

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
CÂMPUS DOIS VIZINHOS

INGRID HOELTGEBAUM ANDRADE ROCHA

**O IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS INSETOS: UMA
REVISÃO CIENCIOMÉTRICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DOIS VIZINHOS - PR
2021

INGRID HOELTGEBAUM ANDRADE ROCHA

**O IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS INSETOS: UMA REVISÃO
CIENCIOMÉTRICA**

The impact of climate change on insects: a scientometric review

Trabalho de conclusão de curso de graduação,
apresentada como requisito para obtenção do
título de Licenciado em Ciências Biológicas da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientadora: Profa. Dra. Daiara Manfio
Zimmermann.

DOIS VIZINHOS – PR
2021



Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais.
Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORD. CURSO LICEN. CIEN. BIOLÓGICAS-DV

TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso nº ___

O impacto das mudanças climáticas nos insetos: uma revisão cientométrica

por

INGRID HOELTGEBAUM ANDRADE ROCHA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 14 horas e 00 minutos do dia 27 de agosto de 2021, como requisito parcial para obtenção do título de biólogo (Curso Superior em Ciências Biológicas – Licenciatura, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos). O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos membros abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dra. Dienes Aparecida de Oliveira Sereia
UTFPR - DV

Profa. Dra. Daiara Manfio Zimmermann
Orientador UTFPR - DV

Profa. Dra. Michele Potrich
UTFPR-DV

Profa. Dra. Daniela Aparecida Estevan
Coordenadora do Curso de Ciências Biológicas
UTFPR - DV

"A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso"

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a minha mãe por investir na minha educação e por me incentivar, desde criança, a ser curiosa sobre o mundo e buscar pelo conhecimento.

Agradeço a minha orientadora Dra. Daiara Manfio Zimmermann por me orientar e me contribuir com a construção do presente trabalho.

Ao meu amigo Alex Batista Trentin, temo que palavras não sejam suficientes para expressar meu carinho e gratidão por nossa amizade, mas agradeço por estar ao meu lado nos melhores e piores momentos, por me apoiar ao longo da nossa jornada pela graduação e ajudar a tornar a distância da minha cidade natal e família mais suportável.

A minha amiga Vanessa Patrícia dos Santos, por ter me ensinado sobre tantas coisas essenciais ao longo da nossa amizade que de certa forma contribuíram para a construção de uma parte da pessoa que sou hoje, por ser paciente, acolhedora, me apoiar e estar presente em todos os momentos importantes.

A todos, muito obrigada.

RESUMO

ROCHA, Ingrid Hoeltgebaum Andrade. **O impacto das mudanças climáticas nos insetos: uma revisão cienciométrica.** 2021. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas – Licenciatura), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2021.

Prevê-se que as mudanças climáticas tenham grandes efeitos sobre a biodiversidade, estando relacionadas ao declínio desta nos próximos anos. Os insetos são organismos susceptíveis a variações climáticas. Consequentemente, a biologia, funções ecológicas e interações intra e interespecífica dos insetos podem ser afetadas neste cenário. Dessa forma, o presente trabalho investigou por meio de uma revisão cienciométrica, o estado atual do conhecimento sobre os impactos das mudanças climáticas nos insetos. Para tal, foi utilizada a plataforma *Web of Science* para a coleta de dados, 2110 documentos (artigos, acesso antecipado, anais de evento e conferências) foram selecionados e extraídos para serem analisados no *software CiteSpace* e no *Microsoft Excel*. As publicações começaram em 1992, o período que apresentou o maior número de publicações e citações foi 2020. O país que apresentou maior número de publicações e colaborações foi os Estados Unidos. As áreas do conhecimento com maior número de publicações foram Ecologia e Ciências Ambientais, seguida por Entomologia. A palavra-chave de maior ocorrência nos documentos foi *climate change*. Os elementos climáticos de maior e menor frequência foram temperatura e pressão atmosférica, respectivamente. Já a ordem de insetos mais abordada foi Lepidoptera e os tópicos mais estudados foram distribuição, interação inseto-planta, fenologia, abundância e tolerância térmica. Assim, o presente trabalho proporciona uma visão global sobre as pesquisas em torno do assunto, buscando contribuir, a partir da apresentação das lacunas e tendências, com estudos futuros nessa área.

Palavras-chave: Alterações climáticas. Aquecimento global. Estudo dos insetos. Cienciométrica.

ABSTRACT

ROCHA, Ingrid Hoeltgebaum Andrade. **The impact of climate change on insects: a scientometric review.** 2021. 58f. Course Completion Work (Graduation in Biological Sciences - Degree), Federal University of Technology - Paraná. Dois Vizinhos, 2021.

It's predicted that climate change will have major effects on biodiversity, related to its decline in the coming years. Insects are organisms susceptible to climate change. Consequently, the biology, ecological functions and intra and interspecific interactions of insects can be affected in this scenario. Thus, it's essential to know the research that is being developed on the subject so it's possible to understand the extent of the impacts that climate change has on these invertebrates and how it will affect humans and all ecosystems. Therefore, the present work investigated, through a scientometric review, the current state of knowledge about the impacts of climate change on insects. For such, the Web of Science platform was used for data collection, 2110 documents (articles, early access, proceeding paper) were selected and extracted to be analyzed in the CiteSpace software and in Microsoft Excel. Publications began in 1992, the period with the highest number of publications and citations was 2020. The country with the highest number of publications and collaborations was United States. The areas of knowledge with the largest number of publications was Environmental Sciences Ecology, followed by Entomology. The most frequent keyword in the documents was climate change. The climatic elements with the highest and lowest frequency were temperature and atmospheric pressure, respectively. The most discussed insect order was Lepidoptera and the most studied topics were distribution, insect-plant interaction, phenology, abundance and thermal tolerance. Thus, this work provides a global view of research on the subject, seeking to contribute, from the presentation of gaps and trends, with future studies in this area.

Keywords: Climate change. Global warming. Study of insects. Scientometrics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

- Figura 1** — Processos da realização da pesquisa cientiométrica.....24
- Figura 2** — Número de publicações por país27
- Figura 3** — Rede de conexões entre países. Os círculos amarelos representam os nós e seu tamanho está relacionado ao valor da centralidade. As linhas que partem desses nós representam as ligações que este está fazendo com outro(s) nó(s). As cores das linhas representam os anos em que essas conexões foram feitas e sua espessura indica a força da conexão entre um nó e outro.....28
- Figura 4** — Rede de conexões e centralidade de categorias (áreas do conhecimento). Os círculos amarelos representam os nós e seu tamanho está relacionado ao valor da centralidade. As linhas que partem desses nós representam as ligações que este está fazendo com outro(s) nó(s). As cores das linhas representam os anos em que essas conexões foram feitas e sua espessura indica a força da conexão entre um nó e outro.....31
- Figura 5** — Conexões entre as palavras-chave mais frequentes. Cada nó representa uma palavra-chave e possui anéis coloridos distintos em seu interior que remetem ao ano em que a palavra-chave foi citada. A espessura de cada anel é correspondente ao número de citações que a palavra-chave recebeu em um determinado ano.....32
- Figura 6** — Explosão de citação para palavras-chave começando pelo ano de 1992 até 2021. A barra azul representa o período de 1992 a 2021 enquanto a barra vermelha o período de tempo em que a palavra-chave foi citada.34
- Figura 7** — Os oito autores com maior explosão de citação entre os anos de 1992 a 2021. A barra azul representa o período de 1992 a 2021 enquanto a barra vermelha o período de tempo em que o autor foi citado.37
- Figura 8** — Frequência de elementos climáticos abordados nas pesquisas sobre mudanças climáticas e insetos em %40
- Figura 9** — Frequência de ordens de insetos.....42

GRÁFICOS

- Gráfico 1** — Emissões totais de dióxido de carbono no Brasil em 2019 15
- Gráfico 2** — Diferença de temperatura média anual global 16
- Gráfico 3** — Número de publicações e citações entre os de 1992 e 2021.....26
- Gráfico 4** — Frequência das áreas de conhecimento.....29

Gráfico 5 — Revistas que publicam sobre o assunto mudanças climáticas e insetos	39
--	----

TABELAS

Tabela 1 — Estimativa da contribuição dos animais para a polinização de culturas agrícolas (em %)	18
Tabela 2 — Os dez artigos com maior número de citações entre os anos de 1992 e 2021	35
Tabela 2 — Os 10 artigos mais citados entre os anos de 1992 e 2021	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS: HISTÓRICO, CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS	12
2.2 INSETOS EM UM MUNDO DE MUDANÇAS	18
2.3 CIENCIOMETRIA: A QUANTIFICAÇÃO DA CIÊNCIA.....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 PUBLICAÇÕES E CITAÇÕES	26
4.2 PAÍSES.....	27
4.3 ÁREAS DO CONHECIMENTO	29
4.4 PALAVRAS-CHAVE	31
4.5 PUBLICAÇÕES MAIS CITADAS E BURST DE CITAÇÃO DE AUTORES	34
4.6 REVISTAS	39
4.7 ELEMENTOS CLIMÁTICOS	40
4.8 ORDENS DE INSETOS E TÓPICOS ESTUDADOS	41
5 CONCLUSÕES.....	44
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

“Mudança climática” é um termo utilizado para denotar variações de longo prazo no clima e nos padrões meteorológicos mundiais, como: alterações na distribuição da precipitação e temperatura, mudanças na intensidade das tempestades e na circulação oceânica (RICKLEFS; RELYEA, 2016). Essas variações sempre foram comuns no planeta Terra, estando presentes desde sua formação. Elas são, portanto, naturais. Porém, nos últimos anos, é perceptível o quanto os elementos dessas variações, como a temperatura, estão sendo influenciados pelas ações antrópicas (NOBRE *et al.*, 2012).

Em cenários futuros é esperado, como consequências dessas mudanças, eventos climáticos cada vez mais intensos e frequentes como inundações, secas, tempestades, ondas de calor e incêndios (GRIMM *et al.*, 2018). As mudanças climáticas têm impacto direto não só na vida humana como também podem ser uma ameaça em potencial para a biodiversidade, uma vez que afetam a diversidade de genes, de espécies e habitats (RINAWATI *et al.*, 2013). Os insetos, pequenos invertebrados ectotérmicos, podem ser influenciados por essas alterações visto que sua temperatura corporal varia de acordo com o ambiente externo, o que pode implicar em sua biologia, funções ecológicas e interações intra e interespecíficas (AUAD; FONSECA, 2017).

Os serviços ecológicos prestados por esses organismos como polinização, dispersão de sementes, decomposição de matéria orgânica e controle de pragas são essenciais para que a vida humana persista. Nos Estados Unidos, é estimado que o serviço ecológico fornecido pelos insetos tenha um valor aproximado de 57 bilhões de dólares por ano (LOSEY; VAUGHAN, 2006). Dentre esses insetos, as abelhas são capazes de movimentar bilhões de dólares por ano só nos Estados Unidos, pois são capazes de aumentar as produções das culturas por meio da polinização (REILLY *et al.*, 2020; GARIBALDI *et al.*, 2021).

Infelizmente, estudos relatam o declínio nas populações de abelhas. Esse declínio é associado ao uso de defensivos agrícolas que acabam afetando o desenvolvimento, padrões de forrageamento, comportamento durante a alimentação e sistema nervoso desses insetos (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007; KOSIOR *et al.*, 2007; CAMERON *et al.*, 2011). Dessa forma, seu declínio pode afetar a segurança alimentar mundial, visto que com a redução da polinização há queda da produção, consequente aumento dos preços dos alimentos e sua compra ficará restrita à uma parcela mais favorecida da população (MARSHMAN; BLAY-PALMER; LANDMAN, 2019).

No Brasil, os polinizadores são responsáveis por uma contribuição econômica de US\$ 12 bilhões na renda agrícola anual total das culturas dependentes, cerca de 30% da produção total (em torno de US\$ 45 bilhões) (GIANNINI *et al.*, 2015). O valor do serviço ecossistêmico de polinização para a produção de alimentos no país em 2018, gerou em torno de R\$ 43 bilhões anuais, sendo as culturas analisadas polinizadas principalmente por alguma espécie de abelha (WOLOWSKI *et al.*, 2019).

Além disso, esses artrópodes são componentes chave da teia trófica de ecossistemas terrestres e de água doce. A maioria dos insetos são herbívoros e servem de alimento para uma variedade de predadores como peixes, lagartos, pássaros e, em muitas regiões do planeta, também são fonte de calorias e proteínas para humanos. Portanto, devido às relações e funções que os insetos exercem ao longo dessas teias tróficas, se houver uma redução na diversidade de insetos, os seres vivos que dependem deles direta ou indiretamente serão de alguma forma afetados (SCUDDER, 2017). Trabalhos recentes revelam o declínio na população mundial de insetos, o que pode levar à extinção de 40% das espécies desses animais nas próximas décadas (SÁNCHEZ-BAYO; WYCKHUYS, 2019).

Há diversas pesquisas que buscam prever e analisar os impactos causados pelas mudanças climáticas sobre os insetos (SCHWARTZBERG *et al.*, 2014; SCAVEN; RAFFERTY, 2013; WU *et al.*, 2020; DUDGEON; NG; TSANG, 2020; TEDER, 2020). Por exemplo, o declínio de espécies de mamangava da América do Norte e Europa está relacionado com o aumento da frequência de dias mais quentes (SOROYE *et al.*, 2020). Outro estudo, com base em projeções climáticas até 2080, investigou os efeitos das mudanças climáticas na viabilidade e distribuição espacial do grande-gafanhoto-do-pântano, *Stethophyma grossum* (L.) (Orthoptera), no noroeste da Alemanha. Em suas previsões, as mudanças climáticas seriam vantajosas para o gafanhoto, uma vez que haveria uma expansão de regiões adequadas para o desenvolvimento da espécie, acelerando seu desenvolvimento devido ao aquecimento por conta da redução do estresse hídrico. Portanto, medidas de controle provavelmente serão estabelecidas como uma forma de acompanhar e evitar problemas fitossanitários devido à expansão e aumento da densidade populacional desse inseto, caso essa previsão de fato ocorra (LEINS *et al.*, 2021).

Nesse sentido, a unificação de dados torna-se imprescindível para possibilitar uma visão global e multifacetada da influência dessas mudanças na ecologia dos insetos, buscando não somente um apelo científico, mas também contribuir para amenizar tais problemas. Assim, o campo de estudo da cienciometria proporciona, a partir de seus indicadores bibliométricos (número de trabalhos, coautorias, publicações do autor, instituição ou país, entre outros), formas

de evidenciar a importância de um determinado autor e tema bem como sua relevância (PARRA; COUTINHO; PESSANO, 2019). No que diz respeito aos insetos, há poucos trabalhos cienciométricos. No entanto, há estudos que analisam artigos publicados sobre abelhas entre os anos de 2004 a 2019 (SIVANKALAI, *et al.*, 2021) e que investigam sobre bioatividade de briófitas contra insetos fitófagos além de gerar panoramas em relação às técnicas biotecnológicas promissoras para esta linha de pesquisa, em âmbito mundial (ALVES; MIRANDA; TAVARES-MARTINS, 2020).

Diante disso, o presente trabalho pretende compreender o estado atual do conhecimento sobre os impactos das mudanças climáticas nos insetos por meio de uma revisão cienciométrica. Para isso, uma pesquisa quali-quantitativa foi realizada com o levantamento e análise de documentos selecionados em uma base de dados específica buscando esclarecer quais são as principais lacunas e tendências dentro deste campo de estudo, bem como quais elementos climáticos, tipos de estudos abrangendo os insetos (biologia, interações, distribuição, entre outros) e ordens de insetos estão sendo considerados nas publicações.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A fundamentação teórica do presente estudo está estruturada em três tópicos: Mudanças climáticas: histórico, causas e consequências; Insetos em um mundo de mudanças; e, Ciencimetria: a quantificação da ciência.

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS: HISTÓRICO, CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS

Sempre houve variações climáticas no planeta Terra, mas desde a revolução industrial alguns elementos climáticos, como a temperatura, estão sendo alterados (MONTEIRO *et al.*, 2021). As mudanças climáticas são alterações de longo prazo no clima e nos padrões meteorológicos mundiais (RICKLEFS; RELYEA, 2016). A temperatura média global, no ano de 2020, estava em torno de 15°C com base no aumento de 1,02°C em relação média da temperatura global entre os anos de 1951 – 1980 (14°C) (NASA, 2021; NASA EARTH OBSERVATORY, 2021?). Esse valor é mantido devido a um fenômeno natural denominado efeito estufa (MOLION, 2008).

O efeito estufa é o que possibilita que a Terra permaneça aquecida, pois os gases que o constituem, conhecidos como gases de efeito estufa (GEEs), absorvem e retêm parte da energia

solar, mantendo assim a temperatura do planeta. Se não fosse pelo efeito estufa, o planeta Terra seria um local extremamente frio (MOLION, 2008; BARRY; CHORLEY, 2003).

É inegável que as atividades antrópicas são as que mais contribuem com as mudanças climáticas, uma vez que alteram os níveis dos GEEs presentes na atmosfera (vapor d'água (H₂O), gás carbônico (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), ozônio (O₃) e clorofluorcarbonetos (CFCs) (SANCHEZ, 2009; BARRY; CHORLEY, 2003). Tais alterações intensificam o efeito estufa e conseqüentemente levam a um aumento da temperatura média global (MONTEIRO *et al.*, 2021).

Em 1980 já eram visíveis as preocupações em torno desses gases sendo, nesse ano, descoberto pelos cientistas um “buraco” na camada de ozônio, na região da Antártida. A descoberta causou inúmeros debates dentro da comunidade científica, pois a camada formada pelo ozônio na estratosfera atua como um filtro solar contra a radiação ultravioleta (CURI, 2011; LEITE, 2015). Cinco anos após a descoberta, ocorreu a Convenção de Viena sobre a Camada de Ozônio. Nessa convenção, foram discutidos os efeitos de materiais químicos na camada de ozônio, o que levou posteriormente a criação do Protocolo de Montreal (1987) para restringir o uso desses materiais (CURI, 2011).

Com os avanços científicos e a crescente tensão envolvendo as mudanças climáticas, surgiu a necessidade iminente de avaliar as produções científicas da área. Logo, em 1988, foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ONU), o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês). O IPCC realiza um levantamento global das informações científicas e emite relatórios com o conteúdo coletado como uma forma de auxiliar os países na tomada de decisões políticas sobre o assunto (TILIO NETO, 2010).

Quatro anos após a criação do IPCC, foi sediado na cidade do Rio de Janeiro um dos maiores eventos que teve como pauta as questões ambientais: a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como Rio-92 e Eco-92. Foi nessa conferência que seis importantes documentos foram desenvolvidos: a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Carta da Terra); a Agenda 21; a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação; a Convenção sobre Diversidade Biológica; a Declaração de Princípios sobre Uso de Florestas e a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática (CQNUMC) (VIEIRA, 2012).

A CQNUMC teve por objetivo estabilizar as concentrações de GEEs na atmosfera como uma forma de evitar danos causados pelas ações antrópicas no sistema climático (BRASIL, 1998). As partes dessa convenção (países signatários da CQNUMC) se reúnem

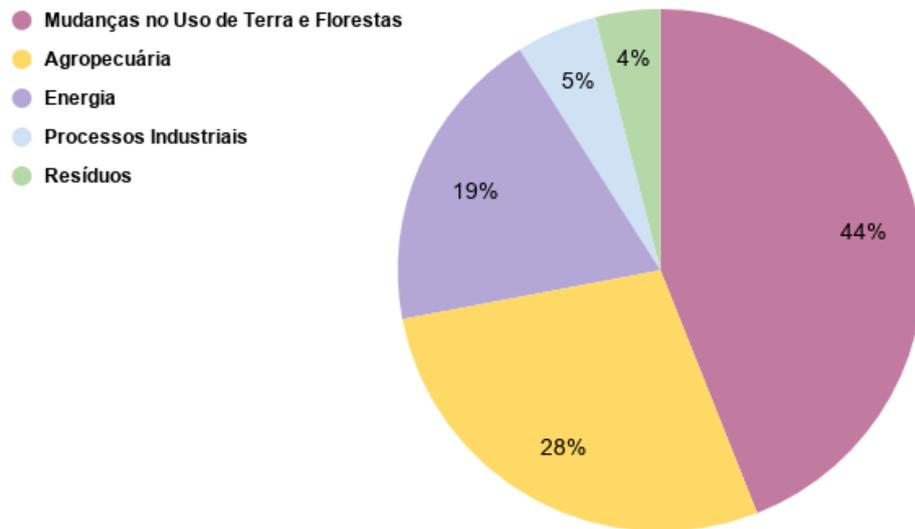
anualmente, desde 1995 (COP1), para debater sobre as questões climáticas. Uma das edições mais conhecidas dessa convenção foi a COP3 de 1997, na qual foi aprovado o Protocolo de Kyoto. O Anexo B desse protocolo impõe condições rígidas aos países industrializados ao quantificar a necessidade de redução das suas emissões de gases do efeito estufa, devendo ser em média 5% abaixo dos níveis de 1990 no período de 2008 a 2012 (SENADO FEDERAL, 2004). Já para os países em processo de desenvolvimento, o protocolo não obrigava estes a definirem metas de emissão uma vez que possuíam baixa emissão *per capita* (MOTA *et al.*, 2008).

Em 2015, foi elaborado um novo documento considerado o sucessor do Protocolo de Kyoto, o Acordo de Paris. O Acordo de Paris foi estabelecido na COP21 com o objetivo de manter, até o final do século, a temperatura média global abaixo de 2°C, limitando-se a 1.5°C, isso a partir de uma base que cada país, voluntariamente, estabeleceria de acordo com sua realidade, como uma forma de atingir seus objetivos (SOUZA; CORAZZA, 2017).

O Brasil se comprometeu a reduzir até o ano de 2025 as emissões de GEEs em 37% abaixo dos níveis de 2005 e ampliou essa meta para 43% até o ano de 2030. Para alcançar seus objetivos, o país listou uma série de metas ambiciosas, entre elas estão: “aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira em 18%, restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas até 2030, expandir o uso de fontes renováveis” (GOVERNO FEDERAL, 2020), entre outros.

No que diz respeito às emissões globais de gases de efeito estufa por setor, os dados mais recentes (2016) apontam que o setor de energia, com 73,2% é o principal emissor de GEEs, seguido por: agricultura, silvicultura e uso do solo (18,4%), processos industriais (5,2%) e resíduos (3,2%) (RITCHIE, 2020). No ano de 2019, no Brasil as emissões de CO₂ (Gráfico 1) foram provenientes principalmente de mudanças no uso de terra e florestas e da agropecuária, seguidas pelo setor de energia, processos industriais e resíduos (SEEG, 2021).

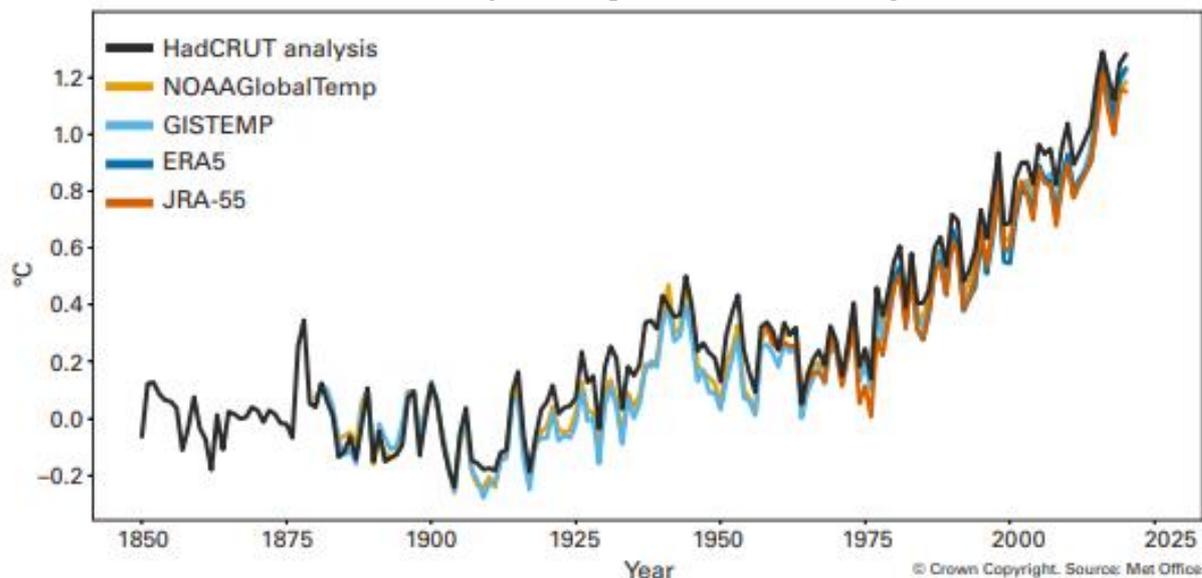
Na Amazônia, só no período de agosto de 2018 a julho de 2019, uma área de 10.129 km² foi desmatada, sendo este o maior valor obtido desde 2008 (INPE, 2020). No ano de 2020, o país ainda teve registrado o maior número de queimadas desde 2010, sendo que somente no Pantanal e na Amazônia foram observados mais de 22 mil e 103 mil focos de incêndios, respectivamente (INPE, 2021).

Gráfico 1 — Emissões totais de dióxido de carbono no Brasil em 2019

Fonte: Adaptado de SEEG (2021)

O desmatamento e as queimadas liberam grandes quantias de CO₂ que outrora estavam armazenados nos vegetais. A emissão de CO₂ também contribui com a acidificação dos oceanos, levando a diminuição da calcificação e do crescimento dos recifes de corais através da inibição da formação da principal forma cristalina de carbonato de cálcio, a aragonita. Além disso, a elevação na temperatura dos oceanos interfere na relação mutualística entre corais e algas, fazendo com que estas sejam ejetadas dos corais ocasionando seu branqueamento (HOEGH-GULDBERG *et al.*, 2007). Como o dióxido de carbono persiste por milhares de anos na atmosfera até ser eliminado, se hoje as emissões desse gás fossem nulas, seria necessário um longo período de tempo para voltarmos aos níveis pré-industriais (EPA, 2020?).

A Organização Meteorológica Mundial (WMO, sigla em inglês) afirma que a temperatura média global para 2020 aumentou cerca de 1.2° C desde a pré-industrialização (Gráfico 2) (WMO, 2021). Essa mesma Organização alega que, com base nas emissões de CO₂ que a humanidade ainda está constantemente emitindo para a atmosfera, até o final do século a temperatura vai aumentar entre 3 a 5° Celsius (WMO, 2018). Pesquisas recentes apontam que se o aquecimento global não for limitado a 1.5°C, a temperatura extrema do bulbo úmido em regiões tropicais pode alcançar 35°C, transformando-as a ponto de atingirem “o limite da adaptação humana”, tornando-se inabitáveis (ZHANG *et al.*, 2021).

Gráfico 2 — Diferença de temperatura média anual global

Fonte: World Meteorological Organization (2021)

Os últimos seis anos (2015-2020) foram os mais quentes já registrados, estando 2016 e 2020 empatados como os anos mais quentes da história (WMO, 2021; C3S, 2021). O ano de 2020 foi um ano de eventos climáticos extremos. Seu início foi de incêndios na Austrália, que aconteciam desde 2019, ganhando atenção mundial. Assim como na Austrália, os Estados Unidos registraram incêndios de grandes proporções nos estados da Califórnia e Colorado. Em 2020, os períodos de seca causaram um prejuízo em torno de US\$ 3 bilhões na agricultura brasileira, com perdas adicionais na Argentina, Uruguai e Paraguai. Além disso, nos meses de setembro e outubro, o Brasil enfrentou intensas ondas de calor. Cidades como Nova Maringá e Água Clara, localizadas nos estados Mato Grosso e Mato Grosso do Sul respectivamente, atingiram 44.6 °C em 5 de outubro (WMO, 2021).

Tempestades também assolaram diversos países em 2020. Na Índia, o ciclone conhecido como “Amphan” causou perdas econômicas de 1.2 bilhões de dólares na região da Bengala Ocidental (SUD; RAJARAM, 2020). Na China, os meses de junho e julho foram marcados por intensas chuvas que afetaram o Rio Yangtze e seus afluentes. Estima-se que um total de 5.283 hectares de terras agrícolas foram devastadas, com perdas em torno de US\$ 20.66 bilhões (EVERINGTON, 2020). Os Estados Unidos enfrentaram uma temporada de furacões, começando pelo furacão Laura, que ocorreu em agosto e atingiu outros países como o Haiti e a República Dominicana. Meses depois, dois novos furacões são formados: o Eta e o Iota. O

furacão Eta atingiu a América Central e a América do Norte. Já o furacão Iota, mais intenso que o furacão Eta, causou impactos na América Central e na América do Sul (WMO, 2021).

As mudanças climáticas também são responsáveis por deslocamentos em massa de pessoas para outras regiões do globo. Por exemplo, em países como a Somália, o deslocamento de mais de um milhão de pessoas estava relacionado a inundações que ocorreram no período de 2020 (WMO, 2021). Além de afetar a espécie humana, essas mudanças podem ser uma ameaça em potencial para a biodiversidade, uma vez que afetam a diversidade de genes, de espécies e habitats (RINAWATI *et al.*, 2013). A forma como as espécies responderão às mudanças climáticas está associada à sua capacidade de se adaptar ou não, a mudanças evolutivas e sua plasticidade fenotípica (HENDRY; FARRUGIA; KINNISON, 2008; BELLARD *et al.*, 2012).

Respostas as mudanças climáticas nos vegetais podem estar associadas a alteração no tempo de eventos de desenvolvimento e no número e tamanho de folhas assim como a mudanças na capacidade de capturar e alocar recursos em órgãos em desenvolvimento (GRAY; BRADY, 2016). Já em animais, pesquisas apontam que aqueles que vivem em ambientes mais estáveis têm maior capacidade de se adaptar as mudanças climáticas, essa capacidade também pode estar associada com a diminuição da latitude, uma vez que a capacidade de aclimação térmica aumenta com a diminuição deste fator climático (SEEBACHER; WHITE; FRANKLIN, 2014).

Dentre todos os animais, os insetos são o grupo mais diversificado, representando em torno de 60% das espécies que conhecemos. Essa diversidade é tão elevada, que a proporção de humanos para insetos é de 1:200.000.000 (RAFAEL *et al.*, 2012; SVERDRUP-THYGESON, 2019). E, assim como o restante dos seres vivos, eles não estão imunes as alterações nas condições climáticas.

A título de exemplo, estudos como de Juhász *et al.*, (2020) apontam que as mudanças climáticas afetam negativamente as formigas-vermelhas (*Formica polyctena* Förster, 1850 - Hymenoptera) uma vez que induzem, de forma indireta, a redução do tamanho de suas colônias tornando-as mais vulneráveis às condições ambientais, predadores e parasitas. Todavia, as colônias ainda tentam se adaptar as mudanças ambientais ao usarem estratégias alternativas de nidificação, buscar fontes alternativas de alimentos e otimizar as estratégias de buscas.

2.2 INSETOS EM UM MUNDO DE MUDANÇAS

Entre todos os seres vivos identificados e classificados na face da Terra, só os insetos apresentam mais de um milhão de espécies já descritas (SCUDDER, 2017). Os insetos são invertebrados pertencentes ao filo Arthropoda, superclasse Hexapoda e classe Insecta. Eles possuem corpo metamerizado, revestido por um exoesqueleto articulado, segmentado em cabeça, tórax e abdômen (GULLAN; CRANSTON, 2017). São seres que apresentam uma distribuição geográfica ampla, sendo encontrados em ecossistemas naturais e antrópicos (RAFAEL *et al.*, 2012).

Sua distribuição geográfica bem-sucedida ao redor do globo está relacionada às adaptações resultantes de milhares de anos de história evolutiva. As adaptações que podem estar diretamente ligadas a esse sucesso são: o pequeno tamanho corporal, ciclo de vida curto e reprodução rápida, sofisticação sensorial e neuromotora, interações evolutivas com os organismos, metamorfose e a presença de asas (GOMES *et al.*, 2010; GULLAN; CRANSTON, 2017).

Esses organismos são pequenos, mas sua importância para os ecossistemas e a vida humana são notáveis. A maioria dos alimentos consumidos diariamente pela população humana é resultado da polinização, principalmente realizada por insetos (Tabela 1), sendo estes então, os grandes responsáveis pela garantia e segurança alimentar global. Só no Brasil, a contribuição dos polinizadores com a produção de alimentos em 2018 correspondeu a R\$ 43 bilhões anuais (WOLOWSKI *et al.*, 2019). Portanto, provavelmente na ausência desse serviço ecológico, não seria possível a continuidade da existência humana.

Tabela 1 — Estimativa da contribuição dos animais para a polinização de culturas agrícolas (em %)

Animais polinizadores	Porcentagem de culturas polinizadas
Abelhas	73%
Moscas	19%
Morcegos	6,5%
Vespas	5%
Besouros	5%
Pássaros	4%
Borboletas	4%

Fonte: Adaptado de FAO (2004)

Os insetos também prestam uma variedade de outros serviços ecológicos, como auxiliar na decomposição de matéria orgânica e predar ou parasitar insetos herbívoros. Além disso, eles podem servir como bioindicadores de qualidade do solo e atuar na transferência de energia ao longo da cadeia alimentar (CHOWDHURY *et al.*, 2017). Só nos Estados Unidos, é estimado que o serviço ecológico fornecido pelos insetos tenha um valor aproximado de 57 bilhões de dólares por ano (LOSEY; VAUGHAN, 2006).

Além disso, esses artrópodes são componentes chave da teia trófica de ecossistemas terrestres e de água doce. Os insetos servem de alimento para uma variedade de predadores como peixes, lagartos, pássaros e, em muitas regiões do planeta, também são fonte de calorias e proteínas para humanos. Portanto, devido as relações e funções que os insetos exercem ao longo da teia trófica, se houver uma redução na diversidade de insetos, os seres vivos que dependem deles direta ou indiretamente serão de alguma forma afetados (SCUDDER, 2017).

Trabalhos recentes revelam o declínio na população mundial de insetos, o que pode levar à extinção de 40% das espécies desses animais nas próximas décadas (SÁNCHEZ-BAYO; WYCKHUYS, 2019). Diversos são os fatores que podem estar ocasionando o declínio nas populações de insetos e um deles são as mudanças climáticas.

Insetos são considerados organismos ectotérmicos, apresentando pouca capacidade de reter calor por conta de seu tamanho. Portanto, sua temperatura corporal não é constante, variando de acordo com o ambiente externo, porém alguns insetos são capazes de aumentar e diminuir sua temperatura corporal (RICKLEFS; RELYEA, 2016; GULLAN; CRANSTON, 2017).

Por serem providos de um sistema sensorial complexo, os insetos são capazes de perceber fatores abióticos como umidade, correntes de ar e temperatura. As variações de temperatura são detectadas pela maioria dos insetos por intermédio de receptores localizados em suas antenas, como é o caso das formigas cortadeiras da espécie *Atta* (Hymenoptera), que detectam mudanças na temperatura e calor irradiado por meio de sensilas celocônicas (GULLAN; CRANSTON, 2017).

Portanto, os insetos tendem a responder rapidamente a mudanças climáticas como temperaturas elevadas que podem afetar sua biologia, suas funções ecológicas além de suas interações intra e interespecíficas (AUAD; FONSECA, 2017). Nesse cenário de mudanças, diversas são as pesquisas que buscam prever e analisar de que maneira fatores abióticos relacionados as mudanças climáticas afetam os insetos. Um exemplo é o escaravelho *Dendroctonus ponderosae* Hopkins (Coleoptera), encontrado na costa oeste da América do Norte, Canadá e México (ARMENDÁRIZ-TOLEDANO; TORRES-BANDA; ZÚÑIGA,

2017). Esse besouro infesta árvores que já estão debilitadas, mas com o aumento da densidade populacional, árvores saudáveis começaram a ser alvos também. Tal situação vem acontecendo devido ao aumento da temperatura e ao baixo regime pluviométrico, reflexos do aquecimento global (BENTZ *et al.*, 2010). O inverno nessas regiões tem um papel fundamental no controle na expansão desse inseto, visto que ele é um fator limitante em sua distribuição por ocasionar sua mortalidade. Com o aumento da temperatura no inverno, *D. ponderosae* tem sua diapausa afetada, sendo capaz de expandir sua distribuição para áreas mais elevadas, estabelecer-se em novas árvores hospedeiras e aumentar sua densidade populacional, prolongando sua sobrevivência (BENTZ *et al.*, 2010; ROSENBERGER *et al.*, 2017).

Quando o período de seca tem início, os pinheiros são drasticamente afetados. Sua capacidade de defesa é reduzida nesse período, incapaz de deter os avanços dos besouros para seu interior. Isso acontece porque, em uma tentativa de evitar a perda de água, os estômatos são fechados, limitando a assimilação de gás carbônico pela planta e conseqüentemente interferindo em seu crescimento e defesa (KURZ *et al.*, 2008; BENTZ *et al.*, 2010). A morte e decomposição dos pinheiros infestados deixa a região cada vez mais susceptível a incêndios de larga escala, além de levar ao aumento de gás carbônico dissipado para a atmosfera.

Assim como para o besouro *D. ponderosae*, o inverno e o clima frio também são um fator limitante para outro inseto, a lagarta-do-pinheiro (*Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiffermuller, 1775 - Lepidoptera). Esse lepidóptero é considerado praga na região do Mediterrâneo por causar danos, ainda no estágio larval, em pinheiros ao se alimentar de suas agulhas, enfraquecendo-os e deixando-os expostos a ataques de outros insetos e estresses ambientais (TIBERI *et al.*, 2015).

No final da década de 90, foram relatadas as primeiras observações de expansão desse inseto em Paris e hipóteses, posteriormente comprovadas, sugeriam que tal expansão era devido ao inverno estar mais ameno, favorecendo a dispersão dos insetos adultos e aumentando o desempenho das larvas. Com isso, *T. pityocampa* começou a ampliar sua distribuição para altitudes e latitudes superiores, levando a elaboração de um projeto internacional para controlar e estudar seus avanços, conhecido como *Global change and pine processionary moth: a new challenge for integrated pest management* (ROQUES, 2015).

Nos próximos anos, será muito comum o surgimento de mais casos de insetos pragas ampliando sua distribuição, levando a surtos populacionais, desorganizando ecossistemas e alterando a rede alimentar. Haverá ainda a possibilidade de surgimento de novas pragas da mesma maneira que aquelas já conhecidas podem perder sua importância econômica (AUAD; FONSECA, 2017). Além disso, mudanças na distribuição de polinizadores também serão

observadas. Em regiões temperadas, já é possível observar desvios na distribuição de abelhas em direção aos polos (AGUIRRE-GUTIÉRREZ *et al.*, 2016).

Outro foco de estudo nesse âmbito é o voltinismo que se resume ao número de gerações de determinada espécie por ano. De modo geral, os insetos têm de uma a três gerações por ano (GULLAN; CRANSTON, 2017). Com as mudanças climáticas, é esperado que o voltinismo de algumas espécies seja alterado, podendo levar a problemas fitossanitários (BETTIOL *et al.*, 2017). Como exemplo, Moraes *et al.* (2014), ao investigarem o impacto das mudanças climáticas na ecoclimatologia da mosca-negra-dos-citrus (*Aleurocanthus woglumi* Ashby, 1915 - Hemiptera) sugeriram que, através de projeções climáticas, o número de gerações do inseto vai aumentar 50% entre os anos de 2030 e 2090 no Estado do Pará.

As mudanças climáticas também alteram a duração do ciclo de vida de alguns insetos, afetando diretamente as interações inseto-planta, hospedeiro-parasitoide e presa-predador (AUAD; FONSECA, 2017; DAMIEN; TOUGERON, 2019). A sincronia entre os ciclos de vida que envolvem essas interações é primordial para a dinâmica entre eles. Por exemplo, se a duração do ciclo de vida de um hospedeiro é modificada, seu parasitoide pode ser prejudicado por não completar seu ciclo de vida no mesmo período, afetando o biocontrole do hospedeiro e conseqüentemente aumentando a herbivoria (TOUGERON *et al.*, 2019; DAMIEN; TOUGERON, 2019).

No caso dos vegetais, plantas dependentes da polinização por insetos podem ter a dispersão de suas sementes afetadas caso o período de florescimento não estiver em sintonia com o ciclo de vida de seus polinizadores, o que pode levar futuramente a extinção de ambos (RAFFERTY; IVES 2010; SVERDRUP-THYGESON, 2019). Nesse caso, interações entre plantas e insetos polinizadores do tipo espécie-específicos são bem mais susceptíveis a sofrerem com as conseqüências que essas alterações podem causar.

É perceptível que existem inúmeras pesquisas que investigam de que forma as mudanças climáticas estão afetando e podem afetar os insetos nos próximos anos. Porém, não existem estudos que analisam quais são as limitações desse campo de pesquisa, assim como o interesse da comunidade científica e o desenvolvimento do assunto ao longo dos anos. Dessa forma, uma revisão cienciométrica possibilita que a produção científica seja avaliada de maneira que essas questões possam ser respondidas.

2.3 CIENCIOMETRIA: A QUANTIFICAÇÃO DA CIÊNCIA

Para a comunidade científica é importante conhecer a contribuição e o valor das produções científicas em determinadas áreas do conhecimento. A cienciometria é uma forma de quantificar a ciência, possibilitando uma avaliação do impacto e repercussão que as inúmeras publicações científicas têm, como por exemplo, evidenciando a importância de um tema ou as contribuições de pesquisadores e instituições para com o avanço do conhecimento científico (MACIAS-CHAPULA, 1998). A cienciometria ainda serve como uma orientação aos pesquisadores, uma vez que os dados obtidos podem revelar novos caminhos a serem explorados e alcançados nos mais distintos campos do conhecimento.

O termo cienciometria foi criado na década de 60 na antiga União Soviética e Europa Oriental, e desde então é utilizado para descrever o estudo da ciência: crescimento, estrutura, inter-relações e produtividade (HOOD; WILSON, 2001; VANTI; 2002). Segundo Vanti (2002), o interesse acadêmico pela cienciometria cresceu a partir da década de 80, quando o “*Institut for Scientific Information*” (ISI), fundado por Eugene Garfield, vendeu sua base de dados para as universidades como forma de auxiliar na elaboração de políticas científicas.

Para quantificar a produção científica, a cienciometria conta com técnicas matemáticas, análises estatísticas e um conjunto de indicadores cienciométricos (SPINAK, 1998). Esses indicadores ajudam a avaliar o desempenho de autores e artigos científicos, levando em consideração: o número de trabalhos, número de citações, coautorias, publicações do autor, número de patentes, número de citações por patentes e mapas dos campos científicos e dos países (MACIAS-CHAPOULA, 1998).

A pesquisa cienciométrica também pode ser atrelada a revisão sistemática para esclarecer como as pesquisas dentro de um determinado assunto estão se desenvolvendo (SILVA *et al.*, 2020). A revisão sistemática permite que estudos semelhantes sejam agrupados de forma que os resultados sejam sintetizados, possibilitando assim uma análise detalhada das características da pesquisa, além de avaliar se há consenso ou não em relação ao estado do conhecimento de um campo de pesquisa e identificar quais são os desafios e direções futuras do tema escolhido (SAMPAIO; MANCINI, 2007; DONATO; DONATO, 2019; CHEN; SONG, 2019).

Para realizar uma revisão sistemática, é necessário: definir uma pergunta científica e a base de dados que será utilizada para a busca; as palavras-chave e a(s) estratégias de busca; estabelecer quais serão os critérios para a seleção de documentos a partir da busca; realizar a

busca na base de dados e aplicar os critérios de inclusão e exclusão de documentos; analisar os artigos selecionados; sintetizar a informação após a análise de todos os documentos; e, apresentar uma conclusão (SAMPAIO; MANCINI, 2007).

No que diz respeito aos insetos, pesquisas cienciométricas já foram utilizadas para identificar as principais tendências e lacunas na base de dados sobre insetos da ordem Odonata e para estabelecer a relação entre o declínio na população de abelhas e os agrotóxicos. Outros trabalhos procuraram documentar tendências de publicações sobre galhas de insetos no Brasil nos últimos 30 anos e identificar os principais preditores ambientais e grupos biológicos usados para monitorar e gerenciar sistemas lóticos de água doce (MIGUEL *et al.*, 2017; ARAÚJO, 2018; BRASIL *et al.*, 2020; ABATI *et al.*, 2021).

O campo da cienciométrica vem crescendo, desempenhando um papel crucial em tomadas de decisões sobre as políticas nacionais de pesquisa, financiamento, promoções, ofertas de emprego e nas carreiras dos cientistas (BORNMANN; LEYDESDORFF, 2014).

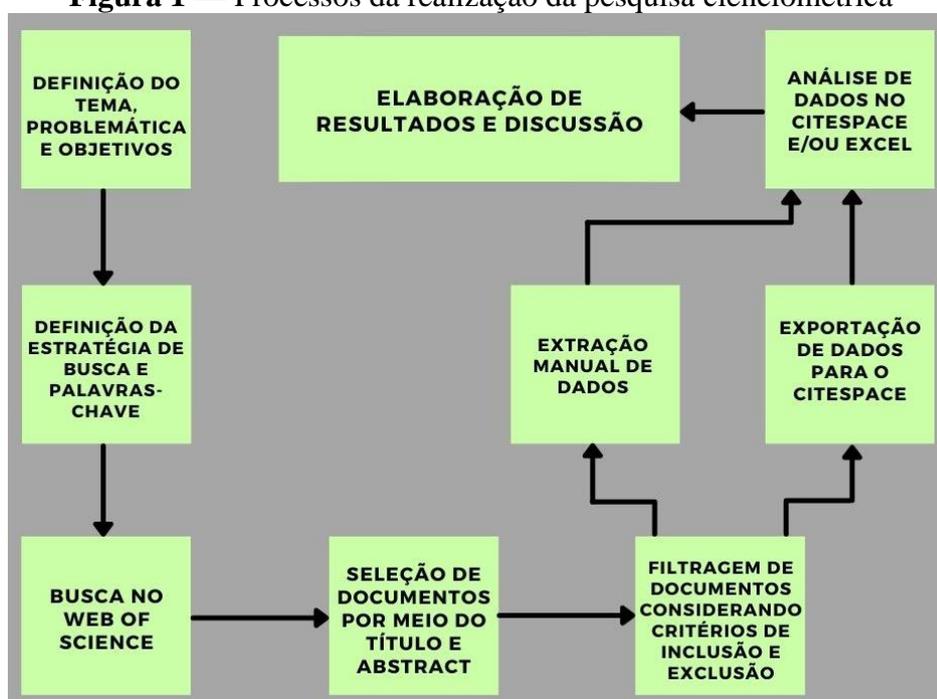
Dessa forma, a cienciométrica é um instrumento importante para o presente trabalho, uma vez que com o auxílio de seus indicadores, será possível evidenciar o desempenho da ciência em torno do assunto proposto bem como sua relevância.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Com o intuito de compreender os impactos das mudanças climáticas sobre os insetos através da avaliação da produção científica nesta área de estudo, optou-se por uma revisão sistemática da literatura, por meio da análise cienciométrica. O presente estudo tem duas abordagens complementares, sendo: a natureza quantitativa ocorre uma vez que foram mensurados os periódicos científicos que envolvem impactos das mudanças climáticas e insetos e a natureza qualitativa, ao obter dados como quais artigos, países, revistas, dentre outros estão associados ao tema e quando analisadas e discutidas as tendências dos resultados em torno do assunto escolhido, obtidos por meio da pesquisa cienciométrica. Para elucidar a metodologia deste trabalho, um organograma, representado pela Figura 1, foi elaborado.

Para elucidar a metodologia deste trabalho, um organograma, representado pela Figura 1, foi elaborado.

Figura 1 — Processos da realização da pesquisa cienciométrica



Fonte: Autor (2021)

Os dados foram coletados utilizando a plataforma *Web of Science* (WoS) da *Clarivate Analytics* até o início de julho de 2021. Os termos empregados foram: [("climate change" OR "greenhouse effect" OR "global warming" OR "global change" OR "climate warming" OR

"*extreme weather*") AND (*insect**)]. O intervalo de tempo selecionado foi de 1945 a 2021 e os tipos de documentos selecionados foram artigos, anais de evento e conferências e acesso antecipado.

A partir da leitura do resumo e/ou metodologia dos artigos selecionados, foram mensurados as principais ordens de insetos estudadas, os elementos climáticos abordados e o foco dos estudos relacionados aos insetos (biologia, interações, distribuição, entre outros). Em seguida, foram extraídos os dados dos documentos para o *Microsoft Excel*, onde foram analisados o número de publicações e citações em relação aos anos de 1992 a 2021, o número de publicações por países, as agências financiadoras, os 10 documentos mais citados, a frequência das áreas do conhecimento e revistas relacionadas ao assunto. Além disso, o *Microsoft Excel* também foi utilizado para analisar os dados sobre a frequência dos elementos climáticos, ordens de insetos e os tópicos dos estudos relacionados aos insetos.

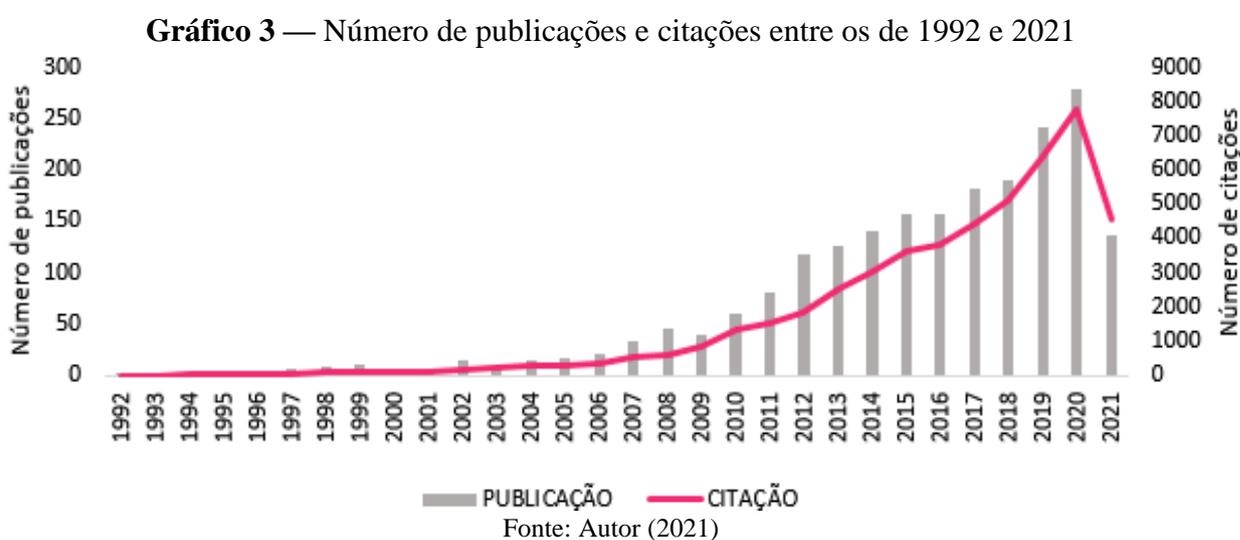
Posteriormente, os dados bibliométricos foram analisados no *software CiteSpace*, gerando mapas de conexões entre palavras-chave (bem como sua frequência), categorias e países, além de visualizar a explosão (*burst*) de citações para autores e palavras-chave. Foi também analisada a centralidade que aponta como diferentes grupos estão conectados. O valor da centralidade vai de 0 a 1, então quanto mais próximo de 1 mais conexões existem entre um nó (círculos que identificam um termo e estão presentes nas figuras geradas pelo *software*) e outro(s) (CHEN, 2014). O *CiteSpace* é um aplicativo Java gratuito utilizado para análise de dados e visualização, sendo capaz de detectar tendências além de evidenciar a evolução da produção científica de determinado assunto (CHEN, 2004).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca bibliométrica realizada para o desenvolvimento deste trabalho gerou um total de 5174 referências, entre 1992 e julho de 2021. Porém, ao final da filtragem, 2110 referências foram submetidas à análise cienciométrica. Os documentos desconsiderados foram aqueles que não abordavam o assunto de interesse e que estavam repetidos.

4.1 PUBLICAÇÕES E CITAÇÕES

O período de tempo de publicações e citações está representado no Gráfico 3. As publicações sobre o assunto proposto começaram a partir de 1992, coincidindo com a RIO-92, evento em que deu início a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (VIEIRA, 2012). O número de publicações tem um crescimento a partir de 2002, indicando a evolução, o aumento do interesse e preocupação em torno desse tema.



Esse assunto tende a crescer cada vez mais visto que as mudanças climáticas podem intensificar nos próximos anos (NOBRE, 2010), resultando na busca por novas tecnologias e, conseqüentemente, no avanço dessas para conduzir pesquisas que elucidem e busquem soluções viáveis sobre que impactos essas mudanças no clima global têm sobre os sistemas naturais e como isso afetaré os seres humanos.

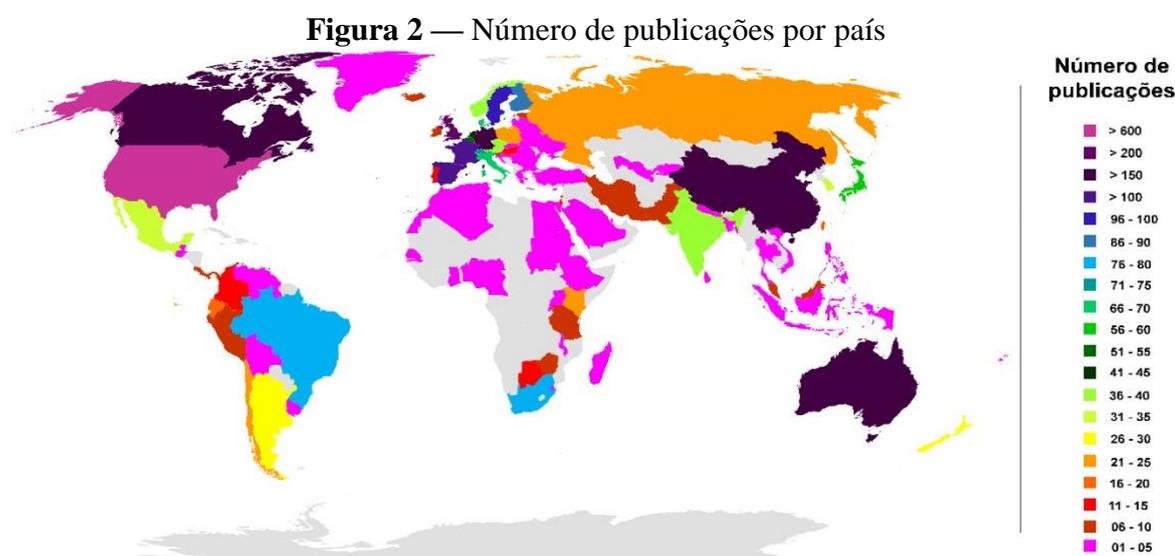
De 1992 a 2001 foram publicados menos de 12 documentos ao ano. Os anos de 2019 e 2020 contam com o maior número de publicações até então, com 241 e 278 publicações, respectivamente. Das 2110 publicações selecionadas, a maioria se enquadra em artigo (99,621%), seguidos de anais de evento e conferências (1,232%) e, por fim, documentos de acesso antecipado (1,137%).

O idioma encontrado nesses documentos foi majoritariamente o inglês (99,573%) seguido do espanhol (0,379%) e do russo (0,047%). As publicações refinadas no *Web of Science* foram citadas 28255 vezes no total e, na ausência de autocitações, 26.530 vezes. A citação média por item é de 23,64 vezes com um índice H de 92 que significa que, de todos os documentos, noventa e dois artigos tiveram, pelo menos, noventa e duas citações cada (HIRSCH, 2005). Isso mostra o quão relevante e explorado o assunto é.

No que se refere ao número de citações por ano, seu crescimento começa em 1994 com treze citações e desde então tem um crescimento exponencial. O ano de 2020 apresentou o maior número de citações (7786). O ano de 2021, apesar de não estar concluído, apresenta um total de 4568 citações, ultrapassando por exemplo, o ano de 2017 que possui um total de 4438.

4.2 PAÍSES

O país que apresenta o maior número de publicações é os Estados Unidos (671), seguido por Inglaterra (240), China (197), Canadá (175) e Austrália (167) (Figura 2). O Brasil ocupa a 12º posição, com um total de 77 publicações.

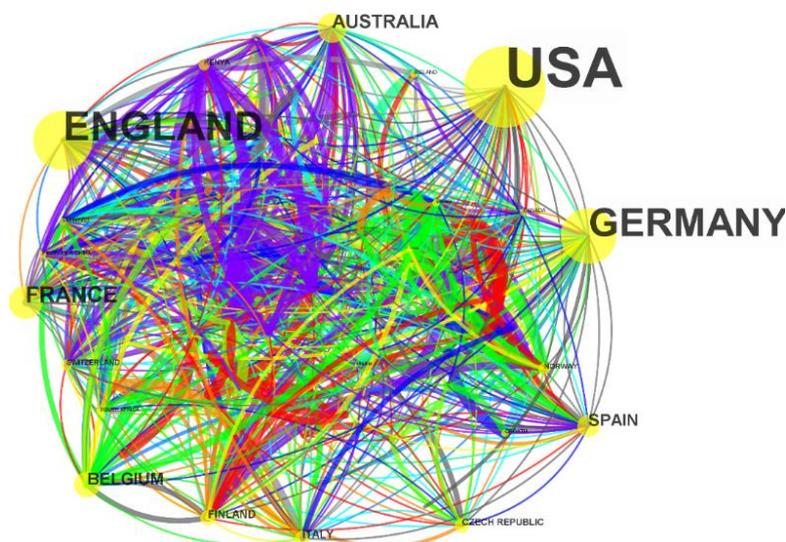


Fonte: Autor (2021)

A posição dos Estados Unidos pode estar relacionada ao financiamento que o país recebe para conduzir as pesquisas em torno desse assunto, uma vez que (com base nos dados fornecidos pelo WoS) a agência que mais financiou pesquisas foi a *National Science Foundation* (209 artigos), seguida pela *European Commission* (159 artigos). É notável também que alguns dos dez países mais poluidores (em termos de emissões de CO₂) são os que mais publicam nessa área, como os Estados Unidos (4457,2 toneladas de CO₂ em 2019) e a China (9899,3 toneladas de CO₂ em 2019) (BP, 2021). No caso do Brasil, a maior parte das emissões de CO₂ vem de mudanças no uso de terra e florestas e da agropecuária, sendo que só no ano de 2020 foram emitidas 417,5 toneladas de CO₂ (SEEG, 2021; BP, 2021).

Utilizando o *CiteSpace*, foi observado que os Estados Unidos é o país que apresenta a maior centralidade (0,32) (representado pelo círculo amarelo na Figura 3). Ou seja, é o país com maior número de conexões, fazendo parcerias com países como Alemanha, Noruega, Austrália, Brasil, Finlândia, Suíça, África do Sul, Espanha, Kenya, entre outros (CHEN, 2014). Esses resultados demonstram que não necessariamente o país que tem um alto número de publicações terá uma grande centralidade. Por exemplo, a Alemanha possui uma centralidade muito maior (0,23) do que a China (0,04) que possui maior número de publicações. O mesmo acontece com a França que apresenta uma centralidade de 0,13 (147 publicações), enquanto o Canadá apresenta uma centralidade de 0,03 (175 publicações).

Figura 3 — Rede de conexões entre países. Os círculos amarelos representam os nós e seu tamanho está relacionado ao valor da centralidade. As linhas que partem desses nós representam as ligações que este está fazendo com outro(s) nó(s). As cores das linhas representam os anos em que essas conexões foram feitas e sua espessura indica a força da conexão entre um nó e outro



Fonte: Autor (2021)

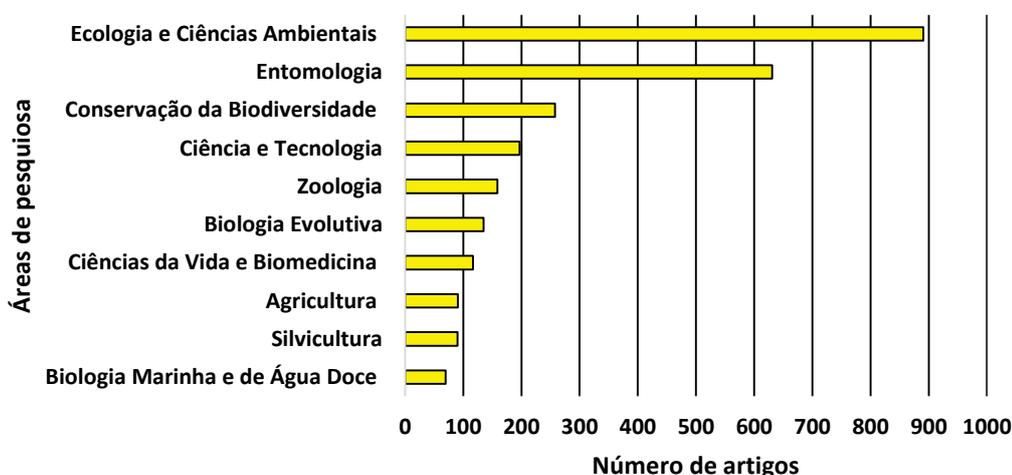
Por fim, uma das possíveis razões pela qual o Brasil apresentou poucas parcerias com outros países (centralidade de 0,02) é o baixo número de publicações (77) e o número de financiamentos que as agências de fomento do país disponibilizam para a realização dessas pesquisas. Como comparação, a CNPQ (Conselho Nacional De Desenvolvimento Científico e Tecnológico) foi responsável por financiar 45 das 77 publicações brasileiras, enquanto a *National Science Foundation* (NSF) investiu em 209 estudos sobre o tema.

Além disso, Brasil é o país que abriga a maior diversidade de insetos do mundo e possui uma variedade de domínios climáticos com condições climáticas distintas que poderiam ser exploradas em estudos sobre esse tema (RAFAEL; AGUIAR; AMORIM, 2009; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2009).

4.3 ÁREAS DO CONHECIMENTO

Foram analisadas as áreas do conhecimento que apresentam maior número de publicações (Gráfico 4) e as conexões entre essas áreas (Figura 4). A área de pesquisa que apresenta maior número de publicações sobre o assunto é Ecologia e Ciências Ambientais (891 publicações), seguido por Entomologia (631), Conservação da Biodiversidade (258), Ciência e Tecnologia (197), Zoologia (159), Biologia Evolutiva (135), Ciências da Vida e Biomedicina (117), Agricultura (91), Silvicultura (90) e Biologia Marinha e de Água Doce (70).

Gráfico 4 — Frequência das áreas de conhecimento



Fonte: Autor (2021)

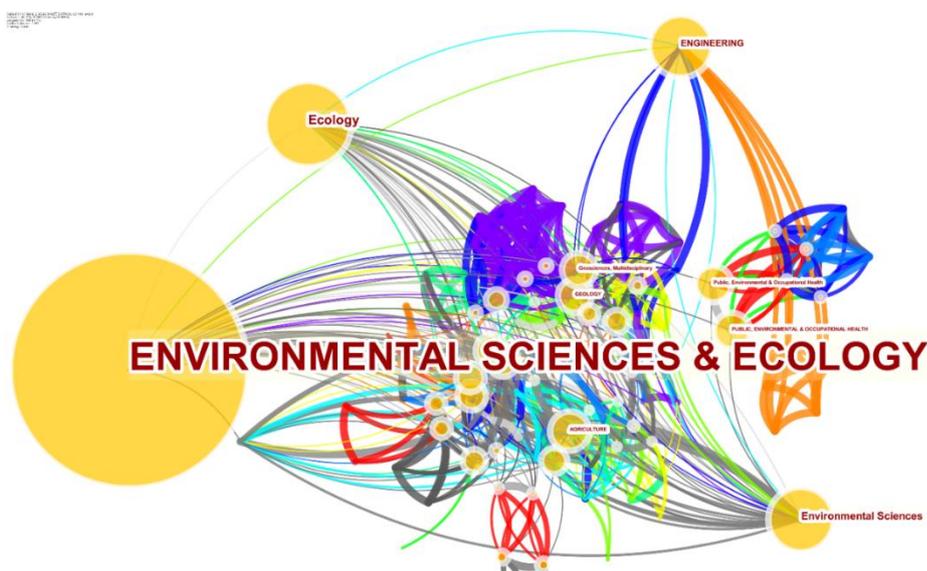
Em 1992, as primeiras áreas que publicavam sobre o assunto eram Silvicultura e Ciência Vegetal com assuntos que analisam a sincronia entre a lagarta do botão do abeto (*Choristoneura fumiferana* Clemens, 1865 - Lepidoptera) e o abeto branco e que analisam como as mudanças na atmosfera global podem influenciar surtos potenciais de insetos herbívoros (VOLNEY; CERESZKE, 1992; LANDSBERG; SMITH, 1992). Já de 2007 até o presente momento, as áreas mais constantes são Ecologia e Ciências Ambientais e Entomologia.

Por outro lado, há o surgimento de novas áreas nesse assunto como Ciências Atmosféricas e Meteorologia e Artes. A área Ciências Atmosféricas e Meteorologia possui trabalhos que avaliam, por exemplo, o risco da mariposa cigana, *Lymantria dispar* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera), de se estabelecer na Nova Zelândia com base na modelagem fenológica (PITT; RÉGNIÈRE; WORNER, 2006). Já a área das Artes, apresenta trabalhos que avaliam os impactos de insetos em construções históricas e museus quando influenciados pelas mudanças climáticas (HANSEN *et al.*, 2012; BRIMBLECOMBE; LANKESTER, 2013). Esses resultados demonstram como o tema do presente trabalho ainda está sendo explorado atualmente, com novas tendências e novas tecnologias de estudo.

A área mais ativa nas pesquisas e que apresenta maior centralidade e, conseqüentemente maior número de parcerias com outras áreas, é Ecologia e Ciências Ambientais (0,60) seguida por Ecologia (0,22), Ciências Ambientais (0,17), Engenharia (0,16) e Agricultura (0,10) (Figura 4). Talvez esses resultados estejam relacionados ao número de profissionais distintos necessários para realizar estudos sobre o tema. A área da Entomologia ficou em 12º lugar com uma centralidade de 0,07, colaborando com áreas como Ecologia, Conservação da Biodiversidade, Agronomia, Zoologia, Silvicultura, entre outros. Esses dados demonstram que o número de publicações dentro de uma determinada área, não está necessariamente ligado ao número de parcerias que esta faz.

A área da Entomologia é a segunda maior em termos de número de publicações, mas não é a que faz mais conexões com outras áreas (centralidade de 0,07), ficando atrás de Agricultura, por exemplo (centralidade de 0,10). A hipótese esperada para a área da Entomologia era a de que ela estaria, pelo menos, entre as três áreas com maior centralidade para o assunto estudado uma vez que seu objeto de estudo são os insetos. Isso pode ocorrer, por que a área da Entomologia é uma área bastante específica e por isso, o fator de impacto de revistas entomológicas tende a ser menor se compararmos com áreas mais amplas como Ecologia e Ciências Ambientais.

Figura 4 — Rede de conexões e centralidade de categorias (áreas do conhecimento). Os círculos amarelos representam os nós e seu tamanho está relacionado ao valor da centralidade. As linhas que partem desses nós representam as ligações que este está fazendo com outro(s) nó(s). As cores das linhas representam os anos em que essas conexões foram feitas e sua espessura indica a força da conexão entre um nó e outro



Fonte: Autor (2021)

4.4 PALAVRAS-CHAVE

Com o auxílio do *software CiteSpace*, foram analisadas quais eram as palavras-chave mais frequentes no conjunto de dados (Figura 5) e o *burst* de citações de palavras-chave (Figura 6).

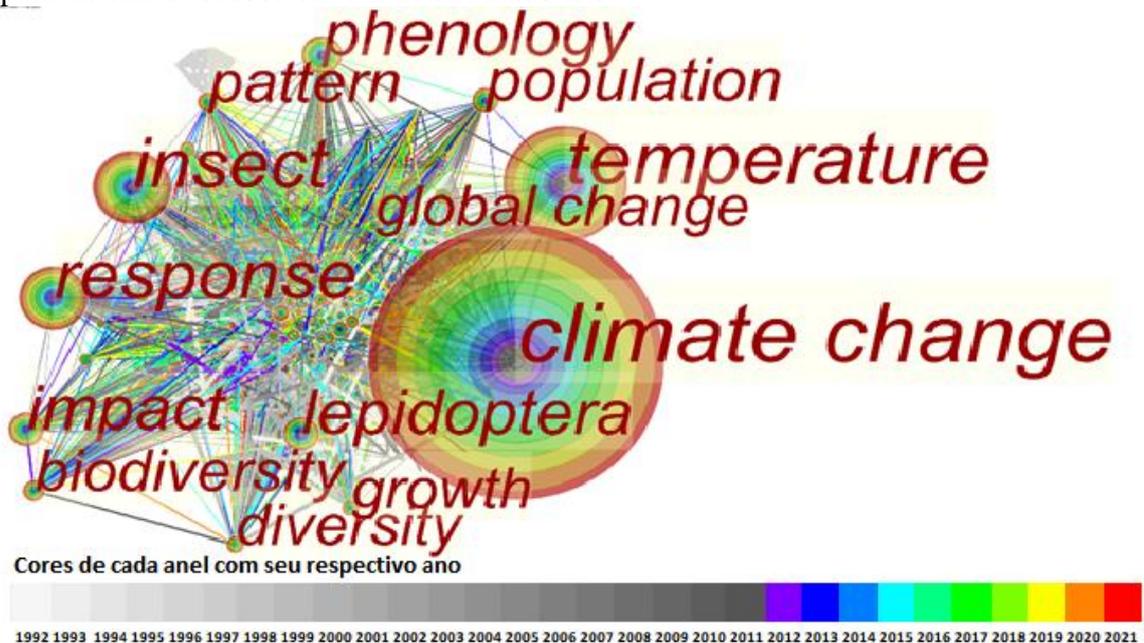
Climate change foi a palavra-chave mais utilizada (1270 vezes), fazendo conexões com *herbivory*, *vulnerability*, *range expansion*, *phenology*, *evolution*, *insect*, entre outros. As outras palavras-chave mais frequentes foram: *temperature* (569), *insect* (387), *response* (346), *phenology* (209), *Lepidoptera* (204), *impact* (201), *population* (155), *biodiversity* (134), *pattern* (130), *diversity* (123), *growth* (115), *global change* (115).

Na Figura 5, é possível observar que cada palavra-chave possui um círculo (nó) com diversos anéis coloridos e de espessuras distintas. As cores dos anéis representam o ano de citação (1992-2021) e a espessura representa o quão citado foi a referência naquele ano. *Climate change*, por exemplo, teve o maior número de citações em 2020 (representado pelo anel laranja) o que pode estar associado ao grande número de publicações sobre o tema nesse período.

O grande número de citações para a palavra *Climate change* possivelmente está relacionada também a área do conhecimento mais frequente, Ecologia e Ciências Ambientais.

Alguns trabalhos dentro dessa área e que utilizam a palavra-chave *Climate change* analisam a fenologia na interação inseto-planta entre a lagarta-do-botão do abeto oriental e o abeto negro (BELLEMIN-NOËL *et al.*, 2021), avaliam o impacto do clima nas mudanças na fenologia e na distribuição da abundância na comunidade de gafanhotos (BUCKLEY; GRAHAM; NUFIO, 2021), investigam os efeitos combinados do inseticida imidacloprid com ondas de calor e limitação alimentar no efemeróptera *Deleatidium sp.* (MACAULAY *et al.*, 2021), e também analisam o efeito conjunto do aquecimento climático, da exposição a pesticidas e da transformação da paisagem nas variáveis de desenvolvimento das abelhas relacionadas à aptidão individual e da colônia (ZARAGOZA-TRELLO *et al.*, 2020).

Figura 5 — Conexões entre as palavras-chave mais frequentes. Cada nó representa uma palavra-chave e possui anéis coloridos distintos em seu interior que remetem ao ano em que a palavra-chave foi citada. A espessura de cada anel é correspondente ao número de citações que a palavra-chave recebeu em um determinado ano



Fonte: Autor (2021)

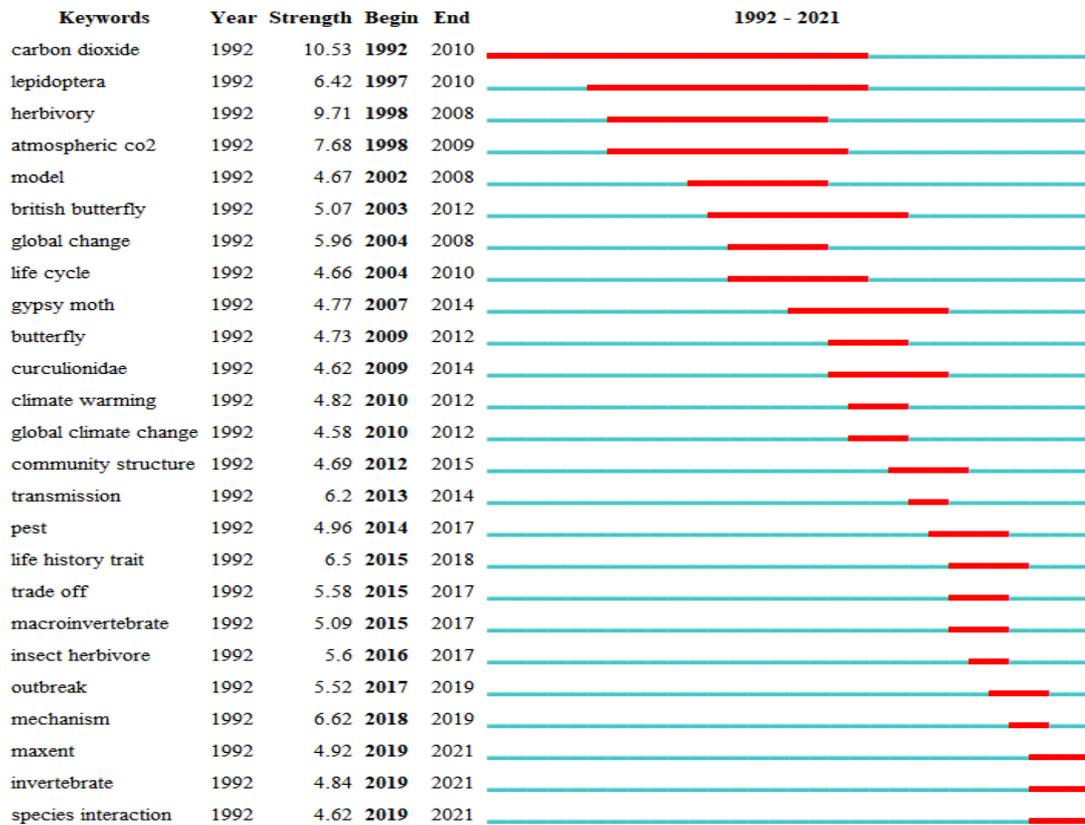
O *burst* de citação para as principais 25 palavras-chave (Figura 6) começa no ano de 1992 com a *keyword* dióxido de carbono, tendo sua explosão de citação com início em 1992 e terminando em 2010 (força de citação de 10,53). Nota-se que CO₂ atmosférico, também foi uma das palavras-chave mais citadas nas publicações, mostrando como esse gás do efeito estufa é o mais explorado dentro desse assunto.

A ordem Lepidoptera também é frequente nas palavras-chave com maior explosão de citação representada na Figura 6 por Lepidoptera que tem um *burst* de citação que começa em 1997 e termina em 2010, seguida por: *british butterfly* com *burst* de citação que começa em 2003 e termina em 2012; *gypsy moth* com um *burst* de citação que começa em 2007 e termina em 2014; e *butterfly* com *burst* de citação que começa em 2009 e termina em 2012. Unindo essas palavras-chave como um tema só, sua força de citação totalizaria 20,99, o que demonstra o quanto esses insetos são estudados e chamam a atenção dentro da comunidade científica em estudos que envolvem mudanças climáticas. Além disso, quanto mais é descrito em como os elementos climáticos (temperatura, precipitação, nebulosidade, entre outros) afetam as borboletas e mariposas nos níveis de populações e indivíduos, mais próximos estamos de estabelecer se a abundância desses insetos pode servir como um indicador de mudança climática (FLEISHMAN; MURPHY, 2009).

As palavras-chave *herbivory* e *insect herbivore* também giram em torno do mesmo tema e podem ter relação com a ordem Lepidoptera e a palavra-chave *outbreaks* e *pest* visto que alguns artigos estudam os surtos populacionais dessa ordem (BAO *et al.*, 2020; BELLEMIN-NOËL *et al.*, 2021). A família Curculionidae (Coleoptera) aparece com uma explosão de citação com início em 2009 e terminando em 2014. Os curculionídeos são conhecidos popularmente como gorgulhos e são facilmente identificados devido seu rostro alongado (ANDERSON, 2002) e geralmente algumas espécies são consideradas pragas agrícolas por se alimentarem de grãos que estão tanto no campo quanto armazenados (SOUZA, 2020).

Palavras-chave como *Maxent*, *invertebrate* e *species interaction* podem ser tendências futuras, uma vez que suas explosões de citação começaram em 2019 e vão até o ano de 2021 que ainda não está concluído. A palavra-chave *Maxent* se refere a um dos *softwares* mais populares utilizados como ferramenta para distribuição de espécies e modelagem de nicho ambiental. O *software* leva em conta restrições impostas pelas informações sobre os pontos de ocorrência (conhecidos como PO) bem como um conjunto de preditores ambientais como precipitação e temperatura (MEROW; SMITH; SILANDER, 2013). Como a explosão de citação para essa palavra-chave “termina” em 2021, futuramente a distribuição de espécies de insetos em um contexto de mudanças climáticas pode vir a ser uma tendência e um assunto cada vez mais explorado.

Figura 6 — Explosão de citação para palavras-chave começando pelo ano de 1992 até 2021. A barra azul representa o período de 1992 a 2021 enquanto a barra vermelha o período de tempo em que a palavra-chave foi citada



Fonte: Autor (2021)

4.5 PUBLICAÇÕES MAIS CITADAS E *BURST* DE CITAÇÃO DE AUTORES

A Tabela 2 representa os dez artigos mais citados entre os anos de 1992 e 2021. Os documentos mais citados vão de 1993 a 2011, com uma média de citação de 38,58 por ano até julho de 2021.

O documento mais citado é “*Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude*” (2008) com um total de 1900 citações e publicado pelo *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS) que possui um fator de impacto de 11,205. Esse artigo procura estimar o impacto direto do aquecimento do clima na aptidão dos insetos ao longo do fator climático latitude (DEUTSCH *et al.*, 2008).

O segundo artigo mais citado, “*Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change*” (2001), foi publicado pela revista *Nature* e possui um total de 868 citações. Nesse artigo foram avaliadas as mudanças nos tamanhos de distribuição e na

abundância de 46 espécies de borboletas que se aproximam de suas margens de variação climática ao norte na Grã-Bretanha (WARREN *et al.*, 2001). O terceiro artigo mais citado, “*Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions*” (2007), apesar de ter menos citações totais que o 2° colocado (678), apresenta maior citação média por ano (45,2) o que pode indicar o crescente interesse pelo assunto sobre as influências das mudanças climáticas na interação mutualística entre plantas e insetos polinizadores (MEMMOTT *et al.*, 2007).

Tabela 2 — Os dez artigos com maior número de citações entre os anos de 1992 e 2021

							(continua)
Posição	Título	Autores	Fonte	Fator de Impacto	Ano de Publicação	Citação total	Citação média por ano
1°	Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude	Deutsch, C. A. <i>et al.</i>	PNAS	11.205	2008	1900	135.71
2°	Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change	Warren, M. S. <i>et al.</i>	Nature	42.778	2001	868	41.33
3°	Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions	Memmott, J. <i>et al.</i>	Ecology Letters	9.492	2007	678	45.2
4°	Climate change and unequal phenological changes across four trophic levels: constraints or adaptations?	Both, C. <i>et al.</i>	Journal of Animal Ecology	4.55	2009	412	31.69
5°	Shifts in caterpillar biomass phenology due to climate change and its impact on the breeding biology of an insectivorous bird	Visser, M. E.; Holleman, L. J. M.; Gienapp, P.	Oecologia	3.665	2006	397	24.81
6°	Impact of daily temperature fluctuations on dengue virus transmission by <i>Aedes aegypti</i>	Lambrecht, L. <i>et al.</i>	PNAS	11.205	2011	382	34.73

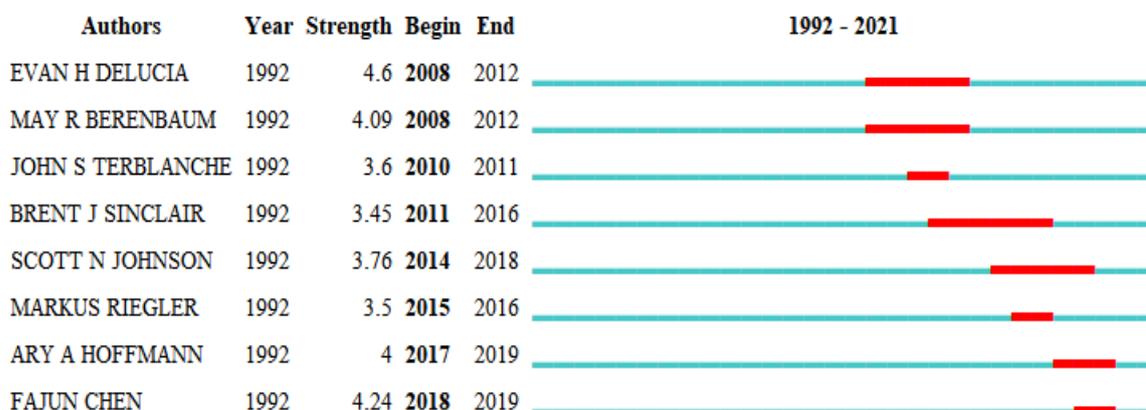
Tabela 3 — Os dez artigos com maior número de citações entre os anos de 1992 e 2021

Posição	Título	Autores	Fonte	Fator de Impacto	Ano de Publicação	Citação total	(conclusão)
							Citação média por ano
7°	Genetic shift in photoperiodic response correlated with global warming	Bradshaw, W. E; Holzapfel, C. M.	PNAS	11.205	2001	379	18.05
8°	Responses of deciduous trees to elevated atmospheric CO ₂ – productivity phytochemistry, and insect performance	Lindroth, R. L; Kinney, K. K; Platz, C. L.	Ecology	5,499	1993	363	12.52
9°	Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures	Battisti, A. <i>et al.</i>	Ecological Applications	4.657	2005	353	20.76
10°	Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period	Durance, I.; Ormerod, S. J.	Global Change Biology	10.863	2007	315	21

Fonte: Autor (2021)

A Figura 7 demonstra a explosão de citação de autores de todo o conjunto de dados, ou seja, os autores que foram mais citados ao longo de um determinado período. O autor com maior *burst* de citação é Evan H. Delucia (*burst* de citação de 4,6), começando sua explosão de citações em 2008 e terminando em 2012. Os trabalhos envolvendo esse autor remetem a interação entre inseto-planta dentro de um contexto das influências dos gases do efeito estufa nessas interações, sendo que oito de seus treze trabalhos envolvem a espécie de besouro (Coleoptera) *Popillia japonica* Newman, 1838 (O'NEILL *et al.*, 2010; NIZIOLEK; BERENBAUM; DELUCIA, 2012; CASTEEL *et al.*, 2012).

Figura 7 — Os oito autores com maior explosão de citação entre os anos de 1992 a 2021. A barra azul representa o período de 1992 a 2021 enquanto a barra vermelha o período de tempo em que o autor foi citado



Fonte: Autor (2021)

O segundo autor com maior *burst* de citação (4,24) é Fajun Chen entre o período de 2018 e 2019. Esse autor, assim como Evan H. Delucia, investiga em seus artigos a relação inseto-planta sobre as influências de CO₂, sendo três de suas oito pesquisas sobre a espécie de tripses (Thysanoptera), *Frankliniella occidentalis* Pergande, 1895 (QIAN *et al.*, 2018; QIAN *et al.*, 2020; QIAN *et al.*, 2021).

O autor com o terceiro maior *burst* de citação (4,09) é May R. Berenbaum que possui a maioria de seus trabalhos vinculados com Evan H. Delucia. O autor que teve uma explosão de citação com maior duração foi Brent J. Sinclair (2011-2016). Os artigos desse autor têm assuntos variados, envolvendo desde distribuição e metabolismo dos insetos até tolerância térmica/aclimação (MACMILLAN *et al.*, 2012; BARTON; TERBLANCHE; SINCLAIR, 2019). O *burst* de citação de autores pode indicar, além dos autores que estão sendo mais citados, quais assuntos estão em alta dentro daquele período. Com base nisso, no período de 2008 a 2012 havia um interesse por parte da comunidade científica pelo assunto sobre interação inseto-planta e mudança climáticas, assim como os períodos de 2014 a 2018, 2015 a 2016 e 2018 a 2019.

Já de 2010 a 2011, com base nos artigos de John S. Terblanche, trabalhos em torno de tolerância térmica/respostas fisiológicas do inseto eram mais destacadas. De 2011 a 2016 o interesse está em torno de assuntos como distribuição, tolerância térmica e aclimação. Já de 2017 a 2019, o interesse está na tolerância térmica e fenologia dos insetos, sendo que fenologia foi uma das palavras-chave que mais foram citadas ao longo dos anos (Figura 5).

Logo, nota-se que os assuntos no universo de pesquisa desses autores concentram-se, de forma geral, na interação inseto-planta e em torno da tolerância térmica. Com relação ao número de trabalhos que exploram a relação inseto-planta, tal resultado pode estar relacionado ao fato de que as interações entre esses dois organismos ocorrem a milhões de anos resultando na coevolução de ambos. Por exemplo, na fitofagia há espécies de insetos que desenvolveram em seu processo evolutivo a capacidade de se desintoxicar do veneno de plantas que surgiram primeiramente como resposta a esses ataques (GULLAN; CRANSTON, 2017).

No caso da polinização, as plantas podem apresentar suas estruturas reprodutivas adaptadas especificamente para determinados tipos de polinizadores, como é o caso da orquídea *Angraecum sesquipedale* que é endêmica de Madagascar e que limita o acesso ao seu néctar por possuir um longo receptáculo. Logo, apenas o animal que possua um longo aparelho bucal consegue acessar a substância açucarada desse vegetal, como é o caso da *Xanthopan morgani* Walker, 1856 (Lepidoptera) que possui uma probóscide alongada (NETZ; RENNERT, 2017). Tal relação demonstra a evolução das características em ambas as espécies e como sua existência está atrelada uma a outra, logo se uma deixar de existir (seja por mudanças fenológicas entre as espécies ou algum outro fator) a outra também deixará (ARDITTI *et al.*, 2012).

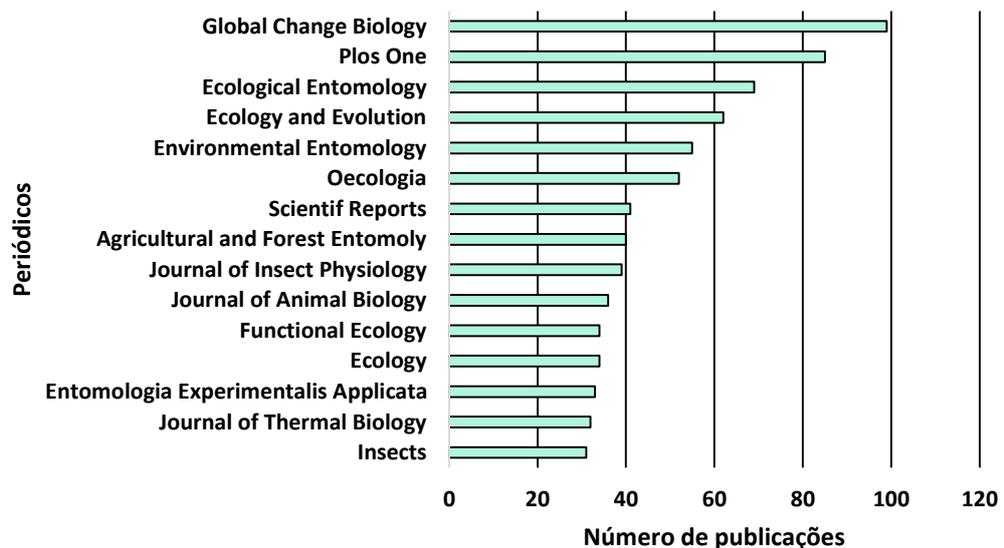
Essas interações também são muito importantes para a vida humana. A herbivoria dos insetos é amplamente estudada por estar associada a prejuízos no setor agrícola e, consequentemente na alimentação humana, podendo resultar em perdas econômicas de bilhões de dólares por ano (AUAD; FONSECA, 2017). Por outro lado, a polinização por insetos também recebe atenção devido aos benefícios que trazem as culturas cultivadas, como é o caso do café onde a polinização por abelhas pode aumentar a produção em até 50% (ROUBIK, 2002).

A tolerância térmica está associada em como os insetos respondem a extremos climáticos como calor ou frio em condições consideradas desfavoráveis à sua sobrevivência (GULLAN; CRANSTON, 2017). Estudos levam em consideração a tolerância térmica dos insetos para relacionar esse fator as influências do clima em sua potencial e/ou presente distribuição (KÄFER *et al.*, 2020; HUANG *et al.*, 2020; COLARES *et al.*, 2021) além de estimar os limites térmicos tanto superior quanto inferior e investigar sua capacidade de responder à aclimação térmica (HIDALGO-GALIANA; RIBERA; TERBLANCHE, 2021).

4.6 REVISTAS

As 15 revistas que mais publicam artigos relacionando o assunto “mudanças climáticas e insetos” estão descritas no Gráfico 5. A revista que mais possui publicações sobre o tema é a *Global Change Biology* (fator de impacto de 11.863) que tem por objetivo promover a compreensão da interface entre os sistemas biológicos e todos os aspectos das mudanças ambientais que afetam uma parte substancial do globo, incluindo trabalhos que estudam as mudanças globais (incêndios, urbanização, espécies invasivas, entre outros) no passado, presente e futuro (projeções).

Gráfico 5 — Revistas que publicam sobre o assunto mudanças climáticas e insetos



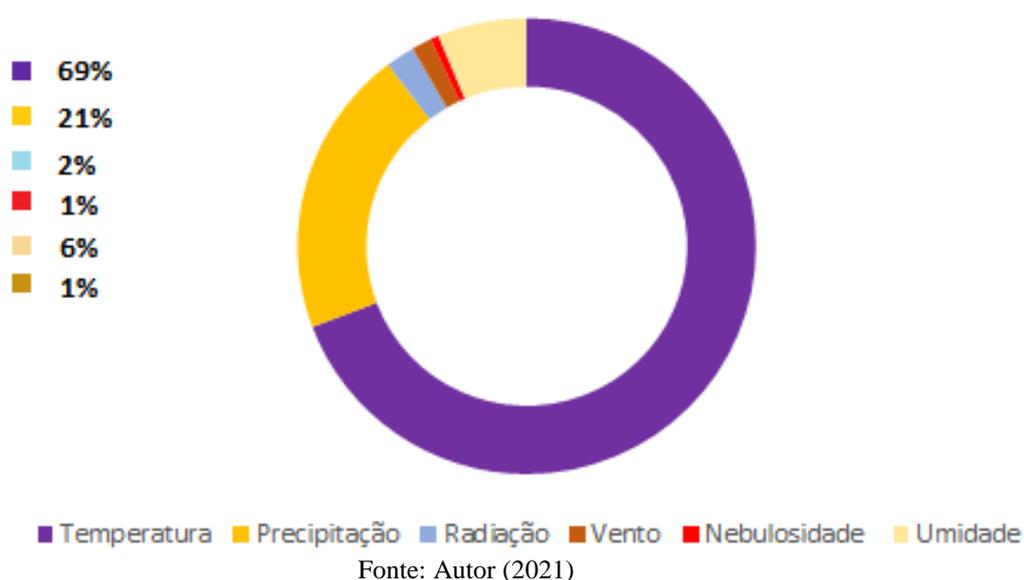
Fonte: Autor (2021)

As outras revistas que mais possuem publicações são: *Plos One* fator de impacto (FI) de 3.24, *Ecological Entomology* (FI= 2.465), *Ecology and Evolution* (FI= 2.39), *Environmental Entomology* (FI= 2.377), *Oecologia* (FI= 3.225), *Scientific Reports* (FI= 4.379), *Agricultural and Forest Entomology* (FI= 2.509), *Journal of Insect Physiology* (FI= 2.354), *Journal of Animal Biology* (FI= 4.55), *Functional Ecology* (FI= 5.61), *Ecology* (5.499), *Entomologia Experimentalis et Applicata* (FI= 2.25), *Journal of Thermal Biology* (FI= 2.902) e *Insects* (FI= 2.769). Cerca de sete das quinze revistas fazem parte da *Wiley Online Library*, ou seja, quase metade das revistas com o maior número de publicações nessa área pertencem a esse acervo.

4.7 ELEMENTOS CLIMÁTICOS

Os elementos climáticos mensurados no conjunto de dados investigado estão representados pela Figura 8. O elemento climático que apareceu com maior intensidade nas pesquisas foi a temperatura (69%), seguida por: precipitação (21%), umidade (6%), radiação (2%), vento (1%) e nebulosidade (1%). O elemento climático pressão atmosférica também apareceu, porém em uma quantidade muito baixa para ser considerada na abaixo.

Figura 8 — Frequência de elementos climáticos abordados nas pesquisas sobre mudanças climáticas e insetos em %



Além de a temperatura ter sido o fator mais abordado, ela também foi uma das palavras-chaves mais utilizadas, ficando atrás apenas de *Climate Change* (Figura 5). Era esperado que a temperatura fosse o elemento climático mais frequente, uma vez que ela interfere na taxa ou modo de desenvolvimento ou crescimento dos insetos assim como em seu comportamento, reprodução, migração, sobrevivência, entre outros (BLANCHARD *et al.*, 2020; JUHÁSZ *et al.*, 2020; DONGMO *et al.*, 2021).

Com o aquecimento global, é previsto mudanças na frequência, duração e densidade das chuvas (CHEN *et al.*, 2019). Os estudos que envolvem precipitação geralmente associam essa métrica a temperatura analisando como ambos afetam fatores como o desenvolvimento, a sobrevivência e a distribuição dos insetos (HUANG; HAO, 2020; SALGADO; DILEO; SAASTAMOINEN, 2020; GAO; SHI, 2021).

Já a umidade está relacionada ao desenvolvimento, longevidade e até mesmo ao comportamento de oviposição do inseto (LU *et al.*, 2011; MAINALI *et al.*, 2015). Quando a umidade está relativamente baixa, o desenvolvimento dos insetos pode ser retardado, mas em umidades relativas maiores os insetos ou seus ovos são mais propícios a afogamentos e a patógenos (GULLAN; CRANSTON, 2017).

No caso da radiação solar, a maioria dos seres ectotérmicos não são capazes de detectá-la, mas podem evitar esse elemento por meio do comportamento de termorregulação (YIN *et al.*, 2018). Nos insetos, esse estressor pode afetar significativamente a distribuição e padrões de atividades (como voo) (KUUSSAARI *et al.*, 2016; CUI *et al.*, 2016).

O vento é um elemento climático que afeta diretamente a dispersão dos insetos, sua atividade de forrageamento e também, em algumas espécies, tem papel na reprodução (FAHEEM; ASLAM; RAZAQ, 2004; GULLAN, CRANSTON 2017). Para os insetos, de modo geral, as asas são importantes estruturas locomotoras que possibilitam sua distribuição territorial, uma vez que ajudam esses organismos a evitar e ultrapassar barreiras físicas e biológicas.

As mudanças climáticas podem alterar a velocidade dos ventos e, conseqüentemente, alterar sua intensidade e frequência (PES, 2015). Visto que apenas 1% das pesquisas analisadas neste trabalho avaliam o vento e suas influências nos insetos em um contexto de mudanças climáticas, mais estudos analisando esse elemento são necessários para que a fidelidade de resultados (por exemplo, em trabalhos que analisam a distribuição) seja maior.

A nebulosidade e a pressão atmosférica também foram elementos climáticos pouco mensurados. Alguns estudos apontam que a nebulosidade está relacionada a atividades dos insetos e ao seu comportamento de oviposição (FAHEEM; ASLAM; RAZAQ, 2004; GAVRICHKIN *et al.*, 2018; BRAEM; VAN DYCK, 2021) enquanto a pressão atmosférica pode estar associada ao comportamento sexual de alguns insetos (MARCHAND; MCNEIL, 2000; PELLEGRINO *et al.*, 2013; MCFARLANE *et al.*, 2015).

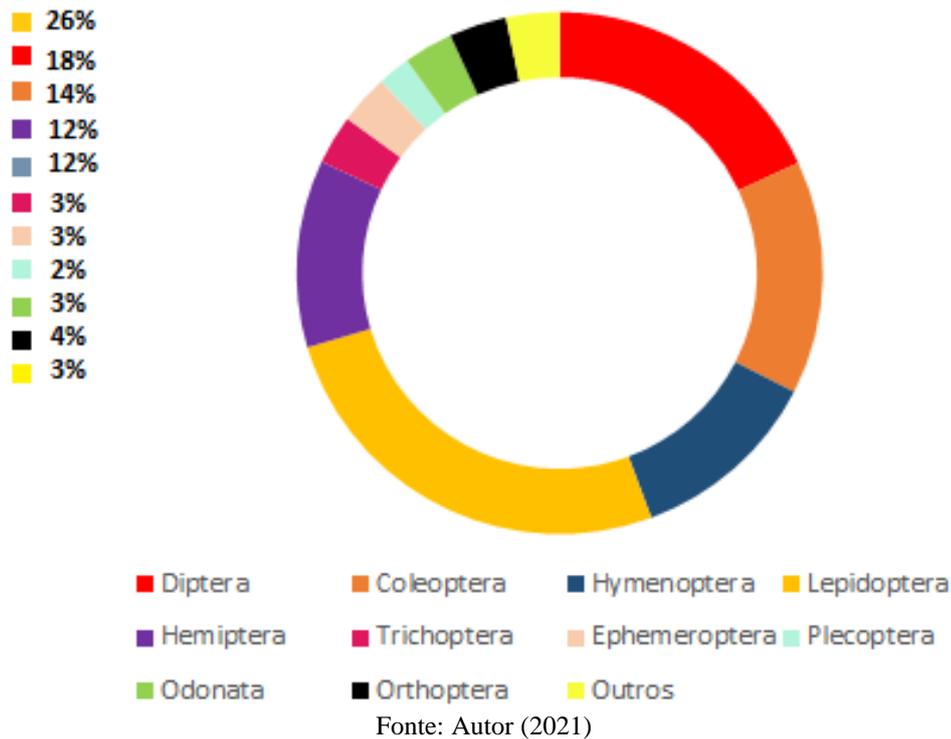
Devido ao baixo número de artigos usando essas duas métricas no contexto de mudanças climáticas enfatiza-se que há ainda muito a se explorar nos efeitos que esses dois elementos têm sobre os insetos.

4.8 ORDENS DE INSETOS E TÓPICOS ESTUDADOS

A Figura 9 representa as ordens de insetos mais estudadas do conjunto de dados analisado. A ordem Lepidoptera é a mais frequente (26%), seguida por: Diptera (18%),

Coleoptera (14%), Hymenoptera (14%), Hemiptera (14%), Orthoptera (4%), Ephemeroptera (3%), Thricoptera (3%), Odonata (3%), Outros (3%) e Plecoptera (2%). Na categoria outros, algumas das ordens que apareceram foram: Thysanoptera, Blattodea, Mantodea, Psocoptera, Megaloptera, Notoptera, Shiphonaptera, Neuroptera, Dermaptera e Mecoptera.

Figura 9 — Frequência de ordens de insetos



A ordem Lepidoptera apresenta cerca de 160.000 espécies catalogadas e mais de 120 famílias distribuídas ao redor do mundo (GULLAN; CRANSTON, 2017). Essa ordem foi a mais frequente no conjunto de dados analisado assim como foi uma das palavras-chave mais utilizadas (Figura 5).

Lepidoptera também é a maior linhagem de insetos herbívoros e por isso, a gama de estudos explorando suas interações com os vegetais é notável (GRIMALDI; ENGEL, 2005). Como exemplo, há trabalhos que buscam explorar os efeitos da elevação da temperatura e da qualidade da dieta larval (variedades de *Asclepias* sp.) na capacidade de voo da borboleta monarca (SOULE; DECKER; HUNTER, 2020) enquanto outros trabalhos avaliam e o impacto do aquecimento do clima no desenvolvimento das larvas desse mesmo inseto (LEMOINE; CAPDEVIELLE; PARKER, 2015).

Tais resultados demonstram o interesse científico em conduzir pesquisas com essa ordem específica, abordando tópicos voltados para interação inseto-planta (herbivoria e polinização), interação presa-predador, hospedeiro-parasitoide, termotolerância, distribuição e fenologia (ROCHA *et al.*, 2019; LEE *et al.*, 2020; SILVA; BEIRÃO; CARDOSO, 2020; KUCZYK; MÜLLER; FISCHER, 2021; LEUENBERGER *et al.*, 2021; RÉGNIÈRE *et al.*, 2021).

Contudo, esperava-se que Coleoptera fosse a ordem com maior frequência, visto que é a ordem mais abundante e diversificada de insetos com cerca de 390.000 espécies descritas (GULLAN, CRANSTON, 2017), sendo registrados só no Brasil pouco mais de 28 mil espécies (RAFAEL, *et al.*, 2012). A diversidade desses animais pode estar associada a sua co-diversificação com as plantas terrestres (como as angiospermas) que se irradiaram rapidamente na Era Cenozoica, período Terciário; a baixa taxa de extinção de linhagem ao longo de uma longa história evolutiva e a radiação adaptativa de besouros herbívoros especializados após transferências horizontais convergentes de genes microbianos que codificam PCWDEs (enzimas de degradação da parede celular) (GÓMEZ-ZURITA *et al.*, 2007; MCKENNA *et al.*, 2019).

A ordem Diptera possui menos espécies catalogadas (160.000 espécies descritas) em comparação a Coleoptera e ocupou o segundo lugar no *ranking* (GULLAN, CRANSTON, 2017). Tal resultado pode ter ocorrido porque milhares de espécies de dípteros são de importância médica e veterinária (GULLAN, CRANSTON, 2017), chamando mais a atenção da comunidade científica para análises de distribuição (e conseqüentemente transmissão de doenças) e atividade desses animais ao longo das variações climáticas (WITTER *et al.*, 2012; AGUSTO, 2020).

Hymenoptera foi a quarta ordem mais explorada dentro dos 2110 artigos analisados. Essa ordem possui mais de 150.000 espécies descritas sendo representada pelas abelhas, formigas e vespas. Os artigos que abordam abelhas estudam, por exemplo, como o aquecimento e elevado CO₂ afetam o padrão fenológico, as interações planta-inseto (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758 e *Paratrigona lineata* Lepeletier, 1836) e as taxas de cruzamento nas espécies forrageiras de leguminosas tropicais *Stylosanthes capitata* Vogel (Fabaceae) (ALZATE-MARIN *et al.*, 2021) e qual o impacto das mudanças climáticas projetadas em 18 espécies de mamangavas da Mesoamérica (MARTÍNEZ-LÓPEZ *et al.*, 2021).

Outros trabalhos investigam como as interações entre as características fisiológicas e as temperaturas ambientais levam a mudanças funcionais e composicionais nas comunidades de formigas (BOYLE *et al.*, 2021); como a geada do final da primavera e a seca severa que

ocorreram na Espanha em 2017 afetaram as interações entre o inseto formador de galha, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, 1951, e a árvore nativa, *Castanea sativa* (LOMBARDERO; CASTEDO-DORADO; AYRES, 2021); e o efeito da variação de temperatura no comportamento de caminhada do parasitóide *Anaphes listronoti* Huber, 1997 (AUGUSTIN *et al.*, 2020).

Insetos aquáticos como Trichoptera, Ephemeroptera e Plecoptera aparecem correspondendo a 8% do total, apontando que ambientes aquáticos também estão sendo estudados para verificar os efeitos das mudanças climáticas nesses organismos. Algumas das pesquisas que abordam essas ordens investigam o tempo de emergência de espécies de plecópteros entre dois riachos com diferentes regimes térmicos (CHENEY *et al.*, 2019), os efeitos do aumento da temperatura e do dióxido de carbono (CO₂) na biomassa fúngica, quebra de folhas e na sobrevivência e crescimento do triturador *Phylloicus elektoros* (Trichoptera) (MARTINS *et al.*, 2016) e a resposta da diversidade de espécies de efemerópteras a fatores como a temperatura da água (RAMULIFHO; FOORD; RIVERS-MOORE, 2020).

No que diz respeito aos tópicos sobre o que as pesquisas estudam dentro do assunto “mudanças climáticas e insetos”, os dados apontaram que os assuntos distribuição, interação inseto-planta (com destaque na herbivoria), fenologia, abundância e tolerância térmica foram os mais estudados. O tópico distribuição foi o que teve maior frequência, mostrando o quanto esse tema é relevante dentro da comunidade científica. Notou-se também que a maioria dos trabalhos analisados dentro desse tópico investigam e/ ou preveem a distribuição ao longo dos anos de insetos considerados pragas (sejam eles pragas agrícolas ou florestais) (WANG *et al.*, 2020; JI; GAO; WEI, 2021; CANELLES *et al.*, 2021).

A interação entre inseto-planta, tolerância térmica e fenologia aparecem, novamente, como os tópicos de pesquisa mais frequentes, demonstrando a relação desses dados com outros resultados como: o *burst* de citação de autores em que os assuntos das pesquisas foram relacionados a esses tópicos; as palavras-chave mais frequentes em que a palavra-chave fenologia é uma das que mais aparece; e os documentos mais citados entre 1992-2021 em que a fenologia é estudada em pelo menos 3 dos 10 artigos. Dessa forma, tais dados reforçam o quanto esses assuntos estão sendo explorados dentro das alterações climáticas.

5 CONCLUSÕES

A partir de uma visão global, o presente trabalho buscou mostrar as tendências e lacunas dentro das pesquisas sobre mudanças climáticas e insetos utilizando a base de dados do *Web of*

Science. O assunto proposto tende a evoluir cada vez mais, visto que desde 1992 até o presente momento há o crescimento no número de publicações e citações. Essa evolução do tema pode estar associada a necessidade de compreender os efeitos das mudanças climáticas nos seres vivos e em suas interações para contornar cenários que podem vir a ser catastróficos.

As pesquisas que relacionam os efeitos das mudanças climáticas nos insetos abordam uma variedade de tópicos além de estarem relacionados a áreas distintas do conhecimento. Os assuntos Lepidoptera, distribuição, tolerância térmica, fenologia e interação inseto-planta, são os mais explorados e que possuem grande atenção da comunidade científica o que indica o quanto são relevantes para pesquisas sobre mudanças climáticas e insetos.

Com relação aos países, há a necessidade de maior envolvimento do Brasil no desenvolvimento de pesquisas sobre o tema, uma vez que o país tem uma grande diversidade de insetos e apresentou poucas publicações e parcerias com outros países. No que diz respeito aos elementos climáticos, é preciso analisar outros elementos que vão além da temperatura para que haja a ampliação do entendimento de como as alterações no clima global afetam as mais variadas espécies de insetos.

Com o presente trabalho conclui-se que as mudanças climáticas afetam os insetos, seja em seu comportamento, tamanho, massa corporal, distribuição, metabolismo e em suas interações com o ambiente ou com outros seres vivos. Com a diversidade de dados que existem sobre esses impactos, é notável o quanto a comunidade científica está se preocupando e explorando cada vez mais meios de elucidar e apontar em como alterações nas condições climáticas globais estão ou irão afetar os insetos. Por fim, a presente pesquisa pretende contribuir com um melhor entendimento do estado atual do campo de pesquisa além de servir como ponto de partida para estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- ABATI, R. *et al.* Bees and pesticides: the research impact and scientometrics relations. **Environmental Science and Pollution Research**, 2021.
- AGUIRRE-GUTIÉRREZ, J. *et al.* Functional traits help to explain half-century long shifts in pollinator distributions. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1-13, 2016.
- AGUSTO, F. B. Optimal Control and Temperature Variations of Malaria Transmission Dynamics. **Complexity**, v. 2020, p. 1-32, 2020.
- ALVES, R. J. M.; MIRANDA, T. G.; TAVARES-MARTINS, A. C. C. Abordagem cienciométrica sobre a bioatividade de briófitas: o potencial anti-insetos e as perspectivas para o século XXI. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. 1-43, 2020.
- ALZATE-MARIN, A. L. *et al.* Warming and elevated CO₂ induces changes in the reproductive dynamics of a tropical plant species. **Science of The Total Environment**, v. 768, p. 144899, 2021.
- ANDERSON, R. S. 131. CURCULIONIDAE Latreille 1802. *In*: ARNETT JUNIOR, R. H.; THOMAS, M. C.; SKELLEY, P. E.; FRANK, J. H. (Eds.). **American Beetles, Volume II Polyphaga: scarabaeoidea through curculionoidea**. Boca Raton: CRC Press, 2002. Cap. 131. p. 1-880.
- ARAÚJO, W. S. de. 30 years of research on insect galls in Brazil: a scientometric review. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 58, p. 1-11, 2018.
- ARDITTI, J. *et al.* ‘Good Heavens what insect can suck it’ - Charles Darwin, *Angraecum sesquipedale* and *Xanthopan morgani praedicta*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 169, n. 3, p. 403-432, 2012
- ARMENDÁRIZ-TOLEDANO, F.; TORRES-BANDA, V.; ZÚÑIGA, G. The Current Status of *Dendroctonus ponderosae* Hopkins (Coleoptera: curculionidae). **The Coleopterists Bulletin**, v. 71, n. 3, p. 565, 2017.
- AUAD, A. M.; FONSECA, M. G. A entomologia nos cenários das mudanças climáticas. *In*: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. **Aquecimento Global e Problemas Fitossanitários**. 1. ed. 489 p. Embrapa Meio Ambiente: Brasília, 2017.
- AUGUSTIN, J. *et al.* Effect of temperature on the walking behaviour of an egg parasitoid: disentangling kinetic response from integrated response. **Ecological Entomology**, v. 45, n. 3, p. 741-750, 2020.
- BAO, Y. *et al.* Drought drives the pine caterpillars (*Dendrolimus* spp.) outbreaks and their prediction under different RCPs scenarios: a case study of shandong province, China. **Forest Ecology and Management**, v. 475, p. 118446, 2020.
- BARRY, R. G; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, weather and climate**. 8. ed. 2003.

BARTON, M. G.; TERBLANCHE, J. S.; SINCLAIR, B. J. Incorporating temperature and precipitation extremes into process-based models of African Lepidoptera changes the predicted distribution under climate change. **Ecological Modelling**, v. 394, p. 53-65, 2019.

BELLARD, C. *et al.* Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology Letters**, v. 15, n. 4, p. 365-377, 2012.

BELLEMIN-NOËL, B. *et al.* Improved performance of the eastern spruce budworm on black spruce as warming temperatures disrupt phenological defences. **Global Change Biology**, v. 27, n. 14, p. 3358-3366, 2021.

BENTZ, B. J. *et al.* Climate Change and Bark Beetles of the Western United States and Canada: direct and indirect effects. **Bioscience**, v. 60, n. 8, p. 602-613, 2010.

BETTIOL, W. *et al.* **Aquecimento global e problemas fitossanitários**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

BLANCHARD, S. *et al.* Towards more intimacy: moderate elevation of temperature drives increases in foraging and mutualistic interactions between *lasius niger* and *aphis fabae*. **Ecological Entomology**, v. 46, n. 2, p. 406-418, 2020.

BORNMANN, L.; LEYDESDORFF, L. Scientometrics in a changing research landscape. **Embo Reports**, v. 15, n. 12, p. 1228-1232, 2014.

BOYLE, M. J. W. *et al.* Localised climate change defines ant communities in human-modified tropical landscapes. **Functional Ecology**, v. 35, n. 5, p. 1094-1108, 2021.

BP. **Statistical Review of World Energy 2021**. 70. ed. 2021.

BRAEM, S.; VAN DYCK, H. On the role of direct sunlight for egg-laying behaviour: lessons and ideas from the speckled wood. **Ecological Entomology**, v. 46, n. 4, p. 800-806, 2021.

BRASIL, L. S. *et al.* Aquatic insects and their environmental predictors: a scientometric study focused on environmental monitoring in lotic environmental. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 3, p. 1-10, 2020.

BRASIL. Decreto nº 2.652, de 1º de julho 1998. Promulga a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada em Nova York, em 9 de maio de 1992. **Diário Oficial [da] República do Brasil**, Brasília, DF, 8 dez. 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2652.htm. Acesso em: 05 mar. 2021.

BRIMBLECOMBE, P.; LANKESTER, P. Long-term changes in climate and insect damage in historic houses. **Studies in Conservation**, v. 58, n. 1, p. 13-22, 2013.

BUCKLEY, L. B.; GRAHAM, S. I.; NUFIO, C. R. Grasshopper species' seasonal timing underlies shifts in phenological overlap in response to climate gradients, variability and change. **Journal of Animal Ecology**, v. 90, n. 5, p. 1252-1263, 2021.

CANELLES, Q. *et al.* Predicting the potential distribution and forest impact of the invasive species *Cydalima perspectalis* in Europe. **Ecology and Evolution**, v. 11, n. 10, p. 5713-5727, 2021.

CAMERON, S. A. *et al.* Patterns of widespread decline in North American bumble bees. **Proceedings of The National Academy of Sciences**, v. 108, n. 2, p. 662-667, 2011.

CASTEEL, C. L. *et al.* Elevated Carbon Dioxide Increases Salicylic Acid in *Glycine max*. **Environmental Entomology**, v. 41, n. 6, p. 1435-1442, 2012.

CHEN, C. **The CiteSpace Manual**. 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Arsev-Aydinoglu-2/publication/274377526_Collaborative_interdisciplinary_astrobiological_research_a_bibliometric_study_of_the_NASA_Astrobiology_Institute/links/5670463b08ae0d8b0cc0e112/Collaborative-interdisciplinary-astrobiology-research-a-bibliometric-study-of-the-NASA-Astrobiology-Institute.pdf. Acesso em: 20 jul. 2021.

CHEN, C. *et al.* Rain downpours affect survival and development of insect herbivores: the specter of climate change? **Ecology**, v. 100, n. 11, p. 1-10, 2019.

CHEN, C. Searching for intellectual turning points: progressive knowledge domain visualization. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 101, n. 1, p. 5303-5310, 2004.

CHEN, C.; SONG, M. Visualizing a field of research: a methodology of systematic scientometric reviews. **Plos One**, v. 14, n. 10, p. 1-25, 2019.

CHENEY, K. N. *et al.* Effects of Stream Temperature and Substrate Type on Emergence Patterns of Plecoptera and Trichoptera from Northeastern United States Headwater Streams. **Environmental Entomology**, v. 48, n. 6, p. 1349-1359, 2019.

CHOWDHURY, G. R. *et al.* Ecosystem Services of Insects. **Biomedical Journal of Scientific & Technical Research**, v. 1, n. 2, p. 495-497, 2017.

COLARES, C. *et al.* Elevational specialization and the monitoring of the effects of climate change in insects: beetles in a Brazilian rainforest mountain. **Ecological Indicators**, v. 120, p. 106888, 2021.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S). **Copernicus: 2020 warmest year on record for Europe; globally, 2020 ties with 2016 for warmest year recorded**. 2021. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/2020-warmest-year-record-europe-globally-2020-ties-2016-warmest-year-recorded>. Acesso em: 05 mar. 2021.

CUI, Q. *et al.* Seasonal and diurnal patterns of activity in honeybees (*Apis* spp.) on the northern edge of the Asian tropics; their implications for the climate-change resilience of pollination. **Tropical Conservation Science**, v. 9, n. 3, p. 194008291666714, 2016.

CURI, D. (org.). **Gestão ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

DAMIEN, M.; TOUGERON, K. Prey–predator phenological mismatch under climate change. **Current Opinion in Insect Science**, v. 35, p. 60-68, 2019.

DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, Jean-Marie. The Sublethal Effects of Pesticides on Beneficial Arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 52, n. 1, p. 81-106, 2007.

DEUTSCH, C. A. *et al.* Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. **Proceedings of The National Academy of Sciences**, v. 105, n. 18, p. 6668-6672, 2008.

DONATO, H.; DONATO, M. Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática. **Acta Médica Portuguesa**, v. 32, n. 3, p. 227, 2019.

DONGMO, K. M. A. *et al.* Temperature-based phenology model to predict the development, survival, and reproduction of the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis*. **Journal of Thermal Biology**, v. 97, p. 102877, 2021.

DUDGEON, D.; NG, L. C. Y.; TSANG, T. P. N. Shifts in aquatic insect composition in a tropical forest stream after three decades of climatic warming. **Global Change Biology**, v. 26, n. 11, p. 6399-6412, 2020.

EVERINGTON, K. **China floods affect 54.8 million people, inflict US\$20 billion in losses.** 2020. Disponível em: <https://www.taiwannews.com.tw/en/news/3976456>. Acesso em: 3 mar. 2021.

FAHEEM, M.; ASLAM; RAZAQ M. Pollination ecology with special reference to insects – a review. **Journal of Research (Science)**, v. 15, n. 4, p. 395-40, 2004.

FAO. Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture – the international response. *In*: Freitas, B. M.; Pereira, J. O. P. **Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination**. Imprensa Universitária. Fortaleza, Brasil. p. 19-2. 2004.

FLEISHMAN, E.; MURPHY, D. D. A Realistic Assessment of the Indicator Potential of Butterflies and Other Charismatic Taxonomic Groups. **Conservation Biology**, v. 23, n. 5, p. 1109-1116, 2009.

GAO, T.; SHI, J. The Potential Global Distribution of *Sirex juvencus* (Hymenoptera: siricidae) under near current and future climatic conditions as predicted by the maximum entropy model. **Insects**, v. 12, n. 3, p. 1-21, 2021.

GARIBALDI, L. A. *et al.* Time to Integrate Pollinator Science into Soybean Production. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 36, n. 7, p. 573-575, 2021.

GAVRICHKIN, A. A. *et al.* The effect of the abiotic factors on the vital functions of caribou warble flies (*Oedemagena tarandi* L.) in conditions of subarctic tundra. **Ukrainian Journal of Ecology**, v. 8, n. 4, p. 64-69, 2018.

GIANNINI, T. C. *et al.* The Dependence of Crops for Pollinators and the Economic Value of Pollination in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 3, p. 849-857, 2015.

GOMES, G. *et al.* Insetos, entomologia e ciência forense. *In*: GOMES, L. **Entomologia forense: novas tendências e tecnologias criminais**. Technical. Rio de Janeiro, 2010.

GÓMEZ-ZURITA, J. *et al.* Recalibrated Tree of Leaf Beetles (Chrysomelidae) Indicates Independent Diversification of Angiosperms and Their Insect Herbivores. **Plos One**, v. 2, n. 4, p. 1-8, 2007.

GOVERNO FEDERAL. **Apresentação da contribuição nacionalmente determinada do Brasil perante o Acordo de Paris**. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mre/pt-br/canais_atendimento/imprensa/notas-a-imprensa/2020/apresentacao-da-contribuicao-nacionalmente-determinada-do-brasil-perante-o-acordo-de-paris. Acesso em: 05 mar. 2021.

GRAY, S. B.; BRADY, S. M. Plant developmental responses to climate change. **Developmental Biology**, v. 419, n. 1, p. 64-77, 2016.

GRIMM, I. J.; ALCANTARA, L. C. S.; SAMPAIO, C. A. C. O turismo no cenário das mudanças climáticas: impactos, possibilidades e desafios. **Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 1-22, 2018.

GRIMALDI, D.; ENGEL, M. S. **Evolution of the Insects**. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press, 2005.

GULLAN, P. J; CRANSTON, P. S. **Insetos: Fundamentos da Entomologia**. 5. ed. Rio de Janeiro: Roca, 2017.

HANSEN, L. S. *et al.* Future pest status of an insect pest in museums, *Attagenus smirnovi*: distribution and food consumption in relation to climate change. **Journal of Cultural Heritage**, v. 13, n. 1, p. 22-27, 2012.

HENDRY, A. P.; FARRUGIA, T. J.; KINNISON, M. T. Human influences on rates of phenotypic change in wild animal populations. **Molecular Ecology**, v. 17, n. 1, p. 20-29, 2008.

HIDALGO-GALIANA, A.; RIBERA, I.; TERBLANCHE, J. S. Geographic variation in acclimation responses of thermal tolerance in South African diving beetles (Dytiscidae: Coleoptera). **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 257, p. 110955, 2021.

HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. **Proceedings of The National Academy of Sciences**, v. 102, n. 46, p. 16569-16572, 2005.

HOEGH-GULDBERG, O. *et al.* Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. **Science**, v. 318, n. 5857, p. 1737-1742, 2007.

HOOD, W. W.; WILSON, C. S. The literature of bibliometrics, scientometrics, and informetrics. **Scientometrics**, v. 52, n. 2, p. 291-314, 2001.

HUANG, J. *et al.* Low-temperature derived temporal change in the vertical distribution of *Sesamia inferens* larvae in winter, with links to its latitudinal distribution. **Plos One**, v. 15, n. 7, p. 1-15, 2020.

HUANG, J.; HAO, H. Effects of climate change and crop planting structure on the abundance of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: noctuidae). **Ecology and Evolution**, v. 10, n. 3, p. 1324-1338, 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **A taxa consolidada de desmatamento por corte raso para os nove estados da Amazônia Legal (AC, AM, AP, MA, MT, PA, RO, RR e TO) em 2019 é de 10.129 km²**. 2020. Disponível em: [http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5465\(http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/\)](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5465(http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/)). Acesso em: 05 mar. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Programa Queimadas. *In: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Monitoramento dos focos ativos por bioma*. 2021. Disponível em: http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/. Acesso em: 5 mar. 2021.

JI, W.; GAO, G.; WEI, J. Potential Global Distribution of *Daktulosphaira vitifoliae* under Climate Change Based on MaxEnt. **Insects**, n. 12, p. 347, 2021.

JUHÁSZ, E. *et al.* Long-term temporal patterns in flight activities of a migrant diurnal butterfly. **Insect Science**, v. 28, n. 3, p. 839-849, 2020.

JUHÁSZ, O. *et al.* Consequences of climate change-induced habitat conversions on red wood ants in a central European mountain: a case study. **Animals**, v. 10, n. 9, p. 1677, 2020.

KÄFER, H. *et al.* Temperature Tolerance and Thermal Environment of European Seed Bugs. **Insects**, v. 11, n. 3, p. 197, 2020.

KOSIOR, A. *et al.* The decline of the bumble bees and cuckoo bees (Hymenoptera: Apidae: Bombini) of Western and Central Europe. **Oryx**, v. 41, n. 1, p. 79-88, 2007.

KUCZYK, J.; MÜLLER, C.; FISCHER, K. Plant-mediated indirect effects of climate change on an insect herbivore. **Basic and Applied Ecology**, v. 53, p. 100-113, 2021.

KURZ, W. A. *et al.* Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. **Nature**, v. 452, n. 7190, p. 987-990, 2008.

KUUSSAARI, M. *et al.* Weather explains high annual variation in butterfly dispersal. **Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1835, p. 20160413, 2016.

LANDSBERG, J.; SMITH, Ms. A Functional Scheme for Predicting the Outbreak Potential of Herbivorous Insects Under Global Atmospheric Change. **Australian Journal of Botany**, v. 40, n. 5, p. 565, 1992.

LEE, WANG-HEE *et al.* Analysis of the spatial distribution and dispersion of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: pyralidae) in South Korea. **Journal of Stored Products Research**, v. 86, p. 101577, 2020.

LEINS, J. A. *et al.* High-resolution PVA along large environmental gradients to model the combined effects of climate change and land use timing: lessons from the large marsh grasshopper. **Ecological Modelling**, v. 440, p. 109355, 2021.

LEITE, J. C. Controvérsias na climatologia: o IPCC e o aquecimento global antropogênico. **Scientiae Studia**, v. 13, n. 3, p. 643-677, 2015.

LEMOINE, N. P.; CAPDEVIELLE, J. N.; PARKER, J. D. Effects of in situ climate warming on monarch caterpillar (*Danaus plexippus*) development. **Peerj**, v. 3, p. 1293, 27 out. 2015.

LEUENBERGER, W. *et al.* Short-Term Increase in Abundance of Foliage-Gleaning Insectivorous Birds Following Experimental Ice Storms in a Northern Hardwood Forest. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 3, p. 1-13, 2021.

LOMBARDERO, M. J.; CASTEDO-DORADO, F.; AYRES, M. P. Extreme climatic events affect populations of Asian chestnut gall wasps, *Dryocosmus kuriphilus*, but do not stop the spread. **Agricultural and Forest Entomology**, p. 1-16, 2021.

LOSEY, J. E.; VAUGHAN, M. The economic value of ecological services provided by insects. **Bioscience**, v. 56, n. 4, p. 311-323, 2006.

LU, Y. *et al.* Effect of relative humidity on population growth of *Apolygus lucorum* (Heteroptera: miridae). **Applied Entomology and Zoology**, v. 46, n. 3, p. 421-427, 2011.

MACAULAY, S. J. *et al.* Time-cumulative effects of neonicotinoid exposure, heatwaves and food limitation on stream mayfly nymphs: a multiple-stressor experiment. **Science of The Total Environment**, v. 754, p. 141941, 2021.

MACIAS-CHAPULA, C. A. O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 134-140, 1998.

MACMILLAN, H. A. *et al.* Metabolism and energy supply below the critical thermal minimum of a chill-susceptible insect. **Journal of Experimental Biology**, v. 215, n. 8, p. 1366-1372, 2012.

MAINALI, B. P. *et al.* Interactive effects of temperature and relative humidity on oviposition and development of *Callosobruchus chinensis* (L.) on azuki bean. **Journal of Stored Products Research**, v. 63, p. 47-50, 2015.

MARCHAND, D.; MCNEIL, J. N. Effects of Wind Speed and Atmospheric Pressure on Mate Searching Behavior in the Aphid Parasitoid *Aphidius nigripes* (Hymenoptera: Aphidiidae). **Journal of Insect Behavior**, v. 13, n. 2, p. 187-199, 2000.

MARSHMAN, J.; BLAY-PALMER, A.; LANDMAN, K. Anthropocene Crisis: climate change, pollinators, and food security. **Environments**, v. 6, n. 2, p. 22, 2019.

- MARTÍNEZ-LÓPEZ, O. *et al.* Reduction in the potential distribution of bumble bees (Apidae: bombus) in mesoamerica under different climate change scenarios. **Global Change Biology**, v. 27, n. 9, p. 1772-1787, 2021.
- MARTINS, R. T. *et al.* Effects of climate change on leaf breakdown by microorganisms and the shredder *Phylloicus elektoros* (Trichoptera: calamoceratidae). **Hydrobiologia**, v. 789, n. 1, p. 31-44, 2016.
- MCFARLANE, D. J. *et al.* Behavioral Responses of a Tiny Insect, the Flower Thrips *Frankliniella schultzei* Trybom (Thysanoptera, Thripidae), to Atmospheric Pressure Change. **Journal of Insect Behavior**, v. 28, n. 4, p. 473-481, 2015.
- MCKENNA, D. D. *et al.* The evolution and genomic basis of beetle diversity. **Proceedings of The National Academy of Sciences**, v. 116, n. 49, p. 24729-24737, 2019.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: Noções Básicas e Climats do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- MEMMOTT, J. *et al.* Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. **Ecology Letters**, v. 10, n. 8, p. 710-717, 2007.
- MEROW, C.; SMITH, M. J.; SILANDER, J.A. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. **Ecography**, v. 36, n. 10, p. 1058-1069, 2013.
- MIGUEL, T. B. *et al.* A scientometric study of the order Odonata with special attention to Brazil. **International Journal of Odonatology**, v. 20, n. 1, p. 27-42, 2017.
- MOLION, L. C. B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3/4, p. 7-24, 2008.
- MONTEIRO, A. F. M. *et al.* Conhecer a complexidade do sistema climático para entender as mudanças climáticas. **Terrae Didactica**, Campinas, v. 17, p. 1-12, 2021.
- MORAES, B. C. *et al.* Impacts of climate change in the ecoclimatology of *Aleurocanthus woglumi* Ashby, 1903 (Hemiptera: aleyrodidae) in the state of Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 1, p. 77-84, 2014.
- MOTA, J. A. *et al.* Trajetória da governança ambiental. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental IPEA**, n. 1, p. 11-20, 2008.
- NASA EARTH OBSERVATORY. **World of change: Global Temperatures**. [2021?]. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures#:~:text=They%20depict%20how%20much%20various,several%20tenths%20of%20a%20degree.>). Acesso em: 19 mai. 2020.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **2020 Tied for Warmest Year on Record, NASA Analysis Shows**. 2021. Disponível em: <https://www.nasa.gov/press-release/2020-tied-for-warmest-year-on-record-nasa-analysis-shows>. Acesso em: 19 mai. 2020.

NETZ, C.; RENNER, S. S. Long-spurred *Angraecum* orchids and long-tongued sphingid moths on Madagascar: a time frame for Darwin's predicted *Xanthopan/Angraecum* coevolution. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 122, n. 2, p. 469-478, 2017.

NIZIOLEK, O. K.; BERENBAUM, M. R.; DELUCIA, Evan H. Impact of elevated CO₂ and increased temperature on Japanese beetle herbivory. **Insect Science**, v. 20, n. 4, p. 513-523, 2012.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Parcerias estratégicas**, v. 6, n. 12, p. 239-258, 2010.

NOBRE, C. A.; REID, J.; VEIGA, A. P. S. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. São José dos Campos: Rede Clima/INPE, 2012.

O'NEILL, B. F. *et al.* Olfactory Preferences of *Popillia japonica*, *Vanessa cardui*, and *Aphis glycines* for *Glycine max* Grown Under Elevated CO₂. **Environmental Entomology**, v. 39, n. 4, p. 1291-1301, 2010.

PARRA, M. R.; COUTINHO, R. X.; PESSANO, E. F. C. Um Breve Olhar sobre a Cienciometria: origem, evolução, tendências e sua contribuição para o ensino de ciências. **Revista Contexto & Educação**, v. 34, n. 107, p. 126-141, 2019.

PELLEGRINO, A. C. *et al.* Weather Forecasting by Insects: modified sexual behaviour in response to atmospheric pressure changes. **Plos One**, v. 8, n. 10, p. 1-5, 2013.

PES, Marcelo Pizzuti. **Impactos das variações e mudanças climáticas sobre os ventos extremos e seus efeitos no setor elétrico brasileiro**. 2015. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

PITT, J. P. W.; RÉGNIÈRE, J.; WORNER, S. Risk assessment of the gypsy moth, *Lymantria dispar* (L), in New Zealand based on phenology modelling. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, n. 4, p. 295-305, 2006.

QIAN, L. *et al.* Effect of elevated CO₂ on the interaction between invasive thrips, *Frankliniella occidentalis*, and its host kidney bean, *Phaseolus vulgaris*. **Pest Management Science**, v. 74, n. 12, p. 2773-2782, 2018.

QIAN, L. *et al.* Effect of elevated CO₂ on interactions between the host plant *Phaseolus vulgaris* and the invasive western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. **Journal of Pest Science**, v. 94, n. 1, p. 43-54, 2020.

QIAN, L. *et al.* Elevated CO₂ -mediated plant VOCs change aggravates invasive thrips occurrence by altering their host-selection behaviour. **Journal of Applied Entomology**, p. 1-12, 2021.

RAFAEL, J. A. *et al.* **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. 1. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2012.

RAFAEL, J. A.; AGUIAR, A. P.; AMORIM, D. de S. Knowledge of insect diversity in Brazil: challenges and advances. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 5, p. 565-570, 2009.

RAFFERTY, N. E.; IVES, A. R. Effects of experimental shifts in flowering phenology on plant-pollinator interactions. **Ecology Letters**, v. 14, n. 1, p. 69-74, 2010.

RAMULIFHO, P. A.; FOORD, S. H.; RIVERS-MOORE, N. A. The role of hydro-environmental factors in Mayfly (Ephemeroptera, Insecta) community structure: identifying threshold responses. **Ecology and Evolution**, v. 10, n. 14, p. 6919-6928, 2020.

RÉGNIÈRE, J. *et al.* Modeling Climatic Influences on Three Parasitoids of Low-Density Spruce Budworm Populations. Part 2: *Meteorus trachynotus* (Hymenoptera). **Forests**, v. 12, n. 2, p. 155, 2021.

REILLY, J. R. *et al.* Crop production in the USA is frequently limited by a lack of pollinators. **Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences**, v. 287, n. 1931, p. 1-8, 2020.

RICKLEFS, R.; RELYEA, R. **A economia da natureza**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

RINAWATI, F.; STEIN, K.; LINDNER, A. Climate change impacts on biodiversity: the setting of a lingering global crisis. **Diversity**, v. 5, n. 1, p. 114-123, 2013.

RITCHIE, H. **Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from?**. 2020. Disponível em: <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector#:~:text=Agriculture%2C%20Forestry%20and%20Land%20Use%20directly%20accounts%20for%2018.4%25%20of,quarter%20of%20greenhouse%20gas%20emissions>. Acesso em: 28 abr. 2021.

ROCHA, S. *et al.* Shifted phenology in the pine processionary moth affects the outcome of tree–insect interaction. **Bulletin of Entomological Research**, v. 110, n. 1, p. 68-76, 2019.

ROQUES, A. (ed.) **Processionary Moths and Climate Change: an update**. [S.l.]: Springer, 2015. *E-book*.

ROSENBERGER, D. W. *et al.* Colonization behaviors of mountain pine beetle on novel hosts: implications for range expansion into northeastern north america. **Plos One**, v. 12, n. 5, p. 1-26, 2017.

ROUBIK, D. W. The value of bees to the coffee harvest. **Nature**, v. 417, n. 6890, p. 708-708, 2002.

SALGADO, A. L.; DILEO, M. F.; SAASTAMOINEN, M. Narrow oviposition preference of an insect herbivore risks survival under conditions of severe drought. **Functional Ecology**, v. 34, n. 7, p. 1358-1369, 2020.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007.

SANCHEZ, A. **Atividades humanas e mudanças climático-ambientais: uma relação inevitável**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Reatores) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SÁNCHEZ-BAYO, F.; WYCKHUYS, K. A. G. Worldwide decline of the entomofauna: a review of its drivers. **Biological Conservation**, v. 232, p. 8-27, 2019.

SCAVEN, V. L.; RAFFERTY, N. E. Physiological effects of climate warming on flowering plants and insect pollinators and potential consequences for their interactions. **Current Zoology**, v. 59, n. 3, p. 418-426, 2013.

SCHWARTZBERG, E. G. *et al.* Simulated climate warming alters phenological synchrony between an outbreak insect herbivore and host trees. **Oecologia**, v. 175, n. 3, p. 1041-1049, 2014.

SCUDDER, G. G. E. The importance of insects. *In*: FOOTIT, R. G.; ADLER P. H. (ed.). **Insect biodiversity: science and society**. v. 1, 2. ed. Chichester: Wiley Blackwell, 2017.

SEEBACHER, F.; WHITE, C. R.; FRANKLIN, C. E. Physiological plasticity increases resilience of ectothermic animals to climate change. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 1, p. 61-66, 2014.

SENADO FEDERAL. **Protocolo de Quioto e Legislação Correlata**. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas do Senado Federal, 2004. v.3. (Coleção Ambiental).

SILVA, V. D.; BEIRÃO, M. V.; CARDOSO, D. C. Thermal Tolerance of Fruit-Feeding Butterflies (Lepidoptera: nymphalidae) in contrasting mountaintop environments. **Insects**, v. 11, n. 5, p. 278, 2020.

SILVA, W. C. da, *et al.* Revisão sistemática e cienciometria da produção de ovos comerciais no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. 1-19, 2020.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Emissões totais**. 2021. Disponível em: http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission#. Acesso em: 19 abr. 2021.

SIVANKALAI, S. *et al.* Measuring the Honey Bee Research Output: Scientometrics Analysis from 2004 To 2019. **International Journal of Modern Agriculture**, v. 10, n. 2, p. 2199-2209, 2021.

SOROYE, P.; NEWBOLD, T.; KERR, J. Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. **Science**, v. 367, n. 6478, p. 685-688, 2020.

SOULE, A. J.; DECKER, L. E.; HUNTER, M. D. Effects of diet and temperature on monarch butterfly wing morphology and flight ability. **Journal of Insect Conservation**, v. 24, n. 6, p. 961-975, 2020.

- SOUZA, M. A. de. Atividades inseticida, repelente e antifúngica do óleo essencial de *Cinnamomum cassia*. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2020.
- SOUZA, M. C. O; CORAZZA, R. I. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 42, p. 52-80, 2017.
- SPINAK, E. Indicadores cienciométricos. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 141-148, 1998.
- SUD, V.; RAJARAM, P. **Cyclone Amphan caused an estimated \$13.2 billion in damage in India's West Bengal**: government source. 2020. Disponível em: <https://edition.cnn.com/2020/05/22/weather/cyclone-amphan-damage-intl-hnk/index.html>. Acesso em: 03 mar. 2021.
- SVERDRUP-THYGESON, A. **Planeta dos Insetos**. 1. ed. São Paulo: Matrix, 2019.
- TEDER, T. Phenological responses to climate warming in temperate moths and butterflies: species traits predict future changes in voltinism. **Oikos**, v. 129, n. 7, p. 1051-1060, 2020.
- TIBERI, R. *et al.* Effects of climate on pine processionary moth fecundity and on its egg parasitoids. **Ecology and Evolution**, v. 5, n. 22, p. 5372-5382, 2015.
- TILIO NETO, P. D. **Ecopolítica das mudanças climáticas: o IPCC e o ecologismo dos pobres**. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2010.
- TOUGERON, K. *et al.* How climate change affects the seasonal ecology of insect parasitoids. **Ecological Entomology**, v. 45, n. 2, p. 167-181, 2019.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Overview of greenhouse gases: carbon dioxide emissions**. [2020?]. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases#CO2-references>. Acesso em: 31 mar. 2021.
- VANTI, N. A. P. Da bibliometria à webometria: uma os instrumentos conceituais utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 152-162, 2002.
- VIEIRA, R. S. Rio+20 Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: contexto, principais temas e expectativas em relação ao novo “Direito da Sustentabilidade”. **Revista NEJ - Eletrônica**, v. 17, n. 1, p. 48-69, 2012.
- VOLNEY, W. J. A.; CERESZKE, H. F. The phenology of white spruce and the spruce budworm in northern Alberta. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 22, n. 2, p. 198-205, 1992.
- WARREN, M. S. *et al.* Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. **Nature**, v. 414, n. 6859, p. 65-69, 2001.

WITTER, L. A. *et al.* Gauging climate change effects at local scales: weather-based indices to monitor insect harassment in caribou. **Ecological Applications**, v. 22, n. 6, p. 1838-1851, 2012.

WOLOWSKI, M. *et al.* **Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil**. São Carlos: Editora Cubo, 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **State of the Global Climate 2020**. n. 1264, 2021.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **WMO climate statement: past 4 years warmest on record**. 2018. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-climate-statement-past-4-years-warmest-record>. Acesso em: 05 mar. 2021.

WU, Y. *et al.* Investigating the Impact of Climate Warming on Phenology of Aphid Pests in China Using Long-Term Historical Data. **Insects**, v. 11, n. 3, p. 167, 2020.

YIN, Wan-Dong *et al.* Behavioral thermoregulation in a small herbivore avoids direct UVB damage. **Journal of Insect Physiology**, v. 107, p. 276-283, 2018.

ZARAGOZA-TRELLO, C. *et al.* Interactions among global change pressures act in a non-additive way on bumblebee individuals and colonies. **Functional Ecology**, v. 35, n. 2, p. 420-434, 2020.

ZHANG, Y.; HELD, I.; FUEGLISTALER, S. Projections of tropical heat stress constrained by atmospheric dynamics. **Nature Geoscience**, v. 14, n. 3, p. 133-137, 2021.