



Insetos (Insecta: Hymenoptera, Lepidoptera e Odonata) e as Mudanças Climáticas

INSECTS (INSECTA: HYMENOPTERA, LEPIDOPTERA, AND ODONATA) AND CLIMATE CHANGE

GABRIEL VILA-VERDE¹, CÍNTIA RIBEIRO DOS SANTOS², GRECILANE SANTOS BOMFIM²

1 - MESTRANDO EM ZOOLOGIA PELA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ, ILHÉUS, BA, BRASIL.

2 - DOUTORANDA EM ZOOLOGIA PELA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ, ILHÉUS, BA, BRASIL.

EMAIL: GABVILAVERDE@GMAIL.COM, CRSANTOS1@UESC.BR, GRECILANESB@GMAIL.COM.

Abstract: The Earth's climate has been affected by human activities, triggering environmental changes that may affect biodiversity. Furthermore, climate change is related to a higher concentration of CO₂ in the atmosphere and a greater incidence of ultraviolet radiation. Combined with deforestation, agriculture, and urban sprawl, these changes disrupt the environment. Because insects are sensitive to disturbances they can be used as bioindicators, because the changes influence life cycle, geographical distribution limits, and nutrition of insects. This study is a literature review that has examined the effects of climate change on groups of aquatic insects (order Odonata) and terrestrial insects (orders Hymenoptera and Lepidoptera). Climate change has a significant impact on entomofauna, especially in its distribution.

Resumo: O clima da Terra tem sido afetado pelas atividades humanas, desencadeando mudanças ambientais que podem afetar a biodiversidade. Além disso, as mudanças climáticas estão relacionadas a uma maior concentração de CO₂ na atmosfera e maior incidência de radiação ultravioleta. Combinadas com desmatamento, agricultura e expansão urbana, as mudanças perturbam o meio ambiente. Como os insetos são sensíveis a distúrbios, eles podem ser usados como bioindicadores, devido à influência das mudanças sobre ciclo de vida, limites da distribuição geográfica e nutrição dos insetos. Este estudo analisou, a partir de revisão da literatura, os efeitos das mudanças climáticas sobre insetos aquáticos (ordem Odonata) e terrestres (ordens Hymenoptera e Lepidoptera). Conclui-se que as mudanças climáticas têm impacto significativo sobre a entomofauna, especialmente na sua distribuição.

Citation/Citação: Vila-Verde, G., Santos, C. R. dos, & Bomfim, G. S. (2021). Insetos (Insecta: Hymenoptera, Lepidoptera e Odonata) e as mudanças climáticas. *Terraê Didática*, 17(Publ. Contínua), 1-11, e021054. doi: 10.20396/td.v17i00.8667377.

Keywords: Biological diversity, Insect fauna, Bioindicators, Global Warming.

Palavras-chave: Biodiversidade, Entomofauna, Bioindicadores, Aquecimento Global.

Manuscript/Manuscrito:

Received/Recebido: 25/10/2021

Revised/Corrigido: 20/11/2021

Accepted/Aceito: 06/12/2021



Introdução

O último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*) demonstrou com uma robusta base de dados que as atividades humanas interferem no clima da Terra, que a temperatura do planeta aumentou desde o século XIX e que este aumento de mais de 1 °C foi determinado por ações antrópicas (IPCC, 2021). O aumento de temperatura desencadeou mudanças no clima da Terra, afetando todo o globo terrestre e as previsões são de modificações em padrões atmosféricos, na regularidade de chuvas e na frequência de eventos extremos, como inundações e secas (IPCC, 2021). As mudanças ambientais afetam todos os níveis de biodiversidade, de organismos únicos a biomas inteiros, causando mudanças drásticas no seu modo de vida, ecologia e biologia, ocasionando assim grandes alterações nos indivíduos,

populações, espécies e ecossistemas (Bertelsmeier et al. 2016, IPCC, 2021).

Nas últimas décadas, os efeitos das mudanças climáticas têm sido aparentes em todos os níveis de organização ecológica: mudanças na população e na história de vida, mudanças na distribuição geográfica, mudanças na composição de espécies das comunidades e mudanças na estrutura e funcionamento dos ecossistemas (McCarty, 2001, Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). As mudanças climáticas impactam os insetos de várias maneiras: mudança na fenologia, alterações no tamanho da população, nos padrões de migração e na distribuição dos insetos (Tryjanowski et al. 2010). Estas mudanças vêm ocorrendo de forma alarmante, deste modo o ritmo dos fatores climáticos pode ultrapassar a capacidade dos organismos de se adaptarem às alterações ambientais, constituindo uma ameaça à biodiversidade (Flynn et al. 2007, IPCC, 2021).

O declínio da biodiversidade de vertebrados aquáticos e terrestres tem sido uma preocupação mundial (Ceballos & Ehrlich, 2002, Pimm & Raven, 2000). Recentemente, pesquisadores indicaram um preocupante declínio de invertebrados, especialmente insetos (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). Os principais fatores de perda de biodiversidade estão relacionados a atividades humanas como caça, desmatamento, expansão e intensificação da agricultura, uso de agrotóxicos, industrialização e urbanização (Ceballos et al. 2017), que em conjunto ocasionaram uma invasão de 30-50% nos ecossistemas naturais até o final do século XX (Vitousek et al. 1997). Um dos fatores, também relacionado com a ação humana, que causa o declínio da biodiversidade de insetos é a mudança no clima (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019).

Os insetos (Classe Insecta) formam o grupo de seres vivos mais diverso, com mais de 1.000.000 de espécies descritas, sendo amplamente distribuídos nos ambientes terrestres e de água doce e realizando uma ampla variedade de interações ecológicas (Gullan & Cranston, 2017, Triplehorn & Johnson, 2011). Os insetos são exemplos de animais pecilotérmicos, que não conseguem manter a temperatura corpórea constante, sendo, portanto, suscetíveis a gradientes de temperatura (Gullan & Cranston, 2017). Deste modo, a distribuição geográfica de muitas espécies está relacionada à capacidade de completar seu ciclo de vida em condições particulares de temperatura e diversos fatores podem reduzir sua diversidade (Gullan & Cranston, 2017, Peacock & Worner, 2006). Insetos têm sido utilizados como indicador de qualidade ambiental devido a algumas peculiaridades como: ocorrência em diferentes sistemas aquáticos e terrestres, grupos que respondem de forma diferente às mudanças como espécies sensíveis e espécies tolerantes às diversas influências antrópicas, alta abundância e baixa capacidade de dispersão em alguns grupos (não migram rápido como os peixes, por exemplo), facilidade de coleta, adequando-se aos requisitos estabelecidos como fundamentais para serem bons indicadores biológicos (Cairns & Dickson, 1971, Hilty & Merenlender, 2000). Levando isto em consideração, Odonata, Hymenoptera e Lepidoptera, os táxons tratados neste artigo, têm relações taxonômicas relativamente claras, tamanho do corpo geralmente pequeno e sensibilidade a mudanças no ecossistema, tornando-os adequados como bioindicadores de conservação ambiental, e, conseqüentemente, sensíveis às

mudanças no clima (Hilty & Merenlender, 2000).

Este artigo não é um trabalho de revisão *strictu sensu*, mas tem a intenção de ser um texto de divulgação científica. Os artigos em que o trabalho se baseia foram obtidos a partir de busca no *Google Scholar* utilizando as palavras-chave “insects”, “climate change”, “review” mais o nome de cada ordem escolhida (e. g. insects+climatechange+review+odonata). A partir dos resultados, foram selecionados artigos do tipo: 1) revisões de literatura que descrevem os efeitos das mudanças climáticas nas populações e comunidades de insetos; 2) estudos observacionais baseados em robusto conjunto de dados e/ou com amplo esforço amostral que tratem do referido assunto; e 3) estudos de modelagem baseados em robusto conjunto de dados oriundos de considerável esforço de amostragem que abordem o tema referido. Diante disto, o objetivo deste trabalho é apresentar os impactos das mudanças climáticas na biodiversidade de alguns grupos de insetos, ressaltando a importância dos insetos para os ecossistemas e para a vida humana. Deste modo, com base em estudos de diversas regiões do globo, apresenta-se uma ordem de insetos aquáticos (Odonata) e duas ordens de insetos terrestres (Hymenoptera e Lepidoptera) (Fig. 1). Neste trabalho, os táxons de insetos foram escolhidos por serem os grupos de estudo e interesse dos autores, além de sua importância ecológica e adequação para o uso como bioindicadores de saúde ambiental.

Insetos e Mudanças Climáticas

Ordem Odonata

Os odonatos, popularmente conhecidos como libélulas e donzelinhas, são insetos hemimetábolos (que não passam por metamorfose completa) relativamente grandes e na sua maioria possuem cores vibrantes (Borror et al. 1989, Gullan & Cranston, 2017). Na fase de ninfa, se desenvolvem em ambientes aquáticos como rios, lagos, poças de água e ambientes fitotelmatafitotelmata (pequenos corpos d'água localizados em plantas terrestres, e.g. água em bromélias) (Borror et al. 1989, Gullan & Cranston, 2017). Quando adultos, vivem em ambientes terrestres, encontrando-se usualmente voando ou pousados nas proximidades de água (Borror et al. 1989). Possuem ciclo de vida longo, com fase de ninfa podendo alcançar até dois anos (Corbet, 1980), sendo afetados por diferentes alterações ambientais, como aumento

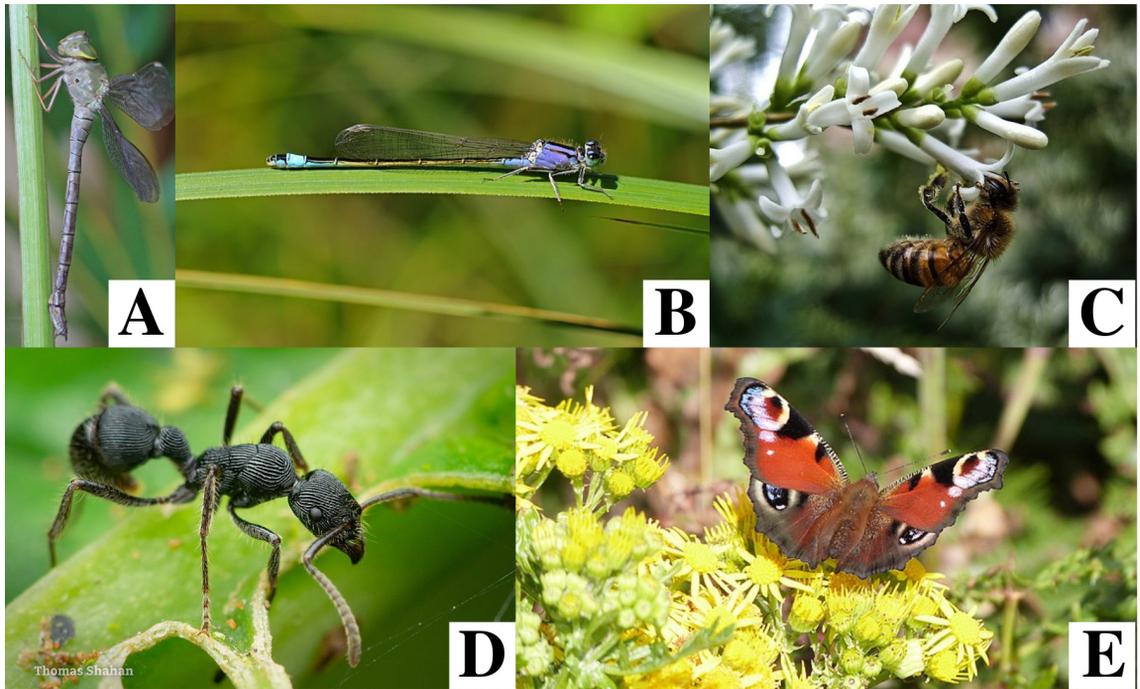


Figura 1. Algumas espécies de insetos das ordens apresentadas neste trabalho. A) Libélula representante da subordem Anisoptera, ordem Odonata (foto por Bogusław Daraż). B) Donzelinha representante da subordem Zygoptera, ordem Odonata (foto por Thomas Bresson). C) Abelha (família Apidae) representando a ordem Hymenoptera (foto por Stéphane Lebouché). D) Formiga (família Formicidae) representando a ordem Hymenoptera (foto por Thomas Shahan). E) Borboleta (família Nymphalidae) representando a ordem Lepidoptera (foto por Peter Broster)

ou diminuição drástica da temperatura. Na fase adulta vivem cerca de dois meses, tempo utilizado para procurar parceiros e se acasalar. Ao longo de todos os estádios (fases de desenvolvimento) são predadores, alimentando-se de diversos insetos e de outros organismos (Borror et al. 1989).

Divididos nas subordens Anisoptera (libélulas) e Zygoptera (donzelinhas), os odonatos possuem características morfológicas, ecológicas e comportamentais que permitem que táxons do grupo sejam utilizados como indicadores das alterações nos ambientes (Valente-Neto et al. 2016, Rodrigues et al. 2018) em áreas prioritárias destinadas à conservação (Simaika & Samways, 2012), especialmente na região Neotropical, que abrange o México até o norte da Argentina, onde há uma das maiores biodiversidades do grupo (Hamada et al. 2014).

Muitos estudos têm abordado os efeitos das alterações climáticas sobre o futuro da biodiversidade buscando encontrar medidas para minimizar ou controlar os impactos futuros (Boggs, 2016). Os efeitos das alterações climáticas podem operar à escala de indivíduo, população, interação ao nível de comunidade, rede trófica e bioma (Bellard et al. 2012). No caso das libélulas, que

são extremamente dependentes dos ecossistemas aquáticos e terrestres, os impactos sobre esses ambientes podem influenciar na permanência e reprodução dos adultos e no desenvolvimento de imaturos (Oliveira Jr. et al. 2015). As alterações de habitat podem afetar a capacidade de termorregulação, escolha de parceiros, disponibilidade de locais e substratos para adultos assim como a oferta de recursos e habitats para o desenvolvimento de imaturos (De Marco Jr. et al. 2015).

As espécies da subordem Anisoptera, em relação à subordem Zygoptera, apresentam um maior tamanho corporal e uma alta capacidade de termorregulação, características que dão às espécies do grupo uma maior capacidade de dispersão e uma maior independência da temperatura ambiental (Calvão et al. 2018, De Marco Jr. et al. 2015, Rodrigues et al. 2018). São encontrados em áreas mais abertas, com exceção de alguns grupos, como a família Gomphidae, cujos adultos são habitualmente encontrados em áreas de vegetação mais densa, e as ninfas geralmente estão associados a córregos ou rios de água limpa e correntes com sedimentos arenosos (Garrison et al. 2009).

Já os Zygoptera em geral são menos ativos, apresentam menor tamanho corporal e são mais

dependentes da temperatura ambiental para regulação da temperatura corporal (Corbet & May, 2008, De Marco Jr. et al. 2015). São encontrados principalmente em ambientes mais preservados e possuem uma baixa capacidade de dispersão (Corbet & May, 2008, De Marco Jr. et al. 2015). Portanto, sua maior especificidade de habitat e pouca capacidade de dispersão, quando comparado a Anisoptera, torna-os mais suscetíveis à extinção local em caso de perda ou mudança de habitat (Corbet & May, 2008, De Marco Jr. et al. 2015). As libélulas são bons indicadores de ambiente preservado e alterado (Hilty & Merenlender, 2000, Oliveira Jr. & Juen, 2019). Oliveira Jr. e Juen (2019) criaram um índice que utiliza as libélulas como indicador biológico de córregos da Amazônia. Recentemente, Ribeiro et al. (2020) testaram o mesmo índice para córregos da Mata Atlântica. Estes estudos mostraram a importância de um ambiente preservado para a conservação de libélulas especialistas de floresta, sugerindo que usos da terra para agricultura, pecuária e desmatamento podem causar alteração ambiental, mudanças no clima e consequentemente extinção local dessas espécies (Ribeiro et al. 2020).

Simaika & Samways (2012) utilizaram libélulas como indicador biológico para analisar os riachos da África do Sul. Segundo os autores o declínio da biodiversidade aquática é cinco vezes maior quando comparado com o declínio da biodiversidade terrestre (Simaika & Samways, 2012). Então concluíram que índices bióticos, além de serem de fácil aplicabilidade, trazem uma resposta rápida em relação às alterações causadas no ambiente aquático em decorrência das alterações humanas associadas a mudanças no clima (Simaika & Samways, 2012).

Sánchez-Bayo & Wyckhuys (2019) fizeram uma revisão sobre o declínio mundial da entomofauna e suas causas. Segundo os autores, Odonata e Ephemeroptera estão entre as ordens de insetos aquáticos mais ameaçadas, sendo afetadas não só espécies especialistas de floresta, mas também as espécies consideradas comuns e generalistas (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). De acordo com Sánchez-Bayo & Wyckhuys (2019), as principais causas de perda de biodiversidade destes grupos estão relacionadas às atividades humanas, como caça e perda de habitat por desmatamento, expansão e intensificação agrícola, industrialização e mudanças climáticas (Fig. 2).

Ordem Hymenoptera

Os Hymenoptera, conhecidos popularmente como vespas, formigas e abelhas, possuem desenvolvimento holometábolo (ovo, larva, pupa e adulto ou imago), são conhecidos desde o Triássico Superior e constituem uma grande e diversa ordem de insetos, com mais de 153.000 espécies descritas (Peters et al. 2017). Esta ordem abriga espécies que são pragas, como algumas formigas na agricultura, podem ser também predadores e parasitoides, como as vespas parasitoides, além de muitos serem polinizadores, como as abelhas (Costa Jr. & Oliveira, 2014, Melo, 2014, Costa et al. 2016).

As vespas não parasitoides variam de tamanho médio a grande (5,5 até 25,0 mm de comprimento), possuem cor variável, geralmente amarela com marcas negras (Carpenter & Marques, 2001). De acordo com Carpenter & Marques (2001), todos os vespídeos constroem ninhos, usurpam ninhos ou ocupam cavidades preexistentes nas quais nidificam. As vespas podem ser organismos solitários, sociais e raramente eussociais (Rafael et al. 2012). As vespas, por possuírem um alto grau de associação com os humanos e por serem bastante agressivas, apresentam ameaças toxicológicas para os humanos, e as espécies que não são polinizadoras ao forragear atuam como vetores de microrganismos patogênicos, sendo um problema à saúde sanitária (Prezoto, 1999, Tryjanowski et al. 2010). No entanto, estes organismos possuem grande importância ecológica e econômica; muitos são predadores de inúmeras pragas agrícolas e, consequentemente, agentes valiosos no controle biológico destas (Prezoto, 1999). Sem a ação controladora dos himenópteros predadores e parasitoides de insetos, as populações dos herbívoros aumentariam consideravelmente, causando sérios prejuízos às espécies vegetais por eles consumidas (Costa et al. 2016).

Os figos (*Ficus* spp.) têm um mutualismo reciprocamente obrigatório com as vespas-do-figo (Agaonidae) (Jevanandam et al. 2013). Jevanandam et al. (2013) observaram em seu trabalho a influência das mudanças climáticas por meio do aquecimento global e o potencial de extinção das vespas-do-figo, supondo que o tamanho pequeno e a vida curta desses polinizadores os tornam mais vulneráveis às mudanças climáticas. Jevanandam et al. (2013) testaram as tolerâncias térmicas de quatro espécies de vespa-de-figo da região equatorial, concluindo que um aumento de 3 °C ou mais acima das temperaturas atuais deverá diminuir acentua-

damente a expectativa de vida adulta ativa de todas as quatro espécies, o que poderá afetar vários níveis tróficos, uma vez que plantas de figos são centros de redes de animais especialistas e generalistas.

As vespas sociais são potencialmente interessantes predadoras de outros insetos, principalmente dípteros, estando presentes tanto no habitat urbano quanto no rural (Tryjanowski et al. 2010). Dejean et al. (2011) testaram a hipótese de que estes tipos de vespas são sensíveis às variações climáticas, estudando o impacto dos eventos El Niño nas populações de vespas sociais na Guiana Francesa. Dejean et al. (2011) concluíram que as mudanças climáticas recentes provavelmente resultaram em menos colônias de vespas sociais porque reduziram a resistência das vespas a parasitoides e patógenos. Segundo Dejean et al. (2011), as vespas sociais neotropicais podem ser consideradas bioindicadores porque destacam o impacto das mudanças climáticas ainda não perceptíveis nas plantas e em outros animais.

As formigas (Formicidae) constituem uma das famílias de insetos mais comuns e bem estudadas (Rafael et al. 2012). A presença da glândula metapleural, de um pecíolo e antena angular em operárias e fêmeas tornam as formigas diferentes de qualquer outro himenóptero (Fernández, 2003). São insetos sociais presentes em todos os substratos florestais de ambientes terrestres, encontradas em grande abundância, diversidade e riqueza, atuando em todos os níveis tróficos. As formigas são bioindicadoras ambientais (Harada, 2016) que formam colônias complexas, com grande disponibilidade de alimentos, o que permite a interação destas com diversos outros organismos (Uppstrom, 2010). De acordo com Bertelsmeier et al. (2016), as mudanças climáticas e invasões biológicas estão entre as maiores ameaças à biodiversidade. E as formigas são um grupo de elevado interesse entre as espécies invasoras devido aos seus impactos negativos sobre as espécies nativas, processos ecossistêmicos, saúde humana e animal, agroecossistemas e economia (Bertelsmeier et al. 2016).

Bertelsmeier et al. (2016) examinaram os mecanismos pelos quais as mudanças climáticas afetarão futuras invasões de formigas e pesquisaram se sua interação poderia levar a um efeito sinérgico, com a descrição de três modelos: os modelos de distribuição de espécies, os modelos mecanísticos e os modelos acoplados. Bertelsmeier et al. (2016) concluíram que, no geral, é improvável que as mudanças climáticas aumentem sistematicamente

as invasões de formigas. No entanto, várias formigas invasoras beneficiar-se-ão de maior temperatura e, portanto, terão potencial para uma maior disseminação (Bertelsmeier et al. 2016). O estudo desses organismos juntamente com os efeitos das mudanças climáticas permitirão criar medidas de conservação e manejo para que os danos causados pelo seu crescimento acelerado e invasão aos diferentes habitats sejam mitigados (Bertelsmeier et al. 2016).

As abelhas (Apidae) possuem uma grande biodiversidade no mundo com cerca de 20.000 espécies descritas (Rafael et al. 2012), cujos indivíduos coletam pólen e néctar diretamente das flores para se alimentar (Silveira et al. 2002). No Brasil, ocorrem 1.678 espécies de abelhas, das quais 1.427 são consideradas polinizadoras (Lopes et al. 2021). Os organismos polinizadores são fundamentais e essenciais para a conservação da biodiversidade vegetal e manutenção da biodiversidade global, uma vez que fornecem serviços ecossistêmicos vitais para a agricultura e os sistemas naturais (Giannini et al. 2012b & Freitas et al. 2017).

Muitas espécies de abelhas nidificam em cavidades preexistentes, no solo ou em troncos de árvores, produzem células de cria e estocam pólen e néctar (Silveira et al. 2002). No geral, as abelhas possuem estruturas especializadas para o transporte de pólen e a maioria das espécies são solitárias, mas também podem ser sociais, com graus variados de socialidade, como a *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758) e as abelhas-sem-ferrão (tribo Meliponini) (Giannini et al. 2012a, Rafael et al. 2012). A abelha *A. mellifera* é um exemplo de espécie exótica estabelecida no Brasil que foi introduzida intencionalmente objetivando a produção de mel (Silveira et al. 2002). A introdução de espécies exóticas pode causar impactos e ameaçar os ecossistemas, habitats e as espécies nativas (Imperatriz-Fonseca et al. 2010). Estudos têm relatado o potencial de abelhas manejadas, principalmente de espécies exóticas, de afetar as espécies de abelhas silvestres, inclusive no Brasil (Mallinger et al. 2017, Paini, 2004). Os efeitos das abelhas manejadas sobre as outras abelhas tendem a ser negativos, incluindo a sobreposição no uso de recursos florais e a transmissão de patógenos (Mallinger et al. 2017, Paini, 2004).

A produção de muitas culturas agrícolas depende das abelhas, já que estas são polinizadoras exclusivas para diversas espécies (Freitas et al. 2017, Imperatriz-Fonseca et al. 2012). No entanto, o serviço ecossistêmico da polinização está ameaçado, e existem

evidências do declínio das populações das abelhas nativas que estão relacionadas diretamente com as mudanças globais, tais como a fragmentação e perda de habitats, mudanças no uso da terra e atividades agrícolas agressivas, invasões de espécies exóticas e mudanças climáticas (Giannini et al. 2012ab).

As mudanças climáticas estão entre as principais ameaças à polinização e já causaram mudanças na distribuição e fenologia de muitas espécies de abelhas (Kerr et al. 2015). Alguns estudos têm demonstrado que o aquecimento global pode gerar incompatibilidade espacial e temporal entre os polinizadores e as plantas, alterando períodos de florescimento e a disponibilidade do polinizador, ocasionando perda de sincronicidade entre as espécies que interagem e a consequente redução no sucesso reprodutivo das plantas, com impacto negativo mútuo, maior nas espécies botânicas e abelhas especializadas e que possuem interações exclusivas (Giannini et al. 2012ab, Hegland et al. 2009). Portanto o avanço das mudanças climáticas, com ênfase no aumento de temperatura, reduziria a produção de frutos e sementes devido à falta de polinização, além de afetar as populações de abelhas por escassez de recursos (Giannini et al. 2012b). O declínio das populações de espécies de abelhas já pode ser observado na natureza e pesquisas indicam que a maioria destas continuará a diminuir à medida que as mudanças climáticas progridem (Dew et al. 2019, Giannini et al. 2012ab, Kerr et al. 2015).

Ordem Lepidoptera

A ordem Lepidoptera, que inclui as borboletas e mariposas, é um dos grupos de animais com o maior número de espécies descritas, tendo até o momento cerca de 160.000 espécies catalogadas (Duarte et al. 2012, Mitter et al. 2017). Lepidópteros são insetos caracterizados pelas asas membranosas cobertas de escamas (Gullan & Cranston, 2017). Também são holometábolos, ou seja, passam por metamorfose completa e têm no seu ciclo de vida as fases de ovo, larva, pupa e imago (adulto) (Triplehorn & Johnson, 2011). As larvas (popularmente chamadas de lagartas) são predominantemente herbívoras, alimentando-se principalmente de folhas de plantas; no entanto, algumas espécies são detritívoras, como as traças (família Tineidae) (Gullan & Cranston, 2017). Já os adultos se alimentam principalmente de néctar, porém algumas espécies complementam sua dieta com excretas de outros animais e sais minerais de lama, enquanto outras são exclusivamente frugívoras (Gullan & Cranston, 2017, Oliveira et

al. 2014). Além disso, os lepidópteros podem sugar fluidos de mamíferos, como sangue, suor e lágrimas (Plotkin & Goddard, 2013)

Os lepidópteros têm importância econômica, principalmente por causarem danos às culturas agrícolas, sendo relatados como pragas agrícolas para espécies de Musaceae (bananeira), Rubiaceae (café), Euphorbiaceae (mandioca), Solanaceae (tomateiro, tabaco), Fabaceae (feijão, soja), Asteraeae (girassol), Caricaceae (mamoeiro), Malvaceae (algodão) e Poaceae (milho, sorgo), entre outras (Buzzi, 2013, Gallo et al. 2002, Montezano et al. 2018). Ademais, a sericultura (produção de seda), atividade desenvolvida principalmente nos Estados Unidos, Canadá e Brasil, depende do lepidóptero *Bombyx mori* Linnaeus 1758, o bicho-da-seda (Triplehorn & Johnson, 2011). Ainda, algumas espécies, quando no estágio de larva, podem provocar erucismo em seres humanos, caracterizado por irritação na pele, eventualmente ocasionando hemorragia e morte (Duarte et al. 2012, Lorini et al. 2007)

Ademais, os lepidópteros são ecologicamente relevantes, pois realizam serviços ambientais como a ciclagem de nutrientes e a polinização (Duarte et al. 2012). Assim, mariposas, mais especificamente esfingídeos (família Sphingidae), visitam dezenas de espécies de plantas no Brasil e são responsáveis pela polinização de várias delas, sendo os principais polinizadores de algumas espécies botânicas, como *Hancornia speciosa* Gomes (mangabeira) (Ávila Jr. et al. 2012). Além do papel ecológico fundamental, os Lepidoptera podem ser úteis bioindicadores de conservação ambiental por terem uma história de vida relativamente bem estudada, especialização na alimentação, terem sua taxonomia bem resolvida e serem fáceis de amostrar (Hilty & Merenlender, 2000). Estas últimas características também os tornam bons modelos para estudos de diversidade (Chiquetto Machado et al. 2018). Entretanto, apesar de a riqueza de borboletas e mariposas ser relativamente bem estudada no Brasil, há poucas pesquisas sistematizadas e de longo prazo sobre as comunidades e populações destes insetos, o que torna difícil a mensuração de eventuais efeitos das mudanças climáticas sobre sua diversidade (Chiquetto Machado et al. 2018, Haxaire & Mielke, 2019, Santos et al. 2008). Deste modo, existem poucos conjuntos de dados coletados ao longo de um amplo intervalo de tempo que permitam se fazer uma relação com as mudanças climáticas, e estes se concentram nas regiões Sudeste e Sul (Pérez et al. 2017). Globalmente, estudos de longo prazo com

comunidades e populações de lepidópteros também são raros e foram realizados principalmente na Europa, onde existem iniciativas governamentais para o monitoramento dos ecossistemas (Andrew et al. 2013, Breed et al. 2012, Wilson & Maclean, 2011).

Na região Neotropical, um dos poucos estudos que tentaram investigar mudanças em uma comunidade de lepidópteros a longo prazo foi realizado no Sudeste do Brasil, em localidade da Serra do Mar (Chiquetto Machado et al. 2018). Neste são comparados dados de duas amostragens de esfingídeos (Lepidoptera: Sphingidae) na mesma localidade em Salesópolis, a primeira entre 1948 e 1950 e a segunda entre 2012 e 2013. O estudo registrou 14 espécies que não tinham sido encontradas anteriormente, e demonstrou uma relativa estabilidade na comunidade de esfingídeos no local, a qual foi explicada pela localização da área estudada no grande fragmento de Mata Atlântica da Serra do Mar (Chiquetto Machado et al. 2018).

Apesar de as mudanças climáticas implicarem em outras alterações além do aumento da temperatura global, como aumento da incidência de radiação ultravioleta, concentração de CO₂ atmosférico e eventos climáticos extremos, muitos estudos têm se concentrado em relacionar as espécies e comunidades de lepidópteros com a mudança de temperatura, que é mais fácil de ser medida (Kocsis & Hufnagel, 2011). Além da facilidade de ser mensurada, a temperatura está estreitamente relacionada com o número de gerações anuais, no uso da planta hospedeira, no tempo de vida dos estágios imaturos e no comportamento reprodutivo dos lepidópteros, o que explica a proporção maior de estudos sobre o efeito deste fator (Gullan & Cranston, 2017, Kocsis & Hufnagel, 2011).

Mudanças climáticas impactam principalmente na abundância, distribuição geográfica e fenologia das mariposas e borboletas (Kocsis & Hufnagel, 2011, Wilson & Maclean, 2011). As mudanças na abundância incluem aumento ou decréscimo de indivíduos relacionados com o aumento da temperatura, enquanto as alterações na fenologia consistem num desenvolvimento mais lento ou mais rápido dos imaturos ou no número de gerações por ano (voltinismo) (Kocsis & Hufnagel, 2011). Já as alterações na distribuição podem consistir em diminuição da área de ocorrência e mudanças latitudinais na área de distribuição, e são relatadas a seguir:

Parmesan (1996) estudou uma espécie de borboleta, *Euphydryas editha* (Boisduval, 1852), que se

distribui do Canadá até o México, com base em dados de museus, coleções particulares e cadernos de campo, e registrou a ocorrência desta espécie em 151 localidades. A partir destes dados, a autora buscou verificar a existência recente de populações nestas localidades, chegando à conclusão de uma maior proporção de extinção nas populações ocorrentes em áreas de menor latitude, mais ao sul, atribuída ao aumento da temperatura média na área de ocorrência da espécie (Parmesan, 1996).

Parmesan et al. (1999) analisaram os limites de distribuição geográfica de 35 espécies de lepidópteros não migratórios que ocorrem do Norte da África à Europa Setentrional. Então, constataram que 65 % das espécies ampliaram seus limites de distribuição em direção ao norte, enquanto ocorreu um recuo concomitante do limite de distribuição ao sul em um terço delas (Parmesan et al. 1999). Simultaneamente, os autores registraram a extinção local de vários táxons em áreas mais ao sul, e atribuíram essa mudança ao aumento de 0,8 °C na temperatura da Europa no último século, considerando pouco significativo a influência da modificação no uso da terra na região (Parmesan et al. 1999).

Breed et al. (2012) realizaram um estudo a partir de quase 20.000 levantamentos conduzidos por naturalistas amadores entre 1992 e 2010, no estado de Massachusetts, Estados Unidos. Com estas informações os autores estimaram a tendência de abundância de 100 das 116 espécies registradas, e obtiveram dados que registraram o aumento da temperatura média no estado americano nos últimos 100 anos (Breed et al. 2012). Então, constataram uma tendência de declínio nas espécies com limites de distribuição ao norte (mais frio) de Boston, enquanto as espécies com o limites ao sul, mais quente, demonstraram um aumento na abundância (Breed et al. 2012). Além disso, verificaram a ocupação das áreas antes habitadas pelas espécies setentrionais por táxons adaptados a condições mais quentes oriundos de regiões mais ao sul (Breed et al. 2012).

Nos nove artigos que tratam da relação entre Lepidoptera e mudanças climáticas revisados por Wilson & Maclean (2011), são relatados a ligação entre mudanças no clima e um maior risco de extinção de espécies de lepidópteros, que está relacionado aos tamanhos da área de distribuição e das populações. Os estudos consultados foram realizados principalmente em regiões temperadas do planeta, com alguns poucos conduzidos nos trópicos (Wilson & Maclean, 2011).

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E INSETOS

Em resumo, pesquisas têm indicado que as borboletas e mariposas são sensíveis a mudanças no clima, principalmente ao aumento da temperatura. Como evidência, por exemplo, a densidade (indivíduos por área) populacional de lepidópteros tende a diminuir quanto maior a latitude, entretanto, espécies estão colonizando e aumentando sua abundância em áreas de maiores altitudes e latitudes (em comparação com a sua distribuição histórica), o que é imputado ao aquecimento global (Kocsis & Hufnagel, 2011). Além disso, estudos e revisões abrangentes mostram uma tendência de alterações

na distribuição geográfica em função da mudança no clima que incluem redução nos limites de distribuição, diminuição da abundância, extinção local, e migrações de populações para altitudes e latitudes maiores (Breed et al. 2012, Kocsis & Hufnagel, 2011, Parmesan, 1996, Parmesan et al. 1999, Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019, Wilson & Maclean, 2011). Entretanto, é necessário destacar que é difícil distinguir se determinadas alterações nas populações e comunidades se devem às mudanças climáticas ou se são motivadas por outros fatores, como a perda de habitat e o uso de agrotóxicos (Kocsis & Hufnagel, 2011, Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019).

Considerações Finais

A ampla quantidade de evidências científicas sobre as mudanças climáticas as tornam um fato observável. A mesma afirmação é válida para seus efeitos sobre a biodiversidade, em especial para os insetos, que mostraram ser indicadores eficazes na análise de impactos da mudança do clima nos ecossistemas. Entretanto, uma das dificuldades de mensurar os efeitos das mudanças climáticas nas espécies e comunidades de insetos é a escassez de dados préteritos desses animais que permitam comparações e correlações. Isto ocorre tanto em nível regional como global, com a maioria dos estudos sobre o assunto concentrados na Europa e na América do Norte.

Entretanto, as informações disponíveis apontam para consequências evidentes do aumento da

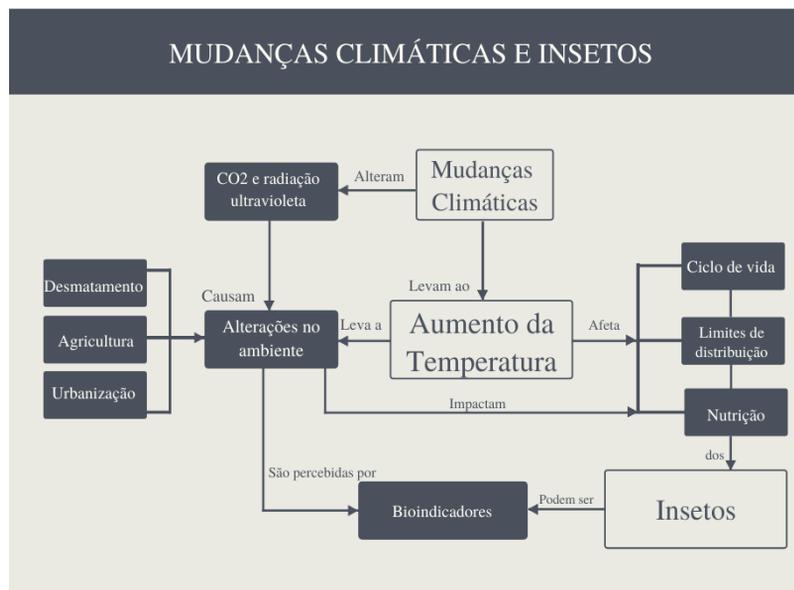


Figura 2. Mapa conceitual apresentando as consequências das mudanças climáticas para os insetos, com ênfase para o efeito do aumento da temperatura e uso de insetos como bioindicadores

temperatura na distribuição geográfica dos insetos. O aquecimento tem impacto também no ciclo de vida, na nutrição e nas interações interespecíficas de insetos. Além disso, extinções locais e declínios populacionais têm sido desencadeados pelas mudanças no clima. Inferem-se desses efeitos os impactos negativos nos serviços ecossistêmicos realizados pelos insetos; são serviços que têm valor econômico significativo, como a polinização e o controle de pragas, ou que são fundamentais para o equilíbrio dos ecossistemas, como a reciclagem de nutrientes. Ademais, alterações ecológicas podem desencadear eventos de multiplicação descontrolada de insetos-praga e vetores, ocasionando prejuízos econômicos e sanitários.

Agradecimentos

Agradecemos à Professora Doutora Simone Nunes Brandão pelos comentários e sugestões que ajudaram a melhorar o texto.

Referências

- Andrew, N. R., Hill, S. J., Binns, M., Bahar, M. H., Ridley, E. V., Jung, M. P., & Khusro, M. (2013). Assessing insect responses to climate change: What are we testing for? Where should we be heading? *PeerJ*, 1, e11. doi: 10.7717/peerj.11.
- Ávila Jr., R. S., Oliveira, R., Pinto, C. E., Amorim, F. W., & Schlindwein, C. (2012). Relações entre Esfingídeos (Lepidoptera, Sphingidae) e flores no Brasil. *Panorama e perspectivas de uso de polini-*

- zadores. In: Imperatriz-Fonseca, V. L., Canhos, D. A. L., Alves, D. A., & Saraiva, A. M. (orgs.) (2012). *Polinizadores no Brasil: Contribuição e Perspectivas para a Biodiversidade, Uso Sustentável, Conservação e Serviços Ambientais*. São Paulo: EDUSP. p. 143-152.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15(4), 365-377. doi: 10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x
- Bertelsmeier, C., Light O. B., & Ourchamp F. C. (2016). Invasions of ants (Hymenoptera: Formicidae) in light of global climate change. *Myrmecological News*, 22, 25-42. URL: <http://max2.ese.u-psud.fr/cpc/conservation/PDFs/FutureAnts.pdf>. Acesso 25.07.2021.
- Boggs, C. L. (2016). The fingerprints of global climate change on insect populations. *Current Opinion in Insect Science*, 17, 69-73. doi: 10.1016/j.cois.2016.07.004.
- Borror, D. J., Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (1989). *An introduction to the study of insects*. 6 ed. Philadelphia: Saunders College Publ. 875p.
- Breed, G.A, Stichter, S., & Crone, E.E. (2012). Climate-driven changes in northeastern US butterfly communities. *Nature Climate Change*, 3(2), 142-145. doi: 10.1038/nclimate1663.
- Buzzi, Z. J. (2013). *Entomologia didática*. Curitiba: UFPR Editora. 579p.
- Cairns, J., & Dickson, K. (1971). A Simple Method for the Biological Assessment of the Effects of Waste Discharges on Aquatic Bottom-Dwelling Organisms. *Journal Water Pollution Control Federation*, 43(5), 755-772. URL: <http://www.jstor.org/stable/25037382>. Acesso 24.04.2021.
- Calvão, L. B., Juen, L., Oliveira Jr., J. M. B., Batista, J. D., & De Marco Jr., P. (2018). Land use modifies Odonata diversity in streams of the Brazilian Cerrado. *Journal of Insect Conservation*, 22(5), 675-685. doi: 10.1007/s10841-018-0093-5.
- Carpenter, J. M., & Marques O. M. (2001). *Contribuição ao estudo dos vespídeos do Brasil (Insecta, Hymenoptera, Vespidae, Vespidae)*. Salvador: Depto. Fitotecnia, Universidade Federal da Bahia. 147p.
- Ceballos, G., & Ehrlich, P. R. (2002). Mammal population losses and the extinction crisis. *Science*, 296(5569), 904-907. doi: 10.1126/science.1069349.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., & Dirzo, R. (2017). Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(30), E6089-E6096. doi: 10.1073/pnas.1704949114.
- Chiquetto Machado, P. I., Amorim, F. W., & Duarte, M. (2018). Long-term stability of the hawkmoth fauna (Lepidoptera, Sphingidae) in a protected area of Brazilian Atlantic Rain Forest. *Journal of Insect Conservation*, 22(2), 277-286. doi: 10.1007/s10841-018-0061.
- Corbet, P. S. (1980). Biology of odonata. *Annual review of entomology*, 25(1), 189-217. doi: 10.1146/annurev.en.25.010180.001201
- Corbet, P. S., & May, M. L. (2008). Fliers and perchers among Odonata: dichotomy or multidimensional continuum? A provisional reappraisal. *International Journal of Odonatology*, 11(2), 155-171. doi: <https://doi.org/10.1080/13887890.2008.9748320>.
- Costa Jr., C., & Oliveira, M. L. (2014). Taxonomia e distribuição geográfica das famílias de Hymenoptera depositadas na coleção de invertibrados do Inpa. Manaus: III Congresso de Iniciação Científica do INPA, 514-516. URL: https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/4811/1/pibic_inpa.pdf. Acesso 23.09.2021.
- Costa, E., Araújo, E., Fernandes, D. R. R., Silva, P. A. F., & Sales Jr., S. (2016). Diversidade e métodos de amostragem de Hymenoptera na cultura da melancia no semiárido. *Horticultura Brasileira*, 34, 257-264. doi: 10.1590/S0102-053620160000200017.
- De Marco Jr., P., Batista, J. D., & Cabetle H. S. R. (2015). Community assembly of adult odonates in tropical streams: an ecophysiological hypothesis. *PLoS One*, 4, 1-17. doi: 10.1371/journal.pone.0123023.
- Dejean, A., Cereghino, R., Carpenter, J. M., Corbara, B., Hérault, B., Rossi, V., & Bonal, D. (2011). Climate change impact on Neotropical social wasps. *PLoS One*, 6(11), e27004. doi: 10.1371/journal.pone.0027004.
- Dew, R. M., Silva, D. P., & Rehan, S. M. (2019). Range expansion of an already widespread bee under climate change. *Global Ecology and Conservation*, 17, e00584. doi: 10.1016/j.gecco.2019.e00584.
- Duarte, M., Marconato, G., Specht, A., & Casagrande, M. M. (2012). Lepidoptera Linnaeus, 1758. In: Rafael, J.A., Melo, G.A.R., Carvalho, C. J. B., Casari, S.A., & Constantino, R. (eds.). 2012. *Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia*. Ribeirão Preto: Holos Editora. p. 625-682.
- Fernández, F. (2003). *Introducción a las hormigas de la región Neotropical*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 398 p.
- Flynn, J. J., Wyss, A. R., & Charrier, R. (2007). South America's missing mammals. *Scientific American*, 296(5), 68-75. doi: 10.1038/scientificamerican0507-68.
- Freitas, P. V. D. X., Ribeiro, F. M., Almeida, E. M., Zanata, R. A., Alves, J. J. L., Oliveira, V. F., & Faquinello, P. (2017). Declínio populacional das abelhas polinizadoras: Revisão. *Pubvet*, 11(1), 1-10. doi: 10.22256/pubvet.v11n1.1-10.
- Gallo, D., Nakano, O., Neto, S. S., Carvalho, R. P. L., Batista, G. C.,... Filho, E. B. (2002). *Entomologia Agrícola*. Piracicaba: FEALQ. 920p.
- Garrison, R. W. (2009). A synopsis of the genus *Telebasis* (Odonata: Coenagrionidae). *International Journal of Odonatology*, 12(1), 1-121. doi: 10.1080/13887890.2009.9748331.
- Giannini, T. C., Acosta, A. L., Garófalo, C. A., Saraiva, A. M., Santos, I. A., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2012). Pollination services at risk: Bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. *Ecological Modelling*, 244, 127-131. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2012.06.035.
- Giannini, T. C., Acosta, A. L., Saraiva, A. M., Santos, I. A., & Garófalo, C. A. (2012). Impactos de mudanças climáticas em abelhas solitárias: um estudo de caso envolvendo duas espécies de *Centris*. In: Imperatriz-Fonseca, V. L., Canhos, D. A. L., Alves, D. A., & Saraiva, A. M. (orgs.) (2012). *Polinizadores no Brasil: Contribuição e Perspectivas para a Biodiversidade, Uso Sustentável, Conservação e Serviços Ambien-*

- tais. São Paulo: EDUSP 335-348.
- Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (2017). *Insetos: fundamentos de entomologia*. 5ª edição. Rio de Janeiro: Roca. 460p.
- Hamada, N., Nessimian, J. L., & Querino, R. B. (2014). *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. Manaus: Ed. INPA. 724p.
- Harada, A.Y. (2016). State of Art of Ants (Hymenoptera: Formicidae) at Caxiuanã, Melgaço, Pará, Brazil. *Advances in Entomology*, 4, 115-132. doi: 10.4236/ac.2016.43013.
- Haxaire, J., & Mielke, C. G. C. (2019). A revised and annotated checklist of the Brazilian Sphingidae with new records, taxonomical notes, and description of one new species (Lepidoptera Sphingidae). *The European Entomologist*, 11 (3+4), 101-187.
- Hegland, S. J., Nielsen, A., Lázaro. A., Bjercknes, A. L., & Totland, O. (2009). How does climate warming affect plant-pollinator interactions? *Ecology Letters*, 12(2), 184-195. doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01269.x.
- Hilty, J., & Merenlender, A. (2000). Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation*, 92 (2), 185-197. doi: 10.1016/S0006-3207(99)00052-X.
- Imperatriz-Fonseca, V. L., Canhos, D. A. L., Alves, D. D. A., & Saraiva, A. M. (2012). *Polinizadores no Brasil: Contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais*. São Paulo: EDUSP. 488p.
- IPCC [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., ... & Zhou, B. (eds.)]. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. In Press. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FullReport>. Acesso 23.09.2021.
- Jevanandam, N., Goh, A. G. R., & Corlett R. T. (2013). Climate warming and the potential extinction of fig wasps, the obligate pollinators of figs. *Biology Letters*, 9(3), 20130041-20130041. doi: 10.1098/rsbl.2013.0041.
- Kerr, J. T., Pindar, A., Galpern, P., Packer, L., Potts, S. G., Roberts, S. M., & Pantoja, A. (2015). Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*, 349(6244), 177-180. doi: 10.1126/science.aaa7031.
- Kocsis, M., & Hufnagel, L. (2011). Impacts of climate change on Lepidoptera species and communities. *Applied Ecology and Environmental Research*, 9(1), 43-72. doi: 10.15666/aecer/0901_043072.
- Lopes, A. V., Porto, R. G., Cruz-Neto, O., Peres, C. A., Viana, B. F., Giannini, T. C., & Tabarelli, M. (2021). Neglected diversity of crop pollinators: Lessons from the world's largest tropical country. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(4), 500-504. doi: 10.1016/j.pecon.2021.06.004.
- Lorini, L. M., Zarbin, P.H., & Tedesco, C.D. (2007). Biology of laboratory-reared *Lonomia obliqua* (Lepidoptera: Saturniidae). *Florida Entomologist*, 90(4), 770-771. doi: 10.1653/0015-4040(2007)90[770:BOLLLOL]2.0.CO;2.
- Mallinger, R. E., Gaines-Day, H. R., & Gratton, C. (2017). Do managed bees have negative effects on wild bees? A systematic review of the literature. *PloS One*, 12(12), e0189268. doi: 10.1371/journal.pone.0189268.
- McCarty, J. P. (2001). Ecological Consequences of Recent Climate Change. *Conservation Biology*, 15(2), 320-331. doi: 10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x.
- Melo, G. A. R. (2014). *Sistemática, Diversidade e Biologia de insetos da Ordem Hymenoptera*. Curitiba: Depto. Zool., Univ. Fed. do Paraná. URL: http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-12/projeto_044_2014.pdf. Acesso 24.04.2021.
- Mitter, C., Davis, D. R., & Cummings, M. P. (2017). Phylogeny and evolution of Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, 62, 265-283. doi: 10.1146/annurev-ento-031616-035125.
- Montezano, D. G., Specht, A., Sosa Gómez, D. R., Roque Specht, V. F., Sousa Silva, J. C., Paula Moraes, S. D., & Hunt, T. E. (2018). Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2), 286-300. doi: 10.4001/003.026.0286.
- Oliveira Jr., J. M. B. de., & Juen, L. (2019). The Zygoptera/Anisoptera Ratio (Insecta: Odonata): a New Tool for Habitat Alterations Assessment in Amazonian Streams. *Neotropical Entomology*, 48, 552-560. doi: 10.1007/s13744-019-00672-x.
- Oliveira Jr., J. M. B., Shimano, Y., Gardner, T. A., Hughes, R. M., De Marco Jr., P., & Juen, L. (2015). Neotropical dragonflies (Insecta: Odonata) as indicators of ecological condition of small streams in the eastern Amazon. *Austral Ecology*, 40(6), 733-744. doi: 10.1111/aec.12242.
- Oliveira, R., Duarte, J.A.J., Rech, A. R., & Ávila Jr., R.S. (2014). Polinização por Lepidoptera. In: Rech, A. R., Agostini, K., Oliveira, P. E., & Machado, I. C. (Eds.). (2014). *Biologia da polinização*. Rio de Janeiro: Projeto Cultural. p. 235-257.
- Paini, D. R. (2004). Impact of the introduced honey bee (*Apis mellifera*) (Hymenoptera: Apidae) on native bees: a review. *Austral ecology*, 29(4), 399-407. doi: 10.1111/j.1442-9993.2004.01376.x.
- Parmesan, C. (1996). Climate and species' range. *Nature*, 382(6594), 765-766. doi: 10.1038/382765a0.
- Parmesan, C., Ryrholm, N., Stefanescu, C., Hill, J. K., Thomas, C. D., Descimon, H., & Warren, M. (1999). Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, 399(6736), 579-583. doi: 10.1038/21181.
- Peacock, L., Worner, S. (2006). Using analogous climates and global insect distribution data to identify potential sources of new invasive insect pests in New Zealand. *New Zealand Journal of Zoology*, 33, 141-145. doi: 10.1080/03014223.2006.9518438.
- Pérez, J. H., Gaviria Ortiz, F. G., Santos, W. I. G., Carneiro, E., Mielke, O. H. H., & Casagrande, M. M. (2017). Long term survey of the butterfly fauna of Curitiba, Paraná, Brazil: How does a scientific collection gather local biodiversity information? (Lepidoptera: Papilionoidea). *SHILAP Revista de Lepidopterologia*, 45(179), 433-446.
- Peters, R. S., Krogmann, L., Mayer, C., Donath, A., Gunkel, S., Meusemann, K., ... & Niehuis, O. (2017). Evolutionary history of the Hymenoptera.

- Current Biology*, 27(7), 1013-1018. doi: 10.1016/j.cub.2017.01.027.
- Pimm, S., & Raven, P. (2000). Extinction by numbers. *Nature*, 403, 843-845. doi: 10.1038/35002708.
- Plotkin, D., & Goddard, J. (2013). Blood, sweat, and tears: a review of the hematophagous, sudrophagous, and lachryphagous Lepidoptera. *Journal of Vector Ecology*, 38(2), 289-294. doi: 10.1111/j.1948-7134.2013.12042.x.
- Prezoto, F. (1999). Vespas: A importância das vespas como agentes no controle biológico de pragas. *Revista Biotecnologia*, 2(9), 24-26.
- Rafael, J. A., Melo, G. A. R., Carvalho, C. J. B., Casari, S. A., & Constantino, R. (Eds.). 2012. *Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia*. Ribeirão Preto: Holos Ed. 810p.
- Ribeiro, C., Juen L., & Rodrigues, M. E. (2020). The Zygoptera/Anisoptera ratio as a tool to assess anthropogenic changes in Atlantic Forest streams. *Biodiversity and Conservation*, 30(5), 1315-1329. doi: 10.1007/s10531-021-02143-5.
- Rodrigues, M. E., Roque, F. D. O., Guillermo Ferreira, R., Saito, V. S., & Samways, M. J. (2018). Egg-laying traits reflect shifts in dragonfly assemblages in response to different amount of tropical forest cover. *Insect Conservation and Diversity*, 12(3), 231-240. doi: 10.1111/icad.12319.
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. (2019). World-wide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8-27. doi: 10.1016/j.biocon.2019.01.020.
- Santos, E. D., Mielke, O. H. H., & Casagrande, M. M. (2008). Inventários de borboletas no Brasil: estado da arte e modelo de áreas prioritárias para pesquisa com vistas à conservação. *Natureza & Conservação*, 6(2), 178-200.
- Silveira, F. S., Melo, G. A. R., & Almeida, E. A. B. (2002). Abelhas brasileiras: sistemática e identificação. Belo Horizonte: Silveira, F. S., 253 p. URL: <https://www.researchgate.net/publication/280112185>. Acesso 29.11.2021.
- Simaika, J. P., & Samways, M. J. (2012). Using dragonflies to monitor and prioritize lotic systems: a South African perspective. *Organisms Diversity & Evolution*, 12(3), 251-259. doi: 10.1007/s13127-012-0104-4.
- Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (2011). *Estudo dos insetos*. São Paulo: Cengage Learning. 766p.
- Tryjanowski, P., Pawlikowski, T., Pawlikowski, K., Banaszak-Cibicka, W., & Sparks, T. H. (2010). Does climate influence phenological trends in social wasps (Hymenoptera: Vespinae) in Poland? *European Journal of Entomology*, 107(2), 203-208. doi: 10.14411/eje.2010.027.
- Uppstrom, K. A. (2010). Mites (Acari) associated with the ants (Formicidae) of Ohio and the harvester ant, *Messor pergandei*, of Arizona. Columbus: The Ohio State University. (Tese Doutorado). URL: https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_olink/r/1501/10?clear=10&p10_accession_num=osu1279217236. Acesso 25.07.2021.
- Valente Neto, F., Roque, F. D. O., Rodrigues, M. E., Juen, L., & Swan, C. M. (2016). Toward a practical use of Neotropical odonates as bioindicators: testing congruence across taxonomic resolution and life stages. *Ecological Indicators*, 61(2), 952-959. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.10.052.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Matlino, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499. doi: 10.1126/science.277.5325.494.
- Waser, N. M., Chittka, L., Price, M. V., Williams, N. M., & Ollerton, J. (1996). Generalization in pollination systems, and why it matters. *Ecology*, 77(4), 1043-1060. doi: 10.2307/2265575.
- Willmer, P. (2011). *Pollination and floral ecology*. Princeton: Princeton University Press. 792p. doi: 10.1515/9781400838943.
- Wilson, R. J., & Maclean, I. M. D. (2011). Recent evidence for the climate change threat to Lepidoptera and other insects. *Journal of Insect Conservation*, 15(1), 259-268. doi: 10.1007/s10841-010-9342-y.