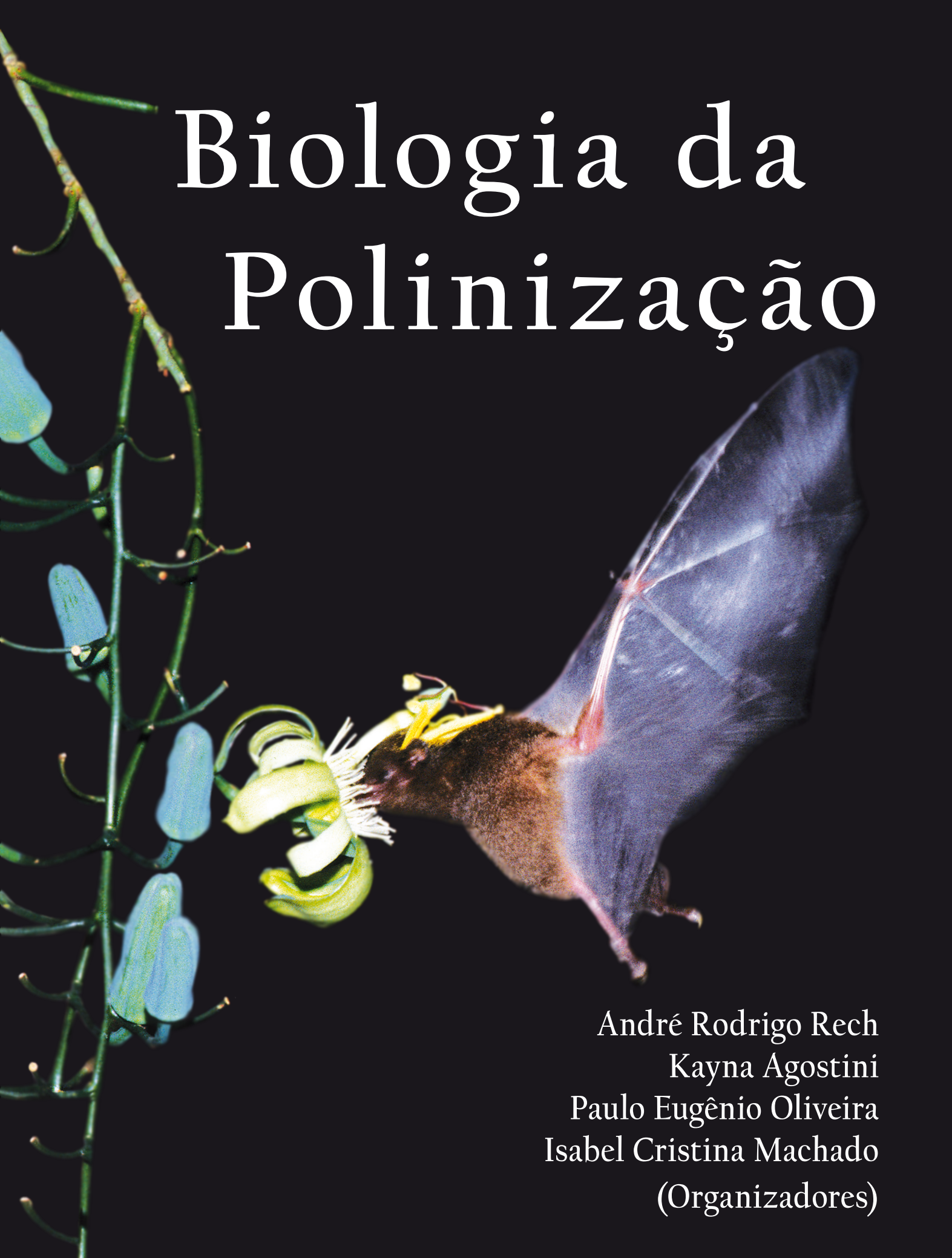


Biologia da Polinização



André Rodrigo Rech
Kayna Agostini
Paulo Eugênio Oliveira
Isabel Cristina Machado
(Organizadores)

Biologia da Polinização

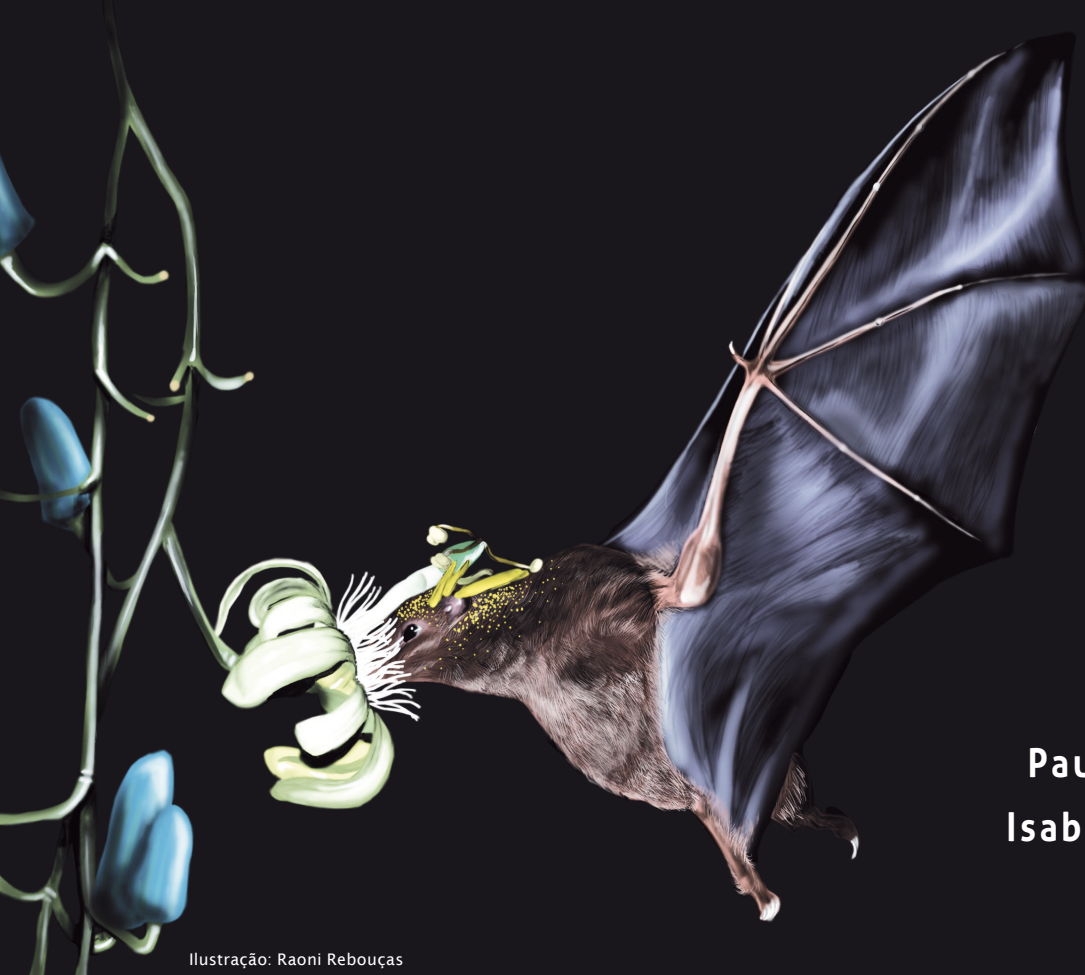


Ilustração: Raoni Rebouças

André Rodrigo Rech
Kayna Agostini
Paulo Eugênio Oliveira
Isabel Cristina Machado
(Organizadores)

Biologia da Polinização

1ª edição

Rio de Janeiro



2014

BIOLOGIA DA POLINIZAÇÃO
1ª edição
Copyright © 2014 dos Organizadores

A reprodução desta obra é livre e irrestrita, desde que citadas as fontes.

Fotos da Capa

Ivan e Marlies Sazima

Organizadores

André Rodrigo Rech
(andrerodrigorech@gmail.com)

Kayna Agostini
(kaynaagostini@gmail.com)

Paulo Eugênio Oliveira
(poliveiragm@gmail.com)

Isabel Cristina Machado
(icsmachado@yahoo.com)

Revisores

Ceres Belchior

Comitê Editorial do Ministério do Meio Ambiente
Comitê Editorial de Revisão (nominados ao final do livro)

Serviços Editoriais

Editora Projeto Cultural
(contato@editoraprojetocultural.com.br)

DADOS INTERNACIONAIS PARA CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

B615 Biologia da polinização / organizadores:
André Rodrigo Rech ... [et al.] ;
revisora editorial Ceres Belchior. - Rio
de Janeiro : Projeto Cultural, 2014.
527 p. : il. color. ; 28 cm.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-68126-01-1

1. Fertilização das plantas. 2. Plantas
- Reprodução. 3. Plantas - Evolução. 4.
Biodiversidade. 5. Biologia. 6. Ecologia.
I. Rech, André Rodrigo.

CDD 630.8

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Lioara Mandoju CRB-7 5331

Nota dos Organizadores

Os organizadores desta obra envidaram os seus melhores esforços para referenciar todas as fontes bibliográficas e virtuais consultadas, bem como creditar todas as fotografias e ilustrações utilizadas e, colocam-se a disposição para corrigir quaisquer eventualidades em uma próxima edição.

Seção de Abertura

Prefácio	9
Palavra dos organizadores	11
Mensagens laudatórias	13

Seção 1. Fundamentos

Capítulo 1. Biologia da polinização: uma síntese histórica	27
André Rodrigo Rech e Christian Westerkamp	
Capítulo 2. A Flor: aspectos morfofuncionais e evolutivos	45
Simone de Pádua Teixeira, Cristina Ribeiro Marinho e Juliana Villela Paulino	
Capítulo 3. Sistemas reprodutivos	71
Paulo Eugênio Oliveira e Pietro Kiyoshi Maruyama	
Capítulo 4. Reprodução assexuada	93
Ana Paula de Souza Caetano e Priscila Andressa Cortez	
Capítulo 5. Flores no tempo: a floração como uma fase da fenologia reprodutiva	113
Mauricio Fernández Otárola e Márcia Alexandra Rocca	

Seção 2. Recursos e Atrativos

Capítulo 6. Recursos florais	129
Kayna Agostini, Ariadna Valentina Lopes e Isabel Cristina Machado	
Capítulo 7. Atrativos	151
Isabela Galarda Varassin e Lâercio Peixoto do Amaral-Neto	

Seção 3. Polinizadores

Introdução. Síndromes de polinização: especialização e generalização	171
André Rodrigo Rech, Rubem Samuel de Avila Jr. e Clemens Schindwein	
Capítulo 8. Polinização abiótica	183
André Rodrigo Rech, Pedro Joaquim Bergamo e Rodolfo Antônio de Figueiredo	
Capítulo 9. Polinização por abelhas	205
Mardiore Pinheiro, Maria Cristina Gaglianone, Carlos Eduardo Pereira Nunes, Maria Rosângela Sigrist e Isabel Alves dos Santos	
Capítulo 10. Polinização por lepidopteros	235
Reisla Oliveira, José Araújo Duarte Junior, André Rodrigo Rech e Rubem Samuel de Avila Jr.	
Capítulo 11. Polinização por besouros	259
Hipólito Ferreira Paulino-Neto	

Capítulo 12. Polinização por dípteros	277
Tarcila de Lima Nadia e Isabel Cristina Machado	
Capítulo 13. Polinização por vespas	291
Rodrigo Augusto Santinelo Pereira	
Capítulo 14. Polinização por vertebrados	311
Erich Fischer, Andréa Cardoso de Araujo e Fernando Gonçalves	
Capítulo 15. Polinização por engodo	327
Fábio Pinheiro	
Seção 4. Perspectivas	
Introdução. Fronteiras do conhecimento em ecologia da polinização: novas ferramentas e perspectivas de abordagens integradoras	345
Rogério Gribel	
Capítulo 16. Seleção fenotípica mediada por polinizadores	349
Santiago Benitez-Vieyra, Marcela Moré e Felipe W. Amorim	
Capítulo 17. Interações planta-polinizador e a estruturação das comunidades	373
Leandro Freitas, Jeferson Vizontin-Bugoni, Marina Wolowski, Jana Magaly Tesserolli de Souza e Isabela Galarda Varassin	
Capítulo 18. Interações entre plantas e polinizadores sob uma perspectiva filogenética	399
André Rodrigo Rech, Aline Cristina Martins e Fernanda Barão Leite	
Capítulo 19. Ecologia cognitiva da polinização	417
Vinícius Brito, Francismeire Telles e Klaus Lunau	
Capítulo 20. Genética nos estudos com polinização	439
Jaquelyny Zocca Canuto, Alessandro Alves-Pereira e Marina Corrêa Côrtes	
Capítulo 21. Economia e polinização: custos, ameaças e alternativas	461
Márcia Motta Maués	
Capítulo 22. Polinização e demografia de espécies vegetais	483
Silvana Buzato	
Capítulo 23. Conservação dos polinizadores	493
Isabel Alves dos Santos, Marcelo Aizen e Cláudia Inês da Silva	
Corpo editorial de revisão	527



SEÇÃO DE
ABERTURA

A polinização é considerada um serviço ecossistêmico básico e que suporta os outros serviços ecossistêmicos disponibilizados pela natureza, como aumento da produção agrícola, do controle biológico e da erosão do solo, ciclagem de nutrientes, conservação da vida selvagem etc. Nos últimos anos, as alterações antrópicas, ou seja, os impactos causados pelo homem na sua utilização dos recursos naturais, levaram ao decréscimo de populações de alguns polinizadores fundamentais para a produção de alimento no mundo. Como consequência, um alerta geral sobre a importância do tema surgiu nos cenários científico e econômico. O valor da polinização na agricultura mundial foi estabelecido em aproximadamente 10% do valor econômico dos produtos agrícolas. O assunto passou a ser abordado em muitos setores e foram feitas projeções econômicas de acordo com as externalidades de mercado e as ambientais.

O valor da polinização biótica, entretanto, que compreende a polinização pelos animais (insetos como abelhas, mariposas, besouros, borboletas; pequenos vertebrados, destacando-se algumas aves e os morcegos), foi estabelecido para as poucas espécies que compõem a maior parte da alimentação humana comercializada. Mas a estimativa mais recente é de que a polinização por animais favorece cerca de 87,5% das espécies botânicas conhecidas (308.000 espécies aproximadamente), portanto o seu valor para a manutenção da biodiversidade é incalculável. Neste momento da vida do planeta, as interações entre plantas e polinizadores e o impacto na biodiversidade são de vital importância e focalizados, nesta década da biodiversidade, como prioridade.

No Brasil, os pesquisadores Marlies Sazima e Ivan Sazima estabeleceram um grupo de estudos de polinização de nossas plantas nativas, na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), na década de 1980. Foi um trabalho pioneiro, bem estruturado, de alta qualidade e que trouxe frutos importantes, entre eles a formação de uma geração bem preparada de biólogos da polinização, que continuam multiplicando este conhecimento. A atividade acadêmica da Dra. Marlies Sazima, que é alvo desta homenagem ao completar seus 70 anos, se reflete na produção científica e na formação de excelentes pesquisadores, que ocupam posições de destaque em universidades e centros de pesquisa de todo o país e no exterior.

Este livro, cuidadosamente preparado para esta ocasião, é o mais importante e atual sobre Biologia da Polinização publicado no Brasil, em português, e está entre os melhores da literatura internacional. Destaca-se a abordagem evolutiva, precisa e ao mesmo tempo simples. Os capítulos foram bem elaborados, utilizaram ampla literatura e nos trazem um panorama muito completo sobre o que é conhecido atualmente sobre a

polinização. A leitura é muito agradável e permeada de dados históricos para a construção dos conceitos. As figuras apresentadas são de muita qualidade e ilustram muito bem o texto. Será certamente um clássico da literatura científica brasileira.

Um livro com a síntese do conhecimento está entre as mais preciosas homenagens que alunos e colaboradores podem prestar a uma cientista. Ele reflete de maneira clara e objetiva a enorme contribuição acadêmica da Dra. Sazima, um exemplo a ser seguido. Sem dúvida, a sua utilização trará um grande avanço para o desenvolvimento da área no Brasil. Conheci Marlies e Ivan quando ainda éramos alunos do curso de Ciências Biológicas, no Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (USP). Os estudos sobre polinização e os lindos *slides* apresentados por eles, além da precisão da informação, nos encantavam. Eu trabalhava com as abelhas e eles, com os sistemas de polinização. Comportamento animal era o nosso interesse comum. Mais tarde, a polinização e, mais diretamente, focalizar as abelhas como os polinizadores muito importantes para a biodiversidade brasileira fizeram parte da minha rotina de estudos e trabalho. Durante essa longa trajetória, foi sempre um prazer ler os trabalhos publicados, acompanhar a produção dos alunos e compreender a teia da construção do conhecimento, com flores, abelhas e outros animais.

Este livro terá um lugar de destaque na nossa biblioteca e no dia a dia de pesquisadora e professora. Fiquei muito sensibilizada com essa importante contribuição e com a possibilidade de externar aqui o meu respeito e a minha consideração por todos os autores e, especialmente, por Marlies Sazima.

Vera Lucia Imperatriz-Fonseca
(Universidade de São Paulo)

Palavra dos organizadores

O projeto que culminou com a redação desse livro nasceu da preocupação coletiva de dispormos de um material de relevância acadêmica na área de biologia da polinização acessível aos estudantes de todo o Brasil. Iniciamos os trabalhos com conversas isoladas entre estudantes na sala de uma república de Barão Geraldo, em Campinas. Após algumas discussões já era fato que integrávamos um projeto muito maior, sonhado muitas vezes por muitos dos autores. À medida que as ideias foram tomando corpo, muitas pessoas começaram a acreditar nessa proposta e, com o passar dos meses e muitos e-mails, logo tínhamos uma equipe de excelência e entusiasmada agregando a empolgação que nunca tivéramos imaginado. Com o apoio de todos ficou claro que estávamos em busca de uma obra que primasse pela qualidade técnica e que tivesse também coerência conceitual e síntese científica. Ao longo de três anos de trabalho intenso buscamos chegar o mais próximo possível do almejado.

Planejamos escrever um livro dividido em capítulos que constituísse ao mesmo tempo uma síntese do que já se sabe sobre os diversos tópicos no Brasil em consonância com as discussões internacionais dos temas. Primamos por uma abordagem na perspectiva ecológico-evolutiva em detrimento de estudos de caso específicos. Ao longo de 23 capítulos oferecemos uma abordagem introdutória sincronizada com a identificação de lacunas e caminhos para cobri-las.

Após muitas tentativas de organizar os capítulos de forma lógica e conectada resolvemos apresentar o livro em quatro seções. Na primeira são tratados a história, os aspectos morfoanatômicos das estruturas florais, os sistemas sexuais e reprodutivos e a fenologia. Na segunda seção são abordados os temas recursos e atrativos. A terceira parte consta de uma introdução específica das principais ideias sobre evolução de sistemas de polinização, e os capítulos seguintes se prestam a apresentar e discutir os grandes grupos de polinizadores conhecidos atualmente. A Seção 4 também inicia com uma introdução geral sobre o que consideramos novas abordagens em biologia da polinização, ao que se seguem os capítulos tratando especificamente de cada um desses campos de estudo na área.

Esperamos que este livro-texto possa ser um estímulo às pesquisas em biologia da polinização no Brasil. Entendemos que, apesar dos muitos esforços de cada autor e revisores, restará o que ser melhorado em versões futuras, no entanto entendemos também que a publicação desta obra não significa apenas um avanço teórico para leitores da língua portuguesa, mas concretiza igualmente a integração de um grande grupo de pesquisadores interessados no avanço do ensino e da pesquisa no Brasil. Por fim, fazemos deste livro uma singela homenagem

à carreira de ensino e pesquisa dos Professores Marlies e Ivan Sazima, mestres e referências, que fundaram o campo de pesquisas no Brasil e desde o início primaram pela qualidade e relevância de suas investigações. Mais do que isso, é na figura integradora e sempre disposta a acolher da Professora Marlies que esperamos orientar o futuro da biologia da polinização no Brasil.

André Rodrigo Rech

(Professor Adjunto na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri)

Kayna Agostini

(Professora adjunta na Universidade Federal de São Carlos)

Paulo Eugênio Oliveira

(Professor associado na Universidade Federal de Uberlândia)

Isabel Cristina Sobreira Machado

(Professora titular na Universidade Federal do Pernambuco)

Mensagens laudatórias

Os professores Marlies e Ivan Sazima fundaram, no Brasil, a escola de Biologia da Polinização, razão pela qual lhes homenageamos com este livro na ocasião do aniversário de 70 anos da Professora Marlies. Embora o casal represente com propriedade a ciência brasileira de qualidade, seu reconhecimento vai muito além de nossas fronteiras. Nas páginas a seguir apresentamos os comentários de líderes mundiais no campo da Biologia da Polinização acerca do trabalho de Marlies e Ivan Sazima e sobre este livro que lhes é dedicado.



À esquerda, o casal Marlies e Ivan retornando de uma das excursões mensais ao campo em Picinguaba, litoral de São Paulo, e, à direita, com os sorrisos que eles deixam na memória de todos aqueles que com eles convivem. Fotos de Lorena Coutinho Neri da Fonseca.

STEFAN VOGEL, Divisão de Botânica Estrutural e Funcional, Universidade de Viena – Austria

(Tradução por Gleiton Matheus Bonfante)

Como um colega, que nutre já há quase trinta anos uma relação acadêmica e de amizade com Marlies e Ivan Sazima, é uma grande alegria e uma honra poder contribuir com uma pequena introdução para este coerente compêndio. O volume traz uma visão sintética e contemporânea dos aspectos atuais de nossa ciência, os quais também são de significativa relevância econômica. Vários colegas e um conjunto de não menos que cinquenta pesquisadores prepararam

(Versão original em alemão)

Als einem Kollegen, der Marlies und Ivan Sazima seit beinahe dreißig Jahren in wissenschaftlicher und freundschaftlicher Verbindung steht, ist es für mich eine Freude und Ehre, diesem ausgewogenen Kompendium das Geleit geben zu dürfen. Der Band gibt auf hohem Niveau einen zeitgemäßen Überblick über alle aktuellen Aspekte unserer Wissenschaft, die auch von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung sind. Kollegen und ein Ensemble von nicht weniger

esta obra como uma homenagem pela ocasião de sua aposentadoria depois de tantos anos devotados à Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) – um empreendimento redacional impressionante. O livro é um atestado da estima por Marlies Sazima como professora e pesquisadora.

Há duas décadas realizando pesquisa de campo engajada na região Sudeste do Brasil, compreendendo a Serra do Cipó, a Serra do Japi e até o Pantanal, ela difundiu, tanto no Brasil como no exterior, mais de trinta publicações sobre o fenômeno da polinização.

Assim, ela conseguiu reconhecimento e admiração em todo o mundo graças à qualidade de suas análises e ao seu engajamento sem descanso na empresa científica. Devido a suas contribuições claras e objetivas, ela vigora como pioneira em seu campo e como fundadora de uma escola exemplar em seu país.

São dignas de destaque as muitas e complicadas expedições noturnas para o estudo e esclarecimento das flores polinizadas por morcegos, as quais, para sua execução, contaram com a colaboração de estudantes e de seu marido, o zoólogo Ivan Sazima. O mesmo sucesso obtido como pesquisadora pode ser visto no seu comprometimento com a família e com o ensino.

Ela também colaborou intensivamente com a produção do conhecimento acerca de plantas ornitófilas e da polinização por insetos no Sudeste do Brasil, levando em consideração aspectos da competição entre agentes polinizadores, compatibilidade e relações bióticas. Ela ajudou na coleção de conhecimentos que servem à classificação e à definição das peculiaridades ecológicas dos seres vivos e que em grande medida são relevantes também à taxonomia.

Marlies Sazima não vai cessar sua produção frutífera. De fato, o inventário científico da flora

als fünfzig Schülern haben Marlies Sazima dieses Werk als Hommage aus Anlass ihrer Emeritierung an der Universität von Campinas gewidmet - ein beeindruckendes redaktionelles Unternehmen. Allein dies zeugt von der Wertschätzung von Marlies Sazima als Professorin und Forscherin. Sie hat seit zwei Jahrzehnten, von Jugend auf spontan engagiert, im engeren und weiteren Umkreis des südlichen Brasiliens, ausgedehnt auf die Serra do Cipó, Serra do Japi, und das Pantanal, Feldforschung betrieben und mehr als dreißig, im In- und Ausland erschienenen Publikationen zum Bestäubungsgeschehen herausgegeben. Dadurch hat sie Anerkennung und Verehrung in aller Welt dank der Qualität ihrer Analysen und ihres rastlosen Engagements in unserer Wissenschaft verdient. Sie kann mit ihren klaren und objektiven Beiträgen als Pionierin in diesem Feld und als Begründerin einer vorbildlichen Schule in ihrem Land gelten. Allein die vielen, nicht unproblematischen nächtlichen Expeditionen zur Aufklärung der Fledermausblumen, die sie zum Teil unter Mitwirkung ihres Mannes, des Zoologen Ivan Sazima, und einigen Studenten durchgeführt hat, sind hervorzuheben, und das bei aller Beanspruchung durch Familie und Lehre.

Sie trug auch intensiv zur Kenntnis ornithophiler Pflanzen und Insektenbestäubung in Süd-Brasilien bei; mit Berücksichtigung von Aspekten der Bestäuber Konkurrenz, Kompatibilität, biocönotische Beziehungen u.a. Sie half, Erkenntnisse zu erzielen, die auch zur klaren Bestimmung und Definition der ökologischen Eigenschaften der Lebewesen dienen, die in steigendem Maße in die Diagnosen der Taxonomie Eingang finden.

Marlies Sazima wird nicht aufhören, ihr fruchtbares Wirken fortzusetzen. Unerschöpflich bleibt ja der

brasileira continua inesgotável. O livro em mãos alcança seu objetivo de levantar informações relevantes para a área e incita o entusiasmo e a criatividade no amplo campo da biologia da polinização.

wissenschaftliche Fundus der brasilianischen Flora. Der Leitfaden möge sein Ziel erreichen, Information zu liefern und zur Begeisterung und Kreativität im weiten Feld der Blütenbiologie anzuregen.

JOÃO SEMIR, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas – Brasil

Sou colega e amigo de Marlies e Ivan Sazima desde os idos tempos de mestrado. Como ela fui estagiário e depois orientado do Professor Ailton Joly trabalhando com algas. Passamos muitos momentos de ótima convivência coletando nossos materiais em Ubatuba e escrevendo nossos mestrados. Depois o Dr. Joly convidou-nos para contribuir com a fundação do então Departamento de Botânica da Unicamp que naquele tempo estava sendo estruturada. Então viemos eu, Marlies e Ivan ser professores do Instituto de Biologia da Unicamp. Aqui na Unicamp contribuímos para a formar e ensinar taxonomia, ecologia e polinização no Brasil. Marlies foi uma excelente companheira

de preparação de aulas e ensino. Aprendemos muito juntos enquanto nos organizávamos para dar nossas aulas. Além disso, também fomos juntos quase todos os meses por um longo tempo para o campo na Serra do Cipó. Foram muitas caminhadas, muitas conversas, muitas alegrias... Minha admiração pela Marlies vai muito além da qualidade incrível que é a marca registrada de seus trabalhos. A Marlies tem além da competência, o empenho na qualificação de cada um dos seus alunos, o que os leva a terem um carinho visível por ela. Enfim, falar da Marlies, é falar de uma Amiga, Professora e Orientadora por quem tenho profunda admiração e respeito.

REGINE CLASSEN-BOCKHOFF, Institut für Spezielle Botanik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz – Alemanha

(Tradução)

Os cientistas possuem amigos em todo o mundo e, mesmo morando longe, sabem que há alguém que compartilha o mesmo interesse e entusiasmo sobre um tema específico. O campo de interesse neste caso é a interação das plantas e polinizadores, e o trabalho desses pesquisadores agora é homenageado com um livro maravilhoso sobre a ecologia da polinização no Brasil. Sem os seus esforços de longos anos em pesquisa e ensino, este livro seria impensável. Ele interessará aos alunos, estimulará projetos de pesquisa e proporcionará

(Versão original em inglês)

Scientists have friends all over the world. Even if they live far away, they know there is somebody who shares the same interest and enthusiasm on a specific subject. Your field of interest is the interaction of plants and pollinators and your scientific work is now honored with a wonderful book on pollination ecology in Brazil. Without your longtime efforts in research and teaching such a book would be unthinkable. It will affect students, stimulate research projects and provide knowledge

o conhecimento dos processos evolutivos para os programas de conservação da natureza. Estou muito feliz por poder parabenizá-los pela dedicação e ansiosa por um contato amigavelmente contínuo e uma inspiradora troca de conhecimentos.

from evolutionary processes to nature conservation programs. I am very happy to congratulate you on the dedication and I am looking forward to a continuing friendly contact and inspiring exchange of knowledge.

PEDRO JORDANO, Estación Biológica de Doñana – Espanha

(Tradução)

O estudo da biologia da polinização fornece os exemplos mais fascinantes de como detalhes da história natural são fundamentais para entender a evolução da biodiversidade e sua manutenção. *Biologia da Polinização* é uma revisão abrangente que une estes detalhes com atraentes interpretações. O volume representa uma homenagem aos Profs. Marlies e Ivan Sazima, um casal entre os mais influentes biólogos especialistas em polinização tropical e naturalistas perspicazes. Seus estudos detalhados sobre as plantas e os polinizadores brasileiros servem como modelo, inspiração e guia para muitos pesquisadores em todo o mundo. Este livro é uma iniciativa que oportunamente, de alguma forma, estende sua herança para as novas gerações de ecologistas de polinização.

(Versão original em inglês)

The study of pollination biology provides the most fascinating examples of how natural history details are central to understand the evolution of biodiversity and its maintenance. *Biologia da Polinização* is a comprehensive review that bridges these details with insightful interpretations. The volume represents an homage to Prof. Marlies and Ivan Sazima, a couple among the most influential tropical pollination biologists and two keen naturalists. Their detailed studies with Brazilian plants and pollinators are a model, inspiration and guide for many researchers worldwide. And this textbook is a timely initiative that somehow extends their heritage to new generations of pollination ecologists.

LUIS NAVARRO, Universidade de Vigo – Espanha

(Tradução)

Muitos biólogos especialistas em polinização estavam esperando esta excelente e necessária atualização do trabalho reunido neste manual por uma escola efervescente de ecólogos(as) neotropicais. Mas este trabalho também deve ser considerado uma

(Versão original em inglês)

Many pollination biologists were waiting this excellent and necessary update of the work gathered in this manual by a school of effervescent Neotropical ecologists. But this work must also be considered as a part of the rich legacy that Marlies

parte do rico legado que Marlies e Ivan Sazima nos trazem. Os diferentes capítulos deste livro resgatam a essência da curiosidade sobre o conhecimento que ambos têm transmitido a inúmeras gerações de pesquisadores, principalmente os brasileiros. Sentimo-nos fortemente atraídos por suas descrições da beleza espetacular deste mundo de interações entre plantas e polinizadores que nos legaram com a sua grande vocação naturalista. Quando comecei a explorar o universo de interações, a descoberta de seus trabalhos se tornou diretamente ligada à escolha da minha carreira profissional, a qual eu adoro.

and Ivan Sazima bring to us. The different chapters of this book recover the essence of curiosity of knowing that both have transmitted to several generations of researchers. Mainly, Brazilians, but also elsewhere, we have felt strongly attracted by their descriptions of the spectacular beauty of this world of interactions between plants and pollinators that have bequeathed with their great naturalist vocation. When I started to explore the universe of interactions, the discovery of their work, had much to do with my choice of my professional career which I adore.

KLAUS LUNAU, Heinrich-Heine Universität Düsseldorf – Alemanha

(Tradução)

Marlies e Ivan Sazima são certamente dois dos poucos ecologistas de polinização completos. O mais emocionante de interagir com Marlies é que não só o seu enorme conhecimento sobre a polinização é compartilhado, mas também o seu entusiasmo com o estudo da biologia da polinização. O livro *Biologia da Polinização* é apenas uma consequência disso.

(Versão original em inglês)

Marlies and Ivan Sazima are certainly two of the few complete pollination ecologists. Most exciting to interact with Marlies is that you do not only share her enormous knowledge about pollination but also her enthusiasm for the study of pollination biology. *Biologia da Polinização* is but one consequence.

JOHN N. THOMPSON, Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of California – Estados Unidos

(Tradução)

Os estudos inovadores dos professores Sazima ao longo de muitos anos ajudaram a todos nós, que estudamos interações entre espécies, a perceber que as formas como as plantas coevoluem com polinizadores e os manipulam são ainda mais diversificadas do que suspeitávamos.

(Versão original em inglês)

Profs. Sazima's innovative studies over many years have helped all of us who study species interactions to see that the ways in which plants coevolve with pollinators, and manipulate pollinators, are even more diverse than we suspected.

LEONARDO GALETTO, Universidad Nacional de Córdoba – Argentina

(Tradução)

O livro *Biologia da Polinização*, organizado por André Rodrigo Rech, Kayna Agostini, Paulo Eugênio Oliveira e Isabel Cristina Machado, representa uma homenagem à trajetória dos Profs. Marlies e Ivan Sazima, já que a maioria dos autores se formou com eles. Marlies seguramente sentir-se-á feliz vendo como tantos orientados prepararam esta síntese sobre polinização de 528 páginas, abrangendo, entre tantos outros, aspectos ecológicos e evolutivos sobre a conservação dos polinizadores. Sua grande dedicação à boa ciência, sua generosidade permanente e a infinita paciência para escutar, conversar e sugerir sutilmente os possíveis caminhos acadêmicos e na vida que cada um de seus orientados escolheu e seguiu também estão implícitas na dedicação com que cada autor estampou seu conhecimento em cada capítulo do livro. Trata-se de um livro valioso, principalmente para aqueles que estão iniciando no fascinante mundo da polinização e ainda não têm conhecimento suficiente em língua inglesa para apreciar as sutilezas dos conceitos e a amplitude temática deste belo campo de estudo.

Quando evoco Marlies em minha memória, a primeira imagem que aparece é o seu lindo sorriso, que transmite sua profunda percepção e grande inteligência. Marlies é um exemplo de vida desenvolvido em um equilíbrio entre suas extraordinárias dedicação e paixão para desenvolver conhecimento científico de excelência e a possibilidade de cultivar encantadoras relações humanas com sua família, colegas, orientados e alunos. Sinto-me muito privilegiado de fazer parte da “grande família” de Marlies.

(Versão original em espanhol)

El libro *Biologia da Polinização* organizado por André Rodrigo Rech, Kayna Agostini, Isabel Cristina Machado y Paulo Eugênio Oliveira representa un homenaje a la trayectoria de los Profs. Marlies e Ivan Sazima, ya que la mayoría de los autores se ha formado con ellos. Marlies seguramente sentirá felicidad viendo como tantos orientados pueden construir esta síntesis sobre polinización de 528 páginas, cubriendo aspectos ecológicos, evolutivos, sobre la conservación de los polinizadores, entre tantos otros. Su gran dedicación a la buena ciencia, su generosidad permanente e infinita paciencia para escuchar, conversar y sugerir sutilmente los posibles caminos en lo académico y en la vida en que cada uno de sus orientados fue eligiendo y recorriendo, también subyacen en la dedicación con que cada autor plasmó su conocimiento en cada capítulo del libro. Es un libro valioso, principalmente para todos aquellos alumnos que se inician en el fascinante mundo de la polinización y aun no tienen el suficiente nivel en lengua inglesa para apreciar las sutilezas de los conceptos y la amplitud temática de este hermoso campo de estudio.

Cuando evoco a Marlies en mi memoria, lo primero que aparece es su imagen con una hermosa sonrisa, la cual transmite su profunda percepción y gran inteligencia. Marlies es un ejemplo de vida, desarrollada en un equilibrio entre su extraordinaria dedicación y pasión para desarrollar conocimiento científico de excelencia, y la posibilidad de cultivar encantadoras relaciones humanas con su familia, colegas, orientados y alumnos. Me siento muy privilegiado de formar parte de la “gran familia” de Marlies.

JEFF OLLERTON, University of Northampton – Inglaterra

(Tradução)

A biologia de plantas da América do Sul e seus polinizadores tem provado ser mais rica e mais complexa do que poderíamos ter previsto e os cientistas brasileiros, assim como os de outros países, continuam a fazer novas descobertas que destacam a importância internacional dessas regiões. Neste contexto, a contribuição de Marlies e Ivan Sazima para a ciência brasileira não pode ser subestimada, tanto pela qualidade do trabalho quanto pela inspiração que forneceram para os colegas mais jovens. É um legado que demonstra o melhor da pesquisa ecológica brasileira.

(Versão original em inglês)

The biology of South American plants and their pollinators has proven to be richer and more complex than we could ever have predicted, and Brazilian scientists, as well as those from other countries, continue to make new discoveries that highlight the international importance of these regions. Against this backdrop, the contribution of Marlies and Ivan Sazima to Brazilian science cannot be underestimated, both for the quality of their work and for the inspiration they have provided to younger colleagues. It is a legacy that demonstrates the best of Brazilian ecological research.

PETER E MARY ENDRESS, Institut für Systematische Botanik, Universität Zürich – Suíça

(Tradução)

Marlies e Ivan Sazima têm sido um modelo e uma inspiração para muitos alunos e colegas pelo excelente trabalho no campo da biologia da polinização. Desejamo-lhes muitos anos bem-sucedidos em seus empreendimentos científicos.

(Versão original em inglês)

Marlies and Ivan Sazima have been a role model and an inspiration for many students and colleagues by their outstanding work in the field of pollination biology. We wish them many more successful years in their scientific endeavours.

SCOTT ARMBRUSTER, University of Portsmouth – Reino Unido, e University of Alaska – Estados Unidos

(Tradução)

Marlies Sazima é provavelmente a pessoa que mais contribuiu individualmente para a nossa compreensão da polinização neotropical, e ela tem sido uma inspiração para os estudantes de história natural no Brasil e em outros países. Em seu trabalho, os Sazima misturaram observação detalhada com compreensão ecológica aguçada para

(Versão original em inglês)

Marlies Sazima has probably contributed more to our understanding of neotropical pollination than any other single person, and she has been an inspiration for students of natural history both in Brazil and further afield. In their work, The Sazimas have blended detailed observation with keen

desvendar algumas das histórias de polinização mais emocionantes que conhecemos. É, portanto, extremamente apropriado que este importante livro sobre polinização em ecossistemas (principalmente) do Brasil seja dedicado a Marlies e Ivan Sazima. Espero que esta obra inspire a próxima geração de biólogos especialistas em polinização tropical tanto quanto os Drs. Sazima têm inspirado a geração anterior. Este trabalho de alta qualidade sobre a polinização no Brasil será cada vez mais importante no futuro próximo, visto que enfrentamos crescentes ameaças de transformação da paisagem, perda de biodiversidade e “serviços” ecossistêmicos.

ecological understanding to unravel some of the most exciting pollination stories we know of. It is thus tremendously fitting that this important book on pollination in (mostly) Brazilian ecosystems be dedicated to Marlies and Ivan Sazima. I hope this book will inspire the next generation of pollination biologist as much as Drs. Sazimas have inspired the previous. Such high-quality work on pollination in Brazil will be increasingly important in the near future as we face increasing threats of landscape transformation and loss of biodiversity and ecosystem “services”.

PETER GIBBS, Plant Science Laboratories, University of St. Andrews – Escócia

(Tradução)

Em 1976, pouco depois de me tornar chefe do departamento de Biologia Vegetal da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (naquele tempo chamado de “Departamento de Morfologia e Sistemática Vegetais”), fui abordado por Marlies e Ivan Sazima, que perguntaram se eu poderia ler um trabalho que tinham acabado de finalizar. Eu antecipei que poderia ser uma tarefa árdua, porém mais tarde, naquele mesmo dia, eu encontrei-me lendo com crescente interesse um relato competentemente produzido reportando de forma meticulosa observações de campo na polinização de morcegos em *Passiflora mucronata*. Em contraste com flores com formato de pincel ou de sino dos estudos clássicos de polinização com morcegos, existe a espécie *Passiflora*, com flores apenas ligeiramente modificadas e cinco estames, mas que abriu à noite e atraiu morcegos. Eu mal percebi, no momento, que esse trabalho seria a minha introdução para uma série mais ou menos contínua de estudos cuidadosamente pesquisados sobre biologia da polinização que Marlies, Ivan e seus colaboradores produziram durante quase quatro décadas.

(Versão original em inglês)

In 1976, shortly after I had taken over as Head of the department of Plant Biology at Unicamp (at that time the ineptly named “Departamento de Morfologia e Sistemática Vegetais”) I was approached by Marlies and Ivan Sazima who asked if I would read through a paper they had just completed. I anticipated that this might be a bit of a chore, but later that day I found myself reading with growing interest a very competently constructed paper reporting meticulously carried out field observations on bat-pollination in *Passiflora mucronata*. In contrast to the brush or bell-shaped flowers of classic bat-pollination studies, here was *Passiflora* species with only slightly modified flowers and just five stamens, but which opened at night and attracted bats. Little did I realize at the time that this paper would be my introduction to a more or less continuous series of carefully researched studies in pollination biology that Marlies, Ivan and their collaborators would produce over almost four decades.

E que série! A gama de vetores por si só é impressionante – moscas sirfídeas, besouros, abelhas, pássaros, mariposas falcão, gambás, morcegos e lagartos – embora, eu tenha detectado certa predileção por *Trochilidae*. Este trabalho abrange estudos focados em espécies de cerca de 37 famílias de angiospermas.

Marlies e seus colaboradores também foram pioneiros em várias vertentes: eles logo perceberam que estudos *one off* de uma espécie de planta e seus polinizadores têm suas limitações, por isso iniciaram estudos sobre as comunidades florestais, efeitos de zonação altitudinal, fenologia de floração, redes de polinizadores, eficácia do visitante floral e sistemas de reprodução abrangentes (autoincompatibilidade, distilia, dioicia). Em pouco tempo os estudos foram publicados em revistas internacionais, e alguns adotaram a moda universal americana com títulos peculiares: “Néctar de dia e de noite...”, “Pica-pau desfruta refrigerantes...” e “Pequenos dragões preferem flores a donzelas...” são os meus favoritos.

A alta qualidade dos estudos dos Sazima incentivou a colaboração internacional de diversos pesquisadores ao longo dos anos – Stefan Vogel, Leonardo Galetto, Andrea Coccuci e Jeff Ollerton são apenas alguns exemplos que me vêm à mente. Entretanto o mais importante, o cerne da missão acadêmica, talvez seja a abordagem de Marlies aos estudos de biologia de polinização, o que atraiu um grande fluxo de ótimos pós-graduandos, imbuídos da importância de um trabalho de campo de qualidade e da necessidade de lucidez em documentos escritos, e que posteriormente construíram suas próprias carreiras em diversas universidades brasileiras. Tenho tido a sorte de contar com alguns desses produtos da escola dos Sazima e tê-los como meus amigos.

And what a series! The range of vectors alone is impressive, from syrphid flies, beetles, bees, humming and passerine birds, hawk moths, opossums, bats and lizards – although I detect a certain predilection for the *Trochilidae*. And equally amazing, these papers encompass studies focused on species of some 37 angiosperm families.

Marlies *et al.* were also pioneers in various ways: they soon perceived that “one off” studies of a flowering plant species and its pollinators have their limitations, and they initiated studies on forest communities, effects of altitudinal zonation, flowering phenology, pollinator networks, floral visitor effectiveness, and embraced breeding systems (self-incompatibility, distyly, dioecy). And very soon the studies were published in international journals, and some adopted the then American but soon to be universal fashion for quirky titles: “Nectar by day and by night...” and “Woody woodpecker enjoys soft drinks...” and “Little dragons prefer flowers to maidens...” are my favourites.

The high quality of the Sazimas studies encouraged international collaboration over the years with diverse researchers – Stefan Vogel, Leonardo Galetto, Andrea Coccuci, Jeff Ollerton are just a few that come to mind. But perhaps most importantly, because it lies at the heart of the academic quest, Marlies’ approach to pollination biology studies attracted a stream of first class post-graduate students who were in turn imbued with the importance of good quality fieldwork, and need for lucidity in written papers, and who subsequently forged their own careers in diverse Brazilian Universities. I have been fortunate to count some of these products of the Sazima and Ivan school as friends.

Alguns acadêmicos se aposentaram e deixaram o mundo acadêmico para fazer outras coisas. Outros se "aposentaram", mas continuam a fazer pesquisas. Esperamos que Marlies Sazima escolha a segunda opção.

Some academics retire and leave the University world for other things. Others "retire" but continue to do research. We must hope that Marlies Sazima will take the latter option.



Biologia da Polinização



$p < 0.0001$

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) P(A)}{P(B)}$$

$n = 5.000$

$$n(t+1) = \lambda n(t)$$

AIC = 0.0

θ

SEÇÃO 4

Perspectivas

$$\omega = \alpha + \sum(\beta_i Z_i) + \frac{1}{2} \sum(\gamma_i Z_i^2) + \sum \sum(\gamma_{ij} Z_i Z_j) + \epsilon$$



Foto: André Rodrigo Rech

* Capítulo 23 *

Conservação dos polinizadores

Isabel Alves dos Santos¹, Marcelo Aizen² e Cláudia Inês da Silva^{3,4}

¹ Departamento de Ecologia, IB-USP – Rua do Matão, 321, trav. 14 – CEP: 05508-900 – São Paulo-SP – Brasil. e-mail: isabelha@usp.br

² Laboratorio Ecotono, Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario de Bariloche – Quintral, 1.250 – Bariloche, 8.400 – Rio Negro – Argentina. e-mail: marcelo.aizen@gmail.com

³ Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto-USP – Avenida dos Bandeirantes, 3.900 – CEP: 14040-901 – Ribeirão Preto-SP – Brasil.

⁴ Universidade Federal do Ceará – Avenida Mister Hull, s/n – CEP: 60455-970 – Fortaleza-CE – Brasil. e-mail: claudia.silva@ufc.br

A polinização é um processo ecológico fundamental para as plantas que necessitam da transferência dos grãos de pólen para fertilizar e se reproduzir. Na natureza isso é verdadeiro para maioria das plantas com flores, incluindo muitas espécies cultivadas. Assim, os polinizadores são nossos parceiros, aumentando a produção de muitos frutos e sementes consumidos pelo homem. Mas esta fauna, como quase toda biota, está ameaçada pelo intenso e descuidado uso da terra. Já existem relatos de polinizadores extintos e dos prejuízos subsequentes. Entretanto, para a natureza, o maior problema está nas reações em cadeia que são provocadas quando elementos chave de uma rede de interação são excluídos. Neste capítulo apresentamos os problemas mais críticos que ameaçam a fauna de polinizadores, as consequências que podem advir do declínio desta fauna e, por fim, indicamos algumas medidas que podem atenuar em favor da manutenção dos mesmos. Entre as causas do declínio de polinizadores destacamos a perda, fragmentação e degradação de *habitat*, a introdução de espécies invasoras e o uso de agrotóxicos. Esperamos com este texto esclarecer e sensibilizar para a necessidade de se preservar nossos polinizadores nativos e assim garantir a polinização que eles desenvolvem.

Introdução

Na lista de polinizadores estão incluídos animais de diferentes histórias de vida, como, por exemplo, morcegos que precisam de cavernas para se abrigar e borboletas que precisam de determinadas plantas para alimentar suas larvas. Assim, a melhor estratégia para conservar os agentes polinizadores, como um todo, seria manter os ecossistemas intactos. Em outras palavras, seria necessário preservar as áreas naturais onde esses animais vivem. Mas, no mundo moderno e real, temos que conviver com as necessidades e alterações antrópicas que modificam, transformam e degradam o ambiente, portanto precisamos encontrar maneiras de associar as necessidades da população humana com a preservação do ambiente natural, onde as outras espécies selvagens, incluindo os polinizadores, vivem.

As expansões das cidades e fronteiras agrícolas avançam sobre as áreas naturais em velocidade incompatível com nossa capacidade de estudar a fauna e flora de tais ambientes. A redução do *habitat* para forrageamento e nidificação representa uma das maiores ameaças aos polinizadores, pois divide e reduz suas populações aos fragmentos remanescentes.

Há um consenso entre os especialistas de que a fauna de polinizadores está em declínio, mas quantificar essa perda é tarefa difícil. Mais difícil ainda é estimar as consequências para toda a biota devido às redes de interações complexas que são formadas a partir de um único membro funcional dentro das redes. Um exemplo muito simples que pode ilustrar esta dificuldade seria a relação da abelha mamangava-de-toco (do gênero *Xylocopa*) com o lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*): *que tipo de relação pode existir entre estes dois animais, uma abelha e um lobo?* As abelhas do gênero *Xylocopa* polinizam as flores da lobeira (*Solanum lycocarpum*) (Oliveira-Filho &

Oliveira 1988), cujos frutos são muito importantes na dieta do lobo, representando até 50% da sua dieta. O fruto da lobeira tem ação terapêutica contra o verme gigante dos rins (*Diocotophyma renale*), geralmente fatal para o lobo-guará (Duarte *et al.* 2013), mas as mamangavas dependem ainda de outras plantas para a sua sobrevivência, como, por exemplo, a laranjinha-do-cerrado (*Styrax ferrugineus* e *Styrax camporum*), de onde elas coletam exclusivamente o néctar (Saraiva *et al.* 1988). Flores de *Styrax*, por sua vez, são visitadas por muitas outras abelhas, como, por exemplo, Euglossini, para a coleta de pólen. Ao coletar o pólen essas abelhas polinizam as flores de *Styrax*, permitindo a formação dos frutos. Os frutos de *Styrax* servem de alimento para muitas espécies de animais, especialmente aves (Lorenzi 1992). Estas aves dispersam as sementes destes frutos e assim por diante. Pronto, está formada uma rede de interações, com vários atores e diferentes graus de dependência entre eles. Voltando ao início desta rede, ao protegermos as abelhas do gênero *Xylocopa* e suas plantas estaremos contribuindo para a sobrevivência do maior canídeo da América do Sul: o lobo-guará.

Existem muitos exemplos nessa linha com redes bem mais complexas que nos dão ideia da dificuldade, complexidade, imprevisibilidade e responsabilidade para avaliar os efeitos e consequências de qualquer alteração nas redes de interações. A exclusão (ou diminuição) de um dos atores da rede pode causar impactos indiretos e comprometer muitos dos participantes. Ameaças que envolvam interações entre espécies muitas vezes têm um efeito cascata de extinção, que irá atingir outros níveis tróficos (Anderson *et al.* 2011).

Neste capítulo idealizamos fornecer argumentos para sensibilizar os leitores acerca da importância dos visitantes florais que prestam um serviço ecossistêmico fundamental para a manutenção da biodiversidade e toda a cadeia alimentar (incluindo

a humana). Os grupos brasileiros de polinizadores são numerosos (centenas de vertebrados e milhares de insetos) (Imperatriz-Fonseca *et al.* 2012). Estudos mais aprofundados em cada grupo de polinizadores não alcançam a casa das centenas. É consensual que o nosso primeiro desafio para preservar os polinizadores é conhecer essa fauna, tanto aumentando as amostragens em muitas regiões como aprimorando o conhecimento sobre sua biologia e necessidades. Esta tarefa é necessária, mas também é demorada. Então, como temos urgência, é crucial detectar as principais ameaças aos polinizadores e tomar providências para amenizar as perdas. Apresentamos também alguns números sobre prejuízos com a perda do serviço de polinização e casos relatados de extinção de polinizadores. Por fim, propomos medidas que auxiliam na manutenção e conservação desta preciosa fauna.

Ameaças

As ameaças aos polinizadores são muitas, mas com certeza a destruição dos *habitats* naturais, seja por fragmentação e degradação dos mesmos, seja por uso excessivo de agrotóxicos e influência de espécies invasoras, é o problema mais crítico. Existem alguns estudos que tratam destes aspectos, mas ainda estamos tentando entender a dimensão das consequências e buscando maneiras para reverter as ameaças.

Fragmentação de *habitat*

A fragmentação dos *habitats* naturais acompanha a expansão do uso da terra em razão do rápido crescimento da população humana e das medidas políticas internacionais que transferem a responsabilidade de produção agrícola primária aos países em desenvolvimento, quase todos na região tropical, onde coincidentemente está também a maior concentração de

biodiversidade. O processo de fragmentação resulta na formação de manchas de *habitat* de diferentes tamanhos, formas e distância entre elas (Fahrig 2003). Estudos sobre conservação e ecologia da paisagem são unânimes sobre os efeitos primários que resultam da fragmentação: 1) a quantidade total de *habitat* diminui; 2) o número de fragmentos aumenta; 3) a quantidade de borda de *habitat* aumenta; 4) o tamanho médio do fragmento diminui; 5) o isolamento do fragmento aumenta, pois a matriz entre os fragmentos aumenta e se torna mais contínua (Fahrig 2003; Tscharrntke & Brandl 2004; Ribeiro *et al.* 2009; Laurance *et al.* 2011). Em geral, a matriz de ambientes alterados é homogênea e inóspita (Umetsu *et al.* 2008), comprometendo a conectividade da paisagem (Moilanen & Hanski 1998) (Figs. 23.1 A-C).

Mas como estes resultados afetam a biodiversidade de um modo geral? Os efeitos negativos mais óbvios são: 1) a riqueza diminui, pois áreas menores contêm menos espécies; 2) o fragmento pode ser pequeno demais para sustentar populações (dependendo das espécies) e isolado demais para receber colonizadores, ameaçando, assim, a viabilidade das populações (Tilman *et al.* 1994; Bender *et al.* 2003; Ewers & Didham 2006; Sabatino *et al.* 2010). Animais pequenos não voadores, por exemplo, têm baixa capacidade de dispersão ou de ocupação de *habitat* perturbado e raramente se movimentam por longas distâncias, resultando em redução da diversidade genética e conectividade das populações (Templeton *et al.* 1990; Dixo *et al.* 2009). Obviamente os efeitos são sentidos de maneiras distintas, dependendo das características das espécies, como: grau de especialização, tamanho corpóreo, tamanho populacional, entre outros (Chacoff & Aizen 2006). Em uma comunidade temos espécies que atuam estrategicamente em diferentes escalas espaço-temporais (Tscharrntke & Brandl 2004). Öckinger *et al.* (2010) verificaram

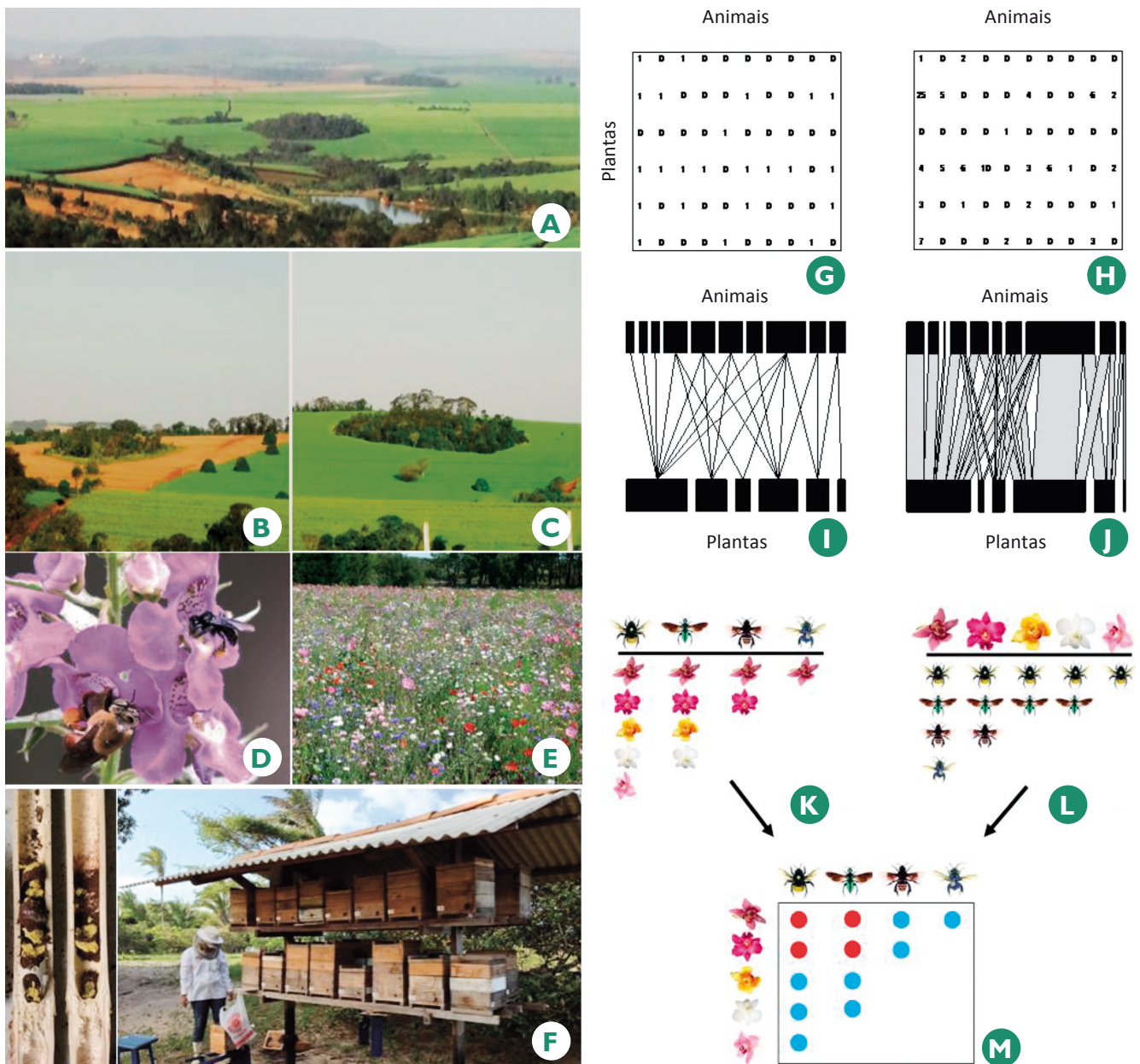


Figura 23.1 (A-C) Fragmentação de *habitats*. Paisagem típica do interior paulista, com matriz de cana-de-açúcar e pequenos remanescentes, que sofrem intenso efeito de borda com a manipulação da cultura principal (durante plantio, colheita e queimada). (D) Duas espécies de abelhas coletoras de óleo floral (*Centris* e *Tetrapedia*) visitando flores de *Angelonia* (Foto: Paulo César Fernandes). (E) paisagem favorável à conservação dos polinizadores, com oferta abundante de recursos na presença de flores da vegetação periférica e plantas ruderais. (F) Criação racional de abelhas sem ferrão em meliponário em Bragança no Pará (Foto: Giorgio Venturieri); ninho de abelha-solitária (*Tetrapedia diversipes*) construído em gomo de bambu oferecido artificialmente. (G-J) Representação das redes planta-polinizador. Na parte superior encontram-se duas redes representadas em forma matricial (G,H) e, na parte inferior, as mesmas redes estão representadas em forma gráfica (I,J). A matriz da esquerda (G) representa uma rede qualitativa ou binária, onde se registram as interações observadas (1) e não observadas (0) entre um grupo de seis espécies de plantas (linhas) e dez espécies de animais antófilos (colunas). Na representação gráfica desta mesma rede (I), as linhas indicam as interações (*links*) observadas entre as espécies (“nós”), que, nesse caso, estão representadas por retângulos. O comprimento da base destes retângulos é proporcional ao número de espécies com as quais cada uma delas interage. A matriz da direita (H) representa uma extensão quantitativa da matriz da esquerda (G), onde os valores indicam uma medida da intensidade de cada

interação (p. ex., o número de indivíduos de cada uma das espécies de animais observadas nas flores de cada uma das espécies de plantas da rede). Na representação gráfica desta rede quantitativa (**J**), a largura de cada um dos **links** é proporcional à frequência de cada interação indicada na matriz. Nesse caso, o comprimento da base de cada um dos “nós” indica a frequência total de interação correspondente a cada uma das espécies, isto é, as somas marginais da matriz. (**K-M**) Representação gráfica do conceito de aninhamento de uma rede de interação planta-polinizador. Ilustra-se uma rede hipotética formada por cinco espécies de orquídeas e quatro espécies de abelhas euglossinas. Esta assembleia de espécies e interações está perfeitamente aninhada, já que as espécies mais especialistas de orquídeas são visitadas por uma subamostra das espécies de abelhas que visitam quaisquer das outras espécies mais generalistas (**K**), enquanto as espécies mais especializadas de abelhas visitam somente uma subamostra das espécies de orquídeas. Isso determina uma rede de interações (**M**) onde as espécies especialistas, sejam de orquídeas ou de abelhas, interagem somente com espécies generalistas (círculos azuis), enquanto as interações entre generalistas (círculos vermelhos) formam o “coração” desta rede.

que borboletas com baixa mobilidade, nicho trófico estreito e taxa reprodutiva baixa são mais fortemente afetadas pela perda de *habitat* (para maiores detalhes sobre os efeitos da fragmentação de *habitat* nas interações biológicas, ver Hagen *et al.* 2012).

Outro aspecto importante no contexto de fragmentação está relacionado à transferência de pólen entre as plantas, que é determinada pelo nível de dificuldade do movimento dos polinizadores na paisagem, isto é, a conectividade funcional da paisagem. A maioria dos polinizadores precisa de um suprimento seguro e confiável de néctar espaçotemporalmente distribuído entre as manchas de plantas ou populações de espécies que vão visitar (Corbet 1995). A distribuição espacial dos recursos auxilia o movimento dos agentes polinizadores, garantindo localmente este serviço ecossistêmico (Kremen *et al.* 2007; Hadley & Betts 2011). Experimentalmente, Townsend & Levey (2005) demonstraram que borboletas, abelhas e vespas usam corredores para se movimentar entre as manchas de plantas preferidas e que estes insetos transferem significativamente mais pólen em comparação com os polinizadores em manchas sem conexão. Cranmer *et al.* (2012), da mesma forma, atestaram que cercas vivas e recursos atrativos artificiais podem influenciar as direções do voo de abelhas do gênero *Bombus*, aumentando a atividade do polinizador e a

deposição de pólen em *Salvia pratensis* (Lamiaceae) nas manchas com mais conexões. Hadley & Betts (2009) verificaram que a trajetória de retorno de beija-flores fica mais longa e tortuosa em paisagens perturbadas, como, por exemplo, matrizes agrícolas. Morcegos até conseguem se movimentar por longas distâncias na paisagem fragmentada ou terras desmatadas, mas o risco de predação é maior e os recursos de flores na matriz alterada são menores (Law & Lean 1999).

A fragmentação afeta negativamente as árvores que possuem estratégias mais dependentes de movimento de dispersão e fluxo do pólen, resultando em redução da diversidade funcional. Girão *et al.* (2007) registraram a falta de três sistemas de polinização em espécies arbóreas de fragmentos de Mata Atlântica no nordeste brasileiro: polinização por pássaros, moscas e mamíferos não voadores, além da redução dos índices da polinização por mariposas, morcegos e vertebrados de um modo geral, em comparação com as áreas florestais mais contínuas. Na Usina Serra Grande, em Alagoas, Lopes *et al.* (2006) encontraram valor zero para população de esfingídeo no menor e no mais isolado fragmento (Ibateguara e São José da Lage). No Chaco serrano, na Argentina, Aizen & Feisinger (1994) verificaram um declínio abrupto na diversidade e abundância de polinizadores nativos associado à fragmentação florestal.

A fragmentação também reduz a qualidade do *habitat* natural. Quanto menor o fragmento, mais próximo da borda se estará em qualquer ponto do *habitat*. As espécies das bordas sofrem mais com as interações antagonistas com outras espécies que vivem na matriz (p. ex., ataques de parasitas, doenças, herbívoros). A taxa de mortalidade na borda é muito maior do que no meio da floresta, promovendo a substituição de espécies vegetais tolerantes à sombra de crescimento lento por espécies colonizadoras de crescimento rápido e invasão de espécies exóticas. Indivíduos que se dispersam pela matriz (p. ex., machos que buscam fêmeas para acasalar) estão sujeitos a um maior risco de predação durante o tempo de exposição (Ewers & Didham 2006).

Muitos eventos de remoção dos sistemas naturais ocorrem em função das fronteiras agrícolas. A agricultura moderna converte áreas enormes originalmente diversas em monoculturas que não oferecem oportunidades para forrageamento ou nidificação. Imaginemos, por exemplo, a substituição de uma área com fisionomia de cerrado por um extenso cultivo de cana-de-açúcar: Que tipo de recurso os agentes polinizadores vão encontrar para forragear ou nidificar nesta monocultura anemófila? Milet-Pinheiro & Schlindwein (2005) demonstraram a redução da riqueza e abundância de machos de *Euglossini* em áreas de canal na região Nordeste, sugerindo que a borda da mata seria a barreira natural para a maioria das espécies.

A expansão urbana também causa perda de *habitat*. Por exemplo, na Costa Oeste dos Estados Unidos, três espécies de borboletas foram extintas (entre elas a famosa *Glaucopsyche xerces* – *the xerces blue butterfly*) e as populações de outras três foram drasticamente reduzidas devido à ocupação, no ecossistema, de dunas na Califórnia (Powell 1981; Groombridge 1994) (<http://www.iucnredlist.org/>)

(Stein *et al.* 2000). Martins *et al.* (2013) registraram a redução de 22% da riqueza de abelhas e desaparecimento de espécies primordialmente abundantes em São José dos Pinhais, no Paraná, ao comparar resultados de três inventários realizados em momentos distintos ao longo de quarenta anos. Neste caso, os fatores responsáveis foram a urbanização, o crescimento populacional (o número de habitantes em de S. J. Pinhais aumentou dez vezes ao longo deste período) e a expansão agrícola na região (Martins *et al.* 2013).

Dados alarmantes foram apresentados recentemente sobre a fragmentação da Mata Atlântica em função da expansão agrícola e urbana. Dos 150 milhões de hectares originais deste bioma restam entre 11,4% e 16%, sendo a maioria (80%) em fragmentos menores que 50 hectares (Ribeiro *et al.* 2009).

Na região amazônica, a exploração madeireira é um dos fatores responsáveis pela fragmentação florestal. Maués & Oliveira (2010) apresentam dados sobre as taxas de desflorestamento e demonstram preocupação com o empobrecimento das florestas. A saúde reprodutiva das árvores nativas fica comprometida pela redução do número efetivo de indivíduos de uma população (Cascante *et al.* 2002; Fuchs *et al.* 2003). Os números de doadores de pólen e da quantidade de pólen compatível depositada nos estigmas das flores também tendem a diminuir, reduzindo a taxa de frutificação (Aizen & Feisinger 1994; Rocha & Aguilar 2001; Quesada *et al.* 2003; Harris & Johnson 2004). Os processos de desflorestamento podem ainda conduzir ao declínio indireto na população dos agentes polinizadores (Aizen & Feisinger 1994) ou afetá-los diretamente, por exemplo, com a derrubada de árvores que abrigam colônias de abelhas em ocos (Eltz *et al.* 2003) ou ninhos de abelhas solitárias em cavidades menores.

Degradação da qualidade do habitat

Compreender os efeitos da degradação de *habitats* sobre populações ou comunidades é fundamental para uma restauração eficiente. A degradação de *habitats* naturais pode reduzir a biodiversidade local em função, principalmente, da perda de fontes de recursos alimentares e de sítios para a nidificação das espécies (Hagen *et al.* 2012), o que significa a falta de recursos necessários para completar seus ciclos de vida (Roulston & Goodell 2011).

De maneira geral, os polinizadores visitam as flores para a coleta de recursos alimentares como néctar, pólen e óleos florais (Capítulo 6), entretanto a dieta de muitos deles é constituída também por outros itens alimentares. Muitas espécies de morcegos, por exemplo, além do néctar e pólen, também consomem uma diversidade de frutos e artrópodes (Muller & Reis 1992; Galetti & Morellato 1994; Mikich 2002; Arkins *et al.* 2006). Embora os morcegos consigam voar longas distâncias, os recursos alimentícios tendem a ser menores na matriz alterada (Law & Lean 1999). Beija-flores adultos consomem grande quantidade de néctar (Buzato 1995; Buzato *et al.* 2000; Machado *et al.* 2007), contudo a dieta dessas aves é composta também por muitas espécies de insetos, que são importantes fontes de proteínas (Yanega & Rubega 2004). Além disso, muitas espécies de beija-flores são territorialistas e demarcam as fontes de recursos alimentares distribuídas em manchas. Espécies maiores são mais agressivas e restringem o acesso às flores defendidas no território (Mendonça & Anjos 2005). Assim, em áreas degradadas, com baixa diversidade de plantas ornitófilas, os beija-flores maiores têm mais sucesso na conquista por manchas, comprometendo a manutenção de espécies menores.

Vespas adultas usam néctar das flores na sua dieta, mas seus imaturos se alimentam principalmente de proteína animal, provenientes de aranhas e larvas de outros insetos (Capítulo 13). Este é o caso da vespa social *Polistes ferreri*, que abastece suas crias com larvas principalmente de Lepidoptera (Andrade & Prezoto 2001). No caso de Lepidoptera, as borboletas e mariposas dependem de fontes distintas de recursos alimentares durante o seu ciclo de vida (Capítulo 10). O néctar é uma fonte importante de água, açúcar e aminoácidos para as borboletas adultas e está relacionado à longevidade e ao sucesso na postura de ovos (Boggs 1987; Boggs & Ross 1993; Holl 2006). Na fase larval, os lepidópteros alimentam-se de folhas, partes florais e outras partes das plantas (Capítulo 10) (Holl 2006).

Assim, fica clara a importância de o ambiente suprir todos estes itens da dieta e garantir que estes animais completem seus ciclos de vida. Mesmo para aqueles animais que possam se deslocar por grandes distâncias, o risco de predação em *habitats* degradados é maior.

A degradação dos *habitats* também compromete o ciclo de vida dos polinizadores por meio da redução dos sítios para a sua nidificação. Muitas espécies de abelhas, por exemplo, constroem seus ninhos escavando os solos, barrancos, troncos de árvores, madeira morta, entre outros (Roubik 1983; Cane 1991; Michener 2007). Estes substratos são imprescindíveis para a sobrevivência e manutenção dessas abelhas. Práticas modernas de agricultura são altamente danosas para espécies de abelhas que nidificam em solos, pois a aragem constante da terra, a compactação do solo, a remoção de barrancos e o acúmulo de agrotóxicos no solo podem dificultar o processo de nidificação ou causar a mortalidade nas espécies. Da mesma forma, a remoção de substratos como galhos e troncos também afeta as abelhas que usam tais recursos para a nidificação.

Outro aspecto importante da degradação de *habitat* está relacionado à remoção de plantas nativas ruderais em campos agrícolas, que reduz a disponibilidade de recursos alimentares para as espécies de polinizadores em escala local (Warren 1992; Winfree *et al.* 2009; Cavalheiro *et al.* 2011). Isso promove migração de espécies para outras áreas, comprometendo a manutenção das redes tróficas locais. Em cultivos convencionais, muitas espécies de plantas ruderais são consideradas pragas, invasoras, daninhas e altamente agressivas, sendo frequentemente retiradas das áreas pelos produtores rurais (Goulson *et al.* 2008). Silva (2009) revelou que as mamangavas polinizadoras do maracujá-amarelo apresentavam como parte fundamental de suas dietas grãos de pólen de espécies de plantas ruderais, como, por exemplo, dos gêneros *Senna* (mata-pasto) e *Solanum* (a lobeira e o juá). A remoção de tais plantas ruderais no entorno dos cultivos do maracujazeiro compromete localmente a manutenção das mamangavas, pois as flores do maracujá são fontes exclusivas de néctar e essas abelhas dependem também de pólen para manter as suas crias (Silva *et al.* 2010).

Espécies invasoras

A presença de espécies exóticas pode trazer consequências diretas ou indiretas para espécies nativas. Muitas espécies invasoras são agressivas, ou competidoras fortes, dominando (ou excluindo) as espécies nativas. Por exemplo, uma espécie de mariposa invasora dos Estados Unidos visita a orquídea *Platanthera praeclara* para tomar néctar, mas não a poliniza, pois a polínea não fica aderida na posição adequada para a transferência e polinização. Porém, como suas visitas ocorrem antes da mariposa nativa (a polinizadora efetiva), a planta acaba não sendo polinizada e a mariposa efetiva tem o recurso diminuído ou mesmo esgotado pela invasora (Shepherd *et al.* 2003).

A introdução de *Bombus terrestris* e *Bombus impatiens* nas Américas tem sido palco de preocupação em muitos aspectos, como transmissão de doenças e novos patógenos, competição por recurso com espécies nativas e hibridização com espécies nativas de *Bombus* (Winter *et al.* 2006; Meeus *et al.* 2011). Até mesmo na Argentina, onde a invasão de *Bombus terrestris* foi registrada no norte da Patagônia há menos de dez anos (Torretta *et al.* 2006), os prejuízos com doenças já são sentidos nas populações da espécie nativa, *Bombus dahlbomii*, devido à ação de um novo patógeno (Arbetman *et al.* 2012).

Adicionalmente, na Tasmânia *Bombus terrestris* divide o forrageamento com os insetos nativos e com pássaros nectarívoros em pelo menos sessenta e seis plantas nativas (Hingston & McQuillan 1998). Por sua vez, na Nova Zelândia, o *Bombus* europeu visita quatrocentas espécies de plantas introduzidas, facilitando suas propagações (Donovan & Macfarlane 1984).

Espécies introduzidas também destroem polinizadores diretamente, como no caso do rato do Pacífico (*Rattus exulans*), que chegou à Ilha de Páscoa com os polinésios e é apontado como o responsável pela extinção do papagaio *Eunymphicus cornutus* (Psittaciformes), que polinizava a extinta palmeira do gênero *Jubaea* (Arecaceae) (Robinet *et al.* 1998). O rato destrói diretamente os ninhos do papagaio.

Inseticidas

Segundo a própria etimologia da palavra, “inseticidas” têm a ação de eliminar ou repelir insetos, mas eles não eliminam apenas aqueles que são pragas. Eles exterminam também insetos polinizadores, ou aqueles que poderiam preda os insetos-pragas naturalmente. Os inseticidas atuam diretamente

ou indiretamente nos insetos, seja nos adultos ou imaturos, podendo afetar as cadeias alimentares em diferentes níveis tróficos.

Os lepidópteros, por exemplo, apresentam um ciclo de vida relativamente longo, e isso faz que esses insetos estejam expostos a um número maior de aplicações de inseticidas (Cuthbertson & Jepson 1988). Efeitos letais e subletais têm sido relatados, principalmente para as larvas diurnas de borboletas, diminuindo suas taxas de fecundidade e longevidade (Longley & Sotherton 1997). Além da ação direta da aplicação sobre os imaturos, os adultos de lepidópteros também podem sofrer com resíduos de inseticidas que permanecem no néctar e pólen das flores (Barker *et al.* 1980; Choudhary & Sharma 2008). Muitos inseticidas sistêmicos, como, por exemplo, os neonicotinoides, quando aplicados às culturas em fase de floração, são translocados e passam a estar presentes no pólen e no néctar. Assim, ao serem ingeridos, causam a morte de adultos e imaturos por envenenamento (Desneux *et al.* 2007) ou por estimular o sistema nervoso central, conduzindo a paralisia e morte (Elbert *et al.* 2008). Por exemplo, operárias de *Apis mellifera* alimentadas com doses subletais de tiametoxam apresentam dificuldades de localizar até mesmo sua própria colônia (Henry *et al.* 2012). Para *Bombus terrestris* a aplicação de imidacloprido (neonicotinoides) reduziu o crescimento da colônia, causando uma queda de 85% na produção de rainha em relação às colônias controle (Whitehorn *et al.* 2012), sendo que este mesmo produto pode repelir moscas e besouros (Easton & Goulson 2013).

Além dos neonicotinoides, os inseticidas organoclorados atuam em canais de sódio e potássio de neurônios, alterando o fluxo normal de entrada e saída desses íons, o que afeta a transmissão de impulsos nervosos (Nocelli *et al.* 2012). Entre os organoclorados, o dicloro-difenil-tricloroetano (DDT) foi o

mais usado, mas atualmente é proibido em todo o território brasileiro (D'Amato *et al.* 2002). O inseticida lindano (também organoclorado) causou 100% de mortalidade em *A. mellifera* após quatro horas de aplicação (Malaspina & Stort 1983).

Outra classe de inseticida, os piretroides, atua nos sistemas nervosos central e periférico, alterando a modulação dos canais de sódio e a polaridade da membrana celular (Freitas & Pinheiro 2010). Segundo Cox & Wilson (1984), operárias de *A. mellifera*, quando expostas a permetrina, perdem sua capacidade de orientação, apresentam graves distúrbios de comportamento, irritabilidade, excessiva autolimpeza, abdômen contraído, tremores e alterações na capacidade de forrageio.

Na classe dos pesticidas, os inseticidas são geralmente os tóxicos mais agressivos, mas os herbicidas também podem apresentar riscos aos animais (Aktar *et al.* 2009). A aplicação de herbicidas pode afetar diretamente os polinizadores, como ocorre, por exemplo, com oxadiazon, que é tóxico para as abelhas, mas também pode afetar de forma indireta com a remoção de espécies de plantas ruderais, consideradas daninhas, pois ocorre uma redução do número de flores e, conseqüentemente, da disponibilidade de recursos florais usados pelos visitantes e/ou polinizadores (Johansen & Mayer 1990), visto que a maioria dessas plantas é atrativa aos insetos (Kiill *et al.* 2000; Maia-Silva *et al.* 2012). Além disso, quando as espécies ruderais tombam naturalmente, elas promovem a proteção e nutrição dos solos, funcionando como facilitadoras para o estabelecimento de outras espécies de plantas que também são importantes para a alimentação dos polinizadores. Sendo assim, o solo desprotegido e contaminado por herbicidas pode exercer um efeito negativo sobre as espécies de insetos que nidificam ou têm parte do ciclo no solo.

Recentemente, revisões e estudos importantes foram publicados apresentando informações sobre os danos irreparáveis dos pesticidas sobre a fauna de polinizadores, com destaque para as abelhas (Freitas & Pinheiro 2010; Pinheiro & Freitas 2010; Nocelli *et al.* 2012 ; van der Valk *et al.* 2012). Esses estudos alertam para os riscos da aplicação indiscriminada dos pesticidas que podem ter provocado o fenômeno denominado *colony collapse disorder* (CCD) (VanEngelsdorp *et al.* 2009). Nos Estados Unidos a CCD levou à perda de 90% das colônias de *Apis mellifera* (Oldroyd 2007). No Brasil, na região central do estado de São Paulo, o uso de inseticidas esteve relacionado à perda de mais de 5 mil colônias de abelhas africanizadas (Nocelli *et al.* 2012).

A utilização de fertilizantes também pode ter consequência nas características florais (Burkle & Irwin 2010). Hoover *et al.* (2012) demonstraram, na Nova Zelândia, que abelhas do gênero *Bombus* podem reduzir a longevidade ao consumirem néctar com concentração alta de nitrogênio.

Consequências e prejuízos do declínio dos polinizadores

Se uma espécie-chave de planta perde seus polinizadores, toda a estrutura da comunidade poderá mudar drasticamente (Kearns & Inouye 1997). Por exemplo, em uma determinada comunidade dominada por *Ficus*, 80% das espécies de vertebrados dependem de figo em suas dietas básicas (Bronstein *et al.* 1990; Kalko *et al.* 1996). Nesse cenário, se os figos não frutificarem pela falta de seus polinizadores específicos, a alimentação dos vertebrados de tal comunidade estará comprometida.

Interferência nas redes de interações ecológicas

As flores de muitas espécies de plantas são visitadas por mais de uma espécie animal, enquanto muitas espécies de animais antófilos, sejam invertebrados ou vertebrados, obtêm alimento de flores de mais de uma espécie de planta (Introdução Seção 3). Assim, em uma comunidade, as espécies de plantas com flores e os animais antófilos estão relacionados direta ou indiretamente uns aos outros por meio de uma rede de interações (Capítulo 17).

O conjunto de interações planta-polinizador de uma assembleia em particular (p. ex. abelhas coletoras de óleos florais), forma um tipo de rede que se denomina “bipartida”. Tal rede é formada por duas classes de “nós”, representando, de um lado, as espécies de plantas e, do outro lado, os animais antófilos que visitam e eventualmente polinizam suas flores. As ligações (links) entre eles representam as interações planta-polinizador observadas (Bascompte & Jordano 2007; Jordano *et al.* 2009). As redes bipartidas podem ser representadas tanto em forma matricial (Figs. 23.1 G,H), como também gráfica (Figs. 23.1 I,J). As redes que somente indicam presença ou ausência da interação são chamadas de “qualitativas” (Fig. 23.1 I), enquanto aquelas contendo alguma medida que reflita a intensidade da interação (p. ex., a frequência de visitas) se denominam “quantitativas” (Fig. 23.1 J).

As perspectivas de “rede” mudaram as visões prévias antagônicas das interações planta-polinizador, antes consideradas recíprocas e altamente especializadas (Faegri & van der Pijl 1979), passando a ser vistas como difusas e altamente generalizadas (Introdução Seção 3) (Waser *et al.* 1996). A análise de um grande número de redes reais revelou uma série de propriedades das mesmas que são relevantes para a conservação dos mutualismos planta-polinizador (Bascompte &

Jordano 2007; Jordano *et al.* 2009). A primeira destas propriedades é que as redes mutualísticas apresentam uma estrutura “aninhada” determinada pela tendência de espécies mais especialistas, seja de plantas ou animais, interagirem com um subconjunto de espécies que interagem com espécies mais generalistas. Este tipo de estrutura seria altamente estável e resiliente a perturbações (Ashworth *et al.* 2004; Bascompte *et al.* 2006; Okuyama & Holland 2008; Thébault & Fontaine 2010), maximizando o número de espécies que podem coexistir devido ao número determinado de interações (Bastolla *et al.* 2009).

O aninhamento da rede implica a existência de: 1) um núcleo ou “coração” formado pelas espécies de plantas e visitantes florais generalistas e a densa trama de interações que se estabelecem entre eles (Bascompte *et al.* 2003; Bascompte & Jordano 2007; Jordano *et al.* 2009); e 2) especialistas que interagem com estes generalistas mais que com os outros especialistas (Vázquez & Aizen 2004; Bascompte *et al.* 2006) (Fig. 23.1 M).

Desta forma, a extinção de uma espécie relativamente especialista (p. ex., uma abelha solitária coletora de óleo) (Fig. 23.1 D) teria consequências menores em termos de disparar outras extinções secundárias (Memmott *et al.* 2004; Kaiser-Bunbury *et al.* 2010), dada a baixa dependência que o parceiro generalista teria do especialista (p. ex., uma espécie de planta cujas flores são visitadas por outras espécies de abelhas coletoras de óleo e pólen).

Dentro do “coração” da rede as interações seriam de natureza difusa e redundante, em que a ruptura de qualquer interação em particular não comprometeria a sobrevivência das outras espécies da rede (Aizen & Vázquez 2006). Contudo percebe-se que a integridade deste núcleo de interações é particularmente crítica em termos da dinâmica ecológica

e evolutiva das espécies de plantas e polinizadores que formam a rede (Bascompte & Stouffer 2009; Fang & Huang 2012).

Apesar de o aninhamento conferir estabilidade e resiliência às redes mutualísticas, esta estrutura não garante imunidade aos diferentes tipos de impacto de origem antrópica (Vázquez & Simberloff 2003; Memmott *et al.* 2007; Aizen *et al.* 2008; 2012; Tylianakis *et al.* 2008; Spiesman & Inouye 2013), embora tal estrutura possa determinar um atraso na perda de espécies diante de uma perda acelerada de interações (Tylianakis *et al.* 2008; Sabatino *et al.* 2010). O fato de que as perdas de interações ocorrem a uma taxa maior do que a perda de espécies e, portanto, precede a extinção das mesmas, levanta a seguinte questão: é possível prever a vulnerabilidade das espécies à extinção em função das características das suas interações?

Além dos efeitos estruturais das redes sobre a sobrevivência das espécies, é de se esperar que as espécies envolvidas em interações mutualísticas possam persistir por algum tempo após a separação de suas interações, dependendo da longevidade individual, abundância da população inicial, generalização no uso dos parceiros mutualistas e do grau de dependência do mutualismo em si mesmo para a sua sobrevivência (Bond 1994; Williams *et al.* 2010). Nesse sentido, a comparação de redes de interações provenientes de doze formações de serras, com tamanhos variando entre dezenas a milhares de hectares, estando essas ilhadas por um “mar” de agricultura nos Pampas da Argentina, forneceu uma resposta afirmativa a essa questão (Sabatino *et al.* 2010; Aizen *et al.* 2012). A análise comparativa destas redes mostrou que as interações mais vulneráveis são aquelas caracterizadas por uma baixa frequência e que ocorrem entre espécies especialistas. Tais características contribuem de forma aditiva à vulnerabilidade de uma interação, de

tal forma que as interações “raras” e “especializadas” deveriam ser fortemente monitoradas para garantir a sobrevivência das espécies de plantas e polinizadores envolvidas (Aizen *et al.* 2012).

Em adição, os distúrbios antrópicos poderiam afetar a dinâmica das redes mutualísticas em escala ecológica e evolutiva, além de seus efeitos sobre determinadas interações entre espécies (Bascompte *et al.* 2003; Kiers *et al.* 2010). Comparações entre as redes nos Pampas mostram que as interações que ocorrem com alta frequência, e entre espécies generalistas, são mais resistentes à perda de *habitat*. No entanto essas interações que formam o “coração” das redes em serras maiores perdem seu papel central e estruturador de redes em serras menores. Nessas últimas, a composição do “coração” está formada por interações entre espécies oportunistas cuja ocorrência aparentemente varia entre as serras (Aizen *et al.* 2012). A partir destes resultados, pode-se prever que, em ambientes fragmentados, as pressões de seleção que determinariam as trajetórias demográficas e evolutivas das espécies seriam mais variáveis no tempo e no espaço, o que poderia comprometer sua sobrevivência em curto prazo e sua capacidade futura de adaptação.

Mudanças estruturais na organização de redes mutualísticas podem também ser observadas nos casos de introdução de espécies. Na ausência de mecanismos de regulação populacional, tanto espécies de plantas com flores como de visitantes florais de origem exótica podem alcançar abundâncias extremamente altas e “usurpar” as interações que se estabelecem entre espécies de plantas e polinizadores nativos. Por exemplo, um estudo demonstrou que as redes de áreas perturbadas nos bosques temperados da América do Sul estão caracterizadas por um empobrecimento no número de interações entre espécies nativas, apesar de a conectividade total da rede permanecer invariável (Aizen *et al.* 2008). Neste

caso, as espécies invasoras convertem-se em “super-generalistas”, formando complexos de mutualistas invasores que ocupam o coração da rede, determinando, assim, sua dinâmica (Simberloff & von Holle 1999; Morales & Aizen 2006). As espécies nativas permanecem na comunidade, interagindo de forma altamente assimétrica com as espécies exóticas, o que poderia afetar a demografia e futuras trajetórias evolutivas das nativas.

Estes exemplos ilustram a importância de se estudarem mutualismos planta-polinizador em um contexto de redes de interações, quando se tratar de conservação (Tylianakis *et al.* 2010). Uma consequência destes e de outros estudos sobre redes de interações é que o foco das ações de conservação e restauração deveria estar sobre as interações mais do que sobre as próprias espécies, já que a restauração das interações críticas garantiriam a sobrevivência a longo prazo de espécies particularmente vulneráveis (Menz *et al.* 2011). O entendimento da arquitetura das redes de interação e como as mesmas são afetadas por distintos tipos é o primeiro passo para a conservação das espécies.

Prejuízos econômicos

Os polinizadores não são apenas importantes para a reprodução das plantas silvestres, mas também para espécies cultivadas. Já em 1977, o Prof. Peter Kevan, da Universidade de Guelph (Canadá), alertava para as perdas milionárias no cultivo de mirtilo em New Brunswick, no Canadá, devido à destruição de polinizadores nativos pelo uso e aplicação de inseticidas (Kevan 1977). Recentemente uma avaliação global estimou que o valor econômico global dos serviços de polinização em 2005 foi da ordem €153 bilhões (Gallai *et al.* 2009). Estes valores, locais ou globais, nos alertam para reais prejuízos econômicos que a

sociedade pode enfrentar com o declínio das populações de polinizadores. Klein *et al.* (2007) listaram oitenta e sete plantas de interesse econômico e importantes para a alimentação humana que dependem da polinização por animais. Mesmo aquelas espécies que não dependem totalmente dos polinizadores aumentam significativamente a produção de sementes com a participação dos mesmos.

O aumento da produtividade ou qualidade dos frutos agrega um valor real e imediato ao produto. Para ilustrar citaremos alguns casos bem conhecidos. As abóboras (*Cucurbita*), de um modo geral (espécies cultivadas ou selvagens), por possuírem flores com sexo separado, precisam de agentes para a transferência de pólen (McGregor 1976; Cane 2005). Sem eles não há frutos e, com eles, além de ocorrer frutificação, o tamanho, a massa e a quantidade de sementes dos frutos aumentam (p. ex: *Cucurbita maxima andreana*, na Argentina) (Ashworth & Galetto 2001). No caso do maracujazeiro, as flores, além da hercogamia (separação espacial dos órgãos reprodutivos) e da protandria (maturação do órgão masculino antes do feminino), são autoincompatíveis, sendo a polinização obrigatoriamente cruzada nas espécies cultivadas (Camillo 2003; Silva *et al.* 2010; Gaglianone *et al.* 2010). A polinização nas flores do maracujazeiro é realizada por abelhas de grande porte que, ao coletar o néctar, promovem a polinização (Yamamoto *et al.* 2012). Da mesma forma, as flores da castanha-do-brasil, *Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae, dependem de abelhas grandes capazes de abrir as flores para a polinização (Maués 2002). Nestes três exemplos citados, a falta de polinizadores causa prejuízos concretos aos produtores. A castanheira, mesmo ocorrendo em áreas com menor intensidade da ação antrópica, já registra falhas na frutificação nas populações fragmentadas (Mori 1992).

Na falta de polinizadores, os agricultores precisam recorrer à polinização manual e isso tem um

custo. Para o maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*), Pereira-Vieira *et al.* (2010) estimaram uma economia de mais de R\$ 30 mil em uma área com 2,3 ha a cada três anos, com o serviço gratuito fornecido pelas abelhas do gênero *Xylocopa*. Para a produção de baunilha, extraída das bagas da orquídea do gênero *Vanilla* (natural do continente americano), os custos com a polinização manual representam 40% do valor total do produto, já que os maiores produtores (Indonésia e Madagascar) são países localizados em continentes distantes das Américas, onde também vivem os polinizadores efetivos (Gregory *et al.* 1967).

As perdas de polinizadores não afetam apenas as plantas, que ficam com a sua produtividade aquém do seu potencial, mas também a manutenção de outros animais que dependem de frutos e sementes para a sua sobrevivência. Nos últimos anos tem sido bastante noticiado o fenômeno do desaparecimento abrupto da abelha-do-mel, *A. mellifera*, principalmente no hemisfério norte (vanEngelsdorp *et al.* 2009; Kluser *et al.* 2010). A causa da mortalidade e da diminuição drástica do número de colônias ainda está sendo investigada, mas os prejuízos calculados para polinização migratória estão entre US\$ 15-20 bilhões anuais, além da perda de cerca de 30% das colônias nos Estados Unidos (Morse & Calderone 2000; Johnson *et al.* 2010). No Brasil esta estimativa nunca foi calculada para abelhas nativas ou não domesticadas, que certamente estão sofrendo os mesmos problemas ambientais.

Para não adotar, entretanto, apenas um discurso pessimista sobre os prejuízos com o declínio dos polinizadores, podemos falar de ganhos reais com a presença dos mesmos ou lucros adicionais que os produtores podem ter por manterem iniciativas amigáveis à fauna de polinizadores, conservando-as ou mesmo reintroduzindo-as. Por exemplo, estudos apontam que áreas cultivadas de café (*Coffea arabica*, Rubiaceae)

próximas às florestas (~ 1 km) têm a produção aumentada em 14%-20% quando comparadas a áreas distantes dos fragmentos (De Marco & Coelho 2004; Olschewski *et al.* 2006). A melhoria se dá tanto na produtividade como na qualidade dos grãos. Em países como Costa Rica e Equador produtores de café recebem um certificado “amigo da biodiversidade” por protegerem o *mato amigo*, que, além de refúgio para inimigos e pragas, também é moradia dos polinizadores. O serviço da polinização para o café foi estimado em cerca de US\$ 60.000/ano (46-111 ha) na Costa Rica (Ricketts 2004). Os produtores ganham com o aumento da produtividade, com a qualidade dos grãos e com a certificação.

Semelhantemente ao constatado para o café, Chacoff & Aizen (2006) recomendam reflorestamento da borda em cultivos de *grapefruit* na Argentina para promover os estoques de polinizadores. Eles verificaram que na borda da floresta o número de espécies visitantes florais nas flores da toranja (*pomelo*) é duas a quatro vezes maior que 1.000 m dentro do cultivo. Na África do Sul, Cavalheiro *et al.* (2010) verificaram que nem a eliminação de pesticidas nem a adição de *Apis mellifera* compensam o declínio da fauna de visitantes florais (tanto em riqueza como abundância) nas flores de manga, ao se distanciar das áreas naturais. Mas a adição de plantas nativas ajudou a reduzir os efeitos causados pela distância do *habitat* natural, tendo efeitos positivos mais acentuados em campos orgânicos (Cavalheiro *et al.* 2012).

Até mesmo para monoculturas, como é o caso da alfafa *Medicago sativa* (leguminosa), com produção global na ordem de 430 milhões de toneladas/ano, principalmente na América do Norte, a produção de sementes dobrou após a introdução da abelha solitária, *Megachile rotundata* (Megachilidae) nos cultivos. Esta espécie de abelha foi manejada com muito sucesso desde a década de 1960 (Pitts-Singer & Bosch

2010). Os ninhos são colocados no meio dos extensos campos de alfafa e mais de dois terços da produção de sementes de alfafa provêm da polinização por *M. rotundata*. Mas a introdução desta espécie poderia ter sido dispensável se a abelha nativa *Nomia melanderi* fosse adequadamente manejada para este fim (Cane 2008). Esta espécie forma extensas agregações em solo livre de vegetação, preferencialmente úmido, e persiste por muitos anos. Obviamente esta abelha é suscetível a inseticidas.

Polinizadores extintos ou em extinção

Alguns exemplos de espécies de polinizadores extintas já foram mencionados anteriormente. Relatos sobre extinção de insetos são relativamente raros, pois ainda desconhecemos muito sobre esta fauna (suas biologias, tamanhos populacionais ou até mesmo sobre suas existências) para afirmar que desapareceram ou que estão em declínio. No caso de vertebrados, as ocorrências são mais constantes. Barnosky *et al.* (2011) discutem sobre as taxas alarmantes de extinção que estamos vivendo na atualidade e fazem projeções para os grupos mais vulneráveis, como mamíferos e aves.

Entre os morcegos, por exemplo, cerca de um quarto das espécies (239/1.000) é considerado ameaçado de extinção pela International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) e doze estão extintas. O Brasil hospeda cerca de 15% da fauna mundial de morcegos, contabilizando cento e sessenta e sete espécies (Paglia *et al.* 2012). No Brasil, os morcegos polinizam muitas plantas de interesse comercial, como pêssego, bananas selvagens, palmeiras, pequi-do-cerrado (*Caryocar brasiliense*) (Gribel & Hay 1993), piquiá-da-amazônia (*Caryocar villosum*) (Martins & Gribel 2007) e muitas

espécies da Mata Atlântica (Sazima *et al.* 1999) e da Caatinga (Machado & Lopes 2004). Nas regiões áridas das Américas do Sul e do Norte, a maioria das espécies de cactos colunares e muitas espécies de agave são polinizadas por morcegos (Petit & Pors 1996; Valiente-Banuet *et al.* 1995). Nas ilhas oceânicas, como Samoa, morcegos polinizam a maioria das espécies arbóreas (Cox *et al.* 1991). Os morcegos destacam-se pelo transporte do pólen para longas distâncias em áreas florestais. Existem evidências de fluxo polínico acima de 18 km entre as árvores de mafumeira (*Ceiba pentandra* – Malvaceae) em uma população na vizinhança de Manaus (Dick *et al.* 2007). Além de polinizadores, os morcegos também promovem outros importantes serviços ambientais, como dispersão de sementes, predação e controle de insetos-pragas (Bernard *et al.* 2010).

No caso das aves, os riscos de extinção não são igualmente distribuídos entre as linhagens (Bennett & Owen 1997; Lees & Peres 2006; 2008). Além da perda de *habitat*, ameaça comum aos outros polinizadores, a caça e a perseguição humanas, bem como a introdução de espécies predadoras, também as ameaçam (Owen & Bennett 2000). As espécies com maior grau de especialização sofrem mais, como, por exemplo, os beija-flores (Trochilidae). Historicamente caçados por suas penas e devido ao comércio entre colecionadores, os beija-flores possuem populações pequenas, e várias espécies são territorialistas. Eles sofrem também por envenenamento por concentração de químicos no ambiente. Pelo menos vinte e seis espécies de beija-flores estão ameaçadas (Nabhan 1996), e há relatos de duas espécies que se extinguíram no passado recente: esmeralda-de-brace (*Chlorostilbon bracei*) e esmeralda-de-gould (*Chlorostilbon elegans*). *Glaucis dohrnii*, endêmica do sul da Bahia, é considerada ameaçada, e a espécie beija-flor-das-costas-violetas (*Thalurania watertonii*), endêmica do nordeste do

Brasil, é considerada vulnerável na lista do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (Machado *et al.* 2005). Estas espécies sabidamente visitam e polinizam várias espécies de bromélias (Buzato *et al.* 2000; Siqueira-Filho & Machado 2001). Além das aves que adejam, como os beija-flores, as que pousam também são numerosas entre os polinizadores na região Neotropical e no Brasil (Rocca & Sazima 2010; Buzato *et al.* 2012) e são consideradas menos especializadas para o néctar em comparação aos beija-flores. Em contrapartida, dada a complementação da dieta com outros itens, as aves que pousam acabam tendo papéis ecológicos importantes também.

Segundo Hilton-Taylor (2000), a existência de mais de 85% das espécies de aves e mamíferos da lista de espécies ameaçadas do mundo se deve a fragmentação, perda e degradação de *habitat*.

Em condições naturais (isso vale para toda biota), os riscos de extinção são maiores para populações geograficamente limitadas e com baixa densidade, pois estas sofrem com a menor probabilidade de persistência da população (Jonas *et al.* 2003, para morcegos). Populações pequenas e geograficamente limitadas estão sujeitas a processos demográficos estocásticos (p. ex., deriva genética), catástrofes locais e endogamia (Purvis *et al.* 2000). Em ilhas, os efeitos podem ser desastrosos, como, por exemplo, nas ilhas Southwest Pacific, onde a redução da população de morcegos levou a extinções em cascata (Cox *et al.* 1991). No Havaí há relatos de oito espécies de mariposas e cinquenta de abelhas possivelmente extintas e várias outras espécies de borboletas criticamente ameaçadas (Stein *et al.* 2000). Com isso as duas espécies endêmicas de Campanulaceae do gênero *Brighamia* já não possuem mais polinizadores e, atualmente, só produzem sementes com a intervenção humana (Koob 2000).

Da mesma forma, orquídeas raras da Inglaterra sobrevivem porque biólogos estão fazendo a delicada transferência manual das pólineas, pois as abelhas polinizadoras destas plantas se extinguíram localmente (seus ambientes para nidificar foram destruídos). De fato, cerca de dois terços das espécies de *Bombus* da Inglaterra, até mesmo as mais comuns, estão em declínio (Biesmeijer *et al.* 2006). *Bombus subterraneus*, por exemplo, não é vista desde 1998 e foi considerada extinta na Inglaterra (Goulson 2003).

Ações favoráveis

Medidas para a conservação dos polinizadores incluem atitudes de diferentes dimensões, desde a educação e consciência ambiental até medidas práticas como a criação de polinizadores (p. ex., Meliponicultura) visando repovoar e aumentar suas populações em áreas alteradas. Algumas práticas amigáveis ajudam a sensibilizar a opinião pública, como, por exemplo, o estabelecimento de jardins para polinizadores em ambientes urbanos (em residências, praças e parques) com plantas selecionadas e adequadas aos polinizadores e ninhos para abelhas solitárias (Freitas *et al.* 2007; Frankie *et al.* 2009; Pawelek *et al.* 2009). Agricultores podem se beneficiar e aumentar seus lucros (melhores frutos e mais sementes) ao manterem a diversidade de polinizadores nativos (Garibaldi *et al.* 2013) nas áreas naturais próximas aos sistemas agrícolas, controlando o uso de agrotóxicos nos seus cultivos. O grande desafio que temos pela frente é garantir um ambiente diverso, que sustente numerosas espécies e mantenha as populações saudáveis, identificando as condições e recursos que compõem o nicho ecológico de tantos animais (Dicks *et al.* 2013). Políticas públicas para incentivo da agricultura orgânica orientada

pelo tripé da sustentabilidade são urgentes e têm um potencial enorme para garantir estoques de polinizadores em áreas de produção de alimentos.

Conscientização e educação ambiental

O velho ditado “para preservar é preciso conhecer” é bastante pertinente. Apesar da “moda ambiental” que se popularizou no nosso país, as taxas de destruição dos ecossistemas naturais continuam muito elevadas, aceleradas e vergonhosas (Millennium Ecosystem Assessment 2005, Gonzalez *et al.* 2011), o que demonstra a distância que existe entre o discurso da mídia e a prática, provavelmente por desconhecimento do público geral. Quantos brasileiros do Sul do Brasil conhecem ou já pisaram na Caatinga? Esta distância entre a população e os ambientes naturais faz que notícias como “a caatinga está virando lenha em pizzaria” cause indignação, mas não revolta o suficiente para impedir tal absurdo.

Assim, nada como iniciar a educação ambiental com as crianças. É um investimento em longo prazo, mas muito seguro, pois muda a conduta de um país. Gerações com este tipo de educação e consciência se tornam mais exigentes, mais interessadas no assunto e não aceitam políticas contrárias à proteção ambiental. Desta forma, já na educação básica a natureza deveria ser tratada mais próxima dos alunos e crianças. Além disso, resultados obtidos em investigações científicas precisam ser transmitidos ao público/sociedade de maneira mais eficaz, mais clara e direta (Jacobson 2009).

Campanhas costumam ser muito eficientes na divulgação de determinada causa (como a dos polinizadores). Por exemplo: em supermercados, folhetos ou cartazes sobre a produção de frutas, legumes e

grãos beneficiada com a polinização biótica podem alertar os consumidores leigos sobre o tema. Em restaurantes (p. ex., sobre um *buffet* ou dentro do cardápio), folhetos ilustrados e com linguagem acessível podem apontar os alimentos que foram produzidos com auxílio dos polinizadores, tornando-os conhecidos para o público geral.

Jardins particulares ou parques urbanos, com plantas diversas (de preferência nativas) e desenhados para proporcionar alimento e abrigo o ano todo, podem ajudar a sustentar populações de polinizadores. No Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Freitas *et al.* (2007) criaram um Jardim dos Beija-flores, com uma coleção de plantas ornitófilas de Mata Atlântica, com o objetivo de sensibilizar e proporcionar a contemplação de flores e beija-flores. A Universidade de Berkeley, na Califórnia, disponibiliza um *site* (<http://www.helpabee.org/index.html>) dedicado a informações sobre abelhas urbanas, dicas sobre jardins, sazonalidade, entre outros.

A organização norte-americana The Xerces Society, especializada em conservação de invertebrados e seus *habitats*, disponibiliza no seu *site* (<http://www.xerces.org/>) vários artigos, folhetos, guias e instruções sobre a preservação e o manejo de diferentes grupos de invertebrados. A Universidade de Guelph, no Canadá, também possui um *website* educativo com vários *links* para páginas sobre ações amigáveis para polinizadores (<http://www.pollinator.ca/guelph/>). No Brasil necessitamos também de material de divulgação em português, como cartilhas para produtores, guias de campo, cartazes ou mesmo um livro mais completo. Em 2010, um número inteiro da revista *Oecologia Australis* (acessível *on-line*) reuniu vinte artigos de pesquisadores brasileiros sobre a diversidade dos polinizadores e os serviços por eles prestados (Alves dos Santos 2010).

A obra *The Forgotten pollinators*, de Buchmann & Nabhan (1997), foi vendida como um romance nas livrarias dos Estados Unidos.

Restauração de *habitats*

Atender às particularidades de cada grupo de polinizador pode ser uma tarefa difícil, mas algumas ações podem beneficiar estes agentes como um todo, entre elas o enriquecimento da flora usada para alimentação de polinizadores, poleiros e sítios para nidificação, visando uma paisagem mais amigável aos polinizadores (Fig. 23.1 E).

Para promover o enriquecimento das plantas que atraem e mantêm polinizadores em uma dada área em restauração é preciso primeiramente conhecer a flora original, a disponibilidade e distribuição dos recursos florais e as interações estabelecidas entre as espécies de plantas e seus polinizadores (Silva 2009; Silva *et al.* 2010). Nesse sentido, as síndromes de polinização (Introdução Seção 3) (Faegri & van der Pijl 1979) podem ajudar muito na escolha das plantas usadas no enriquecimento. Também é importante contemplar espécies de plantas com diferentes hábitos, considerando toda a estratificação vertical. Silva *et al.* (2012a) mostraram recentemente que há uma variação na distribuição das síndromes de polinização na estratificação vertical no cerrado em sentido restrito. Determinados estratos apresentam até 100% de dependência de um grupo de polinizador. Além disso, deve-se levar em consideração também a necessidade de se ter espécies em floração o ano todo, garantindo a disponibilidade do recurso, não somente espacial, mas também temporalmente (Silva 2009). Lembrando a vulnerabilidade ou fragilidade dos serviços ambientais, Jha & Kremen (2013) sugerem, para a restauração de *habitat*, o uso de plantas estruturais, aquelas que proveem recursos

para sustentar um grande número de polinizadores (espécies e indivíduos) e de plantas-ponte, ou seja, aquelas que fornecem recursos alimentares durante períodos de maior escassez.

De maneira geral, o processo de urbanização promove a perda da riqueza e abundância de espécies e a redução da complexidade dos *habitats*. Plantas em toda a estratificação vertical, principalmente árvores e arbustos, são removidas, diminuindo consideravelmente a disponibilidade de recursos alimentares que atraem e mantêm a fauna de polinizadores (Silva, obs. pes.). O solo impermeável também fica indisponível para as plantas e animais. Blair & Launer (1997), estudando borboletas em seis áreas próximas a Palo Alto, na Califórnia, mostraram que mais de 80% das áreas urbanas são cobertos por asfalto e edifícios, deixando menos de 20% de área vegetada, um cenário bastante comum nas cidades (McKinney 2008).

A manutenção de polinizadores nas cidades, contudo, tem sido foco de discussões em várias partes do mundo. Alguns estudos demonstram que as áreas urbanas funcionam como zonas de refúgio e/ou como corredores ecológicos importantes (McIntyre 2000; Chace & Walsh 2006; McKinney 2008), como já mostrado para abelhas Euglossini (López-Uribe *et al.* 2008), Bombini (McFrederick & LeBuhn 2006), Meliponini (Oliveira *et al.* 2013) e também abelhas solitárias (Silva *et al.* 2007). A difusão desse conhecimento faz que cada vez mais pessoas se interessem pela conservação de espécies nativas e por boas práticas de jardinagem em áreas urbanas (Owen 1991; Buchanan 1999; Frey 2009). Com um planejamento urbano cuidadoso, os moradores podem atrair uma grande diversidade de espécies de polinizadores em seus jardins (Tommasi *et al.* 2004; Pawelek *et al.* 2009) e, portanto, contribuir para a conservação da fauna local, especialmente quando

são utilizadas espécies de plantas nativas (McIntyre & Hostetler 2001; McKinney 2002; Lowry 2007). Além disso, segundo Pawelek *et al.* (2009), os jardins urbanos, ponto de encontro e recreação, promovem indiretamente a educação ambiental.

No *campus* Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, mais de 65% das plantas são nativas e boa parte corresponde à flora original (Aleixo *et al.* 2014). Segundo os autores, a escolha das espécies no paisagismo do *campus* foi muito feliz, pois estas plantas mantêm polinizadores de diversos taxa, contemplando de maneira muito semelhante as síndromes de polinização zoófilas (com predomínio da melitofilia) em mata estacional semidecidual, que consiste na vegetação nativa da área do *campus* (Kinoshita *et al.* 2006; Silva, obs. pes). Estudos sobre a dieta de algumas espécies de abelhas da família Apidae deste *campus* comprovam que é necessária uma diversidade de espécies de plantas em floração ao longo de todo o ano para manter tais abelhas: *Scaptotrigona* aff. *depilis* utilizou oitenta e seis espécies de plantas diferentes na sua dieta (Faria *et al.* 2012), *Frieseomelitta varia* utilizou setenta e sete espécies (Aleixo *et al.* 2013) e *Centris analis* foi vista em cinquenta e uma espécies de plantas (Silva, obs. pes).

Em ambientes agrícolas, práticas de rotação de cultura podem beneficiar os polinizadores no sentido de manter a oferta de alimento. Obviamente a não aplicação de inseticidas durante as floradas evita reduzir ou até mesmo dizimar as populações de insetos polinizadores (Mader *et al.* 2010). Menz *et al.* (2011) alertam que para restaurar o *habitat* é preciso conhecer as exigências dos polinizadores e respeitar as diferenças regionais das paisagens, bem como seus ciclos de vida (Winfree 2010). São inúmeros os benefícios de se manter uma paisagem diversa no entorno dos cultivos, mesmo em pequenas propriedades agrícolas (Kennedy *et al.* 2013), permitindo a coexistência de

algumas espécies ruderais que possam ser atrativas para os polinizadores (Cavalheiro *et al.* 2011).

Na tentativa de auxiliar os produtores de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*: Passifloraceae), Silva *et al.* (2012b) apresentaram algumas ações para minimizar os impactos causados no ambiente e, assim, promover o aumento do número de polinizadores. Silva *et al.* (2010) também sugeriram o plantio, o enriquecimento e a restauração da flora do entorno dos cultivos, apresentando mais de oitenta espécies de plantas usadas na dieta das espécies de *Xylocopa*, que podem servir para atrair e manter as mamangavas. Para o enriquecimento da vegetação e para a manutenção de *Eulaema nigrita* (Apidae), abelha polinizadora do maracujá-doce (*Passiflora alata*: Passifloraceae), que floresce apenas por alguns meses e oferece apenas néctar, recomenda-se utilização de plantas atrativas para esse polinizador e que floresçam ao longo de todo o ano, principalmente plantas que disponibilizam pólen, como *Solanum lycocarpum* (Solanaceae), *Rynchanthera grandiflora*, *Trembleya parviflora*, *Cambessedesia hilariana* (Melastomataceae) (Silva *et al.* 2012c; Silva *et al.* 2012d) e *Myrcia guianensis* (Myrtaceae) (Gaglianone *et al.* 2010). No caso destes polinizadores do maracujá, o uso de ninhos-armadilha (com cavidades no seu interior) feitos com gomos de bambu, troncos de madeira morta e blocos de cimento pode auxiliar no estabelecimento de ninhos das espécies (Garófalo *et al.* 2004; Silva *et al.* 2012b, Silva *et al.* 2012c; Silva *et al.* 2014a).

Para espécies de polinizadores que nidificam ou passam parte do ciclo de desenvolvimento no solo, práticas na lavoura influenciam suas densidades populacionais. Julier & Rouston (2009) examinaram os efeitos de práticas comuns nas lavouras, como plantio direto, rotação de cultura, irrigação e propriedades do solo, na abundância de algumas espécies de abelhas que residem no chão. Espécies

que, por exemplo, preferem nidificar no meio da plantação (p. ex., *Peponapis*: Apidae) podem ser prejudicadas com aragens profundas nas lavouras que destroem seus ninhos que estão a cerca de 30 cm de profundidade (Rozen & Ayala 1987; Krug *et al.* 2010). Por outro lado, várias espécies de abelhas também se beneficiam da irrigação do solo, pois este fica mais fácil para ser escavado, como observado por Greenberg (1982) para *Lasioglossum* sp. Cane (2008) relatou que vários agricultores perderam as agregações de *Nomia melanderi* (Halictidae), que é a principal polinizadora da alfafa, por terem parado de irrigar o solo. Conhecer a preferência dos animais por certos tipos de solo quanto a composição, textura e umidade pode auxiliar na restauração de *habitats* degradados (Cane 1991).

Manejo e criação de polinizadores

O manejo é a forma mais indicada para aumentar a população dos polinizadores. O primeiro passo para manejar uma espécie é conhecer profundamente o seu nicho. Por exemplo, para manejar uma espécie de abelha é importante conhecer sua organização social, o seu período de atividade, sua alimentação, o local onde constroem os ninhos, quais materiais usa para isso e quais seus inimigos naturais, entre outros (Silva *et al.* 2014b).

Entre os diversos polinizadores, sem dúvida as abelhas representam o maior número de espécies domesticáveis. Globalmente a espécie *A. mellifera* é o melhor exemplo de manejo ou domesticação de um polinizador. Devido aos produtos apícolas, existe um amplo e sólido conhecimento sobre a biologia desta espécie. Nas Américas esta espécie é exótica e, segundo as projeções de Aizen & Harder (2009), o crescimento da apicultura é menor do que o necessário para uma agricultura sustentável.

Outra espécie de abelha criada em larga escala é *Bombus terrestris* (Apidae). Na década de 1990 a Bélgica e a Holanda dominaram o mercado de criação dessa espécie (Velthuis & Van Doorn 2006), o que foi possível após o conhecimento acerca da quebra da hibernação das rainhas, permitindo criar colônias durante o ano todo, e sobre as fontes alimentares mais eficientes para a manutenção das colônias. Em 2005, o uso desta abelha na agricultura atingiu a cifra de 1 milhão de dólares por ano, tornando-se uma indústria bilionária (Velthuis & Van Doorn 2006). As espécies de *Bombus* que ocorrem no Brasil são bastante agressivas, o que torna o seu manejo inviável (Garófalo *et al.* 1986).

O Brasil é rico em espécies de Meliponini, as abelhas sem ferrão (Camargo & Pedro 2007), e a meliponicultura cresce no país (Nogueira-Neto 1997), dando sinais de ser o grupo com maior potencial para manejo (Fig. 23.1 F). Recentemente, Nunes-Silva *et al.* (2013) demonstraram a eficiência da abelha *Melipona fasciculata* na polinização de berinjelas em estufas, aumentando em 29% a produção. Abelhas do gênero *Melipona* são capazes de vibrar as anteras das flores de Solanaceae, sendo uma alternativa potencial para as espécies de *Bombus*.

Entre as espécies de abelhas solitárias, as dos gêneros *Centris*, *Megachile* e *Tetrapedia* são fortes candidatas ao manejo em áreas cultivadas, assim como as espécies parassociais do gênero *Xylocopa*. Tais abelhas constroem seus ninhos em cavidades preexistentes naturais ou escavam em madeira morta (Garófalo *et al.* 2004; Camillo & Garófalo 1982; Freitas & Oliveira-Filho 2003). Estas abelhas são consideradas polinizadoras de diversas frutíferas importantes. *Centris* (*Heterocentris*) *analis*, por exemplo, é a principal polinizadora da aceroleira (*Malpighia emarginata*) (Freitas *et al.* 1999; Oliveira & Schlindwein 2009; Vilhena *et al.* 2012) e aceita

facilmente ninhos-armadilha. Mas, como verificado por Silva (obs. pes.) no espectro polínico da dieta desta espécie de abelha, ela utiliza mais de cinquenta espécies de plantas. Assim, não basta oferecer os ninhos, mas também é necessário manter uma diversidade de plantas no local.

Como exemplificado, sem dúvida as abelhas estão entre os polinizadores com maior possibilidade de criação, mas, mesmo assim, é possível criar outros polinizadores. A criação de borboletas monarcas (gênero *Danaus*), por exemplo, pode ser otimizada com cultivo de *Asclepia* (Asclepiadaceae), sua planta preferida, e transferência dos ovos ou larvas da borboleta para recipientes, como um aquário com papel toalha umedecido, e com o fornecimento de folhas frescas da planta diariamente (Hellyer 2011) (<http://www.monarchlab.org/Lab/Rearing/>). Moscas sirfídeos também podem ser criadas em salas ou câmeras com umidade, temperatura e luz controladas, oferecendo pedaços de carnes em recipiente com areia. Para aves a instalação de poleiros e locais para abrigo pode auxiliar as populações. De uma maneira geral, a manutenção de *habitats* naturais ainda é a melhor maneira de garantir a sobrevivência dos diversos grupos de polinizadores.

Políticas favoráveis

Os fatores mencionados anteriormente responsáveis pelo declínio das populações de polinizadores são complexos. Decisões políticas privilegiam interesses econômicos e, na maioria das vezes, contrariam propostas de conservação. Políticas globais e locais em essência devem atacar os mesmos problemas, mas obviamente em escalas bastante distintas, o que requer conscientização em todos os níveis, desde as crianças aos políticos, que podem mudar as leis.

Em alguns países a polinização é considerada fator de produção agrícola. Maneiras para valorar economicamente os serviços da polinização (sobre os ganhos reais) serão muito úteis para convencer políticos e grandes agricultores acerca da importância dos polinizadores. Geralmente as discussões concentram-se nos meios acadêmicos, entre pessoas já bem esclarecidas sobre os problemas. Precisamos extrapolar o discurso e divulgar a causa em outras instâncias. Dado que o argumento econômico costuma prevalecer no sistema em que vivemos, urge que evidenciemos os valores e as cifras dos serviços de polinização. Por exemplo: quanto um agricultor ganharia em sua lavoura de tomate se ele preservasse parte da vegetação nativa intercalada em seus cultivos? Indiretamente o consumidor ganharia pagando menos pelos tomates e estes seriam mais saborosos e suculentos.

A ausência de polinizadores nativos nas culturas geralmente está associada ao cultivo convencional, em que se usam pesticidas sem controle da concentração e quantidade, horário de aplicação e qualidade dos mesmos, especialmente inseticidas genéricos, com amplo espectro de ação. O consumo de produtos orgânicos aumentou, havendo, ainda, um enorme potencial de crescimento para este mercado de consumo, mas os produtores orgânicos não recebem os mesmos benefícios que os convencionais ou latifundiários, o que torna o produto mais caro e, conseqüentemente, restrito a um público específico (com maior poder aquisitivo ou mais conhecimento). Leis regulamentando o uso dos pesticidas e inseticidas são necessidades urgentes e devem considerar a existência desta fauna benéfica. Recomendações sobre boas práticas de manejo dos pesticidas agrícolas podem ser consultadas em Freitas & Pinheiro (2010) e Pinheiro & Freitas (2010), contudo ainda são poucos os estudos

que apresentam os impactos dos pesticidas sob as populações de polinizadores e seus efeitos na cadeia trófica, incluindo a espécie humana. Sabe-se, por exemplo, que há mortalidade na comunidade de abelhas, mas a gravidade não é mensurada de maneira cientificamente correta. Cada espécie de abelha apresenta um grau de sensibilidade ou resistência a determinados pesticidas. As instruções técnicas para aplicação dos pesticidas devem ser transmitidas aos produtores e seu uso deve ser fiscalizado. Nesse sentido, as autoridades devem dar mais atenção a esse problema, pois as empresas não deixarão de produzir os defensivos, o comércio não para e há uma necessidade urgente em relação à sustentabilidade e à produção de alimento. Por que determinados pesticidas são proibidos em alguns países desenvolvidos e liberados no Brasil? A gravidade do problema não é a mesma? Quem são os responsáveis por essa decisão?

Embora nem todas as instituições possuam a disciplina sobre polinização em seus currículos, seria fundamental que escolas agrícolas, cursos de agronomia e engenharia florestal a incluíssem. Estes profissionais estão muito próximos aos produtores e podem ajudá-los a modificar o modo atual de exploração do ambiente, fazendo-os compreender melhor a real importância do ambiente natural. Nesse sentido, os pequenos agricultores, que usam a prática de múltiplos cultivos associada a práticas ambientalmente amigáveis, promovem, de fato, benefícios aos polinizadores.

Detectar o declínio dos polinizadores não é uma tarefa fácil, pois na maioria das vezes faltam os dados de tamanho populacional. Lebuhn *et al.* (2013) sugerem programas de monitoramento com estudos de longo prazo ou com repetições. Diante da urgência em propor medidas e da demanda de tempo para conhecer tantas particularidades dos polinizadores

podemos pensar em espécies indicadoras, ou guarda-chuva. Para tais espécies focais deveriam ser feitos estudos detalhados sobre seu nicho, tamanho populacional, limitação de deslocamento, especialização quanto ao recurso, de tal modo que permitisse inferir sobre o manejo da paisagem a seu favor.

Considerações finais

Na Europa e na América do Norte o declínio da fauna de polinizadores é bem documentado (exemplos para abelhas e sirfídeos na Inglaterra e Holanda podem ser encontrados em Biesmeijer *et al.* 2006; Potts *et al.* 2010). No Brasil, um país megadiverso e com dimensões continentais, é difícil, de fato, conhecer e mensurar nossas perdas, pois muitos dos polinizadores ainda sequer são conhecidos pela ciência. Mas é fácil perceber os danos que estamos causando à natureza e, com isso, promovendo todas as ameaças aos polinizadores mencionados nesse capítulo (Kremen *et al.* 2002). Estudos revelam que em *habitats* onde o uso da terra é moderado (menos predatório) os resultados na fauna de polinizadores são variáveis, podendo até ser positivos (Quintero *et al.* 2010; Winfree *et al.* 2007; 2009; 2011). Até mesmo Ghazoul (2005), que questiona sobre a real existência de uma crise global para os polinizadores, concorda que sistemas agroflorestais são preferíveis às monoculturas.

Os polinizadores são espécies-chave, isto é, das quais a persistência de grande número de espécies depende. Eles são essenciais no ciclo reprodutivo da maioria das plantas com flores e, conseqüentemente, na manutenção do próprio ecossistema, pois sustentam populações de plantas que outros animais precisam para se alimentar ou abrigar. Se os polinizadores desaparecerem, o efeito na saúde e viabilidade das populações das plantas pode ser desastroso. Além

disso, a alimentação da espécie humana ficará bastante empobrecida em termos calóricos (nutricional e culturalmente) (Steffan-Dewenter *et al.* 2005).

Em 2000, a Iniciativa Internacional dos Polinizadores foi aprovada como um programa estratégico na V Conferência das Partes das Nações Unidas. Em seguida, várias iniciativas foram criadas pelo mundo, e todas elas, incluindo a Iniciativa Brasileira de Polinizadores (IBP), possuem programas específicos para desenvolvimento e aplicação do conhecimento na área. Os polinizadores agregam valores altos com a produção de frutos, sementes e maior produtividade de um modo geral, além de promoverem a estabilidade dos ecossistemas na medida em que garantem a produção de frutos que alimentam uma gama enorme de outros animais (Kearns *et al.* 1998). Sendo assim, temos que aproveitar essa chance para propor estratégias de mitigação dos impactos ambientais e reverter o declínio das populações dos polinizadores.

Agradecimentos

Dedicamos este capítulo à Profa. Marlies Sazima, em reconhecimento a seu trabalho e admiração à sua pessoa. Agradecemos aos editores deste livro a oportunidade de expor e compartilhar nossa preocupação com os polinizadores. Agradecemos aos colegas Paulo Cesar Fernandes e Giorgio Venturieri pela permissão de uso das fotos (23.1 D e 23.1 F, respectivamente). Somos muito gratos também às nossas agências de fomento (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [CNPq], Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo [FAPESP], Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas [CONICET]) por nos auxiliarem em nossas pesquisas sobre este tema.

Referências Bibliográficas

- Aizen, M.A. & Feinsinger, P. 1994. Forest Fragmentation, Pollination and Plant Reproduction in a Chaco Dry Forest, Argentina. **Ecology**, 75, 330-351.
- Aizen, M.A. & Vázquez, D.P. 2006. Flower performance in human-altered habitats. In: Harder, L.D & Barrett, S.C.H. (eds.). **Ecology and Evolution of flowers**, 159-179. Oxford University Press.
- Aizen, M.A. & Harder, L.D. 2009. The global stock of domesticated honeybees is growing slower than agricultural demand for pollination. **Current Biology**, 19, 915-918 (doi:10.1016/j.cub.2009.03.071).
- Aizen, M.A.; Morales, C.L. & Morales, J.M. 2008. Invasive mutualists erode native pollination webs. **PLoS Biology**, 6, 31.
- Aizen, M.A.; Sabatino, M. & Tylianakis, J.M. 2012. Specialization and rarity predict nonrandom loss of interactions from mutualist networks. **Science**, 335, 1486-1489.
- Aktar, M.W.; Sengupt, D. & Chowdhury, A. 2009. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. **Interdisciplinary Toxicology**, 2, 1-12.
- Aleixo, K.P.; Faria, L.B.; Groppo, M.; Nascimento Castro, M.M. & Silva, C.I. 2014. Spatiotemporal distribution of floral resources in a Brazilian city: Implications for the maintenance of pollinators, especially bees. *Urban For. Urban Gree.*, doi: 10.1016/j.ufug.2014.08.002.
- Aleixo, K.P.; Faria, L.B.; Garófalo, C.A.; Fonseca, V.L.I. & Silva, C.I. 2013. Pollen collected and foraging activities of *Frieseomelitta varia* (Lepelletier) (Hymenoptera: Apidae) in an urban landscape. **Sociobiology**, 60, 266-276.
- Alves dos Santos, I. 2010. Conservação dos polinizadores. **Oecologia Australis**, 14, 11-13.
- Anderson, S.H.; Kelly, D.; Ladley, J.J.; Molloy, S. & Terry, J. 2011. Cascading Effects of Bird Functional Extinction Reduce Pollination and Plant Density. **Science**, 331, 1068-1071.
- Andrade, F.R. & Prezoto, F. 2001. Horários de atividade forrageadora e material coletado por *Polistes ferreri* Saussure, 1853 (Hymenoptera, Vespidae), nas diferentes fases de seu ciclo biológico. **Revista Brasileira de Zoociências**, 3, 117-128.
- Arbetman, M.; Meeus, I.; Morales, C.; Aizen, M. & Smaghe, G. 2012. Alien parasite hitchhikes to Patagonia on invasive bumblebee. **Biological Invasions**, 3, 489-494.
- Arkins, A.M.; Winington, A.P.; Anderson, S. & Clout, M.N. 2006. Diet and nectarivorous foraging behaviour of the short-tailed bat (*Mystacina tuberculata*). **Journal of Zoology**, DOI: 10.1111/j.1469-7998.1999.tb00982.x.
- Ashworth, L. & Galetto, L. 2001. Pollinators and reproductive success of the wild cucurbit *Cucurbita maxima* spp. Andreana (Cucurbitaceae). **Plant Biology**, 3, 398-404.
- Ashworth, L.; Aguilar, R.; Galetto, L. & Aizen, M.A. 2004. Why do pollination generalist and specialist plant species show similar reproductive susceptibility to habitat fragmentation? **Journal of Ecology**, 92, 717-719.
- Barker, R.J.; Lehner, Y. & Kunzmann, M.R. 1980. Pesticides and honeybees: nectar and pollen contamination in alfalfa treated with dimethoate. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, 9, 125-133.
- Barnosky, A.D.; Matzke, N.; Tomiya, S.; Wogan, G.O.U.; Swartz, B.; Quental, T.; Marshall, C.; McGuire, J.L.; Lindsey, E.L.; Maguire, K.C.; Mersey, B. & Ferrer, E.A. 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? **Nature**, 471, 51-57.
- Bascompte, J. & Jordano, P. 2007. Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. **Annual review of Ecology and Systematics**, 38, 567-593.
- Bascompte, J. & Stouffer, D.B. 2009. The assembly and disassembly of ecological networks. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. **Biological Sciences**, 364, 1781-1787.
- Bascompte, J.; Jordano, P. & Olesen, J.M. 2006. Asymmetric coevolutionary networks facilitate biodiversity maintenance. **Science**, 312, 431-433.
- Bascompte, J.; Jordano, P.; Melián, C.J. & Olesen, J.M. 2003. The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 100(16), 9383-9387.
- Bastolla, U.; Fortuna, M.A.; Pascual-Garcia, A.; Ferrera, A.; Luque, B. & Bascompte, J. 2009. The architecture of mutualistic networks minimizes competition and increases biodiversity. **Nature**, 458, 1018-1020.
- Bender, D.J.; Tischendorf, L. & Fahrig, L. 2003. Using patch isolation metrics to predict animal movement in binary landscapes. **Landscape Ecology**, 18, 17-39.
- Bennett, P.M. & Owens, I.P.F. 1997. Variation in extinction risk among birds: chance or evolutionary predisposition? **Proceedings of the Royal Society of London B, Biological Sciences**, 264, 401-408.
- Bernard, E.; Aguiar, L.M.S. & Machado, R.B. 2010. Discovering the Brazilian bat fauna: a task for two centuries? **Mammal Review**, 41, 23-39.
- Biesmeijer, J.C.; Roberts, S.P.M.; Reemer, M.; Ohlemüller, M.; Peeters, T.; Schaffers, A.P.; Poots, S.G.; Kleukers, R.; Thomas, C.D.; Settele, J. & Kunin, W.E. 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. **Science**, 313, 351-354.

- Blair, R.B. & Launer, A.E. 1997. Butterfly diversity and human land use: Species assemblages along an urban gradient. **Biological Conservation**, 80, 113-125.
- Boggs, C.L. & Ross, C.L. 1993. The effect of adult food limitation on life history traits in *Speyeria mormonia* (Lepidoptera: Nymphalidae). **Ecology**, 74, 433-441.
- Boggs, C.L. 1987. Ecology of nectar and pollen feeding in Lepidoptera. In: Slansky, Jr., F. and Rodriguez, J.G. (eds.), **Nutritional ecology of insects, mites and spiders and related Invertebrates**. New York, John Wiley & Sons, pp. 369-391.
- Bond, W.J. 1994. Do mutualisms matter? Assessing the impact of pollinator and disperser disruption on plant extinction. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B**, 344, 83-90.
- Bronstein, J.L.; Gouyon, P.H.; Gliddon, C.; Kjellberg, F. & Michaloud, G. 1990. The ecological consequences of flowering asynchrony in monoecious figs: a simulation study. **Ecology**, 71, 2145-2156.
- Buchanan, C. 1999. **The Wildlife Sanctuary Garden**. Berkeley, CA, Ten Speed Press, 224 p.
- Buchmann, S.L.** & Nabhan G.P. 1997. *The Forgotten Pollinators*. Washington, D.C., Island Press, 292 pp.
- Burkle, L.A. & Irwin, R. E. 2010. Beyond biomass: measuring the effects of community-level nitrogen enrichment on floral traits, pollinator visitation and plant reproduction. **Journal of Ecology**, 98, 705-717.
- Buzato, S. 1995. **Estudo comparativo de flores polinizadas por beija-flores em três comunidades da Mata Atlântica no Sudeste do Brasil**. Tese de Doutorado. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.
- Buzato, S.; Sazima, M. & Sazima, I. 2000. Hummingbird-pollinated floras at three Atlantic Forest sites. **Biotropica**, 32, 824-841.
- Buzato, S.; Giannini, T.C.; Machado, I.C.; Sazima, M. & Sazima, I. 2012. Polinizadores vertebrados: Uma visão geral para as espécies brasileiras. **In: Imperatriz Fonseca, V.L.; Canhos, D.A.L.; Alves, D.A.; Saraiva, A.M. (Org.). Polinizadores no Brasil**. 1 [ed. São Paulo, EDUSP, p. 7-485.
- Camargo J.M.F. & Pedro, S.R. 2007. Meliponini Lepeletier, 1836. *In* Moure, J.S., Urban, D. & Melo, G.A.R. (Orgs). **Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region - online version**. Available at <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>.
- Camillo, E. & Garófalo, C.A. 1982. On the bionomics of *Xylocopa frontalis* (Olivier) and *Xylocopa grisescens* (Lepeletier) in southern Brazil: I - Nest construction and biological cycle. **Revista Brasileira de Biologia**, 42(3), 571-582.
- Camillo, E. 2003. **Polinização de maracujá**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 44pp.
- Cane, J. 2005. **Squash Pollinators of the Americas Survey (SPAS)**. USDA. Agricultural Research Service. <http://www.ars.usda.gov/>.
- Cane, J.H. 1991. Soils of ground-nesting bees (Hymenoptera, Apoidea)-texture, moisture, cell depth and climate. **Journal of the Kansas Entomological Society**, 64, 406-413.
- Cane, J.H. 2008. A native ground-nesting bee (*Nomia melanderi*) sustainably managed to pollinate alfalfa across an intensively agricultural landscape. **Apidologie**, 39, 315-323.
- Cascante, A.; Quesada, M.; Lobo, J.J. & Fuchs, E.A. 2002. Effects of dry Forest fragmentation on the reproductive success and genetic structure of the tree *Samanea saman*. **Conservation Biology**, 16, 137-147.
- Cavalheiro L.G., Veldtman, R., Shenkute, A. G., Tesfay, G.B., Pirk, C.W.W., Donaldson J.S. & Nicolson, S.W. 2011. Natural and within-farmland biodiversity enhances crop productivity. **Ecology Letters**, 14, 251-259
- Cavalheiro, L.G.; Seymour, C.L.; Nicolson, S.W. & Veldtman, R. 2012. Creating patches of native flowers facilitates crop pollination in large agricultural fields: mango as a case study. **Journal of Applied Ecology**, 49, 1373-1383.
- Cavalheiro, L.G.; Seymour, L.C.; Veldtman, R. & Nicolson, S.W. 2010. Pollination services decline with distance from natural habitat even in biodiversity-rich areas. **Journal of Applied Ecology**, 47, 810-820.
- Carvalho L.G., Veldtman, R., Shenkute, A. G., Tesfay, G.B., Pirk, C.W.W., Donaldson J.S. & Nicolson, S.W. 2011. Natural and within-farmland biodiversity enhances crop productivity. **Ecology Letters**, 14, 251-259.
- Chace, J.F. & Walsh, J.J. 2006. Urban effects on native avifauna: a review. **Landscape and Urban Planning**, 74, 46-69.
- Chacoff, N.P. & Aizen, M.A. 2006. Edge effects on flower-visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. **Journal of Applied Ecology**, 43, 18-27.
- Choudhary A. & Sharma D.C. 2008. Dynamics of pesticide residues in nectar and pollen of mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern.) grown in Himachal Pradesh (India). **Environmental Monitoring and Assessment**, 144, 143-150.
- Corbet S.A. 1995. Insects, plants and succession: advantages of long-term set-aside. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 55: 61-67.
- Cox, P.A.; Elmquist, T.; Pierson, E.D. & Rainey, W.E. 1991. Flying foxes as strong interactors in South Pacific island ecosystems: a conservation hypothesis. **Conservation Biology**, 5, 448-453.
- Cox, R.L. & Wilson, W.T. 1984. Effects of permethrin on the behavior of individually tagged honey bees, *Apis mellifera* L (Hymenoptera, Apidae). **Environmental Entomology**, 13, 375-378.

- Cranmer, L.; McCollin, D. & Ollerton, J. 2012. Landscape structure influences pollinator movements and directly affects plant reproductive success. **Oikos**, 121, 562-568.
- Cuthbertson, P. & Jepson, P. 1988. Reducing pesticide drift into the hedgerow by the inclusion of an unsprayed field margin. **Brighton Crop Protection Conference-Pests and Diseases**, 2, 747-751.
- D'amato, C.; Torres, J.P.M. & Malm, O. 2002. DDT (Dicloro Difênil Tricloroetano): Toxicidade e Contaminação Ambiental - Uma Revisão. **Química Nova**, 25, 995-1002.
- De Marco, P.Jr. & Coelho, F.M. 2004. Services performed by the ecosystem: forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. **Biodiversity and Conservation**, 13, 1245-1255.
- Desneux, N.; Decourtye, A. & Delpuech, J.M. 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, 52, 81-106.
- Dick, C.W.; Bermingham, E.; Lemes, M.R. & Gribel, R. 2007. Extreme long-distance dispersal of the lowland tropical rainforest tree *Ceiba pentandra* L. (Malvaceae) in Africa and the Neotropics. **Molecular Ecology**, 16, 3039-3049.
- Dicks, L. V. et al. 2013. Identifying key knowledge needs for evidence-based conservation of wild insect pollinators: a collaborative cross-sectoral exercise. **Insect Conservation and Diversity**, 6, 435-446.
- Dixo M.; Metzger, J.P.; Morgante, J.S. & Zamudio, J. 2009. Habitat fragmentation reduces genetic diversity and connectivity among toad populations in the Brazilian Atlantic Coastal Forest. **Biological Conservation**, 142, 1560-1569.
- Donovan, B.J. & Macfarlane, R.P. 1984. **Bees and Pollination**. In: Scott, R. R. (ed.) *New Zealand pest and beneficial insects*. Missouri, Lincoln University College of Agriculture. pp. 247-269.
- Duarte J.; Costa, A.M.B.; Katagiri, S.; Martins, J.A.; Oliveira, M.E. & Ribeiro, C.M. 2013. Parasitism by *Dioctophyme renale* (Goeze, 1782) in Maned Wolf (*Chrysocyon brachyurus*), Brazil. **Veterinária e Zootecnia**, 20, 52-56.
- Easton, A.H. & Goulson, D. 2013. The neonicotinoid insecticide imidacloprid repels pollinating flies and beetles at field-realistic levels. **PLoS One**, 8, e54819.
- Eibert, A.; Haas, M.; Springer, B.; Thielert, W. & Nauen, R. 2008. Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection. **Pest Management Science**, 64, 1099-1105.
- Eltz, T.; Brühl, C.A.; Imiyabir, Z & Linsenmair, K.E. 2003. Nesting and nest tress of stingless bees (Apidae: Meliponini) in lowland dipterocarp forests in Sabah, Malaysia, with implications for forest management. **Forest Ecology and Management**, 172, 301-313.
- Ewers, R.M. & Didham, R.K. 2006. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. **Biological Reviews**, 81, 117-142.
- Faegri, K. & Van der Pijl, L. 1979. **The principles of pollination ecology**. 2.ed. Oxford, Pergamon Press.
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual review of Ecology and Systematics**, 34, 487-515.
- Fang, Q. & Huang, S.Q. 2012. Relative stability of core groups in pollination networks in a biodiversity hotspot over four years. **PLoS one**, 7, e32663.
- Faria, L.B.; Aleixo, K.P.; Garófalo, C.A.; Imperatriz-Fonseca, V.L. & Silva, C.I. 2012. Foraging of *Scaptotrigona* aff. *depilis* (Hymenoptera, Apidae) in an urbanized area: Seasonality in resource availability and visited plants. **Psyche**, doi:10.1155/2012/630628.
- Frankie, G.W.; Thorp, R.W.; Pawelek, J.C.; Hernandez, J. & Coville, R. 2009. Urban Bee Diversity in a Small Residential Garden in Northern California. **Journal of Hymenoptera Research**, 18, 368-379.
- Freitas, B. & Oliveira-Filho, J. 2003. Ninhos racionais para mamangava (*Xylocopa frontalis*) na polinização do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*). **Ciência Rural**, 33, 1135-1139.
- Freitas, B.M. & Pinheiro, J.N. 2010. Efeitos sub-letais dos pesticidas agrícolas e seus impactos no manejo de polinizadores dos agroecossistemas brasileiros. **Oecologia Australis**, 14, 282-298.
- Freitas, B.M.; Alves, J.E.; Brandão, G.F. & Araújo, Z.B. 1999. Pollination requirements of West Indian cherry (*Malpighia emarginata*) and its putative pollinators, *Centris* bees, in NE Brazil. **Journal of Agricultural Science**, 133, 303-311.
- Freitas, L.; Vasconcellos, N.C.; Campbell, T.V. & Oliveira, A.N. 2007. **Conservando as interações entre plantas e polinizadores: a perspectiva de redes ornitófilas e a criação do "jardim dos beija-flores"**. Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu, MG. p:1-3.
- Frey, K. 2009. The Melissa Garden: A Sanctuary and Season of Honeybees. **Pacific Horticulture**, 70, 29-34.
- Fuchs, E.J.; Lobo, J.A. & Quesada, M. 2003. Effects of forest fragmentation and flowering phenology on the reproductive success and mating patterns of the tropical dry forest tree *Pachira quinata*. **Conservation Biology**, 17, 149-157.
- Gaglianone, M.C.; Rocha, H.H.S.; Benevides, C.R.; Junqueira, C.M. & Augusto, S.C. 2010. Importância de Centridini (Apidae) na polinização de plantas de interesse agrícola: o maracujá-doce (*Passiflora alata* Curtis) como estudo de caso na região Sudeste do Brasil. **Oecologia Australis**, 14, 152-164.

- Galetti, M. & L.P.E. Morellato. 1994. Diet of the large fruit-eating bat *Artibeus lituratus* in a forest fragment in Brazil. **Mammalia**, 58, 661-665.
- Gallai, N.; Salles, J.M.; Settele J. & Vaissière, B.E. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. **Ecological Economics**, 68, 810-821.
- Garibaldi, L.A.; Steffan-Dewenter, I.; Winfree, R.; Aizen, M.A.; Bommarco, R.; Cunningham, S.A.; Kremen, C.; Morales, J.M.; Bommarco, R.; Cunningham, S.A.; Carvalheiro, L.G.; Chacoff, N.P.; Dudenhöffer, J.H.; Greenleaf, S.S.; Holzschuh, A.; Isaacs, R.; Krewenka, K.; Mandelik, Y.; Mayfield, M.M.; Morandin, L. A.; Potts, S.G.; Ricketts, T.H.; Szentgyörgyi, H.; Viana, B.F.; Westphal, C.; Winfree, R.; Klein, M. 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. **Science**, 339, 1608-1611.
- Garófalo, C.A; Martins, C.F. & Alves dos Santos, I. 2004. The Brazilian solitary bee species caught in trap nests. In: Solitary bees: **Conservation, Rearing and Management for Pollination**, Freitas BM & Pereira JOP (eds.). Fortaleza, Imprensa Universitária UFC, p. 77-84.
- Garófalo, C.A.; Zucchi, R. & Muccillo, G. 1986. Reproductive studies of a Neotropical bumblebee, *Bombus atratus* (Hymenoptera, Apidae). **Revista Brasileira de Genética**, 2, 231-243.
- Ghazoul, J. 2005. Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. **Trends in Ecology and Evolution**, 20, 367-373.
- Girão, L.C.; Lopes, A.V.; Tabarelli, M. & Bruna, E.M. 2007. Changes in tree reproductive traits reduce functional diversity in a fragmented Atlantic Forest landscape. **PLoS One**, 2, e908.
- Gonzalez, A.; Rayfield, B. & Lindo, Z. 2011. The disentangled bank: how loss of habitat fragments and disassembles ecological networks. **American Journal of Botany**, 98, 503-516.
- Goulson, D. 2003. **Bumblebees: Their Behaviour and Ecology**. Oxford, UK, Oxford University Press.
- Goulson, D.; Lye, G.C. & Darvill, B. 2008. Diet breadth, coexistence and rarity in bumblebees. **Biodiversity and Conservation**, 17, 3269-3288.
- Greenberg, L. 1982. Year-round culturing and productivity of a sweat bee, *Lasioglossum zephyrum* (Hymenoptera: Halictidae). **Journal of the Kansas Entomological Society**, 55, 13-22.
- Gregory, L.E.; Gaskins, M.H. & Colberg, C. 1967. Parthenocarpic pod development by *Vanilla planifolia* Andrews induced with growth-regulating chemicals. **Economic Botany**, 21, 351-357.
- Gribel, R. & Hay, J.D. 1993. Pollination ecology of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) in Central Brazil cerrado vegetation. **Journal of Tropical Ecology**, 9, 199-211.
- Groombridge, B. 1994. **IUCN Red List of threatened animals**. International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Switzerland, and Cambridge, UK.
- Hadley, A.S. & Betts, M.G. 2009. Tropical deforestation alters hummingbird movement patterns. **Biology Letters**, 5, 207-210.
- Hadley, A.S. & Betts, M.G. 2011. The effects of landscape fragmentation on pollination dynamics, absence of evidence not evidence of absence. **Biological Reviews**, 87, 526-544.
- Hagen, M.; Kissling, D.W.; Rasmussen, C.; De Aguiar, M.A.M.; Brown, L.; Carstensen, D.W.; Alves-Dos-Santos, I.; Dupont, Y.L.; Edwards, F.K.; Genini, J.; Guimarães, Jr.P.; Jenkins, G.B.; Jordano, P.; Kaiser-Bunbury, C.N.; Ledger, M.; Maia, K.P.; Darcie Marquitti, F.M.; McLaughlin, O.; Morellato, L.P.C.; O'gorman, E.J.; Trøjelsgaard, K.; Tylianakis, J.M.; Vidal, M.M.; Woodward, G. & Olesen J. M. 2012. Biodiversity, species interactions and ecological networks in a fragmented world. **Advances in Ecological Research**, 46, 89-210.
- Harris, F.L. & Johnson, S.D. 2004. The consequences of habitat fragmentation for plant-pollinator mutualisms. **International Journal of Tropical Insect Science**, 24, 29-43.
- Hellyer, A. 2011. **Credit Valley Conservation Authority**. Available at <http://www.monarchlab.org/Lab/Rearing/>.
- Henry, M.; Beguin, M.; Requier, F.; Rollin, O.; Odoux, J.F.; Aupinel, P.; Aptel, J.; Tchamitchian, S. & Decourtye A. 2012. A common pesticide decreases foraging success and survival in honeybees. **Science**, 336, 348-350.
- Hilton-Taylor, C. 2000. **2000 IUCN red list of threatened species**. Gland, Switzerland, IUCN.
- Hingston, A.B. & McQuillan, P.B. 1998. Does the recently introduced bumblebee *Bombus terrestris* (Apidae) threaten Australian ecosystems? **Australian Journal of Ecology**, 23, 39-549.
- Holl, K.D. 2006. Nectar Resources and Their Influence on Butterfly Communities on Reclaimed Coal Surface Mines. **Restoration Ecology**, 3, 76-85.
- Hoover, S.E.R., Ladley, J.J., Shchepetkina, A.A., Tisch, M., Gieseg, S.P. & Tylianakis, J.M. 2012. Warming, CO₂, and nitrogen deposition interactively affect a plant-pollinator mutualism. **Ecology Letters**, 15: 227-234.
- Imperatriz Fonseca, V.L., Canhos, D.A.L., Alves, D.A. & Saraiva, A.M. (Eds.). 2012. **Polinizadores no Brasil: Contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. São Paulo, EDUSP.

- Jacobson, S.K. 2009. **Communication Skills for Conservation Professionals**. 2nd ed. Washington, DC, Island Press, 461 pp.
- Jha, S. & C. Kremen. 2013. Bumble bee foraging in response to landscape heterogeneity. **Proceedings of the National Academy of the Sciences**, 8, 555-558.
- Johansen, C.A. & Mayer, D.F. 1990. **Pollinator Protection: a Bee and Pesticide Handbook**. Cheshire, CT, Wicwas Press, 212 p.
- Johnson, R.M.; Ellis, M.D.; Mullin, C.A. & Frazier, M. 2010. Pesticides and honey bee toxicity -
- Jordano, P.; Vázquez, D.P. & Bascompte, J. 2009. Redes complejas de interacciones mutualistas planta-animal. *In*: Medel R, Zamora R, Aizen M, Dirzo R (eds.), **Interacciones Planta-Animal y la Conservación de la Biodiversidad**. Santiago, Chile, Editorial Universitaria.
- Julier, H.E. & Roulston, T.H. 2009. Wild Bee Abundance and Pollination Service in Cultivated Pumpkins: Farm Management, Nesting Behavior and Landscape Effects. **Journal of Economic Entomology**, 102, 563-573.
- Kaiser-Bunbury, C.N.; Muff, S.; Memmott, J.; Müller, C.B. & Caffisch, A. 2010. The robustness of pollination networks to the loss of species and interactions: a quantitative approach incorporating pollinator behaviour. **Ecology Letters**, 13, 442-452.
- Kalko, E.K.V.; Herre, E.A. & Handley, Jr.C.O. 1996. Relation of fig fruit characteristics to fruit-eating bats in the new and old world tropics. **Journal of Biogeography**, 23, 565/576.
- Kearns, C. & Inouye, D. 1997. Pollinators, Flowering plants, and conservation biology. **Bioscience**, 47, 297-307.
- Kearns, C.; Inouye, D. & Waser, N. 1998. Endangered mutualisms: The conservation of Plant-Pollinator Interactions. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 29, 83-112.
- Kennedy, C.M.; Lonsdorf, E.; Neel, M.C.; Williams, N.M. *et al.* 2013. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. **Ecology Letters**, 16, 5 584-599.
- Kevan, P.G. 1977. Blueberry crops in Nova Scotia and New Brunswick - pesticides and crop reductions. **Canadian Journal of Agricultural Economics**, 25, 61-64.
- Kiers, E.T.; Palmer, T.M.; Ives, A.R.; Bruno, J.F. & Bronstein, J.L. 2010. Mutualisms in a changing world: an evolutionary perspective. **Ecology Letters**, 13, 1459-1474.
- Kiill L.H.P.; Haji F.N.P. & Lima P.C.F. 2000. Visitantes florais de plantas invasoras de áreas com fruteiras irrigadas. **Scientia Agricola**, 57, 575-580.
- Kinoshita, L.S.; Torres; R.B.; Forni-Martins, E.R.; Spinelli, T.; Ahn, Y.J. & Constâncio, S.S. 2006. Composição florística e síndromes de polinização e de dispersão da mata do Sítio São Francisco, Campinas, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 20, 313-327.
- Klein, A.M.; Vaissière, B.E.; Cane, J.H.; Steffan-Dewenter, I.; Cunningham, S. A.; Kremen, C. & Tscharntke, T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society B**, 274, 303-313.
- Kluser, S.U.; Neumann, P.; Chauzat, M.P. & Pettis, J.S. 2010. **UNEP Emerging Issues: Global Honey Bee Colony Disorders and Other Threats to Insect Pollinators**. Nairobi: United Nations Environmental Programme.
- Koob, G.A. 2000. Cabbage on a baseball bat. **Hawai Horticulture**, 3, 9-11.
- Kremen, C.; Williams, N.M. & Thorp, R.W. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. **Proceedings of the National Academy of the Sciences**, 99, 16812-16816.
- Kremen, C.; Williams, N.M.; Aizen, M.A.; Gemmill-Herren, B.; Leubhn, G.; Minckley, R.; Packer, L.; Potts, S.; Roulston, T.; Steffan-Dewenter, I.; Vázquez, D.P.; Winfree, R.; Adams, L.; Crone, E.E.; Greenleaf, S.S.; Keitt, T.H.; Klein, A.M.; Regetz, J. & Ricketts, T.H. 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. **Ecology Letters**, 10, 299-314.
- Krug, C.; Alves dos Santos, I. & Cane, J. 2010. Visiting bees of *Cucurbita* flowers (Cucurbitaceae) with emphasis on the presence of *Peponapis fervens* Smith (Eucerini - Apidae) - Santa Catarina, Southern Brazil. **Oecologia Australis**, 14, 128-139.
- Laurance, W.F.; Camargo, J.L.C.; Luizão, R.C.C.; Laurance, S.G.; Pimm, S.L.; Bruna, E.M.; Stouffer, P. C.; Williamson, G.B.; Benítez-Malvido, J.; Vasconcelos, H.L.; Van Houtan, K.S.; Zartman, C.E.; Boyle, S.A.; Didham, R.K.; Andrade, A. & Lovejoy, T.E. 2011. The fate of Amazonian forest fragments, a 32-year investigation. **Biological Conservation**, 144, 56-67.
- Law, B.S. & Lean, M. 1999. Common blossom bats (*Syconycteris australis*) as pollinators in fragmented Australian tropical rainforest. **Biological Conservation**, 91, 201-212.
- LeBuhn, G., Droege, S., Connor, E.F., Gemmill-Herren, B., Potts, S.G., Minckley, R.L., Griswold, T., Jean, R., Kula, E., Roubik, D.W., Cane, J., Wright, K.W., Frankie, G. & Parker, F. 2013. Detecting insect pollinator declines on regional and global scales. **Conservation Biology**, 27, 113-120.
- Lees, A. & Peres, C.A. 2008. Avian life history determinants of local extinction risk in a hyper-fragmented neotropical forest landscape. **Animal Conservation**, 11, 128-137.
- Lees, A.C. & Peres, C.A. 2006. Rapid avifaunal collapse along the Amazonian deforestation frontier, **Biological Conservation**, 133, 198-211.

- Longley, M. & Sotherton, N.W. 1997. Factors determining the effects of pesticides upon butterflies inhabiting arable farmland. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 61, 1-12.
- Lopes, A.V.; Medeiros, P.C.; Aguiar, A.V. & Machado, I.C. 2006. Esfingídeos. In: Kátia Cavalcanti Pôrto; Jarcilene Almeida Cortez; Marcelo Tabarelli. (Org.). **Diversidade biológica e conservação da floresta Atlântica ao norte do Rio São Francisco**. 1ª ed. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, v. único, p. 228-235.
- López-Urbe, M.M.; Oi, C.A. & Del Lama, M.A. 2008. Nectar-foraging behavior of euglossine bees (Hymenoptera: Apidae) in urban areas. **Apidologie**, 39, 410-418.
- Lorenzi, H. 1992. Árvores brasileiras: manual de cultivo e identificação de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, Plantarum, 384p.
- Lowry, J.L. 2007. **The Landscaping Ideas of Jays: A Natural History of the Backyard Restoration Garden**. Berkeley and Los Angeles, CA, University of California Press, 280 pp.
- Machado, A.B.M.; Martins, C.S.; Drummond, G.M. (Eds.). 2005. **Lista da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Incluindo as Espécies Quase Ameaçadas e Deficientes em Dados**. Belo Horizonte, Fundação Biodiversitas, 160 pp.
- Machado, C.G.; Coelho, A.G.; Santana, C.S. & Rodrigues, M. 2007. Beija-flores e seus recursos florais em uma área de campo rupestre da Chapada Diamantina, Bahia. **Brasileira de Ornitologia**, 15, 267-279.
- Machado, I.C. & Lopes, A.V. 2004. Floral traits and pollination systems in the caatinga, a Brazilian tropical dry forest. **Annals of Botany**, 94, 365-376.
- Mader, E.; Spivak, M. & Evans, E. 2010. **Managing Alternative Pollinators: A Handbook for Beekeepers, Growers, and Conservationists**. 162pp.
- Maia-Silva, C.; Silva, C.I.; Hrcir, M.; Queiroz, R.T. & Imperatriz-Fonseca, V.L. 2012. **Guia das plantas visitadas por abelhas na Caatinga**. 191 p.
- Malaspina, O. & Stort, A.C. 1983. DDT tolerance of africanized bees, italian bees (*Apis mellifera* linguistica) and their F1 hybrids (Hymenoptera: Apidae). **Journal of the Kansas Entomological Society**, 56, 74-79.
- Martins, A.C.; Gonçalves, R.B. & Melo, G.A.R. 2013. Changes in wild bee fauna of a grassland in Brazil reveal negative effects associated with growing urbanization during the last 40 years. **Zoologia**, 30, 157-176.
- Martins, R.L. & Gribel, R. 2007. Polinização de *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers. (Caryocaraceae) uma árvore emergente da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Botânica**, 30, 37-45.
- Maués, M.M. & Oliveira, P.E.A.M. 2010. Consequências da fragmentação do *habitat* na ecologia reprodutiva de espécies arbóreas em florestas tropicais, com ênfase na Amazônia. **Oecologia Australis**, 14, 238-250.
- Maués, M.M. 2002. Reproductive phenology and pollination of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bompl. Lecythidaceae) in eastern Amazonia, p.245-254. In: Kevan P, Imperatriz-Fonseca V L (eds.) **Pollination bees: the conservation link between agriculture and nature**. Brasília, Distrito Federal, Ministry of Environment, 313p.
- McFrederick, Q.S. & LeBuhn, G. 2006. Are urban parks refuges for bumble bees? **Biological Conservation**, 129, 372-382.
- McGregor, S.E. 1976. **Insect pollination of cultivated crops plants**. Washington, USDA, 411p.
- McIntyre N. 2000. Ecology of urban arthropods: A review and a call to action. **Annals of the Entomological Society of America**, 93, 825-35.
- McIntyre, N.E. & Hostetler, M.E. 2001. Effects of urban land use on pollinator (Hymenoptera: Apoidea) communities in a desert metropolis. **Basic and Applied Ecology**, 2, 209-218.
- McKinney, M.L. 2002. Urbanization, Biodiversity, and Conservation. **BioScience**, 52, 883-890.
- McKinney, M.L. 2008. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. **Urban Ecosystems**, 11, 161-176.
- Meeus, I.; Brown, M.J.; De Graaf, D.C. & Smagghe, G. 2011. Effects of invasive parasites on bumble bee declines. **Biological Conservation**, 25, 662-71.
- Memmott, J.; Craze, P.G.; Waser, N.M. & Price, M.V. 2007. Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. **Ecology Letters**, 10, 710-717.
- Memmott, J.; Waser, N.M. & Price, M.V. 2004. Tolerance of pollination networks to species extinctions. **Proceedings of the Royal Society of London, B.**, 271, 2605-2611.
- Mendonça, L.B. & Anjos, L. 2005. Beija-flores (Aves, Trochilidae) e seus recursos florais em uma área urbana do Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, 22, 51-59.
- Menz, M.H.; Phillips, R.D.; Winfree, R.; Kremen, C.; Aizen, M.A.; Johnson, S.D. & Dixon, K.W. 2011. Reconnecting plants and pollinators: challenges in the restoration of pollination mutualisms. **Trends in Plant Science**, 16, 4-12.
- Michener, C.D. 2007. **The bees of the world**. 2nd ed. Baltimore: The John Hopkins University Press.
- Mikich, S.B. 2002. A dieta dos morcegos frugívoros (Mammalia, Chiroptera, Phyllostomidae) de urn pequeno remanescente de Floresta Estacional Semidecidual do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, 19, 239-249.

- Milet-Pinheiro, P. & Schlindwein, C. 2005. Do euglossine bees (Apidae, Euglossini) leave tropical rainforest to collect fragrances in sugarcane monocultures? **Revista Brasileira de Zoologia**, 22, 853-858.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. **Ecosystems and human wellbeing: synthesis**. Washington DC, Island Press.
- Moilanen, A. & Hanski, I. 1998. Metapopulation dynamics: effects of habitat quality and landscape structure. **Ecology**, 79, 2503-2515.
- Morales, C.L. & Aizen, M.A. 2006. Invasive mutualisms and the structure of plant-pollinator interactions in the temperate forest of north-west Patagonia, Argentina. **Journal of Ecology**, 94, 71-180.
- Mori, S. 1992. The Brazil Nut Industry-Past, Present, and Future. pp. 241-251 *In*: Plotkin M. & Famolare, L. (eds.). **Sustainable Harvest and Marketing of Rain Forest Products**. Washington, D.C., Island Press. Available at www.nybg.org/bsci/braznut/.
- Morse, R.A. & Calderone, N.W. 2000. The value of honey bees as pollinators of U.S. crops in 2000. **Bee Culture** 2-15. Cornell University. Available at <http://www.masterbeekeeper.org/pdf/pollination.pdf>
- Muller, M.F. & Reis, N.R. 1992. Partição de recursos alimentares entre quatro espécies de morcegos frugívoros (Chiroptera, Phyllostomidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, 9, 345-355.
- Nabhan, G.P. 1996. Global list of threatened vertebrate wildlife species serving as pollinators for crops and wild plants. **Forgotten Pollinators**. Campaign, Arizona-Sonora Desert Museum, unpublished redbook, privately circulated.
- Nocelli, R.C.F.; Malaspina, O.; Carvalho, S.M.; Lourenço, C.T.; Roat, T.C.; Pereira, A.M. & Silva-Zacarin, E.C.M. 2012. As abelhas e os defensivos agrícolas. *In*: Imperatriz-Fonseca V.L.; Canhos D.A.L.; Saraiva, A.M. **Polinizadores no Brasil-contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. São Paulo, EDUSP.
- Nogueira-Neto, P. 1997. **Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão**. Nogueirapis. 445p.
- Nunes-Silva, P.; Roldão, Y; Silva, C.I.; Hrcncir, M. & Imperatriz-Fonseca, V.L. 2013. Stingless bees, *Melipona fasciculata*, as efficient pollinators of eggplant (*Solanum melongena*) in greenhouses. **Apidologie**, DOI: 10.1007/s13592-013-0204-y.
- Öckinger E, Schweiger O, Crist TO, Debinski DM, Krauss J, Kuussaari M, Petersen JD, Pöyry J, Settele J, Summerville KS & Bommarco R. 2010. Life-history traits predict species responses to habitat area and isolation: a cross-continental synthesis. **Ecology Letters**, 13, 969-79.
- Okuyama, T. & Holland, J.N. 2008. Network structural properties mediate the stability of mutualistic communities. **Ecology Letters**, 11, 208-216.
- Oldroyd, B. 2007. What's killing American honey bees? **PLoS Biology**, 5, e-168.
- Oliveira-Filho, A.T. & Oliveira, L.C.A. 1988. Biologia floral de uma população de *Solanum lycocarpum* St Hil (Solanaceae) em Lavras, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, 11, 23-32.
- Oliveira, R. & Schlindwein, C. 2009. Searching for a manageable pollinator for acerola orchards: the the solitary oil-collecting bee *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae: Centridini). **Journal of Economic Entomology**, 102, 265-273.
- Oliveira, R.C.; Menezes, C.; Soares, A.E.E. & Imperatriz-Fonseca, V.L. 2013. Trap-nests for stingless bees. **Apidologie**, 44, 29-37.
- Olschewski, R.; Tschardt, T.; Benítez, P.C.; Schwarze, S. & Klein, A. 2006. Economic evaluation of pollination services comparing coffee landscapes in Ecuador and Indonesia. **Ecology and Society**, 11, 7.
- Owen J. 1991. **The ecology of a garden: the first fifteen years**. Cambridge, Cambridge University Press.
- Owens, I.P.F. & Bennett, P.M. 2000. Ecological basis of extinction risk in birds: habitat-loss versus human persecution and introduced predators. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 97, 12144-12148.
- Paglia, A.P.; Fonseca, G.A.B.; Rylands, A.B.; Herrmann, G.; Aguiar, L.M.S.; Chiarello, A.G.; Leite, Y.L.R.; Costa, L.P.; Siciliano, S.; Kierulff, M.C.M.; Mendes, S.L.; Tavares, V.C.; Mittermeier, R.A. & Patton, J.L. 2012. Lista anotada dos mamíferos do Brasil / Annotated checklist of Brazilian mammals. 2nd ed. **Occasional Papers in Conservation Biology**, 6. Arlington, Conservation International.
- Pawelek, J.C.; Frankie, G.W.; Thorp, R.W. & Przybylaski, M. 2009. Modification of a community garden to attract native bee pollinators in urban San Luis Obispo, California. **Cities and the Environment**, 2, 1-20.
- Pereira-Vieira, P.F.S.P.; Cruz, D.O.; Gomes, M.F.M.; Campos, L.A.O. & Lima, J.E. 2010. Valor econômico da polinização por abelhas mamangavas no cultivo do maracujá-amarelo. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, 15, 43-53.
- Petit, S. & Pors, L. 1996. Survey of columnar cacti and carrying capacity for nectar-feeding bats on Curaçao. **Conservation Biology**, 10, 769-775.
- Pinheiro, J.N. & Freitas, B.M. 2010. Efeitos letais dos pesticidas agrícolas sobre polinizadores e perspectivas de manejo para os agroecossistemas brasileiros. **Oecologia Australis**, 14, 266-281.

- Pitts-Singer, T.L. & Bosch, J. 2010. Nest establishment, pollination efficiency, and reproductive success of *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Megachilidae) in relation to resource availability in field enclosures. **Environmental Entomology**, 39, 149-158.
- Potts, S.G.; Biesmeijer, J.C.; Kremen, C.; Neumann, P.; Schweiger, O. & Kunin, W.E. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology and Evolution**, 25, 345-353.
- Powell, J. 1981. Endangered habitats for insects: California coastal sand dunes. **Atala**, 6, 41-55.
- Purvis, A.; Gittleman, J.L.; Cowlshaw, G. & Mace, G.M. 2000. Predicting extinction risk in declining species. **Proceedings of the Royal Society of London B, Biological Sciences**, 267, 1947-1952.
- Quesada, M.; Stoner, K.E.; Rosas-Guerrero, V.; Palacios-Guevara, C. & Lobo, J.A. 2003. Effects of habitat disruption on the activities of nectarivorous bats (Chiroptera: Phyllostomidae) in a dry tropical forest: implications for the reproductive success of the Neotropical tree *Ceiba grandiflora*. **Oecologia**, 135, 400-406.
- Quintero, C.; Morales C.L. & Aizen, M.A. 2010. Effects of anthropogenic habitat disturbance on local pollinator diversity and species turnover across a precipitation gradient. **Biodiversity and Conservation**, 19, 257-274.
- Ribeiro, M.C.; Metzger, J.P.; Martensen, A.C.; Ponzoni, F.J. & Hirota, M.M. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, 142, 1141-1153.
- Ricketts, H.T. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinators activity in nearby coffee crops. **Conservation Biology**, 18, 1262-1271.
- Robinet, O.; Craig, J.L. & Chardonnet, L. 1998. Impact of rat species in Ouvea and Lifou (Loyalty Islands) and their consequences for conserving the endangered Ouvea Parakeet. **Biological Conservation**, 86, 223-232.
- Rocca, M.A. & Sazima, M. 2010. Beyond hummingbird-flowers: the other side of ornithophily in the neotropics. **Oecologia Australis**, 14, 67-99.
- Rocha, O.C. & Aguilar, G. 2001. Reproductive biology of the dry Forest tree *Enterolobium cyclocarpum* (guanacaste) in Costa Rica: a comparison between trees left in pastures and trees in continuous forest. **American Journal of Botany**, 88, 1607-1614.
- Roubik D.W. 1983. Nest and colony characteristics of stingless bees from Panama (Hymenoptera: Apidae). **Journal of Kansas Entomology Society**, 56, 327-355.
- Roulston, T.H & Goodell, K. 2011. The Role of Resources and Risks in Regulating Wild Bee Populations. Annual Review of Entomology, 56, 293-312.
- Rozen, J.G. & Ayala, R. 1987. Nesting biology of the squash bee *Peponapis utahensis* (Hymenoptera; Anthophoridae; Eucerini). **Journal New York Entomology Society**, 95, 28-33.
- Sabatino, M.; Maccera, N. & Aizen, M.A. 2010. Direct effects of habitat area on interaction diversity in pollination webs. **Ecological Applications**, 20, 1491-1497.
- Saraiva, L.C.; Cezar, O. & Monteiro, R. 1988. Biologia da polinização e sistema de reprodução de *Styrax camporum* Pohl e *S. ferrugineus* Nees et Mart. (Styracaceae). **Revista Brasileira de Botânica**, 11, 71-80.
- Sazima, M.; Buzato, S. & Sazima, I. 1999. Batpollinated flower assemblages and bat visitors at two atlantic forest sites in Brazil. **Annals of Botany**, 83, 705-712.
- Shepherd, M.; Buchmann, S.; Vaughan, M. & Black, S. 2003. **Pollinator Conservation Handbook**. Portland, OR: The Xerces Society for Invertebrate Conservation, 145 pp.
- Silva, C.I. 2009. Distribuição **espaço-temporal de recursos florais utilizados por *Xylocopa* spp. e interação com plantas de cerrado sentido restrito no Triângulo Mineiro**. 287p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.
- Silva, C.I.; Araujo, G.; Oliveira, P.E.A.M. 2012a. Distribuição vertical dos sistemas de polinização bióticos em áreas de cerrado sentido restrito no triângulo Mineiro, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, 26, 748-760.
- Silva, C.I.; Augusto, S.C.; Sofia, S.H. & Moscheta, I.S. 2007. Diversidade de abelhas em *Tecoma stans* (L.) Kunth (Bignoniaceae): Importância na polinização e produção de frutos. **Neotropical Entomology**, 36, 331-340.
- Silva, C.I.; Ballesteros, P.L.O.; Palmero, M.A.; Bauermann, S.G.; Evaldit, A.C.P. & Oliveira, P.E.A.M. 2010. **Catálogo Polínico - Palinologia aplicada em estudos de conservação de abelhas do gênero *Xylocopa***. Uberlândia, EDUFU, 154 p.
- Silva, C.I.; Bordon, N.G.; Rocha-Filho, L. & Garófalo, C.A. 2012c. The importance of plant diversity in maintaining the pollinator bee, *Eulaema nigrata* (Hymenoptera, Apidae) in sweet passion fruit fields. **Revista de Biologia Tropical**, 60, 1553-1565.
- Silva, C.I.; Maia-Silva, C.; Santos, F.A.R. & Bauermann, S.G. 2012d. O uso da palinologia como ferramenta em estudos sobre ecologia e conservação de polinizadores no Brasil. In: Imperatriz-Fonseca, V.L.; Canhos, D.A.L.; Alves, D.A. & Saraiva, A.M. (eds.) **Polinizadores no Brasil: Contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. São Paulo, SP, EDUSP, 369-384.
- Silva, C.I.; Oliveira, P.E.A.M. & Garófalo, C.A. 2012b. Manejo e conservação de polinizadores do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*). **Documentos EMBRAPA**, 248, 164-178.

- Silva, C.I., Marchi, P., Aleixo, K.P., Nunes-Silva, B., Freitas, B.M., Garófalo, C.A., Imperatriz-Fonseca, V.L., Oliveira, P.E.A.M & Alves-dos-Santos, I. 2014a. Manejo dos polinizadores e polinização das flores do maracujazeiro. Ed. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo e Ministério do Meio Ambiente do Brasil, 54p.
- Silva, C.I., Aleixo, K.P., Nunes-Silva, B., Freitas, B.M., Imperatriz-Fonseca, V.L. 2014b. Guia Ilustrado das Abelhas Polinizadoras no Brasil. Ed. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo e Ministério do Meio Ambiente, 64p.4
- Simberloff, D. & Von Holle, B. 1999. Positive interactions of nonindigenous species: invasional meltdown? **Biological Invasions**, 1, 21-32.
- Siqueira-Filho, J.A. & Machado, I.C. 2001. Biologia reprodutiva de *Canistrum aurantiacum* E. Morren em remanescente da Floresta Atlântica, Nordeste do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 15, 279-293.
- Spiesman, B.J. & Inouye, B.D. 2013. Habitat loss alters the architecture of plant-pollinator interaction networks. **Ecology**, doi: 10.1890/13-0977.1.
- Steffan-Dewenter, I.; Potts, S.G. & Packer, L. 2005. Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. **Trends in Ecology and Evolution**, 20, 651-652.
- Stein, B.A.; Kutner, L.S. & Adams, J.S. 2000. **Precious Heritage. The Status of Biodiversity in the United States**. New York, Oxford University Press.
- Templeton, A.R.; Shaw, K.; Routman, E. & Davis, S.K. 1990. The genetic consequences of habitat fragmentation. **Annals of Missouri Botanic Garden**, 77, 13-27.
- Thébault, E. & Fontaine, C. 2010. Stability of ecological communities and the architecture of mutualistic and trophic networks. **Science**, 329, 853-856.
- Tilman, D.; May, R.M.; Lehman, C.L. & Nowak, M.A. 1994. Habitat destruction and the extinction debt. **Nature**, 371, 65-66.
- Tommasi, D.; Miro, A.; Higo, H.A. & Winston, M.L. 2004. Bee diversity and abundance in an urban setting. **Canadian Entomology**, 136, 851-869.
- Torretta, J.P.; Medan, D. & Abrahamovich, A.H. 2006. First record of the invasive bumblebee *Bombus terrestris* (L.) (Hymenoptera, Apidae) in Argentina. **Transactions of the American Entomological Society**, 132, 285-289.
- Townsend, P.A. & Levey, D.J. 2005. An experimental test of whether habitat corridors affect pollen transfer. **Ecology**, 86, 466-475.
- Tscharntke, T. & Brandl, R. 2004. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. **Annual Review of Entomology**, 49, 405-430.
- Tylianakis, J.M.; Didham, R.K.; Bascompte, J. & Wardle, D.A. 2008. Global change and species interactions in terrestrial ecosystems. **Ecology Letters**, 11, 1351-1363.
- Tylianakis, J.M.; Laliberté, E.; Nielsen, A. & Bascompte, J. 2010. Conservation of species interaction networks. **Biological Conservation**, 143, 2270-2279.
- Umetsu, F.; Metzger, J.P. & Pardini, R. 2008. Importance of estimating matrix quality for modeling species distribution in complex tropical landscapes: a test with Atlantic forest small mammals. **Ecography**, 31, 359-370.
- Valiente-Banuet, A.; Arizmendi, M.; Rojas-Martinez, A. & Dominguez-Canseco, L. 1995. Ecological relationships between columnar cacti and nectar-feeding bats in Mexico. **Journal of Tropical Ecology**, 11, 1-17.
- Van Engelsdorp, D.; Evans, J.D.; Saegerman, C.; Mullin, C.; Haubruge, E.E.; Nguyen, B.; Frazier, M.; Frazier, J.; Cox-Foster, D.; Chen, Y.; Underwood, R.; Tarry, D.R. & Pettis, J.S. 2009. Colony Collapse Disorder: A Descriptive Study. **PLoS ONE**, 4, e6481.
- van der Valk, H.; Koomen, I.; Nocelli, R.C.F.; Ribeiro, M.F.; Freitas, B.M.; Carvalho, S.M.; Kasina, J.M.; Martins, D.; Mutiso, M.; Odiambo, C.; Kinuthia, W.; Gikungu, M.; Mauna, G.; Kypiab, P.; Blacquiére, T.; Van Der Steen, J.M.F.; Roessink, I.; Wassenberg, J.; Gremmil-Herren, B. 2012. Aspects determining the risk of pesticides to wild bees: risk profiles for focal crops on three continents. *Julius-Kühn Archives*, 437, 142-158.
- Vázquez, D.P. & Aizen, M.A. 2004. Asymmetric specialization: a pervasive feature of plant-pollinator interactions. **Ecology**, 85, 1251-1257.
- Vázquez, D.P. & Simberloff, D. 2003. Changes in interaction biodiversity induced by an introduced ungulate. **Ecology Letters**, 6, 1077-1083.
- Velthuis, H.H.W. & van Doorn, A. 2006. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. **Apidologie**, 37, 421-451.
- Vilhena, A.M.G.F.; Rabelo, L.S.; Bastos, E.M.A.F. & Augusto, S.C. 2012. Acerola pollinators in the savanna of Central Brazil: temporal variations in oil-collecting bee richness and a mutualistic network. **Apidologie**, 43, 51-62.
- Warren, M.S. 1992. The conservation of british butterflies. **The Ecology of Butterflies in Britain**. (ed. by R. L. H. Dennis). Oxford, Oxford University Press, 246-274.
- Waser, N.M.; Chittka, L.; Price, M.V.; Williams, N.M. & Ollerton, J. 1996. Generalization in pollination systems, and why it matters. **Ecology**, 77, 1043-1060.
- Whitehorn, P.R.; O'Connor, S.; Wackers, F.L. & Goulsen, D. 2012. Neonicotinoid Pesticide Reduces Bumble Bee Colony Growth and Queen Production. **Science**, 336, 351-352.

- Williams, N.M.; Crone, E.E.; Minckley, R.L.; Packer, L. & Potts, S.G. 2010. Ecological and life-history traits predict bee species responses to environmental disturbances. **Biological Conservation**, 143, 2280-2291.
- Winfree, R. 2010. The conservation and restoration of wild bees. In: Ostfeld R. & Schlesinger, W. (eds.) **The Year in Ecology and Conservation Biology**. New York, The New York Academy of Sciences, 169-197.
- Winfree, R., Griswold, T. & Kremen, C. 2007. Effect of human disturbance on bee communities in a forested ecosystem. **Conservation Biology**, 21, 213-223.
- Winfree, R.; Aguilar, R.; Vázquez, D.P.; LeBuhn, G. & Aizen, M.A. 2009. A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. **Ecology**, 90, 2068-2076.
- Winfree, R.; Bartomeus, I. & Cariveau, D.P. 2011. Native pollinators in anthropogenic habitats. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, 42, 1-22.
- Winter, K.; Adams, L.; Thorp, R.W.; Inouye, D.W.; Day, L.; Ascher, J. & Buchmann, S. 2006. Importation of non-native bumble bees into North America: potential consequences of using *Bombus terrestris* and other non-native bumble bees for greenhouse crop pollination in Canada, Mexico, and the United States. Pages 33. **A White Paper of the North American Pollinator Protection Campaign** (NAPCC).
- Yamamoto, M.; Silva, C.I.; Augusto, S.C.; Barbosa, A.A.A. & Oliveira, P.E. 2012. The role of bee diversity in pollination and fruit set of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* forma *flavicarpa*, Passifloraceae) crop in Central Brazil. **Apidologie**, 43, 51-62.
- Yanega, G.M. & Rubega, M.A. 2004. Feeding mechanisms: Hummingbird jaw bends to aid insect capture. **Nature**, 428, 615.

Corpo editorial de revisão

A qualidade da obra apresentada até aqui dependeu, em grande parte, das contribuições advindas das revisões criteriosas feitas pelos membros do corpo editorial de revisão. Abaixo nominamos aqueles que formalmente atuaram como revisores e com isso agradecemos a todos que contribuíram com críticas ou sugestões para a apresentação dessa obra no formato em que foi feita. Cada um dos capítulos foi lido e revisado pelo comitê organizador, pela revisora editorial Ceres Belchior e por dois assessores dentre os nominados abaixo, os quais atuaram de forma consultiva, cabendo aos autores a responsabilidade final pela redação apresentada.

Alexandre Magno Sebbenn

Alexandre Somavilla

André Rodrigo Rech

Antonio Carlos Webber

Bianca Baccili Zanotto Vigna

Carine Emer

Carlos D´Apolito

Carlos Eduardo Pereira Nunes

Carolina de Moraes Potascheff

Diana Sampaio

Eduardo Leite Borba

Eric de Camargo Smidt

Ester Serrão

Fábio Pinheiro

Felipe W. Amorim

Fernando Landa Sobral

Francismeire Jane Telles

Helder N. Consolaro

Hipólito Ferreira Paulino-Neto

Isabel Cristina Machado

Jeferson Vizentin-Bugoni

Kayna Agostini

Laércio P. Amaral-Neto

Leici Maria Machado Reichter

Leonardo Ré Jorge

Luisa G. Carvalheiro

Marcelo Casimiro Cavalcante

Marcelo Carnier Dornelas

Marcia Motta Maués

Marília Dantas e Silva

Marina Wolowski

Marlies Sazima

Mauricio Fernández Otárola

Montserrat Arista

Nelson S. Bittencourt-Jr.

Paulo Eugênio Oliveira

Pedro Joaquim Bergamo

Pedro L. Ortiz

Pietro Kiyoshi Maruyama

Priscilla Kelly Silva Barros

Roberta C. F. Nocelli

Rogério Faria

Suzana Alcantara

Tarcila de Lima Nadia

Thaysa Nogueira de Moura

Vinicius L. G. Brito



Este impresso foi produzido com papel proveniente de madeira certificada FSC® e de outras fontes controladas, garantindo o respeito ao meio ambiente e aos trabalhadores florestais (selo FSC® C071996).

Impresso no Brasil / Printed in Brazil





Esta publicação foi apoiada com recursos do projeto “Conservação e Manejo de Polinizadores para uma Agricultura Sustentável através de uma Abordagem Ecosistêmica”. Este projeto é apoiado pelo Fundo para o Meio Ambiente Global (GEF) e está sendo implementado em sete países: África do Sul, Brasil, Gana, Índia, Nepal, Paquistão e Quênia. O projeto é coordenado em nível global pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), com apoio do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). No Brasil, é coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), com apoio do Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO).

Projeto Polinizadores



Ministério do
Meio Ambiente



ISBN 978-85-68126-01-1

