; *Turnera subulata*, $n = 1$. **(B)** Número total/mês de tipos polínicos coletados pelas colônias. Fotos: MH.

Figura 2.6. Construção de células de cria ao longo do ano de colônias de *Melipona subnitida* (jandaíra) no semiárido brasileiro. **(A)** Variação na taxa mensal de construção de células de crias das colônias de *Melipona subnitida* (jandaíra) durante o estudo. **(B)** Favo de cria, células em construção, rainha e operárias. Foto: CMS.

DISCUSSÃO

1. VARIAÇÕES CLIMÁTICAS LIMITAM A DISPONIBILIDADE DE RECURSOS FLORAIS, INFLUENCIANDO A ATIVIDADE FORRAGEIRA DE PÓLEN

O número de plantas em floração foi influenciado principalmente pela precipitação mensal e pela umidade relativa do ar. A maior abundância de recursos disponíveis influenciou positivamente a atividade forrageira de pólen de *Melipona subnitida* (Figura 2.7). Por sua vez as abelhas forrageiras coletaram grandes quantidades de pólen durante um período curto do ano quando havia mais plantas em floração, incluindo espécies abóreas, subarbustivas e herbáceas. A atividade forrageira de pólen se restringiu a períodos curtos do dia que foram ainda mais reduzidos nos períodos quentes e secos (11/11), com predominância apenas de espécies arbóreas. Mediante a essas condições ambientais, as colônias necessitam explorar principalmente fontes lucrativas de pólen, e consequentemente, estratégias de forrageamento eficientes são fundamentais para a sobrevivência das colônias.

Estudos demonstraram que quando há grande abundância de recursos disponível no ambiente, colônias de abelhas sem ferrão ajustam rapidamente a atividade forrageira aumentando tanto a atividade individual como também a força de forrageamento colonial (Roubik et al.,

1986; Eltz et al., 2001; Nagamitsu; Inoue, 2002; Hofstede; Sommeijer, 2006; Hrncir, 2009). Para garantir o sucesso da atividade forrageira, as abelhas do gênero *Melipona* recrutam outras companheiras do ninho para fontes lucrativas de alimento, através de sinais mecânicos (vibrações torácicas e "jostling" - o ato de empurrar as companheiras, próximo à entrada do ninho). Essa comunicação é extremamente eficiente e possibilita o rápido aumento de forrageiras em fontes lucrativas (Hrncir, et al., 2004a; b; Hrncir, 2009).

Embora as abelhas sem ferrão apresentem habito alimentar generalista, pois visitam uma ampla variedade de espécies vegetais, é comum ocorrer seletividade de forrageamento por fontes lucrativas (Ramalho et al., 2007; Hrncir, 2009). De fato, plantas que exibem florações em massa são fontes lucrativas, pois disponibilizam diariamente grandes quantidades de pólen e/ou néctar, aumentando a oferta pontual de alimento (Gentry, 1974; Augspurger, 1980; 1983; Bawa, 1983; Ramalho 2004; Hrncir; Maia-Silva, 2013) e como consequência são exploradas de modo mais intenso pelas abelhas (Ramalho 2004; Hrncir; Maia-Silva, 2013). Assim, essas plantas também oferecem oportunidades para que as abelhas sociais acumulem excedentes de recursos florais dentro do ninho (Wilms et al., 1996; Wilms; Wiechers, 1997; Ramalho, 2004), os quais eventualmente poderão ser utilizados durante eventos de escassez.

Nossos resultados demonstraram que as abelhas forrageiras da espécie *Melipona subnitida* coletaram pólen em relativamente poucas fontes florais, indicando possível preferência. Entre as espécies de plantas visitadas por *M. subnitida* destacam-se algumas espécies que exibem floração em massa como, por exemplo, *Anadenanthera colubrina*, *Mimosa* spp. e *Pityrocarpa moniliformis* (Anexo 2.3.). Essas plantas são fundamentais para *M. subnitida* por garantir recursos florais e, portanto a manutenção e o crescimento das colônias por períodos mais longos. A espécie *A. colubrina* ainda se destaca por oferecer pólen em uma janela de tempo de extrema escassez de florações, permitindo que as colônias restabeleçam suas reservas.

2. VARIAÇÕES CLIMÁTICAS LIMITAM A ATIVIDADE FORRAGEIRA DE PÓLEN

Os fatores climatológicos tiveram influência sobre a quantidade de plantas em floração e também limitaram a atividade forrageira de *Melipona subnitida*. A coleta de pólen ocorreu principalmente numa faixa de temperatura ambiental entre 22 e 28 °C, que pode ser considerada “janela ambiental” em que a atividade forrageira é permitida ou é ideal (Stone et al., 1999; Hilário et al., 2000).

Nas regiões sul e sudeste brasileiras, as abelhas forrageiras de algumas espécies de *Melipona*, por serem maiores são ativas nas primeiras horas da manhã em temperaturas ambientais relativamente moderada como, por exemplo, *M. marginata* (19 - 30 °C), *M. bicolor* (16 - 26 °C) e *M. rufiventris* (18 - 30 °C) (Kleinert-Giovannini; Imperatriz-Fonseca, 1986; Hilário et al., 2000; Fidalgo; Kleinert, 2010). Outras espécies menores coletam recursos mais tarde em temperaturas ambientais mais altas como, por exemplo, *Plebeia emerina* (21 - 27 °C) e *Plebeia remota* (22 - 29 °C) (Kleinert-Giovannini, 1982; Imperatriz-Fonseca et al., 1985). Comparado a outras espécies de *Melipona*, a atividade forrageira de *M. subnitida* ocorreu em faixas de temperaturas ambientais mais semelhantes às faixas das espécies menores, mencionadas acima. Por se tratar de uma espécie adaptada a temperaturas mais elevadas, temperaturas baixas limitaram a atividade forrageira dessa espécie (Figura 2.7).

Com relação às temperaturas ambientais mais altas, as abelhas forrageiras de *M. subnitida* possivelmente sofreram restrições térmicas em determinados horários do dia. A restrição térmica pode ter sido ainda mais agravada devido à coloração, pois as espécies mais escuras são mais afetadas pelo perigo de superaquecimento durante o forrageamento (Willmer; Corbet, 1981). Em geral, podemos concluir que a estratégia utilizada por *M. subnitida* é coletar rapidamente, em um período curto do dia, grandes quantidades de recursos disponíveis em poucas florações.

3. VARIAÇÕES AMBIENTAIS INFLUENCIAM A CONSTRUÇÃO DE CÉLULAS DE CRIA

A construção de células de cria em colônias *M. subnitida* foi claramente reduzida durante os meses quentes e secos. Em abelhas sem ferrão o mecanismo de interrupção da construção de células provocado por alterações climáticas foi demonstrado em regiões de clima frio (Kleinert-Giovannini, 1982; Benthem et al., 1995; Pick; Blochtein, 2002; Ribeiro et al., 2003; Borges; Blochtein, 2006; Nunes-Silva et al., 2010). No entanto, nosso estudo foi o primeiro a relatar esse mecanismo em regiões de clima quente e semiárido.

Nossos resultados indicam que durante os meses mais quentes e secos a redução na disponibilidade de recursos florais limitou a atividade forrageira e consequentemente diminuiu a demanda por novos indivíduos. Visto que, permanecendo no ninho, as forrageadoras provavelmente aumentaram a longevidade. A mortalidade influenciada pelo forrageamento foi observada em colônias do gênero *Melipona* (Roubik, 1982; Biesmeijer; Tóth, 1998). Durante períodos de escassez de recursos no ambiente e consequentemente declínio nas reservas de pólen e néctar, foi verificado que as abelhas operárias viveram em média 50 dias, e quando os recursos florais tornaram novamente abundantes, as colônias aumentaram os recursos estocados, com intensificação do forrageamento e como consequência o tempo de vida de uma operária reduziu pela metade (Roubik, 1982).

Durante a estação quente e seca, provavelmente, a produção de cria ocorreu apenas para manter o número mínimo de abelhas operárias necessárias para a realização de tarefas internas essenciais à colônia como, por exemplo, abelhas guardas para a proteção do ninho e abelhas nutrizas para executar os cuidados com a rainha e também intensificar a produção de cria quando os recursos florais tornam-se mais abundantes novamente. Portanto, a redução da construção de células de cria é um mecanismo importante para economizar recursos estocados e consequentemente ampliar as chances de sobrevivência das colônias.

Com relação ao mecanismo de retorno da produção de células de cria, após a estação seca e quente, nós sugerimos um *feedback* positivo (Figura 2.7). Durante o aumento da umidade

relativa do ar foi registrado um aumento na construção de células de cria. Possivelmente as abelhas operárias utilizaram o aumento da umidade relativa como estímulo positivo para retomar a construção de células de cria, utilizando as reservas de recursos estocados nos ninhos para alimentação da cria. O aumento da produção de cria consequentemente aumentou o número de indivíduos das colônias e também o número de abelhas forrageiras. Após o aumento do número de forrageiras ocorreu o aumento do forrageamento de pólen, o qual estimulou novamente o aumento da taxa de produção de cria (Figura 2.7).

Figura 2.7. Relação dos fatores ambientais na atividade forrageira de pólen e nas atividades realizadas dentro do ninho de *Melipona subnitida* (jandaíra) no semiárido brasileiro. As setas com linhas cheias (cinzas) indicam os resultados obtidos neste estudo, as setas com linhas tracejadas indicam: possível influência do número máximo de abelhas forrageiras na quantidade de pólen estocado (não verificado neste estudo) e a influência da quantidade de pólen estocado na taxa de construção de células de crias, resultado verificado no capítulo 3.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de São Paulo/USP e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA pelo auxílio e ao Centro Tecnológico de Apicultura e Meliponicultura do RN/ CETAPIS pelas facilidades colocadas à disposição. Ao Prof. Dr. Rubens Teixeira de Queiroz pela identificação botânica. Aos alunos do Laboratório de Ecologia Comportamental pelo auxílio na coleta de dados. A CAPES (bolsa de doutorado CMS) e ao CNPq (processos VLIF: 482218/2010-0 e MH: 304722/2010-3, 481256/2010-5) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUGSPURGER, C. Phenology, flowering synchrony, and fruit set of six neotropical shrubs. **Biotropica**, v. 15, n. 4, p. 257–267, 1983.
- AUGSPURGER, C. Mass-flowering of a tropical shrub (*Hybanthus prunifolius*): influence on pollinator attraction and movement. **Evolution**, v. 34, n. 3, p. 475–488, 1980.
- BAWA, K. S. Patterns of flowering in tropical plants. *In*: Jones, C. E.; Little R. J. (Eds.). **Handbook of experimental pollination biology**. Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A. 1983. p. 394–410.
- BENTHEM, F. D. J.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; VELTHUIS, H. H. W. Biology of the stingless bee *Plebeia remota* (Holmberg): observations and evolutionary implications. **Insectes Sociaux**, v. 42, n. 1, p. 71–87, 1995.
- BIESMEIJER, J. C. *et al.* Nectar foraging by stingless bees in Costa Rica: botanical and climatological influences on sugar concentration of nectar collected by *Melipona*. **Apidologie**, v. 30, n. 1, p. 43–55, 1999.
- BIESMEIJER, J.; TÓTH, E. Individual foraging, activity level and longevity in the stingless bee *Melipona beecheii* in Costa Rica (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae). **Insectes Sociaux**, v. 45, p. 427–443, 1998.
- BORGES, F. V. B.; BLOCHTEIN, B. Variação sazonal das condições internas de colônias de *Melipona marginata obscurior* Moure, no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 3, p. 711–715, 2006.
- BRUIJN, L. L. M.; SOMMEIJER, M. J. Colony foraging in different species of stingless bees (Apidae, Meliponinae) and the regulation of individual nectar foraging. **Insectes Sociaux**, v. 44, p. 35–47, 1997.

- CAMARGO, J. M. F.; PEDRO, S. R. M. Meliponini Lepeletier, 1836. In Moure, J. S., Urban, D.; Melo, G. A. R. (Eds.). **Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region**. Available at <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>. 2012.
- ELTZ, T. *et al.* Pollen foraging and resource partitioning of stingless bees in relation to flowering dynamics in a Southeast Asian tropical rainforest. **Insectes Sociaux**, v. 48, p. 273-279, 2001.
- ERDTMAN, G. The acetolized method - a revised description. **Svensk Botanisk Tidskrift**, v. 54, p. 561-564, 1960.
- FERREIRA JUNIOR, N. T.; BLOCHTEIN, B.; MORAES, J. F. Seasonal flight and resource collection patterns of colonies of the stingless bee *Melipona bicolor schencki* Gribodo (Apidae, Meliponini) in an Araucaria forest. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 54, n. 4, p. 630-636, 2010.
- FIDALGO, A. O.; KLEINERT, A. M. P. Floral preferences and climate influence in nectar and pollen foraging by *Melipona rufiventris* Lepeletier (Hymenoptera: Meliponini) in Ubatuba, São Paulo. **Neotropical Entomology**, v. 39, n. 6, p. 879-884, 2010.
- GENTRY, A. Flowering phenology and diversity in tropical Bignoniaceae. **Biotropica**, v. 6, n. 1, p. 64-68, 1974.
- GORMAN, J. W.; TOMAN, R. J. Selection of variables for fitting equations to data. **Technometrics**, v. 8, p. 27-51, 1966.
- HEINRICH, B. **The hot-blooded insects: strategies and mechanisms of thermoregulation**. Springer-Verlag, Berlin, DE. 1993.
- HEINRICH, B. Keeping a cool head: honeybee thermoregulation. **Science**, v. 729, 1979.
- HILÁRIO, S. D.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; KLEINERT, A. M. P. Flight activity and colony strength in the stingless bee *Melipona bicolor bicolor* (Apidae, Meliponinae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, n. 2, p. 299-306, 2000.
- HOFSTEDE, F.; SOMMEIJER, M. Effect of food availability on individual foraging specialisation in the stingless bee *Plebeia tobagoensis* (Hymenoptera, Meliponini). **Apidologie**, v. 37, p. 387-397, 2006.
- HRNCIR, M. *et al.* Thorax vibrations of a stingless bee (*Melipona seminigra*). I. No influence of visual flow. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 190, p. 539-548, 2004a.
- HRNCIR, M. *et al.* Thorax vibrations of a stingless bee (*Melipona seminigra*). II. Dependence on sugar concentration. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 190, p. 549-560, 2004b.
- HRNCIR, M. Mobilizing the foraging force: mechanical signals in stingless bee recruitment. In: **Food exploitation by social insects: ecological, behavioral, and theoretical approaches**. Boca Raton-FL, USA: CRC-Press, Taylor & Francis Group, 2009. v.1 p. 199-221.

- HRNCIR, M.; MAIA-SILVA, C. On the diversity of foraging-related traits in stingless bees. *In*: VIT, P.; PEDRO, S. R. M.; ROUBIK, D. (Eds.). **Pot-Honey: A legacy of stingless bees**. New York, NY: Springer New York, 2013. p. 201–215.
- IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; KLEINERT-GIOVANNINI, A.; PIRES, J. T. Climate variations influence on the flight activity of *Plebeia remota* Holmberg (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 29, n. (3/4), p. 427–434, 1985.
- KAJOBE, R.; ECHAZARRETA, C. Temporal resource partitioning and climatological influences on colony flight and foraging of stingless bees (Apidae; Meliponini) in Ugandan tropical forests. **African Journal of Ecology**, v. 43, p. 267–275, 2005.
- KLEINERT-GIOVANNINI, A. The influence of climatic factors on flight activity of *Plebeia emerina* Friese (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae) in winter. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 26, n. 1, p. 1–13, 1982.
- KLEINERT-GIOVANNINI, A.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Flight activity and responses to climatic conditions of two subspecies of *Melipona marginata* Lepeletier (Apidae, Meliponini). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 29, p. 427–434, 1986.
- LEONHARDT, S. D. *et al.* Foraging loads of stingless bees and utilisation of stored nectar for pollen harvesting. **Apidologie**, v. 38, p. 125–135, 2007.
- MAIA-SILVA, C. *et al.* **Guia de plantas: visitadas por abelhas na caatinga**. 1. ed. Fortaleza, CE: Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012. p. 191
- MICHENER, C. D. **The social behavior of the bees: a comparative study**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1974. p. 404.
- MICHENER, C. D. **The bees of the world**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2000.
- NAGAMITSU, T. *et al.* Preference in flower visits and partitioning in pollen diets of stingless bees in an Asian tropical rain forest. **Researches on population ecology**, v. 41, p. 195–202, 1999.
- NUNES-SILVA, P. *et al.* Foraging activity in *Plebeia remota*, a stingless bees species, is influenced by the reproductive state of a colony. **Psyche: A Journal of Entomology**, Article ID 241204, p. 1–16, 2010.
- PEREBOOM, J. J. M.; BIESMEIJER, J. C. Thermal constraints for stingless bee foragers: the importance of body size and coloration. **Oecologia**, v. 137, p. 42–50, 2003.
- PICK, R. A.; BLOCHTEIN, B. Atividades de vôo de *Plebeia saiqui* (Holmberg) (Hymenoptera, Apidae, Meliponini) durante o período de postura da rainha e em diapausa. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, n. 3, p. 827–839, 2002.

- PIERROT, L.; SCHLINDWEIN, C. Variation in daily flight activity and foraging patterns in colonies of urucu *Melipona scutellaris* Latreille (Apidae, Meliponini). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, n. 4, p. 565-571, 2003.
- PRADO, D. 2003. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1. ed. Recife PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 75-134.
- RAMALHO, M. Stingless bees and mass flowering trees in the canopy of Atlantic Forest: a tight relationship. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n. 1, p. 37-47, 2004.
- RAMALHO, M.; SILVA, M.; CARVALHO, C. Dinâmica de uso de fontes de pólen por *Melipona scutellaris* Latreille (Hymenoptera: Apidae): uma análise comparativa com *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae), no domínio tropical atlântico. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 1, p. 38-45, 2007.
- RIBEIRO, M. F.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; SANTOS FILHO, P. S. A interrupção da construção de células de cria e postura em *Plebeia remota* (Holmberg) (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). In: MELO, G. A. R.; I. ALVES-DOS-SANTOS (Eds.). **Apoidea Neotropica: Homenagem aos 90 Anos de Jesus Santiago Moure**. Criciúma: Editora UNESC, 2003. p. 177-188.
- ROUBIK, D. W. Seasonality in colony food storage, brood production and adult survivorship: studies of *Melipona* in tropical forest (Hymenoptera: Apidae). **Journal of the Kansas Entomological Society**, v. 55, n. 4, p. 789-800, 1982.
- ROUBIK, D. W.; BUCHMANN, S. L. Nectar selection by *Melipona* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) and the ecology of nectar intake by bee colonies in a tropical forest. **Oecologia**, v. 61, p. 1-10, 1984.
- ROUBIK, D. W. *et al.* Sporadic food competition with the African honey bee: projected impact on neotropical social bees. **Journal of Tropical Ecology**, v. 2, n. 2, p. 97-111, 1986.
- SILVA, M. D.; RAMALHO, M.; ROSA, J. F. Por que *Melipona scutellaris* (Hymenoptera, Apidae) forrageia sob alta umidade relativa do ar? **Iheringia, Série Zoologia**, v. 101, p. 131-137, 2011.
- SOMMEIJER, M. J. *et al.* A comparative study of foraging behavior and pollen resources of various stingless bees (Hym., Meliponinae) and honeybees (Hym., Apinae) in Trinidad, West-Indies. **Apidologie**, v. 14, n. 3, p. 205-224, 1983.
- STONE, G. N. *et al.* Windows of opportunity and the temporal structuring of foraging activity in a desert solitary bee. **Ecological Entomology**, v. 24, n. 2, p. 208-221, 1999.

- WILLMER, P. G.; CORBET, S. A. Temporal and microclimatic partitioning of the floral resources of *Justicia aurea* amongst a concourse of pollen vectors and nectar robbers. **Oecologia**, v. 51, n. 1, p. 67-78, 1981.
- WILMS, W. Resource partitioning between highly eusocial bees and possible impact of the introduced Africanized honey bee on native stingless bees in the Brazilian Atlantic. **Studies on Neotropical & Environment**, v. 31, p. 137–151, 1996.
- WILMS, W.; WIECHERS, B. Floral resource partitioning between native *Melipona* bees and the introduced africanized honey bee in the brazilian atlantic rain forest. **Apidologie**, v. 28, p. 339–355, 1997.
- ZANELLA, F. The bees of the Caatinga (Hymenoptera, Apoidea, Apiformes): a species list and comparative notes regarding their distribution. **Apidologie**, v. 31, p. 579-592, 2000.
- ZANELLA, F. C. V.; MARTINS, C. F. Abelhas da caatinga: biogeografia, ecologia e conservação. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1. ed. Recife PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 75-134.
- ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, U.S.A. 1999.

Anexo 2.1. Fenologia das espécies de plantas (arbóreas, arbustivas, herbáceas e trepadeiras) amostradas na área de estudo (Mossoró/RN, Brasil) durante o período de observações.

Espécies	Meses														
	2011												2012		
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5		
<i>Alternanthera tenella</i> Collad															
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenam															
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.															
Bignoniaceae 1															
Bignoniaceae 2															
<i>Boerhavia diffusa</i> L.															
<i>Borreria scabiosoides</i> Cham. & Schltdl.															
<i>Borreria verticillata</i> (L.) G.Mey.															
<i>Canavalia brasiliensis</i> Mart. ex Benth.															
<i>Cardiospermum corindum</i> L.															
<i>Centrosema</i> sp.															
<i>Cereus jamacaru</i> P. DC															
<i>Chamaecrista calycioides</i> (DC. ex Collad.) Greene															
<i>Chamaecrista duckeana</i> (P.Bezerra & Afr.Fern.) H.S.Irwin & Barneby															
<i>Chamaecrista pilosa</i> var <i>luxurians</i> (Benth.) H.S. Irwin & Barneby															
<i>Chamaecrista supplex</i> (Mart. ex Benth.) Britton & Rose ex Britton & Killip															
<i>Cnidoscolus urens</i> L. Arthur															
<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.															
<i>Combretum leprosum</i> Mart.															
<i>Commelina erecta</i> L.															
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett															
<i>Copernicia prunifera</i> (Mill.) H.E. Moore															
<i>Cordia oncocalix</i> Allemão															
<i>Croton hirtus</i> L'Hér.															
<i>Croton sonderianus</i> Müll. Arg.															
<i>Cucumis anguria</i> L.															
<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J.Presl															
<i>Dalechampia pernambucensis</i> Baill.															
<i>Diodella teres</i> (Walter) Small															
<i>Evolvulus cordatus</i> Moric															
<i>Froelichia humboldtiana</i> (Roem. & Schult.) Seub.															
<i>Guapira tomentosa</i> (Casar) Lundell.															
<i>Herissantia tiubae</i> (K. Schum.) Brizicky															
<i>Heteropterys</i> sp.															
Indeterminado 1															
Indeterminado 2															
Indeterminado 3															
<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth.															
<i>Ipomoea</i> sp. 1															
<i>Ipomoea</i> sp. 2															
<i>Ipomoea asarifolia</i> (Desr) Roem. & Schult.															

Espécies	Meses														
	2011												2012		
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5		
<i>Jacquemontia multiflora</i> (Choisy) Hallier f.															
<i>Ipomoea bahiensis</i> Willd. ex Roem. Schult.															
<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.															
<i>Libdibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz															
<i>Ludwigia</i> sp.															
<i>Macroptilium</i> sp.															
<i>Manihot glaziovii</i> Muell. Arg.															
<i>Marsypianthes chamaedrys</i> (Vahl) Kuntze															
<i>Merremia aegyptia</i> (L.) Urb.															
<i>Mimosa arenosa</i> (Willd.) Poir.															
<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth															
<i>Mimosa modesta</i> Mart.															
<i>Mimosa quadrivalvis</i> L.															
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.															
<i>Momordica charantia</i> L.															
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão															
<i>Operculina macrocarpa</i> (L.) Urb.															
<i>Oxalis divaricata</i> Mart. ex Zucc.															
<i>Pavonia cancellata</i> (L.) Cav.															
<i>Piriqueta</i> sp.															
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W. Jobson															
<i>Poincianella bracteosa</i> (Tul.) L.P. Queiroz															
<i>Richardia grandiflora</i> (Cham. & Schlecht.) Steudel															
<i>Scoparia dulce</i> L.															
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose															
<i>Senna macranthera</i> (DC. ex Collad.) Irwin & Barneby															
<i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S. Irwin & Barneby															
<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link															
<i>Senna uniflora</i> (Mill.) H. S. Irwin & Barneby															
<i>Sida ciliata</i> L.															
<i>Sida cordifolia</i> L.															
<i>Solanum</i> sp.															
<i>Spondias</i> sp.															
<i>Spondias tuberosa</i> Arruda															
<i>Stilpnopappus pratensis</i> Mart. ex DC.															
<i>Triumfetta rhomboidea</i> Jacq.															
<i>Turnera subulata</i> SM															
<i>Waltheria americana</i> L.															
<i>Waltheria rotundifolia</i> Schrank															
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.															

Anexo 2.2. Principais tipos polínicos identificados nas amostras de cargas de pólen das abelhas forrageiras de *Melipona subnitida* (jandaíra) no semiárido brasileiro. **(A)** *Mimosa arenosa*. **(B)** *Mimosa caesalpinifolia*. **(C)** *Mimosa tenuiflora*. **(D)** *Anadenanthera colubrina*. **(E)** *Pityrocarpa moniliformis*. **(F)** *Chamaecrista calycioides*. **(G)** *Chamaecrista duckeana*. **(H)** *Turnera subulata*. **(I)** *Senna uniflora*. **(J)** *Senna trachypus*. **(K)** *Senna obtusifolia*. **(L)** *Desmantus* (tipo).

Anexo 2.3. Espécies de plantas visitadas por *Melipona subnitida* (jandaíra) no semiárido brasileiro. **(A)** *Mimosa tenuiflora*. **(B)** *Anadenanthera colubrina*. **(C)** Comparação entre o pólen coletado de espécies arbóreo-arbustivas que exibem floração em massa e o pólen coletado de outras espécies, as quais são principalmente arbustos, subarbustos e herbáceas. **(D)** *Mimosa arenosa*. Fotos: MH.

CAPÍTULO 3

Foto: Camila Maia-Silva

A OFERTA DE PÓLEN CONTROLA A PRODUÇÃO DE CRIA EM *MELIPONA SUBNITIDA* (APIDAE, MELIPONINI).

A OFERTA DE PÓLEN CONTROLA A PRODUÇÃO DE CRIA EM *MELIPONA SUBNITIDA* (APIDAE, MELIPONINI).

RESUMO

As duas principais fontes de carboidratos e proteínas para as abelhas são o néctar e o pólen. Colônias de abelhas *Apis mellifera* respondem ao stress polínico intra-colonial aumentando rapidamente a coleta desse recurso a fim de reabastecer seus estoques. Em abelhas sem ferrão há poucas evidências sobre a regulação da atividade forrageira frente às alterações na disponibilidade de alimentos na colônia. O objetivo dessa pesquisa foi investigar de que modo a quantidade de pólen estocado dentro dos ninhos influencia a atividade de colônias de abelhas *Melipona subnitida*. A atividade forrageira de pólen e a taxa de construção de células de crias foram investigadas na ausência de pólen estocado (*E-*) e na presença de pólen extra. (*E+*). A quantidade de pólen estocado nas colônias de *M. subnitida* não influenciou o número máximo de abelhas forrageiras de pólen. Por outro lado, tanto a ausência de pólen (*E-*) como a presença de pólen extra (*E+*) afetaram diretamente a taxa de construção de células de cria. Em *E-* ocorreu uma queda na taxa de construção e em *E+* a taxa de construção de células de cria aumentou. Ao contrário das abelhas melíferas, as colônias de abelhas sem ferrão não intensificam imediatamente a atividade de coleta de pólen na carência desse recurso nas colônias, mas respondem ao stress polínico diminuindo rapidamente a taxa de produção de células de cria. Esses resultados sugerem um mecanismo de controle colonial diferente: em abelhas sem ferrão a disponibilidade de pólen intranidal regula a construção de células de cria (produção de cria controlada pela oferta) enquanto em *A. mellifera* quantidade de cria (prole) regula a coleta de pólen (forrageamento controlado pela demanda).

Palavras-chave: Pólen. Forrageamento. Construção de células de cria. Meliponini.

INTRODUÇÃO

Semelhante às abelhas *Apis mellifera* (Apidae, Apini), as abelhas sem ferrão (Apidae, Meliponini) pertencem a um grupo de abelhas altamente eussociais e vivem em colônias perenes (Michener, 1974; 2000; Roubik, 1989). Ao contrário dos insetos solitários, os quais coletam recursos para a sua sobrevivência individual e reprodução (*fitness* direto), os insetos sociais coletam recursos principalmente para garantir a sobrevivência e reprodução de sua colônia (*fitness* indireto) (Wilson, 1971; Michener, 1974; Hrncir, 2009).

Em colônias de abelhas sociais, o néctar coletado das flores fornece carboidratos necessários para o suprimento de energia dos indivíduos adultos, enquanto o pólen fornece proteínas indispensáveis para a produção de novos indivíduos (Roubik, 1989; Quezada-Euán et al., 2010). Ambos são armazenados dentro do ninho para garantir um constante suprimento de alimentos e, conseqüentemente, para aumentar as chances de sobrevivência da colônia durante possíveis eventos de escassez de recursos (Roubik, 1982, Capítulo 2).

A coordenação e a organização das atividades forrageiras são decisivas para garantir a disponibilidade de alimentos e, para o crescimento e manutenção da colônia (Hrncir, 2009; Hrncir; Maia-Silva, 2013). Assim como em colônias de abelhas *A. mellifera*, quando há grande abundância de recursos disponível no ambiente (fatores externo), as colônias de abelhas sem ferrão ajustam a atividade forrageira aumentando tanto a atividade individual como também a força de forrageamento colonial (Roubik et al., 1986; Eltz et al., 2001; Nagamitsu; Inoue, 2002; Hofstede; Sommeijer, 2006a; Hrncir, 2009).

Com relação à influência do *status* da colônia (fatores internos) sobre a regulação da atividade forrageira sabe-se que as abelhas *A. mellifera* aumentam ou diminuem a atividade forrageira, dependendo da quantidade de pólen estocado dentro do ninho (Free, 1967; Fewell; Winston, 1992; Camazine, 1993; Dreller et al., 1999; Dreller; Tarpy, 2000; Calderone; Johnson, 2002). O efeito da quantidade de pólen armazenamento sobre o *fitness* da colônia pode ser mais

diretamente mensurável do que o mel, porque o pólen está diretamente relacionado às taxas de crescimento da colônia, através da produção de cria (Fewell; Winston, 1992).

Recentemente, mecanismos semelhantes aos verificados em colônias de abelhas *Apis mellifera* também foram observados em colônias de abelhas do gênero *Bombus* (Kitaoka; Nieh, 2009). No entanto, para as abelhas sem ferrão há poucas evidências sobre a regulação da atividade forrageira frente às alterações na disponibilidade de alimentos armazenados na colônia (Biesmeijer et al., 1999).

No presente estudo foram avaliadas as possíveis relações entre a atividade forrageira de pólen, a quantidade de pólen estocado no ninho e a produção de cria, em colônias de abelha sem ferrão (*Melipona subnitida*), visando responder as seguintes perguntas: (1) A quantidade de pólen estocado dentro do ninho (pólen extra e ausência de pólen) influencia a atividade forrageira de pólen das colônias? (2) A quantidade de pólen estocado dentro do ninho (pólen extra e ausência de pólen) influencia a taxa de construção de células de crias?

MATERIAL E MÉTODOS

1. LOCAL E PERÍODO DE ESTUDO

Os experimentos foram realizados no município de Mossoró/RN, Brasil, em dois períodos e locais distintos: nos meses de outubro e novembro de 2011 no campus da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e no mês de abril de 2012 na Estação Experimental Rafael Fernandes/UFERSA.

2. MANIPULAÇÃO EXPERIMENTAL

As colônias de *Melipona subnitida* Ducke foram estabelecidas em caixas de observação, há pelo menos um ano antes do início dos experimentos. Para investigar o efeito da quantidade de pólen estocado no forrageamento de pólen e na construção de células de crias foram estabelecidos três diferentes tratamentos experimentais: colônias do grupo controle sem manipulação (C), colônias do grupo experimental com pólen extra (E+), e colônias do grupo experimental sem potes de

pólen (*E-*). Os experimentos foram divididos em duas fases distintas: situação controle (*SC*) período referente a três dias antes da manipulação experimental e situação experimental (*SE*) período referente a três dias depois da manipulação experimental. Durante a situação experimental (*SE*) em todas as colônias do grupo experimental *E+* foi adicionado, em copos de plástico, 17g de pólen extra da própria espécie (17g corresponde aproximadamente a um pote de pólen) e do grupo experimental *E-* foram retirados todos os potes de pólen. Durante ambas as situações (*SC*, *SE*) o número de potes de pólen das colônias controle (*C*) não foi alterado. No total, foram investigadas 35 colônias, sendo 21 colônias experimentais (2011: *E+*, *N* = 5; *E-*, *N* = 5; 2012: *E+*, *N* = 4; *E-*, *N* = 7) e 14 colônias controle (2011: *C*, *N* = 9; 2012: *C*, *N* = 5).

3. ATIVIDADE FORRAGEIRA DE PÓLEN

Durante dois dias (segundo e terceiro dia) foram registradas a atividade forrageira de pólen entre 5:00 e 17:00 h, na situação controle (*SC*) e na situação experimental (*SE*). Foi contabilizado o número de abelhas forrageiras que retornaram às colônias com pólen na corbícula. Nos períodos de maior atividade forrageira foram realizadas contagens por 5 minutos e com intervalos de 10 minutos (uma observação a cada 15 minutos). Após a redução da intensidade forrageira, a partir das 7:30h foram realizadas contagens por 5 minutos e com intervalos de 25 minutos (uma observação a cada meia hora) e a partir das 12:00 h foram realizadas contagens por 5 minutos e com intervalos de 55 minutos (uma observação a cada hora).

4. CONSTRUÇÃO DE CÉLULAS DE CRIAS

Durante ambas as situações experimentais (*SC* e *SE*), o número de células construídas foi registrado. Por três dias consecutivos, com intervalos controlados de 24h, a região de postura foi fotografada. O mapeamento da área de postura e a comparação entre as fotos foram realizados com auxílio do software Adobe Photoshop CS3, o qual permite marcar e numerar as células de crias (Figura 2.1). Dessa maneira foi registrado o número de células construídas por dia em cada colônia (ver capítulo 2).

5. ANÁLISES DOS DADOS

Parâmetros avaliados. Foram avaliados os seguintes parâmetros: *Forrageamento*: (i) F_{MAX} , número máximo de abelhas forrageiras, (ii) F_{PICO} , horário do pico do forrageamento, (iii) F_{INI} , horário do início do forrageamento, e (iv) F_{FIM} , horário do final do forrageamento; (v) T-CONS, taxa de construção de células de cria. Para cada colônia foi calculado o valor médio (média de duas observações em dias consecutivos) desses parâmetros para ambas as fases do experimento (situação controle, SC; situação experimental, SE). O horário de pico do forrageamento foi calculado como vetor médio da atividade forrageira através do software de estatística circular Oriana 4.01 (Kovach Computing Services, Anglesey, Wales). O horário de início do forrageamento foi considerado o primeiro horário no qual foram contabilizadas abelhas retornando ao ninho com pólen. O horário do final do forrageamento foi o horário da última contagem de atividade contínua, seguida por pelo menos dois eventos de contagem de zero forrageadoras. Para as análises estatísticas, os dados de tempo (hora:minuto) foram transformados em números decimais, hora + (minutos/60), de modo que, por exemplo, 05:50h tornou-se 5,83.

Testes estatísticos. Para avaliar se o tratamento experimental resultou em mudanças significativamente diferentes nos parâmetros (i)-(v) entre os tratamentos (grupo controle, C; pólen extra, E+; sem pólen, E-) foram aplicados *General Linear Models* ou, alternativamente, *Kruskal-Wallis* quando os resíduos não apresentaram distribuição normal (STATISTICA 8.0; StatSoft Inc., Estados Unidos). A variável dependente foi a diferença do respectivo parâmetro entre as duas fases experimentais (SC e SE); diferença = (valor médio SE) – (valor médio SC); diferença em % para os parâmetros i, v; diferença em minutos para os parâmetros ii, iii, iv. Como possíveis fontes de variação (variáveis categóricas) foram consideradas: o tratamento experimental (C, E+, E-), o ano do experimento (2011, 2012) e a interação entre os dois fatores (tratamento × ano).

Visto que o ano do experimento não foi responsável pela variação encontrada (veja resultados), os dados dos dois anos foram agrupados e foram realizados *Testes-t-pareados* (ou, alternativamente, *Wilcoxon Signed Rank Test* quando não houve distribuição normal) para avaliar, se houve diferença significativa nos parâmetros (i, v) entre a situação controle e a situação experimental (SigmaPlot for Windows 10.0; Systat software Inc., Estados Unidos) e foram realizados *Watson-Williams F-Tests* para avaliar, se houve diferença significativa nos parâmetros (ii, iii e iv) entre a situação controle e a situação experimental (Oriana 4.01; Kovach Computing Services, Anglesey, Wales). O nível considerado como diferença estatisticamente significativa foi $P \leq 0,05$. Nas tabelas e nos gráficos, os dados foram apresentados como Média $\pm$ Erro Padrão (E.P.). *N* refere-se ao número de colônias estudadas.

RESULTADOS

A análise *General Linear Models* (Tabela 3.1) mostrou que não houve diferença estatística entre os dois anos de experimentos (2011 e 2012), portanto os resultados apresentados abaixo representam os dados dos dois anos agrupados.

1. ATIVIDADE FORRAGEIRA DE PÓLEN

A quantidade de pólen estocado nas colônias de *M. subnitida* não influenciou o número máximo de abelhas forrageiras de pólen. Não houve diferença estatística significativa entre os grupos *C*, *E+*, *E-* na comparação da diferença (%) do número máximo de abelhas forrageiras na situação experimental (*SE*) com a situação controle (*SC*) (Tabela 3.1; Figura 3.1A). Em ambos os tratamentos, grupo controle (*C*) e grupos experimentais (*E+*, *E*), houve uma leve queda na atividade forrageira (número máximo de abelhas forrageiras) durante a situação experimental (*SE*) comparada a situação controle (*SC*), porém sem diferença estatística significativa (Tabela 3.2; Figura 3.1B).

Comparando a diferença (em minutos) dos horários do pico, início e final da atividade forrageira na situação experimental (*SE*) relativa à situação controle (*SC*), nós verificamos que o horário de pico do forrageamento do grupo *E-* foi mais tarde quando comparado aos horários de

pico dos grupos *C* e *E+* (Tabela 3.1; Figura 3.2A-C). Porém não houve diferença estatística significativa na comparação da diferença dos horários do início e do final da atividade forrageira entre os grupos *C*, *E-* e *E+* (Tabela 3.1; Figura 3.2A-C). Comparando os horários médios do pico, do início e do final da atividade forrageira dos grupos *C*, *E+* e *E-* na situação controle (*SC*) e na situação experimental (*SE*) não houve diferença estatística significativa (Tabela 3.2; Figura 3.2D-F).

2. CONSTRUÇÃO DE CÉLULAS DE CRIAS

Tanto a presença de pólen extra (*E+*) como a ausência de pólen (*E-*) afetaram a taxa de construção de células de cria. Comparando a diferença (%) do número de células de cria construídas na situação experimental (*SE*) com a situação controle (*SC*), houve um aumento no número de células construídas do grupo experimental *E+* e houve um declínio do grupo experimental *E-* (Figura 3.3A; Tabela 3.1).

A média do número de células de cria construídas do grupo *E+* foi maior na situação experimental (*SE*) do que na situação controle (*SC*) e, no grupo *E-* foi menor na situação experimental (*SE*) do que na situação controle (*SC*) (Tabela 3.2; Figura 3.3B).

Tabela 3.1. Resultados dos testes *General Linear Models* (ou teste *Kruskal-Wallis*) aplicados para avaliar se o tratamento experimental resultou em diferenças estatísticas significativas nos parâmetros: F_{MAX}, número máximo de forrageadoras; F_{PICO}, horário do pico do forrageamento; F_{INI}, horário de início do forrageamento; F_{FIM}, horário do final do forrageamento, e T-CONS, taxa de construção de células de cria. Como possíveis fontes de variação foram consideradas: o tratamento experimental (grupo controle, C; grupo com pólen extra, E+; grupo sem pólen, E-), o ano do experimento (2011, 2012) e a interação entre os dois fatores (tratamento × ano).

Tratamento	Ano	N	F _{MAX} (%)	F _{PICO} (min)	F _{INI} (min)	F _{FIM} (min)	T-CONS (%)
C	2011	9	-27,6±11,9	-14±9a	10±18	-35±14	1,9±12,0ab
	2012	5	9,8±15,9	7±12ac	0±0	-8±19	-6,1±16,1ab
E+	2011	5	-29,4±15,9	-18±12a	3±17	5±19	27,4±16,1ac
	2012	4	-10,2±17,8	-1±13ac	2±4	-2±22	59,1±18,0a
E-	2011	5	-8,5±16,0	42±12bc	16±14	14±19	-43,1±16,1b
	2012	7	0,8±13,4	8±10ac	-1±3	21±16	-34,0±13,6bc
General Linear Model							
Modelo	F		1,16	3,72	H = 0,0628 [†]	1,63	5,41
	P		0,35	0,01	0,97 [†]	0,18	<0,01
	R ²		0,02	0,29	-	0,09	0,39
Tamanho do Efeito (P)	Tratamento		0,60	0,01	-	0,10	<0,01
	Ano		0,09	0,91	-	0,54	0,39
	Tratamento×Ano		0,62	0,03	-	0,66	0,46

[†] Resultados do teste Kruskal-Wallis. Os valores dos parâmetros correspondem à média ± erro padrão das respectivas diferenças entre a situação controle e a situação experimental das colônias avaliadas (N = número de colônias). Letras diferentes (a-c) indicam diferença significativa entre os grupos (Teste Tukey, P < 0,05). Para cada modelo foram obtidos os valores F, P, e R², e o tamanho do efeito (valor P) das possíveis fontes de variação (valores estatisticamente significativos enfatizados em negrito).

Tabela 3.2. Resultados da comparação dos tratamentos *C*, *E+* e *E-* (grupo controle, grupo com pólen extra, grupo sem pólen) entre a situação controle (*SC*) e a situação experimental (*SE*). Foram avaliados os seguintes parâmetros: F_{MAX} , número máximo de forrageadoras; F_{PICO} , horário do pico do forrageamento; F_{INI} , horário de início do forrageamento; F_{FIM} , horário do final do forrageamento, e T-CONS, taxa de construção de células de cria. Os valores correspondem à média $\pm$ erro padrão das colônias avaliadas (N = número de colônias).

Tratamento	N		F_{MAX}	P	F_{PICO}	P	F_{INI}	P	F_{FIM}	P	T-CONS	P
<i>C</i>	14	<i>SC</i>	4,9 $\pm$ 0,7	0,14 ^{††}	6:31h $\pm$ 08min	0,51 ^{†††}	5:18h $\pm$ 03min	0,27 ^{†††}	7:21h $\pm$ 09min	0,11 ^{†††}	11,0 $\pm$ 1,5	0,74 [†]
		<i>SE</i>	4,3 $\pm$ 0,8		6:24h $\pm$ 06min		5:24h $\pm$ 04min		7:00h $\pm$ 10min		10,8 $\pm$ 1,5	
<i>E+</i>	9	<i>SC</i>	5,6 $\pm$ 1,0	0,12 [†]	6:23h $\pm$ 06min	0,24 ^{†††}	5:17h $\pm$ 05min	0,71 ^{†††}	7:13h $\pm$ 11min	0,94 ^{†††}	9,2 $\pm$ 0,7	0,04[†]
		<i>SE</i>	4,7 $\pm$ 1,2		6:12h $\pm$ 06min		5:20h $\pm$ 05min		7:14h $\pm$ 20min		12,3 $\pm$ 1,2	
<i>E-</i>	12	<i>SC</i>	7,0 $\pm$ 1,1	0,65 [†]	6:13h $\pm$ 05min	0,07 ^{†††}	5:20h $\pm$ 05min	0,32 ^{†††}	7:06h $\pm$ 09min	0,11 ^{†††}	13,1 $\pm$ 1,7	<0,01[†]
		<i>SE</i>	6,6 $\pm$ 1,4		6:36h $\pm$ 11min		5:26h $\pm$ 04min		7:23h $\pm$ 05min		8,0 $\pm$ 1,5	

[†]Resultados do Teste-t-pareado, ^{††} Resultado do teste Wilcoxon Signed Rank, ^{†††} Resultados do teste Watson-Williams F-Tests. Diferenças estatisticamente significativa (indicadas pelos valores P dos testes: Teste-t-pareado, Wilcoxon Signed Rank Test, Watson-Williams F-Tests) enfatizadas em negrito.

Figura 3.1. Forrageamento máximo das colônias de *Melipona subnitida* (média $\pm$ E.P.). **(A)** Comparação da diferença (%) no número máximo de abelhas forrageiras entre as duas situações SC e SE. Não houve diferença estatística significativa entre os grupos C, E+ e E- (ver Tabela 3.1). Box plot: caixa indica distribuição de 50% dos valores (entre os percentis 25% a 75%), linha horizontal indica a mediana, as hastes delimitam a distribuição entre os percentis 10% a 90% dos valores e as esferas indicam os valores extremos. **(B)** Comparação entre a média do número máximo de abelhas forrageiras dos grupos C, E+ e E- na situação controle (SC) e na situação experimental (SE). Não houve diferença estatística significativa (ver Tabela 3.2).

Figura 3.2. Horário do pico, do início e do final da atividade forrageira das colônias de *Melipona subnitida* (média $\pm$ E.P.). (A, B, C) Comparação da diferença (em minutos) do horário do pico, do início e do final da atividade forrageira entre as duas situações SC e SE. Houve diferença estatística significativa no horário do pico entre os grupos C, E+ e E- (ver Tabela 3.1), letras diferentes (a-c) indicam diferença estatística significativa. Box plot: caixa indica distribuição de 50% dos valores (entre os percentis 25% a 75%), linha horizontal indica a mediana, as hastes delimitam a distribuição entre os percentis 10% a 90% dos valores e as esferas indicam os valores extremos. (D, E, F) Comparação entre o horário médio do pico, do início e do final do forrageamento dos grupos C, E+ e E- na situação controle (SC) e na situação experimental (SE). Não houve diferença estatística significativa (ver Tabela 3.2).

Figura 3.3. Construção de células de crias das colônias de *Melipona subnitida* (média $\pm$ E.P.). **(A)** Comparação da diferença (%) do número de células de cria construídas entre as duas situações SC e SE. Houve diferença estatística significativa entre os grupos C, E+ e E- (ver Tabela 3.1), letras diferentes (a-c) indicam diferença estatística significativa. Box plot: caixa indica distribuição de 50% dos valores (entre os percentis 25% a 75%), linha horizontal indica a mediana, as hastes delimitam a distribuição entre os percentis 10% a 90% dos valores e as esferas indicam os valores extremos. **(B)** Comparação entre a média de células construídas do grupo controle (C) e dos grupos experimentais (E+, E-) na situação controle (SC) e na situação experimental (SE). Houve diferença estatística significativa no número de células construídas dos grupos E+ e E- na SC e SE (ver Tabela 3.2), * indica diferença estatística entre os grupos.

DISCUSSÃO

Nossos resultados demonstraram que na ausência de reservas de pólen, as colônias de abelhas sem ferrão, *M. subnitida*, ao contrário das abelhas *Apis mellifera*, não intensificaram imediatamente a atividade forrageira de pólen. Por outro lado, as colônias de *M. subnitida* responderam as situações pólen-extra/ausência-pólen no interior das colônias com imediato aumento/diminuição da construção de células de cria. Portanto, nossos resultados sugerem um mecanismo de controle colonial diferente: as colônias de abelhas sem ferrão, *M. subnitida*, regulam a construção de células de cria de acordo com a disponibilidade de pólen estocado (reprodução controlada pela oferta, Figura 3.4) enquanto as colônias de abelhas *Apis mellifera* que ajustam a sua atividade forrageira, dependendo da quantidade de pólen dentro do ninho (forrageamento controlado pela demanda, Figura 3.4).

1. COLÔNIAS DE *MELIPONA SUBNITIDA*: A DEMANDA DE PÓLEN NÃO CONTROLA O FORRAGEAMENTO

Estudos demonstraram que quando há grande abundância de recursos disponível no ambiente (fatores externo), colônias de abelhas sem ferrão ajustam rapidamente a atividade forrageira aumentando tanto a atividade individual como também a força de forrageamento colonial (Roubik et al., 1986; Eltz et al., 2001; Nagamitsu; Inoue, 2002; Hofstede; Sommeijer, 2006a; Hrncir, 2009). Por outro lado, nossos resultados indicaram que a quantidade de pólen estocado dentro do ninho (fatores internos) não é um fator determinante da intensidade de atividade forrageira das colônias de *M. subnitida*.

Biesmeijer et al. (1999) verificaram que colônias de *Melipona beecheii*, submetidas a situações com baixas reservas de pólen, não aumentaram imediatamente o forrageamento de pólen, e que as colônias apenas coletaram pólen mais intensamente após o aumento da disponibilidade deste recurso no ambiente. De acordo com Roubik (1982) as abelhas forrageiras do gênero *Melipona* podem não aumentar o esforço de forrageamento mesmo em face da redução nas reservas alimentares das colônias.

Nossos resultados indicam um possível *trade-off* entre aumentar as reservas de pólen e evitar a perda de abelhas forrageiras. Mediante a ausência de pólen dentro do ninho, aumentar a força forrageira para coletar maiores quantidade de pólen, poderia causar a morte de abelhas forrageiras, devido à maior exposição a riscos ambientais e predadores. A redução da atividade forrageira provavelmente reduz a perda de abelhas forrageiras. A senescência influenciada pelo forrageamento e pelos cuidados com a cria foi observada em colônias do gênero *Melipona* (Roubik, 1982; Biesmeijer; Tóth, 1998). Durante períodos de escassez de recursos no ambiente e consequentemente declínio nas reservas de pólen e néctar, foi verificado que as abelhas operárias viveram em média 50 dias, e quando os recursos florais tornaram novamente abundantes, as colônias aumentaram os alimentos estocados e o tempo médio de vida de uma operária reduziu pela metade (Roubik, 1982).

Em abelhas *A. mellifera* a quantidade de reservas influencia diretamente o forrageamento das colônias. Quando as colônias sofrem redução nas reservas, as abelhas forrageiras respondem ao estresse polínico aumentando rapidamente o forrageamento desse recurso. Porém, quando as colônias recebem pólen extra, as abelhas forrageiras diminuem a coleta de pólen (Free, 1967; Fewell; Winston, 1992; Dreller et al., 1999; Camazine, 1993). A quantidade de cria em *A. mellifera*, aumento/redução, também controla a coleta de pólen provocando ajustes na atividade forrageira (Free, 1967; Pankiw et al., 1998; Dreller et al., 1999).

As diferenças observadas entre os mecanismos de controle do forrageamento entre espécies de *Apis* e de *Melipona* podem estar relacionadas a características específicas, como por exemplo, o tamanho das colônias e tempo de desenvolvimento larval (Biesmeijer et al., 1999). Ao contrário das colônias de abelhas do gênero *Melipona*, as quais possuem entre 200-2.000 operárias (Wille, 1983), as colônias de abelhas *A. mellifera* são muito maiores e possuem entre 20.000-40.000 operárias (Seeley, 1985). As colônias de abelhas *A. mellifera* podem recrutar uma quantidade maior de novas forrageiras para aumentar a força forrageira e repor seus estoques de pólen rapidamente (Seeley et al., 1991). Além disso, o desenvolvimento larval das espécies de *Melipona* é muito mais longo do que o desenvolvimento das larvas de abelhas *Apis*. Consequentemente, em colônias de *Melipona* o custo relativo à mortalidade de abelhas operárias é muito maior do que para as colônias de *A. mellifera* (Biesmeijer et al., 1999).

2. COLÔNIAS DE *MELIPONA SUBNITIDA*: A OFERTA DE PÓLEN CONTROLA A PRODUÇÃO DE CRIA

Embora a quantidade de pólen estocado no ninho não influencie a atividade forrageira de *M. subnitida*, tanto o aumento como a ausência de pólen afetaram rapidamente a taxa de construção de células de cria. Imediatamente, após a redução nos estoques de pólen, as colônias diminuíram a produção de células de cria, mas aumentaram rapidamente a construção após o acréscimo de pólen nas colônias. Além disso, foi observado que colônias de *M. subnitida* ajustam a taxa de construção de células de cria às situações de baixa/alta disponibilidade de pólen no ambiente (Capítulo 2).

Devido a mudanças ambientais sazonais, as colônias de abelhas eussociais necessitam de ajustes às inúmeras mudanças dentro e fora da colônia (Hofstede; Sommeijer, 2006b). O mecanismo de controle da taxa de produção de cria é exerce um papel central, pois permite que as colônias de abelhas sem ferrão aumentem as chances de sobrevivência sazonal durante períodos longos de escassez de recursos florais, como por exemplo, na região semiárida brasileira (Capítulo 2) e na região sul do Brasil (Borges; Blochtein, 2006; Ferreira Junior et al., 2010). Nessas regiões, as colônias de abelhas sem ferrão estocam recursos alimentares durante um curto período de tempo e depois reduzem drasticamente a produção de cria para enfrentar os períodos de escassez (Borges; Blochtein, 2006; Capítulo, 2).

Em colônias de abelhas sem ferrão a falta de pólen estocado não resultará na perda imediata de cria, como em colônias de *Apis mellifera*. Ao contrario do sistema de alimentação larval progressiva das abelhas *Apis mellifera* (Seeley, 1985), as larvas de abelhas sem ferrão recebem uma alimentação massiva, ou seja, antes da rainha ovipositar as operárias aprovizionam todo o alimento necessário para o desenvolvimento da larva. Após a oviposição, a célula é operculada pelas operárias e o desenvolvimento da larva se dá sem alimentação suplementar e contato com outras abelhas da colônia (Wille, 1983). Portanto, em abelhas sem ferrão a produção de cria pode parar por um curto-prazo sem efeitos negativos para as colônias, sendo desnecessário expor as abelhas forrageiras ao um alto risco extra de mortalidade (Biesmeijer et al., 1999).

O presente estudo demonstrou que em colônias de abelhas sem ferrão, *Melipona subnitida*, a quantidade de pólen estocado não altera o comportamento de forrageamento das colônias. Contudo, sabe-se que o aumento da força forrageira está relacionado principalmente com a disponibilidade de recursos no ambiente (Roubik et al., 1986; Eltz et al., 2001; Nagamitsu; Inoue, 2002; Hofstede; Sommeijer, 2006a; Hrnecir, 2009). Podemos concluir que a disponibilidade de pólen no ambiente é um fator decisivo para a resposta forrageira das colônias, e para seu reprodutivo ao longo prazo, enquanto a quantidade de pólen estocado dentro do ninho

(oferta) controla tem efeitos em curto prazo sobre a taxa de postura e a construção de células de cria.

Figura 3.4. Mecanismos de regulação do forrageamento de pólen em *Apis mellifera* (baseado em Fewell, 2003) e em abelha sem ferrão, *Melipona subnitida* (este estudo e Capítulo 2). As colônias de *Apis mellifera* ajustam a atividade forrageira dependendo da quantidade de cria (prole) dentro do ninho (forrageamento controlado pela demanda) e as colônias de abelhas sem ferrão (*Melipona subnitida*) regulam a construção de células de cria de acordo com a disponibilidade de pólen estocado (produção de cria controlada pela oferta).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de São Paulo/USP e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA pelo auxílio e ao Centro Tecnológico de Apicultura e Meliponicultura do RN/ CETAPIS pelas facilidades colocadas à disposição. Aos alunos do Laboratório de Ecologia Comportamental da UFERSA pelo auxílio na coleta de dados. A CAPES (bolsa de doutorado CMS) e ao CNPq (processos VLIF: 482218/2010-0 e MH: 304722/2010-3, 481256/2010-5) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIESMEIJER, J. C. *et al.* The response of the stingless bee *Melipona beecheii* to experimental pollen stress, worker loss and different levels of information input. **Journal of Apicultural Research**, v. 38, n. 1-2, p. 33-41, 1999.

- BIESMEIJER, J.; TÓTH, E. Individual foraging, activity level and longevity in the stingless bee *Melipona beecheii* in Costa Rica (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae). **Insectes Sociaux**, v. 45, p. 427-443, 1998.
- BORGES, F. V. B.; BLOCHTEIN, B. Variação sazonal das condições internas de colônias de *Melipona marginata obscurior* Moure, no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 3, p. 711-715, 2006.
- CALDERONE, N. W.; JOHNSON, B. R. The within-nest behaviour of honeybee pollen foragers in colonies with a high or low need for pollen. **Animal Behaviour**, v. 63, n. 4, p. 749-758, abr. 2002.
- CAMAZINE, S. The regulation of pollen foraging by honey bees: how foragers assess the colony's need for pollen. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 32, p. 265-272, 1993.
- DRELLER, C.; TARPY, D. R. Perception of the pollen need by foragers in a honeybee colony. **Animal Behaviour**, n. 59, p. 91-96, 2000.
- ELTZ, T. *et al.* Pollen foraging and resource partitioning of stingless bees in relation to flowering dynamics in a southeast Asian tropical rainforest. **Insectes Sociaux**, v. 48, p. 273-279, 2001.
- FERREIRA JUNIOR, N. T.; BLOCHTEIN, B.; MORAES, J. F. Seasonal flight and resource collection patterns of colonies of the stingless bee *Melipona bicolor schencki* Gribodo (Apidae, Meliponini) in an Araucaria forest. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 54, n. 4, p. 630-636, 2010.
- FEWELL, J. H.; WINSTON, M. L. Colony state and regulation of pollen foraging in the honey bee, *Apis mellifera* L. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 30, p. 387-393, 1992.
- FEWELL, J. H. Social insect networks. **Science**, v. 301, p. 1867-1870, 2003.
- FREE, J. Factors determining the collection of pollen by honeybee foragers. **Animal Behaviour**, v. 15, p. 134-144, 1967.
- HOFSTEDE, F.; SOMMEIJER, M. Effect of food availability on individual foraging specialisation in the stingless bee *Plebeia tobagoensis* (Hymenoptera, Meliponini). **Apidologie**, v. 37, p. 387-397, 2006a.
- HOFSTEDE, F.; SOMMEIJER, M. Influence of environmental and colony factors on the initial commodity choice of foragers of the stingless bee *Plebeia tobagoensis* (Hymenoptera, Meliponini). **Insectes Sociaux**, v. 53, p. 258-264, 2006b.
- HRNCIR, M. Mobilizing the foraging force: mechanical signals in stingless bee recruitment. *In: Food exploitation by social insects: ecological, behavioral, and theoretical approaches*. Boca Raton-FL, USA: CRC-Press, Taylor & Francis Group, 2009. v.1 p. 199-221.

- KITAOKA, T. K.; NIEH, J. C. Bumble bee pollen foraging regulation: role of pollen quality, storage levels, and odor. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 63, p. 501-510, 2009.
- MICHENER, C. D. **The social behavior of the bees**. Cambridge-MA, USA.: Harvard University Press, 1974. p. 404.
- MICHENER, C. **The bees of the world**. 1. ed. Baltimore, Maryland 21218-4363: The Johns Hopkins University Press, 2000. p. 953.
- NAGAMITSU, T.; INOUE, T. Foraging activity and pollen diets of subterranean stingless bee colonies in response to general flowering in Sarawak, Malaysia. **Apidologie**, v. 33, p. 303-314, 2002.
- PANKIW, T.; PAGE JR, R.; FONDRK, M. Brood pheromone stimulates pollen foraging in honey bees (*Apis mellifera*). **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 44, p. 193-198, 1998.
- QUEZADA-EUÁN, J. J. G. *et al.* Body size differs in workers produced across time and is associated with variation in the quantity and composition of larval food in *Nannotrigona perilampoides* (Hymenoptera, Meliponini). **Insectes Sociaux**, v. 58, n. 1, p. 31-38, 2010.
- ROUBIK, D. W. Seasonality in colony food storage, brood production and adult survivorship: studies of *Melipona* in tropical forest (Hymenoptera: Apidae). **Journal of the Kansas Entomological Society**, v. 55, n. 4, p. 789-800, 1982.
- ROUBIK, D. W. *et al.* Sporadic food competition with the African honey bee: projected impact on neotropical social bees. **Journal of Tropical Ecology**, v. 2, n. 2, p. 97-111, 1986.
- ROUBIK, D. W. **Ecology and Natural History of Tropical Bees**. Cambridge-MA, USA. Cambridge University Press, 1989. p. 514.
- SEELEY, T. D. **Honeybee Ecology a Study of Adaptation in Social Life**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1985. p. 216.
- SEELEY, T.; CAMAZINE, S.; SNEYD, J. Collective decision-making in honey bees: how colonies choose among nectar sources. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 28, p. 277-290, 1991.
- WILLE, A. Biology of the stingless bees. **Annual Review of Entomology**, v. 28, p. 41-64, 1983.
- WILSON, E. O. **The insect societies**. Harvard University Press, 1971. p. 548.
- WINSTON, M. The biology and management of Africanized honey bees. **Annual Review of Entomology**, v. 37, p. 173-193, 1992.

Foto: Michael Hrcir

REDUÇÃO POTENCIAL NAS ÁREAS DE DISTRIBUIÇÃO FUTURA DE PLANTAS VISITADAS POR *MELIPONA SUBNITIDA* (APIDAE, MELIPONINI) NA REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA.

REDUÇÃO POTENCIAL NAS ÁREAS DE DISTRIBUIÇÃO FUTURA DE PLANTAS VISITADAS POR *MELIPONA SUBNITIDA* (APIDAE, MELIPONINI) NA REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA.

RESUMO

As abelhas nativas são os principais polinizadores da maioria das espécies de plantas com flores, consequentemente, contribuindo para a manutenção da biodiversidade dos ecossistemas. As mudanças climáticas globais previstas para as regiões áridas e semiáridas do planeta indicam a possibilidade de redução drástica da vegetação nativa dessas regiões, que estarão sujeitas a menor pluviosidade e maior temperatura. Neste estudo, foi estimada através de modelagem de distribuição geográfica, a influência das mudanças climáticas sobre a distribuição da espécie de abelha *Melipona subnitida* (jandaíra) e de 18 espécies de plantas identificadas como fontes de pólen e de néctar para esta espécie de abelha. Para executar a modelagem foi utilizado o algoritmo Maxent (*Maximum Entropy*), utilizando-se um cenário de mudanças climáticas moderadas, com projeções para o ano de 2050. A modelagem de distribuição de espécies demonstrou um potencial déficit de recursos forrageiros para espécie *M. subnitida* na região semiárida do nordeste brasileiro nos próximos anos, como consequência das alterações climáticas projetada para a região, e identificou entre as espécies botânicas avaliadas as áreas que apresentam maior fragilidade. Não haverá decréscimo na totalidade de área de ocorrência da abelha *M. subnitida*, no entanto haverá redução na área total de habitats adequados para a maioria das espécies de plantas.

Palavras-chave: Polinizadores. Abelhas sem ferrão. Conservação. Modelagem de distribuição de espécies. Mudanças climáticas.

INTRODUÇÃO

As abelhas sem ferrão (Apidae, Meliponini) pertencem a um grupo de abelhas altamente eussociais com distribuição geográfica nas regiões tropicais e subtropicais, que abrange mais que 500 espécies (Michener, 1974; Michener, 2000; Camargo; Pedro, 2012; Michener, 2013). Entretanto, há espécies de meliponíneos que ocorrem nas regiões subtropicais do hemisfério sul e algumas delas toleram baixas temperaturas no inverno, como no sul do Brasil (Michener, 1974; Ribeiro et al., 2003; Blochtein et al., 2008; Borges; Blochtein, 2006), enquanto outras são adaptadas às temperaturas altas, principalmente no semiárido brasileiro (Zanella, 2000; Zanella; Martins, 2003).

A Caatinga, região semiárida do nordeste brasileiro, possui características climáticas sazonais definidas por temperaturas anuais elevadas e longos períodos de seca (Prado, 2003). Além disso, o índice de chuvas nessa região é extremamente irregular de um ano para outro, resultando em secas periódicas severas (Krol et al., 2001; Chiang; Koutavas, 2004). A Caatinga apresenta espécies altamente adaptadas às suas condições climáticas áridas, resultando em uma alta taxa de endemismos de fauna e flora embora a diversidade de plantas e animais seja menor comparada às exuberantes florestas tropicais (Leal et al., 2003; Giulietti et al., 2004; Albuquerque et al., 2012). A abelha sem ferrão *Melipona subnitida*, popularmente conhecida como jandaíra, é um exemplo de espécie adaptada ao estresse climático dessa região (Zanella; Martins, 2003). A criação dessas abelhas apresenta grande potencial para a economia local, especialmente para atividades de desenvolvimento sustentável. Trata-se de uma espécie-chave do nordeste brasileiro tanto para a polinização de plantas nativas como também para a produção agrícola. Estudos indicaram que essas abelhas são importantes polinizadores de plantas agrícolas como, por exemplo, pimentão (*Capsicum annuum*), goiaba (*Psidium guajava*) e caju (*Anacardium occidentale*), podendo ser utilizada inclusive na polinização em casas de vegetação (Castro, 2002; Cruz et al., 2004; Silva et al., 2005; Silva, 2012).

O serviço de polinização prestado pelas abelhas é fundamental para a manutenção dos ecossistemas (Menz et al., 2011; Wratten et al., 2012), porém as interações plantas-polinizadores são sistemas frágeis frequentemente ameaçados pelas perturbações ambientais (Memmott et al., 2007; Hoover et al., 2012; Kennedy et al., 2013). Devido ao desmatamento e à substituição da vegetação natural principalmente por culturas agrícolas e pastos para o gado bovino, os solos em várias regiões da Caatinga estão sofrendo um processo acelerado de salinização e desertificação (Castelletti et al., 2004; Leal et al., 2005; Santana, 2007). O uso insustentável contínuo dos recursos naturais tem provocado alterações e deteriorações ambientais, ameaçando a sobrevivência de muitas espécies da Caatinga (Castelletti et al., 2004).

Além da pressão antrópica que ameaça a biodiversidade do planeta, as mudanças climáticas projetadas para o futuro também indicam alterações ambientais profundas. Considerando os históricos socioeconômicos definidos pelo *Intergovernmental Panel of Climate Change* (IPCC, 2001), diferentes instituições projetaram cenários futuros de mudanças climáticas. As projeções desenvolvidas pelo *Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis* (CCCMA) - considerando um cenário de alterações climáticas moderadas (A1B) para o ano de 2080 (CGCM versão 3.1) - projetou um aumento de temperatura de cerca de 4 ° C para a Caatinga. Marengo et al. (2011) com base em modelagem climática, verificaram que essa região poderá ser substituída por uma vegetação de deserto. Os problemas ambientais da caatinga são ainda mais graves devido à drástica situação socioeconômica da região (Leal et al., 2005), o que torna essa área ainda mais vulnerável, de acordo com o índice de vulnerabilidade sócio climática (Torres et al., 2012).

A modelagem de distribuição geográfica é uma técnica computacional utilizada para investigar o impacto de mudanças climáticas futuras sobre a distribuição das espécies (Franklin, 2009; Giannini et al. 2012b; Saraiva et al., 2012). Essa ferramenta pode auxiliar na determinação de áreas de conservação e na investigação de localidades em que as espécies poderão encontrar habitats adequados no futuro (Giannini et al., 2012a; Giannini et al., 2013a). As espécies com

distribuições restritas a ambientes áridos e semiáridos são adaptadas às temperaturas elevadas e baixa pluviosidade e, podem proporcionar estudo de caso particularmente interessante, visto que as mudanças climáticas poderão afetá-las de forma diferenciada (Giannini et al., 2012a).

O objetivo principal deste estudo foi identificar futuras áreas de distribuição potencial para a espécie *Melipona subnitida* e para as principais espécies de plantas fontes de recursos florais coletados por essa abelha na região semiárida do nordeste brasileiro, utilizando um cenário futuro de mudança moderada de clima.

MATERIAL E MÉTODOS

1. LOCAL DE ESTUDO E RECURSOS FLORAIS

O estudo envolveu a região nordeste do Brasil, predominantemente o domínio fitogeográfico da caatinga. Nessa região, foram determinadas as interações entre a espécie *Melipona subnitida* e as principais plantas fontes de recursos, pólen e néctar, utilizadas pelas colônias dessa espécie. Para a identificação das principais plantas fontes de recursos foram coletadas amostras de pólen da corbícula (n=184, ver metodologia capítulo 2) e amostras de méis das colônias. Os estudos foram conduzidos na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA, no município de Mossoró/RN (5°03'54.45''S, 37°24'03.64''O, altitude 79 m, descrição da área de estudo no capítulo 1).

As amostras de méis estocados nos ninhos foram coletadas em cinco colônias nos meses de janeiro a maio/2012 (estação chuvosa), em duas colônias em junho e julho/2012 e em uma colônia em dezembro/2012 (estação seca), totalizando 30 amostras. Para evitar a coleta de amostras repetidas o material foi coletado apenas em potes novos (recém-construídos) os quais foram identificados através do mapeamento das colônias. As análises quantitativas foram feitas mediante a contagem de no mínimo 400 e no máximo 800 grãos de pólen de cada amostra e, em seguida foram determinadas as porcentagens de ocorrência dos grãos e também a correção volumétrica dos grãos (Silveira, 1991).

2. MODELAGEM

Para estimar as condições ambientais de ocorrência de cada espécie analisada, foram utilizadas duas variáveis ambientais extremas: a temperatura máxima do mês mais quente e a precipitação do mês mais seco, respectivamente, as camadas ambientais BIO5 e BIO14 do conjunto de camadas ambientais de Hijmans et al. (2005). Os valores para cada ponto de ocorrência foram extraídos das duas camadas ambientais citadas utilizando-se o programa ArcGIS 10 (Esri Inc.).

Para executar a modelagem de distribuição geográfica da abelha *M. subnitida* e as plantas fontes de alimentos, foram utilizados os pontos de ocorrência registrados para essas espécies em diversas bases de dados, especialmente no sítio da Internet do projeto speciesLink (ver Anexo 4.1.A para detalhes). Foram também utilizadas 19 camadas bioclimáticas para determinar a ocorrência potencial atual da espécie. Essas camadas são baseadas em dados empíricos de temperatura e precipitação obtidos em estações meteorológicas durante os anos 1950-2000 com resolução de 5 minutos de arco (Hijmans et al. 2005).

Para a ocorrência futura das espécies estudadas, foram utilizadas as mesmas camadas projetadas para o ano de 2050, utilizando-se um cenário de mudanças climáticas moderadas, executado pelo *Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis* (CCCMA) (CGCM3.1, SRES, A1B) (Ramirez; Jarvis, 2008). O cenário A1B baseia-se nos *storylines* do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2001) que definem que, nesse caso, as iniciativas políticas e econômicas adotadas acarretarão mudanças moderadas de clima por serem baseadas em um crescimento e desenvolvimento rápido da economia e no uso equilibrado de múltiplas fontes de energia, incluindo energias não poluentes e de origem fóssil (Cameron et al., 2012). Foi também utilizado o algoritmo Maxent (*Maximum Entropy*) (Phillips et al., 2006) para executar a modelagem. Esse algoritmo é particularmente útil uma vez que pode ser aplicado para conjuntos de dados que utilizam apenas a presença da espécie (em contraposição a outros algoritmos que necessitam de dados de ausência) e também é eficiente em análises que utilizam baixas quantidades de pontos de ocorrência (Wisz et al., 2008). A área sob a curva (AUC) do

gráfico receptor-operador (ROC) foi utilizado para estimar a acurácia do processo de modelagem em um conjunto de dados utilizado para teste (30% do total dos dados de ocorrência) (Fielding; Bell, 1997). O valor de AUC varia de 0 a 1; quanto mais próximo de 1 considera-se que maior seja a acurácia do modelo. A saída do Maxent representa o valor de probabilidade de ocorrência atribuído a cada célula da grade utilizada no modelo, ou seja, para cada célula de 5 minutos de arco é atribuído um valor que estima a probabilidade da espécie estar presente nessa célula (Phillips et al., 2006).

Assim, o primeiro passo para analisar os resultados da modelagem foi classificar os valores de probabilidade obtidos em cinco categorias: I) 0-10% de probabilidade de ocorrência; II) 11-25%; III) 26-50%; IV) 51-75%; V) 76-100%. Todos os modelos de todas as espécies foram classificados utilizando-se essas 5 classes. A seguir, foram comparados os números totais de células com probabilidade máxima de ocorrência ($> 75\%$), considerando os cenários, atual e futuro, para cada espécie. Baseado nesta informação foi estimada a alteração na quantidade de área de maior adequabilidade climática para a ocorrência de cada espécie, considerando-se os dois cenários. Além disso, as áreas de probabilidade máxima ($> 75\%$) para todas as espécies de plantas foram sobrepostas para construir um modelo composto de ocorrência futura.

A finalidade deste procedimento foi construir uma representação da área total que mostra a maior adequabilidade climática para a ocorrência de todas as plantas utilizadas pela abelha *M. subnitida*. Essa área foi comparada com o cenário futuro de ocorrência da abelha *M. subnitida*. A modelagem foi executada na plataforma do algoritmo Maxent disponível livremente na Internet. Todos os processos envolvendo os mapas foram realizados com o programa ArcGIS 10 (Esri Inc.).

RESULTADOS

Foram identificadas nas colônias *Melipona subnitida* 18 espécies de plantas fontes de pólen e néctar (Tabela 4.1; Figura 4.1). Um total de 85 pontos de ocorrência foi obtido para a abelha *M. subnitida*, e 5775 para as 18 espécies de plantas. Todos os modelos apresentaram AUC superior

a 0,9, o que indica uma boa acurácia. Em relação às variáveis climáticas extremas utilizadas para a análise das áreas de ocorrência de cada espécie, os resultados mostram que a abelha *M. subnitida* ocorre em áreas cujas médias de temperaturas máximas no mês mais quente estão em 32,4°C, e cujos valores mínimos e máximos correspondem à 29,1 e 35,5 °C, respectivamente (Figura 4.2A). Apesar de não ser a espécie com maior valor médio de temperatura (a espécie vegetal *Senna trachypus* apresenta média de 32,7 °C), a abelha *M. subnitida* é a espécie que apresenta faixa mais estreita de variação. Em relação à precipitação do mês mais seco, a abelha *M. subnitida* é a espécie que apresenta média mais baixa (4,2mm) e menor variação (0-23mm) (Figura 4.2B). Os mapas de distribuição potencial futura para a abelha *M. subnitida* foram apresentados na Figura 4.3 e, de cada espécie de planta fonte de recursos florais nas Figuras 4.4 - 4.6.

De acordo com o cenário utilizado, a abelha *M. subnitida* apresentará pouca mudança em termos de sua distribuição atual (Figura 4.3A - B). Algumas regiões no interior do Piauí e Maranhão apresentam decréscimo potencial de áreas com maior probabilidade de ocorrência (em vermelho) para a espécie no cenário futuro, bem como, uma faixa estreita no litoral de Pernambuco e Alagoas. Por outro lado, outras regiões na faixa centro-leste da Bahia apresentam aumento das áreas de maior probabilidade de ocorrência.

No entanto, as áreas de ocorrência da maioria das espécies de plantas utilizadas pela espécie *M. subnitida* como fonte de alimento (arbóreas, arbusto, subarbustos e herbáceas) de acordo com o cenário utilizado, irão sofrer alterações (Figura 4.4 - 4.6). Certas espécies que ocorrem, atualmente, em praticamente toda a área analisada irão encontrar áreas mais adequadas à sua ocorrência apenas mais próximo à costa leste, deixando de ocorrer em áreas mais interioranas, sendo esse o caso principalmente para as espécies *Anadenanthera colubrina* (Figura 4.4A - B), *Chamaecrista calycioides* (Figura 4.6E - F), *Mimosa tenuiflora* (Figura 4.4I - J), *Pityrocarpa moniliformis* (Figura 4.4M - N), *Senna obtusifolia* (Figura 4.5C - D), *Senna trachypus* (Figura 4.5E - F) e *Senna uniflora* (Figura 4.5G - H).

A comparação do número total de células com maior probabilidade de ocorrência (> 75%) dos cenários atual e futuro mostra que a abelha *M. subnitida* irá, potencialmente, aumentar em quase 10% suas áreas de ocorrência (Tabela 4.2). No entanto, de acordo com o cenário utilizado, 10 espécies de plantas poderão apresentar um decréscimo potencial de mais de 20% em suas áreas com maior probabilidade de ocorrência no cenário futuro, e seis espécies sofrerão perdas entre 10-20% de área. As espécies *Pityrocarpa moniliformis*, *Mimosa tenuiflora*, *Senna obtusifolia* e *Anadenanthera colubrina* apresentaram os maiores perdas potenciais, entre 40 e 52%. Já as espécies *Chamaecrista duckeana* e *Mimosa quadrivalvis* foram as que apresentaram menores perdas potenciais (2,7 e 0,7%, respectivamente) nesta modelagem.

A modelagem indicou uma alta taxa de redução de habitat de importantes fontes de pólen e néctar como por exemplo *Anadenanthera colubrina* (40,7%) e *Pityrocarpa moniliformis* (52,3%) (Tabela 4.2). A maior redução na área de habitat foi registrada para a espécie *P. moniliformis*, sendo essa espécie uma das principais fontes de pólen (23%) e néctar (27,3%) para as abelhas *M. subnitida*.

As áreas de maior probabilidade de ocorrência potencial futura da abelha *M. subnitida* englobam a maior parte da região nordeste da área de estudo, incluindo o norte do Maranhão, Piauí, todo o estado de Ceará e Rio Grande do Norte, e várias áreas de Pernambuco, Alagoas e Sergipe, bem como, uma faixa na Bahia (Figura 4.7A). No entanto, as áreas mais adequadas à presença de todas as plantas no futuro abrangem áreas principalmente entre Paraíba e Pernambuco, bem como outras áreas menores em outros estados (Figura 4.7B). A maioria dessas áreas corresponde a regiões com maior altitude que, de acordo com o cenário utilizado, representarão áreas de refúgios climáticos potenciais para as plantas utilizadas pela abelha *M. subnitida* para coleta de recursos florais (Figura 4.8). A maior região contínua corresponde aproximadamente às áreas da Serra de Santana no Rio Grande do Norte e do Planalto da Borborema na Paraíba e Pernambuco. Tais regiões poderão ser consideradas para práticas de manejo e conservação, com a finalidade de proteger esta espécie de abelha.

Tabela 4.1. Análise polínica dos recursos florais coletados pelas colônias de abelha *Melipona subnitida* (jandaíra). PC (pólen da corbícula) indica a % de abelhas forrageiras de pólen. PM (pólen no mel) indica a % de grãos de pólen em amostras de potes de méis, PM/Qn (pólen no mel/correção volumétrica) indica a % de grãos de pólen em amostras de potes de méis com correção volumétrica.

Espécies	%		
	PC	PM	PM/Qn
<i>Alternanthera tenella</i> Colla	-	0,8	0,2
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenam	8,7	0,08	0,1
<i>Borreria verticillata</i> (L.) G.Mey.	-	1,8	1,0
<i>Chamaecrista calycioides</i> (DC. ex Collad.) Greene	6,5	-	-
<i>Chamaecrista duckeana</i> (P.Bezerra & Afr.Fern.) H.S.Irwin & Barneby	24,5	-	-
<i>Chamaecrista duckeana/Chamaecrista calycioides</i> ††	-	13,6*	13,5*
<i>Croton sonderianus</i> Müll. Arg.	-	0,3	17,2
<i>Ipomoea asarifolia</i> (Desr) Roem. & Schult.	-	0,01	0,9
<i>Mimosa arenosa/Mimosa caesalpinifolia</i> †	17,4	14,2	2,5
<i>Mimosa quadrivalvis</i> L.	-	0,6	2,5
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	2,8	7,1	3,1
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	-	1,2	1,2
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W.Jobson	23,9	52,6	27,3
<i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S.Irwin & Barneby	14,7	7,7*	30,2*
<i>Senna trachypus</i> (Benth.) H.S.Irwin & Barneby	0,5	-	-
<i>Senna uniflora</i> (Mill.) H.S.Irwin & Barneby	0,5	-	-
<i>Sida cordifolia</i> L.	-	0,01	0,4
<i>Turnera subulata</i> Sm.	0,5	-	-

* os tipos polínicos foram amostrados em potes de méis, no entanto essas espécies possuem anteras poricidas as quais disponibilizam apenas pólen como recurso floral para as abelhas. †† devido à semelhança entre os tipos polínicos não foi possível separar as duas espécies quando ambas ocorreram juntas na mesma amostra. Em amostras de pólen da corbículas as cargas polínicas foram monoflorais possibilitando separar as duas espécies. † devido à semelhança entre os tipos polínicos não foi possível separar as duas espécies.

Tabela 4.2. Mudança na porcentagem do número total de células com maior probabilidade de ocorrência (> 75%) para a abelha *Melipona subnitida* (jandaíra) e para as plantas fontes de recursos, considerando um cenário de mudanças climáticas moderadas para 2050 (valores negativos indicam perda potencial de área e positivos, ganho).

Espécies	Número de células		Redução (%)
	2000	2050	
<i>Melipona subnitida</i> Ducke	5621	6174	9,8
<i>Alternanthera tenella</i> Colla	13764	9340	-32,1
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenam	13214	7838	-40,7
<i>Borreria verticillata</i> (L.) G.Mey.	10843	8021	-26,0
<i>Chamaecrista calycioides</i> (DC. ex Collad.) Greene	15079	10971	-27,2
<i>Chamaecrista duckeana</i> (P.Bezerra & Afr.Fern.) H.S.Irwin & Barneby	5702	5548	-2,7
<i>Croton sonderianus</i> Müll. Arg.	11701	9913	-15,3
<i>Ipomoea asarifolia</i> (Desr) Roem. & Schult.	13230	11635	-12,1
<i>Mimosa arenosa</i> (Willd.) Poir.	10150	8088	-20,3
<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.	11557	9722	-15,9
<i>Mimosa quadrivalvis</i> L.	11504	11424	-0,7
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	12982	7013	-46,0
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	14924	13390	-10,3
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W.Jobson	15144	7227	-52,3
<i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S.Irwin & Barneby	15571	9220	-40,8
<i>Senna trachypus</i> (Benth.) H.S.Irwin & Barneby	11705	7967	-31,9
<i>Senna uniflora</i> (Mill.) H.S.Irwin & Barneby	11237	9554	-15,0
<i>Sida cordifolia</i> L.	13814	10686	-22,6
<i>Turnera subulata</i> Sm.	13086	11063	-15,5

Figura 4.1. Análise polínica dos recursos florais coletados pelas colônias de abelha *Melipona subnitida* (jandaíra) no semiárido brasileiro. **(A)** abelhas forrageiras de pólen (%) e **(B)** grãos de pólen em amostras de potes de méis (com correção volumétrica). Devido à semelhança entre os grãos de pólen de *Chamaecrista duckeana* e *Chamaecrista calycioides* não foi possível separar as duas espécies quando ambas ocorreram juntas na mesma amostra. Em amostras de pólen da corbículas as cargas polínicas foram monoflorais possibilitando separar as duas espécies. Devido à semelhança entre os grãos de pólen de *Mimosa arenosa* e *Mimosa caesalpinifolia* não foi possível separar as duas espécies.

Figura 4.2. Valores médios, máximos e mínimos de: (A) temperatura máxima do mês mais quente e (B) precipitação do mês mais seco para a abelha *Melipona subnitida* (jandaíra) e para as plantas fontes de recursos.

Figura 4.3. Mapas de ocorrência potencial (A) atual e (B) futura (cenário de mudanças climáticas moderadas para 2050) da abelha *Melipona subnitida*. Os números de 1 a 5 correspondem às faixas de probabilidades de ocorrência entre 0-10, 10-25, 25-50, 50-75 e 75-100%, respectivamente (ver detalhes em Material e Métodos).

Figura 4.4. Mapas de ocorrência potencial atual e futura (cenário de mudanças climáticas moderadas para 2050) das espécies arbóreas fontes de recursos para a abelha *Melipona subnitida*: *Anadenanthera colubrina* (A) atual (B) 2050; *Croton sonderianus* (C) atual (D) 2050; *Mimosa arenosa* (E) atual (F) 2050; *Mimosa caesalpinifolia* (G) atual (H) 2050; *Mimosa tenuiflora* (I) atual (J) 2050; *Myracrodruon urundeuva* (K) atual (L) 2050; *Pityrocarpa moniliformis* (M) atual (N) 2050. Os números de 1 a 5 correspondem às faixas de probabilidades de ocorrência entre 0-10, 10-25, 25-50, 50-75 e 75-100%, respectivamente (ver detalhes em Material e Métodos).

Figura 4.5. Mapas de ocorrência potencial atual e futura (cenário de mudanças climáticas moderadas para 2050) das espécies arbustivas e subarbustivas fontes de recursos para a abelha *Melipona subnitida*: *Chamaecrista duckeana* (A) atual (B) 2050; *Senna obtusifolia* (C) atual (D) 2050; *Senna trachypus* (E) atual (F) 2050; *Senna uniflora* (G) atual (H) 2050; *Sida cordifolia* (I) atual (J) 2050. Os números de 1 a 5 correspondem às faixas de probabilidades de ocorrência entre 0-10, 10-25, 25-50, 50-75 e 75-100%, respectivamente (ver detalhes em Material e Métodos).

Figura 4.6. Mapas de ocorrência potencial atual e futura (cenário de mudanças climáticas moderadas para 2050) espécies herbáceas fontes de recursos para a abelha *Melipona subnitida*: *Alternanthera tenella* (A) atual (B) 2050; *Borreria verticillata* (C) atual (D) 2050; *Chamaecrista calycioides* (E) atual (F) 2050; *Ipomoea asarifolia* (G) atual (H) 2050; *Mimosa quadrivalvis* (I) atual (J) 2050; *Turnera subulata* (K) atual (L) 2050. Os números de 1 a 5 correspondem às faixas de probabilidades de ocorrência entre 0-10, 10-25, 25-50, 50-75 e 75-100%, respectivamente (ver detalhes em Material e Métodos).

Figura 4.7. Áreas com maior probabilidade ($> 75\%$) de ocorrência futura (cenário de mudanças climáticas moderadas para 2050) para: (A) *Melipona subnitida* e (B) todas as plantas utilizadas como fontes de recursos florais.

Figura 4.8. Topografia das áreas com maior probabilidade ($> 75\%$; tons claros de cinza) de ocorrência futura (cenário de mudanças climáticas moderadas para 2050) para todas as espécies de plantas utilizadas por *Melipona subnitida* como fontes de recursos, com ênfase na região da Serra de Santana (Rio Grande do Norte) e Planalto da Borborema (Paraíba e Pernambuco).

DISCUSSÃO

Estudos que analisaram cenários futuros de mudanças climáticas para espécies de abelhas brasileiras demonstraram uma redução de áreas adequadas para quase todas as espécies (Giannini et al., 2012a; Giannini et al., 2013a). Nesse estudo, nós verificamos que com as mudanças climáticas previstas para os próximos 40 anos, não haverá decréscimo na totalidade de área de ocorrência da abelha *M. subnitida*, apesar de algumas regiões diminuírem sua probabilidade de ocorrência futura. Embora a abelha *M. subnitida* ocorra em algumas áreas úmidas como os manguezais, por exemplo, no estado do Maranhão, essa espécie tem sua distribuição relacionada principalmente à região semiárida brasileira. Possivelmente trata-se de uma espécie altamente adaptada às condições ambientais extremas desse ambiente e mesmo se a temperatura aumentar e a precipitação diminuir, dentro de cenários moderados, ainda assim essas abelhas encontrarão condições favoráveis para sobreviver.

Por outro lado, haverá um forte decréscimo na área de ocorrência para a maioria das espécies de plantas fontes de alimento para a espécie *M. subnitida*, com exceção da espécie *Chamaecrista duckeana*, endêmica da região nordeste (Souza; Bortoluzzi, 2013) e da espécie *Mimosa quadrivalvis*. Portanto, haverá um potencial déficit de recursos forrageiros para espécie *M. subnitida* em amplas extensões da região semiárida do nordeste brasileiro.

A redução de habitat de espécies-chave como *A. colubrina*, *Mimosa* spp. e *P. moniliformis* poderá afetar drasticamente a manutenção de colônias de *M. subnitida* na Caatinga. Essas espécies exibem floração em massa, disponibilizando grandes quantidades de recursos alimentares para as colônias de *M. subnitida* e, portanto garantindo a manutenção e o crescimento das colônias por períodos mais longos (Capítulo 2). Além disso, a espécie *A. colubrina* destaca-se por fornecer pólen para as abelhas durante a estação seca, período de escassez de recursos na Caatinga (Capítulo 2).

De acordo com Soberón (2010) a distribuição geográfica das espécies não é determinada apenas pelos fatores abióticos (clima, solo e altitude), mas pela associação destes com os fatores

bióticos, que correspondem às interações entre as espécies (por exemplo, mutualismo, competição e predação) e com os movimentos espaciais dos indivíduos e populações (dinâmica de ocupação e dispersão). Giannini et al. (2013b) demonstraram que as interações bióticas são importantes na estruturação de distribuição das espécies em escalas regionais. Portanto, apesar do clima (fator abiótico) previsto para os próximos anos ser potencialmente adequado para ocorrência da jandaíra, sem os recursos florais (fatores bióticos) a espécie ficará ameaçada em amplas extensões da Caatinga.

Avaliações dos impactos causados pelas mudanças climáticas na vegetação de outros biomas brasileiros demonstram que muitas espécies de plantas podem sofrer uma redução de 20-50% de área habitável (Siqueira; Peterson, 2003; Colombo; Joly, 2010). Além disso, as mudanças climáticas podem provocar alterações drásticas na fenologia de floração, causando desequilíbrios nas interações plantas-polinizadores (Memmott et al., 2007; Aldridge et al., 2011; Rafferty; Ives, 2012). Diante deste cenário, medidas capazes de preservar as espécies de plantas nos remanescentes de vegetação nativa são fundamentais para a sobrevivência de muitas espécies de abelhas (Giannini et al., 2012a; Giannini et al., 2013a).

Além das mudanças climáticas, a fragmentação e a perda de habitats, as práticas agressivas do uso da terra e o uso indiscriminado de pesticidas são apontados como as principais causas do declínio das populações de abelhas (Biesmeijer et al., 2006; Potts et al., 2010; Schweiger et al., 2010; Dupont et al., 2011; Gill et al., 2012). Nesse sentido, determinadas práticas agrícolas sustentáveis também podem favorecer a proteção das espécies de abelhas em ambientes agrícolas e, conseqüentemente aumentar os serviços essenciais de polinização (Carvalho et al., 2011; Giannini et al., 2012; Wratten et al., 2012; Kennedy et al., 2013). Por exemplo, a conservação de manchas com espécies de plantas nativas em áreas de cultivos pode maximizar a produtividade e reduzir a necessidade de expansão da área plantada (Carvalho et al., 2011; Kennedy et al., 2013).

Além disso, uma estratégia importante para garantir a manutenção dos ecossistemas naturais é a implantação de sistemas eficientes de áreas protegidas (Bruner et al., 2001). No entanto, existe a necessidade de aumentar as áreas protegidas do bioma caatinga e também conectar as áreas já existentes para a conservação da biodiversidade frente às mudanças climáticas futuras (Tabarelli; Silva, 2003; Silva et al., 2004). Atualmente, em resposta às alterações climáticas, foi verificado que existe uma tendência de mudança nas distribuições de muitos organismos terrestres para áreas com altitudes mais elevadas, provavelmente em busca de condições climáticas mais similares às atuais (Chen et al., 2011). Os modelos obtidos no presente estudo apontam que as regiões de caatinga com maiores altitudes podem ser consideradas importantes áreas de refúgios climáticos para a espécie *M. subnitida*, onde essas abelhas encontrarão tanto condições climáticas favoráveis como também suas fontes de recursos florais.

Adicionalmente, visando à dispersão de espécies de plantas e abelhas através de rotas de integração entre as áreas de refúgios climáticos, outra medida apropriada de preservação das espécies é conectar áreas protegidas isoladas através de corredores de biodiversidade. A implantação de corredores é crucial para a manutenção da riqueza de espécies em habitats fragmentados (Rosenberg et al., 1997; Gilbert et al., 1998). As plantas que potencialmente sofrerão menos com as mudanças do clima, como por exemplo, *Chamaecrista duckeana* e *Mimosa quadrivalvis* de acordo com este estudo, são as mais indicadas para programas de manejo (Arribas et al., 2012), podendo potencialmente serem utilizadas em corredores ecológicos. Com base nos resultados aqui apresentados, visando garantir a preservação da espécie *M. subnitida* e de suas plantas forrageiras, essas regiões com maiores altitudes são consideradas adequadas para a criação de novas áreas de conservação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de São Paulo/USP e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA pelo auxílio e ao Centro Tecnológico de Apicultura e Meliponicultura do RN/CETAPIS pelas facilidades colocadas à disposição. A CAPES (bolsa de doutorado CMS) e

ao CNPq (VLIF: 482218/2010-0) pelo apoio financeiro. Agradecemos também ao Núcleo de Apoio à Pesquisa (BIOCOMP/USP), que dá suporte ao grupo de modelagem de espécies da USP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, U. P. *et al.* Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. **The Scientific World Journal**, v. doi:10.110, 2012.
- ALDRIDGE, G. *et al.* Emergence of a mid-season period of low floral resources in a montane meadow ecosystem associated with climate change. **Journal of Ecology**, v. 99, n. 4, p. 905-913, 2011.
- ARRIBAS, P. *et al.* Evaluating drivers of vulnerability to climate change: a guide for insect conservation strategies. **Global Change Biology**, v. 18, n. 7, p. 2135-2146, 2012.
- BIESMEIJER, J. C. *et al.* Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. **Science**, v. 313, n. 5785, p. 351-354, 2006.
- BORGES, F. V. B.; BLOCHTEIN, B. Variação sazonal das condições internas de colônias de *Melipona marginata obscurior* Moure, no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 23, p. 711-715, 2006.
- BLOCHTEIN, B.; FREITAS, S. W.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Adaptações das abelhas sem ferrão ao clima temperado do sul do Brasil. In: **VIII Encontro sobre abelhas: Biodiversidade e uso sustentado de abelhas**. Ribeirão Preto: FUNPEC Editora, 2008. p. 121-130.
- BRUNER, A. G. *et al.* Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. **Science**, v. 291, n. 5501, p. 125-128, 2001.
- CAMARGO, J. M. F.; PEDRO, S. R. M. Meliponini Lepeletier, 1836. In: Moure, J. S., Urban, D.; Melo, G. A. R. (Eds.). **Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region**. Disponível em <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>. 2012.
- CAMERON C., NORRINGTON-DAVIES G., VELDE V. Special report on managing climate extremes and disasters in latin america and the caribbean: Lessons from the IPCC SREX Report. CDKN. 2012.
- CARVALHEIRO, L. G. *et al.* Natural and within-farmland biodiversity enhances crop productivity. **Ecology Letters**, v. 14, n. 3, p. 251-9, 2011.
- CASTELLETTI, C. H. M. *et al.* Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: SILVA, J. M. C. *et al.* (Eds.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 92-100.

- CASTRO, M. S. Bee fauna of some tropical and exotic fruits: Potential pollinators and their conservation. *In*: Kevan, P.; Imperatriz-Fonseca, V. L. (Eds). **Pollinating bees - The Conservation Link Between Agriculture and Nature**. Brasília: Ministry of Environment. 2002. p. 275-288.
- CHEN, I.-C. *et al.* Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 1024-6, 2011.
- CHIANG, J. C. H.; KOUTAVAS. A. Climate change: tropical flip-flop connections. **Nature**, v. 432, p. 684-685, 2004.
- COLOMBO, A. F.; JOLY, C. A. Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 3 Suppl, p. 697-708, out. 2010.
- CRUZ, D. O. *et al.* Adaptação e comportamento de pastejo da abelha jandaíra (*Melipona subnitida* Ducke) em ambiente protegido. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 26, n. 3, p. 293-298, 2004.
- CRUZ, D. O. *et al.* Comportamento e diversidade de abelhas em capítulos de girassol (*Helianthus annuus* L.) no litoral cearense, região nordeste do Brasil. **Encontro sobre abelhas. Ribeirão Preto**. 2010.
- CRUZ, D. O. *et al.* Pollination efficiency of the stingless bee *Melipona subnitida* on greenhouse sweet pepper. **Pesq. Agrop. Bras.** 40: 1197-1201. 2005.
- DUPONT, Y. L.; DAMGAARD, C.; SIMONSEN, V. Quantitative historical change in bumblebee (*Bombus* spp.) assemblages of red clover fields. **PloS One**, v. 6, n. 9, p. e25172, 2011.
- FIELDING, A. H.; BELL, J. F. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. **Environmental Conservation**, v. 24, n. 1, p. 38-49, 1997.
- FRANKLIN, J. **Mapping Species Distribution. Spatial Inference and Prediction**. Cambridge Press, New York, 2009.
- GIANNINI, T. C. *et al.* Pollination services at risk: Bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. **Ecological Modelling**, v. 244, p. 127-131, 2012a.
- GIANNINI, T. C. *et al.* Construção de cenários futuros para o uso e conservação de polinizadores. *In*: IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. *et al.* (Eds.). **Polinizadores no Brasil - contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. 1ed. São Paulo: EDUSP, 2012b, p. 301-314.
- GIANNINI, T. C. *et al.* Improving species distribution models using biotic interactions: a case study of parasites, pollinators and plants. **Ecography**, v. 36, n. 6, p. 649-656, 2013a.

- GIANNINI, T. C. *et al.* Identifying the areas to preserve passion fruit pollination service in Brazilian Tropical Savannas under climate change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 171, p. 39-46, 2013b.
- GILBERT, F.; GONZALEZ, A.; EVANS-FREKE, I. Corridors maintain species richness in the fragmented landscapes of a microecosystem. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 265, n. 1396, p. 577-582, 1998.
- GILL, R. J.; RAMOS-RODRIGUEZ, O.; RAINE, N. E. Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. **Nature**, v. 491, n. 7422, p. 105-8, 2012.
- GIULIETTI, A. M. *et al.* Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: SILVA, J. M. C. *et al.* (Eds.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 48-90.
- HIJMANS, R. J. *et al.* Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 1965-1978, dez. 2005.
- HOOVER, S. E. R. *et al.* Warming, CO₂, and nitrogen deposition interactively affect a plant-pollinator mutualism. **Ecology letters**, v. 15, n. 3, p. 227-34, 2012.
- IPCC - Intergovernmental Panel of Change, 2001. Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Press, UK.
- KENNEDY, C. M. *et al.* A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. **Ecology Letters**, p. doi: 10.1111/ele.12082, 2013.
- KROL, M. S. *et al.* The semi-arid integrated model (SIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability of ecosystems and society in NE-Brazil. **Physics and Chemistry of the Earth (B)**, v. 26, n. 7, p. 529-533, 2001.
- LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1. ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003a. v. 1 p. 822.
- LEAL, I. *et al.* Mudando o curso da conservação da biodiversidade na caatinga do nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, 2005.
- MARENGO, J. A., *et al.* **Dangerous Climate Change in Brazil**. Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Brasil e Met Office Hadley Centre, UK. 2011.
- MEMMOTT, J. *et al.* Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. **Ecology Letters**, v. 10, n. 8, p. 710-7, 2007.
- MENZ, M. H. M. *et al.* Reconnecting plants and pollinators: challenges in the restoration of pollination mutualisms. **Trends in Plant Science**, v. 16, n. 1, p. 4-12, 2011.

- MICHENER, C. D. **The bees of the world**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2000.
- MICHENER, C. D. The Meliponini. *In*: VIT, P.; PEDRO, S. R. M.; ROUBIK, D. (Eds.). **Pot-Honey a legacy of stingless bees**. 1. ed. New York, NY: Springer, 2013. p. 3-17.
- MICHENER, C. D. **The social behavior of the bees: a comparative study**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1974. p. 404.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, 2006.
- POTTS, S. G. *et al.* Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 25, n. 6, p. 345-53, 2010.
- PRADO, D. 2003. As caatingas da América do Sul. *In*: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1. ed. Recife PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 75-134.
- RAFFERTY, N. E.; IVES, A. R. Pollinator effectiveness varies with experimental shifts in flowering time. **Ecology**, v. 93, n. 4, p. 803-14, 2012.
- RAMIREZ, J., JARVIS, A., **High resolution statistically downscaled future climate surfaces**. International Centre for Tropical Agriculture Website. 2008.
- RIBEIRO, M. F.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; SANTOS FILHO, P. S. A interrupção da construção de células de cria e postura em *Plebeia remota* (Holmberg) (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). *In*: MELO, G. A. R.; I. ALVES-DOS-SANTOS (Eds.). **Apoidea Neotropica: Homenagem aos 90 Anos de Jesus Santiago Moure**. Criciúma: Editora UNESC, 2003. p. 177-188.
- ROSENBERG, D.; NOON, B.; MESLOW, E. Biological corridors: form, function, and efficacy. **BioScience**, v. 47, n. 10, p. 677-687, 1997.
- SANTANA, M. O. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 2007.
- SARAIVA, A. M. *et al.* Drummond, M. S.; Blochtein, B.; Witter, B.; Alves dos Santos I.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Influência das alterações climáticas sobre a distribuição de algumas espécies de *Melipona* no Brasil. *In*: IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. *et al.* (Eds.). **Polinizadores no Brasil - contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. 1ed. São Paulo: EDUSP, 2012. p. 349-360.
- SCHWEIGER, O. *et al.* Climate change can cause spatial mismatch of trophically interacting species. **Ecology**, v. 89, n. 12, p. 3472-9, dez. 2008.

- SILVA, E. M. S. *et al.* Biologia floral do pimentão (*Capsicum annuum*) e a utilização da abelha jandaíra (*Melipona subnitida* Ducke) como polinizador em cultivo protegido. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, p. 386-390, 2005.
- SILVA, J. M. C. *et al.* **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.
- SILVA, S. E. M. Pollination of sweet pepper. **Documentos online EMBRAPA** 249. ISSN 18089992. 2012.
- SILVEIRA, F. A. Influence of pollen grain volume the estimation of the relative importance of its source to bees. **Apidologie**, v. 22, p. 495-502, 1991.
- SIQUEIRA, M. F.; PETERSON, A. T. Consequences of global climate change for geographic. **Biota Neotropica**, v. 3, n. 2, p. 1-14, 2003.
- SOBERÓN, J. M. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. **Ecography**, v. 33, n. 1, p. 159-167, 2010.
- SOUZA, V. C.; BORTOLUZZI, R. L. C. *Chamaecrista* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB18336>, 2013.
- TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Áreas e ações prioritárias para a conservação da Caatinga. *In*: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1. ed. Recife PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 777-796.
- TORRES, R. R. *et al.* Socio-climatic hotspots in Brazil. **Climatic Change**, v. 115, n. 3-4, p. 597-609, 2012.
- WISZ, M. *et al.* Effects of sample size on the performance of species distribution models. **Divers. Distrib.** 14, 763–773, 2008.
- WRATTEN, S. D. *et al.* Pollinator habitat enhancement: Benefits to other ecosystem services. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 159, p. 112-122, 2012.
- ZANELLA, F. The bees of the Caatinga (Hymenoptera, Apoidea, Apiformes): a species list and comparative notes regarding their distribution. **Apidologie**, v. 31, p. 579-592, 2000.
- ZANELLA, F. C. V.; MARTINS, C. F. Abelhas da caatinga: biogeografia, ecologia e conservação. *In*: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1. ed. Recife PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 75-134.

CONCLUSÃO GERAL

Foto: Camila Maia-Silva

ESTRATÉGIAS PARA A CONSERVAÇÃO DA ABELHA JANDAÍRA

1. AMEAÇAS ANTRÓPICAS AO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

A Caatinga é o único bioma inteiramente restrito ao território brasileiro. Com uma extensão aproximada de 800.000 km², representa 70% da região nordeste e 11% do território nacional (Leal et al., 2003; Castelletti et al., 2004). Esse bioma possui características climáticas sazonais definidas por temperaturas anuais elevadas e longos períodos de seca (Prado, 2003). O índice de chuvas nessa região é extremamente irregular de um ano para outro, resultando em secas periódicas severas (Krol et al., 2001; Chiang; Koutavas, 2004). Embora a diversidade de plantas e animais seja menor comparado aos exuberantes florestas tropicais, a Caatinga apresenta espécies altamente adaptadas às suas condições climáticas extremas, resultando em uma alta taxa de endemismos de fauna e flora (Leal et al., 2003; Giuliatti et al., 2004; Albuquerque et al., 2012).

Apesar da sua relevância biológica, a Caatinga pode ser considerada um dos biomas mais ameaçados do Brasil (Leal et al., 2003). Grande parte da sua superfície já foi altamente modificada pela utilização e ocupação humana (Castelletti et al., 2004; Leal et al., 2005; Santos et al., 2011). O uso insustentável contínuo dos recursos naturais provoca alterações e deteriorações ambientais profundas, levando à rápida perda de espécies únicas (Castelletti et al., 2004). A presença da vegetação adaptada à situação climática encontrada na Caatinga tem impedido por milhares de anos a transformação do nordeste brasileiro num imenso deserto. Porém, devido ao desmatamento e à substituição da vegetação natural por culturas agrícolas, os solos em várias regiões do semiárido brasileiro estão sofrendo um processo acelerado de desertificação (Castelletti et al., 2004; Leal et al., 2005).

Além das perturbações causadas pelo desmatamento, o aquecimento global previsto para as próximas décadas (Houghton et al., 2001; Marengo et al., 2009) representa uma ameaça potencial para a biodiversidade restante da Caatinga. O aumento da temperatura média anual em 4°C e a dramática redução de chuvas (Oyama; Nobre, 2003; Trenberth et al., 2007) criará uma

situação climática ainda mais adversa para os seres vivos. Os problemas ambientais deste bioma são ainda mais graves devido à drástica situação socioeconômica da região (Leal et al., 2005), o que torna essa área ainda mais vulnerável, de acordo com o índice de vulnerabilidade sócio climática (Torres et al., 2012).

2. A IMPORTÂNCIA DA ABELHA JANDAÍRA PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

As abelhas são elementos-chave tanto para a conservação ambiental como para a produção agrícola. Cerca de 90% das plantas com flores (Ollerton et al., 2011) e cerca de 75% das culturas agrícolas (Klein et al., 2007) dependem em algum momento de animais polinizadores. Os polinizadores atuam na base da cadeia alimentar, prestando um valioso serviço ecossistêmico na manutenção da biodiversidade (Biesmeijer et al., 2006; Potts et al., 2010; Wratten et al., 2012) portanto, sua conservação torna-se fundamental para a manutenção dos biomas (Imperatriz-Fonseca et al., 2012).

Machado e Lopes (2004) verificaram que na Caatinga em 142 espécies de plantas ocorreu uma predominância do sistema de polinização por insetos (69,9%), sendo a maioria delas polinizada por abelhas (43,1%). Neste bioma são conhecidas 187 espécies de abelhas, a maioria delas considerada como espécies raras. As abelhas sociais sem ferrão são abundantes e muito populares, principalmente as espécies *Melipona subnitida* (jandaíra), *M. asilvai* (munduri), *M. mandacaia* (mandaçaia), *Frieseomelitta doederleini* (amarela, mané-de-abreu), *F. varia* (moça-branca), *Plebeia flavocincta* (mosquito, jati), *Trigona spinipes* (arapuá), *Lestrimelitta tropica* (abelha limão), *Partamona seridoensis* (cupira), *Trigonisca* sp. (remela), entre outras. Algumas espécies de abelhas solitárias também são abundantes e importantes para a polinização de plantas nativas (Zanella, 2000; Zanella; Martins, 2003).

A espécie *M. subnitida* (jandaíra) é muito utilizada na meliponicultura regional e suas colônias são amplamente criadas e multiplicadas para produção de mel. A criação dessas abelhas possui um grande potencial para a economia local, especialmente para atividades de desenvolvimento sustentável (Bruening, 1990; Maia, 2013). Trata-se de uma espécie-chave do

nordeste brasileiro tanto para a polinização de plantas nativas como também para a produção agrícola. Estudos indicaram que essas abelhas são importantes polinizadores de plantas agrícolas como, por exemplo, pimentão (*Capsicum annuum*), goiaba (*Psidium guajava*) e caju (*Anacardium occidentale*), podendo ser utilizada inclusive na polinização em casas de vegetação (Castro, 2002; Cruz et al., 2004; Silva et al., 2005; Silva, 2012).

3. A IMPORTÂNCIA DO PÓLEN PARA A MANUTENÇÃO DOS NINHOS DE JANDAÍRA

O néctar coletado das flores fornece carboidratos necessários para o suprimento de energia aos indivíduos adultos, enquanto o pólen fornece proteínas indispensáveis para a produção de novos indivíduos (Roubik, 1989; Quezada-Euán et al., 2010; Capítulo 3). Ambos são armazenados dentro do ninho para garantir um constante suprimento de alimentos e, conseqüentemente, para a sobrevivência da colônia durante possíveis eventos de escassez de recursos (Roubik, 1982).

Em colônias de abelhas sem ferrão as operárias responsáveis pela alimentação das larvas ingerem mel e pólen dos potes de alimentos, adicionam secreções glandulares e regurgitam esse alimento líquido em células de cria do favo antes da oviposição da rainha fisogástrica. Logo após o provisionamento com alimento, a rainha deposita o seu ovo e as operárias fecham esta célula (Sakagami; Zucchi, 1963; Wille, 1983). O alimento larval regurgitado pelas operárias é, portanto, constituído por mel, pólen e secreções glandulares (Hartfelder; Engels, 1989; Menezes et al., 2007).

A produção de cria e, conseqüentemente, o crescimento das colônias estão altamente relacionados à quantidade de pólen estocado (Capítulo 3). Durante a estação chuvosa na Caatinga ocorrem floradas de muitas espécies arbustivas e herbáceas, mas por outro lado durante a estação seca florescem apenas algumas espécies arbóreas. A maioria dos recursos florais disponíveis para a alimentação das abelhas ocorre apenas em um período curto do ano (Zanella; Martins, 2003; Capítulo 2). Portanto, em colônias de *M. subnitida* após períodos de extrema escassez de recursos florais no ambiente, o pólen que foi estocado nos ninhos principalmente

durante a estação chuvosa é um recurso fundamental para que as abelhas possam retomar a produção de cria e garantir o crescimento e a reprodução das colônias (Capítulo 2 e 3).

4. A IMPORTÂNCIA DO PLANTIO DE MUDAS NATIVAS DO SEMIÁRIDO

A redução de áreas naturais representa uma grande ameaça à conservação das espécies de abelhas da caatinga. O corte indiscriminado de árvores reduz os locais utilizados para nidificação e também as fontes de recursos coletados pelas abelhas nativas (Zanella; Martins, 2003). Através do plantio de mudas de plantas nativas para as abelhas da Caatinga é possível fortalecer a meliponicultura para gerar maiores fontes de renda à população local. Além de fortalecer a meliponicultura local, o plantio de mudas de plantas nativas para as abelhas da caatinga contribuirá principalmente para a sua regeneração, intensificando a manutenção dos serviços ambientais e o uso sustentável das espécies e dos ecossistemas (Maia-Silva et al., 2012).

As espécies *Myracrodruon urundeuva* (aroeira), *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá) e *Croton sonderianus* (marmeleiro) são fontes de néctar importantes para as abelhas, portanto, o plantio dessas espécies é fundamental para o fortalecimento da criação de abelhas sem ferrão e também da produção de mel (Capítulo 4). As espécies com anteras poricidas dos gêneros *Senna* e *Chamaecrista* (são-jão, mata-pasto, palma-do-campo) são fontes de pólen importantes principalmente para as abelhas do gênero *Melipona* (Capítulo 2; Figura 1). Durante a estação seca, as espécies *M. urundeuva* (aroeira), *Spondias tuberosa* (umbuzeiro), *Anadenanthera colubrina* (angico) e *Ziziphus joazeiro* (juazeiro) são as principais fontes de pólen e de néctar para as abelhas (Maia-Silva et al., 2012; Capítulo 2; Capítulo 4). Frequentemente os arbustos, subarbustos e as herbáceas são considerados plantas invasoras de plantações agrícolas (Lorenzi, 2008), no entanto essas espécies podem ser utilizadas como plantas melíferas para fortalecer a criação e conservação de abelhas nativas. Essas plantas produzem pólen e néctar em abundância e devem ser mantidas em áreas próximas aos locais de criação de abelhas (Kiill et al., 2000; Maia-Silva et al., 2012).

Além de coletar recursos alimentares nas flores, muitas espécies de abelhas sociais e solitárias nidificam em cavidades de árvores (Roubik, 1983; Zanella; Martins, 2003) como, por exemplo, em troncos de *Poincianella* spp. (catingueira) e de *Commiphora leptophloeos* (imburana) (Martins et al., 2004; Medeiros, 2011). A conservação destas espécies de plantas, utilizadas para nidificação, é crucial para a sobrevivência das espécies de abelhas da caatinga (Martins et al., 2004). Portanto, para garantir a criação e conservação de abelhas sem ferrão, o meliponicultor precisa plantar não somente as espécies que servem de alimento para as abelhas, mas também árvores utilizadas como locais de nidificação (Maia-Silva et al., 2012).

Outra estratégia importante é o incentivo à construção de jardins para polinizadores. Essa prática é muito comum em várias partes do mundo e tem por objetivo a conservação de abelhas. Os jardins para polinizadores podem ter tamanhos variados, plantas diversificadas, muitas cores e são ideais para o paisagismo em escolas, ruas, praças e parques (Maia-Silva et al., 2012). Para atrair os polinizadores é indicado disponibilizar plantas com períodos de floração diferentes que possam disponibilizar recursos florais tanto na estação seca como também na estação chuvosa (ver algumas espécies citadas anteriormente e Figura 1). Além disso, plantas com fácil plantio e com crescimento rápido como, por exemplo, a salsa e a jitirana-roxa (*Ipomoea asarifolia* e *I. bahiensis*), podem atrair muitas espécies de abelhas sem ferrão e também abelhas solitárias (Hrncir; Maia-Silva, 2013). Devido ao florescimento vistoso, essas plantas podem ser cultivadas para ornamentação de caramanchões, produzindo sombra (Maia-Silva et al., 2012).

5. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A IMPORTÂNCIA DAS ÁREAS DE CONSERVAÇÃO

Diversas perturbações, tanto antrópicas como naturais, podem causar um declínio nas populações dos polinizadores, consequentemente prejudicando o funcionamento dos ecossistemas. Além de sofrer ações antrópicas, tais como o desmatamento, a fragmentação de habitats e o uso indiscriminado de pesticidas (Biesmeijer et al., 2006; Gill et al., 2012), as populações de polinizadores são ameaçadas pelas mudanças climáticas globais, que afetam tanto a distribuição das espécies como as interações entre polinizadores e plantas (Parmesan, 2006; Saraiva et al.,

2012). Nesse ponto, um fator crucial para a sobrevivência dos polinizadores é a fenologia da floração das plantas. Quando a fenologia da floração deixa de coincidir com o ciclo de vida dos polinizadores pode haver uma falta de alimentos para os polinizadores (Memmot et al., 2007) e a taxa de visitação às plantas pode ser alterada (Rafferty; Ives, 2011). Da mesma maneira, mudanças nos ciclos biológicos dos polinizadores poderão afetar as relações planta-polinizador e, conseqüentemente, a reprodução das plantas (Memmot et al., 2007).

Estudos que analisaram cenários futuros de mudanças climáticas para espécies de abelhas brasileiras demonstraram uma redução de áreas adequadas para quase todas as espécies (Giannini et al., 2012; Giannini et al., 2013). Em resposta às alterações climáticas, foi verificado que existe uma tendência de mudança nas distribuições de muitos organismos terrestres para áreas com altitudes mais elevadas, provavelmente em busca de condições climáticas mais favoráveis (Chen et al., 2011). As regiões com maiores altitudes são consideradas adequadas para a criação de novas áreas de conservação, visando à preservação de espécies-chave como a abelha jandaíra (Capítulo 4).

Uma estratégia importante para garantir a manutenção dos ecossistemas naturais é a implantação de sistemas eficientes de áreas protegidas (Bruner et al., 2001). No entanto, existe a necessidade de aumentar as áreas protegidas do bioma Caatinga e também conectar as áreas já existentes para a conservação da biodiversidade frente às mudanças climáticas futuras (Tabarelli; Silva, 2003; Silva et al., 2004). A implantação de corredores de biodiversidade é crucial para a manutenção da riqueza de espécies em habitats fragmentados, pois eles permitem a dispersão de espécies de plantas e abelhas através de rotas de integração entre as áreas de refúgios climáticos. (Rosenberg et al., 1997; Gilbert et al., 1998).

6. EDUCAÇÃO AMBIENTAL: UMA FERRAMENTA FUNDAMENTAL PARA A CONSERVAÇÃO DE ABELHAS E PLANTAS

Seiffert (2011) considera a educação ambiental a principal ferramenta para uma gestão ambiental eficiente. A educação ambiental tornou-se lei no Brasil em 27 de abril de 1999 (Lei Nº 9.975 –

Lei de Educação Ambiental) com o objetivo de propagar o conhecimento sobre meio ambiente e conscientizar a população sobre a necessidade de sua preservação. Através da educação ambiental é possível buscar valores que conduzam a uma convivência harmoniosa entre o ambiente e as espécies que nele habitam, auxiliando o aluno a analisar criticamente o princípio antropocêntrico, que tem levado à destruição inconsequente dos recursos naturais e de várias espécies (Seiffert, 2011). As propostas de educação ambiental, integrando escolas e associações rurais, e as parcerias entre pesquisa, ensino e extensão para fomentar atividades relacionadas aos recursos florestais são fundamentais para incentivar a conservação da diversidade biológica e uso sustentável dos recursos naturais (Tabarelli; Silva, 2003).

Incorporar valores ambientais através de processos educacionais é fundamental para moldar o caráter de indivíduos ambientalmente sensibilizados, assim formando cidadãos completos (Seiffert, 2011). Uma maneira de demonstrar aos interessados a importância, o valor e a beleza de ecossistemas nativos é através de trilhas ecológicas (Ramos et al., 2007; Neiman et al., 2009). Trilhas de curta distância, chamadas "trilhas de interpretação", apresentam caráter recreativo e educativo com programação direcionada à interpretação do ambiente natural (Andrade, 2005). De acordo com Magro e Freixêdas (1998), cabe ao planejador dessas trilhas despertar a curiosidade do visitante sobre os recursos existentes, preocupando-se sempre em aumentar a qualidade da experiência durante a visita.

Aliado às trilhas ecológicas, as abelhas nativas ocupam um papel de destaque como material didático na educação ambiental. O uso das abelhas como ferramenta na educação ambiental tem mostrado grande sucesso e chamado à atenção de crianças, jovens e adultos para o tema abordado (Mateus et al., 2013). Recentemente foi instalada uma trilha ecológica, a Trilha dos Polinizadores UFERSA (TRIPOL), na Estação Experimental Rafael Fernandes/UFERSA, em Mossoró/RN (Figura 2). A trilha localiza-se em uma área de 26 ha de mata nativa de Caatinga e ao longo da transecção foram destacadas, com placas de identificação coloridas, 26

espécies arbóreo-arbustivas importantes para a manutenção das populações de abelhas (Maia-Silva et al., *em revisão*; Capítulo 1).

O objetivo desta trilha é tematizar a necessidade de preservação da vegetação nativa para a conservação dos seus polinizadores, e sensibilizar os visitantes da importância dos polinizadores para a manutenção da vida no planeta. Através dos passeios ecológicos realizados na trilha é possível demonstrar que as plantas e seus polinizadores podem constituir uma ferramenta de melhoria da qualidade de vida nas áreas urbanas e rurais, além de formar agentes multiplicadores de ideias e incentivar o uso sustentável dos recursos naturais. A implantação da Trilha dos Polinizadores UFERSA tem contribuído para a preservação da biodiversidade local e tem estimulado ações relacionadas ao plantio de mudas de plantas nativas para as abelhas da Caatinga (Maia-Silva et al., *em revisão*).

Plantas	Meses							
	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Novembro
<i>Anadenanthera colubrina</i>
<i>Chamecrista calycoides</i>
<i>Chamecrista duckeana</i>
<i>Mimosa arenosa</i>
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>
<i>Mimosa tenuiflora</i>
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>
<i>Senna obtusifolia</i>
<i>Senna trapchpus</i>
<i>Senna uniflora</i>
<i>Turnera subulata</i>

Figura 1. Principais tipos polínicos coletados pelas abelhas jandaíra (*Melipona subnitida*) durante a estação chuvosa (fevereiro a agosto) e a estação seca (novembro) na Caatinga (Capítulo 2). Fotos: MH.

Figura 2. Mapa da Trilha dos Polinizadores UFERSA (TRIPOL). A trilha possui cerca de 500 m de comprimento, largura entre 1 e 1,5m e foi instalada em uma área de 26 ha de mata nativa. Na área encontra-se um açude temporário, um carnaubal e uma área degradada (equivalente a 5 ha) devido à instalação de antigas plantações, atualmente essa área está em fase de regeneração abelhas (Maia-Silva et al., *em revisão*).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, U. P. *et al.* Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. **The Scientific World Journal**, doi:10.110, 2012.
- ANDRADE, W. J. Manejo de trilhas para o ecoturismo. In: Mendonça, R.; Neiman, Z. (Ed.). **Ecoturismo no Brasil**. Barueri: MANOLE, 2005, cap. 6, p. 131-152.
- BIESMEIJER, J. C. *et al.* Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. **Science (New York, N.Y.)**, v. 313, n. 5785, p. 351-354, 2006.
- BRUNER, A. G. *et al.* Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. **Science**, v. 291, n. 5501, p. 125-128, 2001.
- BRUENING, H. **Abelha jandaíra**. Coleção Mossoroense, serie C, volume 557. 1990. 181p

- CASTELLETTI, C. H. M. *et al.* Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. *In: SILVA, J. M. C. et al. (Eds.). Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação.* Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 92-100.
- CASTRO, M. S. Bee fauna of some tropical and exotic fruits: Potential pollinators and their conservation. *In: Kevan, P.; Imperatriz-Fonseca, V. L. (Eds.). Pollinating bees - The Conservation Link Between Agriculture and Nature.* Brasília: Ministry of Environment. 2002. p. 275-288.
- CHEN, I.-C. *et al.* Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, v. 333, n. 6045, p. 1024-6, 2011.
- CHIANG, J. C. H.; KOUTAVAS. A. Climate change: tropical flip-flop connections. *Nature*, v. 432, p. 684-685, 2004.
- CRUZ, D. O. *et al.* Adaptação e comportamento de pastejo da abelha jandaíra (*Melipona subnitida* Ducke) em ambiente protegido. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, v. 26, n. 3, p. 293-298, 2004.
- GIANNINI, T. C. *et al.* Identifying the areas to preserve passion fruit pollination service in Brazilian Tropical Savannas under climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 171, p. 39-46, 2013.
- GIANNINI, T. C. *et al.* Pollination services at risk: Bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. *Ecological Modelling*, v. 244, p. 127-131, 2012.
- GILBERT, F.; GONZALEZ, A.; EVANS-FREKE, I. Corridors maintain species richness in the fragmented landscapes of a microecosystem. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 265, n. 1396, p. 577-582, 1998.
- GILL, R. J.; RAMOS-RODRIGUEZ, O.; RAINE, N. E. Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. *Nature*, v. 491, n. 7422, p. 105-8, 2012.
- GIULIETTI, A. M. *et al.* Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. *In: SILVA, J. M. C. et al. (Eds.). Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação.* Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 48-90.
- HARTFELDER, K.; ENGELS, W. The composition of larval food in stingless bees: evaluating nutritional balance by chemosystematic methods. *Insectes Sociaux*, v. 36, p. 1-14. 1989.
- HOUGHTON, J. T. *et al.* **Climatic Change 2001 - The Scientific Basis.** Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- HRNCIR, M.; MAIA-SILVA, C. The fast versus the furious – On competition, morphological foraging traits, and foraging strategies in stingless bees. *In: VIT, P.; ROUBIK, D. W. (Eds.). Stingless bees process honey and pollen in cerumen pots.* Mérida, Venezuela: Facultad de Farmacia y Bioanálisis, Universidad de Los Andes, 2013. p. 1-14.

- IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. *et al.* **Polinizadores no Brasil - Contribuição e Perspectivas para a Biodiversidade, Uso Sustentável, Conservação e Serviços Ambientais**. 1. ed. São Paulo: SP: EDUSP, 2012. p. 488.
- KHILL, L. H. P.; HAJI, F. N. P.; LIMA, P. C. F. Visitantes florais de plantas invasoras de áreas com fruteiras irrigadas. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 3, p. 575–580, 2000.
- KLEIN, A.-M. *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences**, v. 274, n. 1608, p. 303–313, 2007.
- KROL, M. S. *et al.* The semi-arid integrated model (SIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability of ecosystems and society in NE-Brazil. **Physics and Chemistry of the Earth (B)**, v. 26, n. 7, p. 529-533, 2001.
- LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1. ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. v. 1p. 822.
- LEAL, I. *et al.* Mudando o curso da conservação da biodiversidade na caatinga do nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, 2005.
- LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 640 p.
- MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Floral traits and pollination systems in the caatinga, a Brazilian tropical dry forest. **Annals of botany**, v. 94, n. 3, p. 365-76, 2004.
- MAGRO, T. C.; FREIXÊDAS, V. M. **Trilhas: Como facilitar a seleção de pontos interpretativos**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais (Circular Técnica IPEF, 186), 1998. 10 p.
- MAIA, U. M. **Diagnóstico da meliponicultura no estado do Rio Grande do Norte**. Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-árido, 2013.
- MAIA-SILVA, C. *et al.* **Guia de Plantas: visitadas por abelhas na Caatinga**. 1. ed. Fortaleza, CE: Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012. p. 191
- MAIA-SILVA, C. *et al.* Trilha dos polinizadores UFERSA: um passeio ecológico na caatinga. **Revista Caatinga**, em revisão.
- MARENGO, J. A. *et al.* Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 2241-2255, 2009.
- MARTINS, C. F. *et al.* Tree species used for nidification by stingless bees in the Brazilian caatinga (Seridó, PB; João Câmara, RN). **Biota Neotropica**, v. 4, n. 2, p. BN00104022004, 2004.

- MATEUS, S.; MENEZES, C.; VOLLET-NETO, A. *Leurotrigona muelleri*, a pequena pérola entre as abelhas sem ferrão. In: VIT, P.; ROUBIK, D. W. (Eds.). **Stingless bees process honey and pollen in cerumen pots**. Mérida, Venezuela, p. 1–8.
- MEDEIROS, A. V. S. **Taxocenoses de Meliponina, seus recursos florais e sítios de nidificação em áreas da caatinga, no Seridó nordestino**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, 2011.
- MEMMOTT, J. *et al.* Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. **Ecology Letters**, v. 10, n. 8, p. 710-7, 2007.
- MENEZES, C. *et al.* Alimentação larval de *Melipona* (Hymenoptera, Apidae): estudo individual das células de cria. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 70–75, 2007.
- NEIMAN, Z.; CARDOSO-LEITE, E.; PODADERA, D. S. Planejamento e implantação participativos de programas de interpretação em trilhas na “RPPN Paiol Maria”, Vale do Ribeira (SP). **Revista Brasileira de Ecoturismo**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 11-34, 2009
- OLLERTON, J.; WINFREE, R.; TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals? **Oikos**, v. 120, p. 321-326, 2011.
- OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical Research Letter**, v. 30, p. 21-99, 2003.
- PARMESAN, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 3, p. 637-669, 2006.
- POTTS, S. G. *et al.* Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 25, n. 6, p. 345-53, 2010.
- PRADO, D. 2003. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1. ed. Recife PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 75-134.
- QUEZADA-EUÁN, J. J. G. *et al.* Body size differs in workers produced across time and is associated with variation in the quantity and composition of larval food in *Nannotrigona perilampoides* (Hymenoptera, Meliponini). **Insectes Sociaux**, v. 58, n. 1, p. 31-38, 2010.
- RAFFERTY, N. E.; IVES, A. R. Pollinator effectiveness varies with experimental shifts in flowering time. **Ecology**, v. 93, n. 4, p. 803-14, 2012.
- RAMOS, V. S., et al. Implantação de trilha ecológica para educação ambiental em área de mata ciliar na Floresta Estadual de Assis, Instituto Florestal, SP. **Instituto Florestal Série Registros**, São Paulo, n. 31, p. 83-87, 2007.
- ROSENBERG, D.; NOON, B.; MESLOW, E. Biological corridors: form, function, and efficacy. **BioScience**, v. 47, n. 10, p. 677-687, 1997.

- ROUBIK, D. W. Seasonality in colony food storage, brood production and adult survivorship: studies of *Melipona* in tropical forest (Hymenoptera: Apidae). **Journal of the Kansas Entomological Society**, v. 55, n. 4, p. 789-800, 1982.
- ROUBIK, D. W. Nest and colony characteristics of stingless bees from Panama (Hymenoptera, Apidae). **Journal of the Kansas Entomological Society**, v. 56, n. 3, p. 327-355, 1983.
- ROUBIK, D. W. **Ecology and Natural History of Tropical Bees**. Cambridge-MA, USA. Cambridge University Press, 1989. p. 514
- SAKAGAMI, S. F.; ZUCCHI, R. Oviposition process in a stingless bee, *Trigona* (*Scaptotrigona*) *postica* Latreille (Hymenoptera). **Studia Entomologica**, v. 6, p. 497-510, 1963.
- SANTOS, J. C. *et al.* Caatinga : the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 276-286, 2011.
- SARAIVA, A. M. *et al.* Influência das alterações climáticas sobre a distribuição de algumas espécies de *Melipona* no Brasil. In: IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. *et al.* (Eds.). **Polinizadores no Brasil - Contribuição e Perspectivas para a Biodiversidade, Uso Sustentável, Conservação e Serviços Ambientais**. 1. ed. São Paulo: SP: EDUSP, 2012. p. 349-359.
- SEIFFERT, M. E. B. **Gestão Ambiental – Instrumentos, Esferas de Ação e Educação Ambiental**. 2a edição. São Paulo: Editora Atlas. 2011.
- SILVA, E. M. S. *et al.* Biologia floral do pimentão (*Capsicum annuum*) e a utilização da abelha jandaíra (*Melipona subnitida* Ducke) como polinizador em cultivo protegido. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, p. 386-390, 2005.
- SILVA, S. E. M. Pollination of sweet pepper. **Documentos online EMBRAPA** 249. ISSN 18089992. 2012.
- SILVA, J. M. C. *et al.* **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.
- TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Áreas e ações prioritárias para a conservação da Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1. ed. Recife PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 777-796.
- TORRES, R. R. *et al.* Socio-climatic hotspots in Brazil. **Climatic Change**, v. 115, n. 3-4, p. 597-609, 2012.
- TRENBERTH, K. E. *et al.* Observations: surface and atmospheric climate change. In: SOLOMON, S. *et al.* (Eds.). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the**

- Intergovernmental Panel on Climate Change.** New York, NY: Cambridge University Press, 2007.
- WILLE, A. Biology of the stingless bees. **Annual Review of Entomology**, v. 28, p. 41–64, 1983.
- WRATTEN, S. D. *et al.* Pollinator habitat enhancement: Benefits to other ecosystem services. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 159, p. 112-122, 2012.
- ZANELLA, F. The bees of the Caatinga (Hymenoptera, Apoidea, Apiformes): a species list and comparative notes regarding their distribution. **Apidologie**, v. 31, p. 579-592, 2000.
- ZANELLA, F. C. V.; MARTINS, C. F. Abelhas da caatinga: biogeografia, ecologia e conservação. *In*: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1. ed. Recife PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 75-134.