



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ETNOBIOLOGIA

E CONSERVAÇÃO DA NATUREZA - PPGETNO

GABRIEL XAVIER BOLDORINI ARIERO

Fatores que influenciam a eficiência do controle biológico de predadores em cultivos agrícolas

Recife-PE
2022

GABRIEL XAVIER BOLDORINI ARIERO

Fatores que influenciam a eficiência do controle biológico de predadores em cultivos agrícolas

Tese/dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Etnobiologia e Conservação da Natureza (UFRPE, UEPB, URCA e UFPE) como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre.

Orientador:

Thiago Gonçalves Souza

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Recife-PE

2022

Introdução geral

Objetivos e questionamentos

Primeiramente, devido a pandemia global provocada pelo covid-19, juntamente com meu orientador, tive que adaptar o projeto de dissertação. A princípio, iríamos realizar uma pesquisa com coletas de campo, envolvendo a interação entre predadores (aranhas) e presas na Caatinga. Entretanto, nesse contexto de impossibilidade de estudos de campo ou laboratório, e da nova realidade do “home office”, surgiu a oportunidade de realizarmos um estudo de síntese, especificamente, uma meta-análise sobre controle biológico.

Antes de iniciarmos de fato a meta análise, foi necessário que tivéssemos uma capacitação para entendermos melhor como esse tipo de estudo era feito. Ao contrário do que eu pensava, não era uma tarefa simples. Portanto, juntamente com todo o nosso laboratório, tive a oportunidade de aprender sobre esse tipo de pesquisa, através de um grupo de estudos com foco no livro *Handbook of meta analysis in ecology and evolution*, que contou com a presença de pessoas experientes na área, como a professora Julia Koricheva (autora do livro que deu ponta pé inicial ao nosso grupo de estudos) e o professor Gustavo Romero (que seguiu nos auxiliando no trabalho). Assim, após esse grupo de estudos pude seguir minha jornada de aprendizado dessa ferramenta, com outros cursos e então, nós começamos a desenvolver nossas perguntas, estratégias de buscas e outros aspectos do trabalho, relacionados ao tema central da dissertação, o controle biológico de pragas agrícolas por predadores.

Dessa forma, nosso objetivo principal nessa dissertação, foi compreender se o clima e a estabilidade dos cultivos agrícolas influenciam na eficiência dos predadores na supressão de pragas e produtividade. Apesar da literatura apresentar outras revisões e meta-análises sobre o tópico, acreditamos que nosso estudo pode contribuir com um melhor entendimento sobre como funciona esse serviço ecossistêmico em diferentes contextos, ou seja, com uma diversidade de predadores, pragas, cultivos e locais. Portanto, embora exista a limitação imposta pela pandemia em relação a pesquisas de campo, a meta-análise nos permite responder perguntas mais amplas e identificar lacunas existentes na área. Além disso, acreditamos também que nosso estudo, por tratar de um serviço ecossistêmico, também pode gerar contribuições práticas, ao passo que pode destacar e valorizar predadores agentes do controle biológico e identificar em quais contextos eles são mais eficientes.

Estratégias de Pesquisa

Como dito acima, a escolha de um estudo de síntese, especificamente uma meta-análise, se deu primeiramente pela pandemia e secundamente pela possibilidade de desenvolver e responder perguntas amplas. Dessa forma iniciamos nosso trabalho desenvolvendo a pergunta com auxílio da estratégia PICO (P = População, I = Intervenção, C = Comparador, O = Desfecho (Outcome)) (Sayers, 2008). Essa estratégia para desenvolver perguntas em estudos de revisão

e meta-análise facilita outros processos desse tipo de estudo, pois ajuda a delimitar o tópico a ser estudado. Portanto, permitiu também, o desenvolvimento da chave de buscas dos artigos.

Pessoalmente, acredito que a etapa mais importante e complicada de um estudo de revisão ou meta-análise seja a construção da chave de busca. O processo de construção da chave de busca, ou seja, a combinação de palavras que utilizamos para buscas nas bases de estudos (e.g., Web of Science, Scopus e Google Scholar) deve ser feito várias vezes, até que se encontre a chave mais adequada para o trabalho (Koricheva, Gurevitch e Mengersen, 2013). Assim, utilizando nossa pergunta delimitada pela estratégia PICO, nós escolhemos palavras relacionadas à pergunta, além de sinônimos. Também utilizamos operadores booleanos (e.g., AND, OR) para auxiliar na delimitação da busca. Nessa etapa, tivemos ajuda dos professores Gustavo Romero e Leonardo Chaves, pois é preciso escolher a melhor chave de busca para sua pergunta, ou seja, aquela que consiga “captar” o maior número de estudos do tópico desejado, com o menor número possível de estudos indesejados.

Após a busca ser realizada, inicia-se a etapa mais longa da meta-análise, que foi a “triagem” de artigos. Nessa parte, existem vários softwares que podem auxiliar os pesquisadores, como o Mendeley e o Excel. Basicamente, escolhemos o excel pela familiaridade com o programa. Então, construímos nossa planilha de triagem de artigos, primeiramente examinando os títulos e resumos dos artigos, e excluindo aquelas que não atingiam nossos critérios. Os estudos que atingiram nossos critérios foram examinados por completo, assim nós pudemos identificar, de fato, quais estudos entrariam em nosso trabalho e quais não entraria, além de poder justificar o motivo de inclusão ou não do trabalho (e.g., estudo fora do tópico, capítulo de livro). Assim como na ciência de forma geral, é bastante estimulado a transparência em estudos de meta análise, e principalmente nessa etapa (e.g., critérios utilizados, estudos incluídos e excluídos), para que seja possível, a reprodução ou utilização dos dados do estudo (Koricheva, Gurevitch e Mengersen, 2013).

O passo seguinte de nosso trabalho, foi a escolha de quais dados nós iríamos selecionar dos estudos. Essa etapa deve ser pensada previamente a busca, no entanto à medida que a triagem de dados é realizada, os pesquisadores podem identificar tópicos (e.g., moderadores do efeito, novas variáveis) a serem incrementados ou lacunas (e.g., falta de estudos). Além disso, nessa etapa que “retiramos” as informações necessárias para calcular a medida de tamanho de efeito (effect size) de cada estudo, no nosso caso, as médias, desvio padrão (ou erro padrão) e o tamanho da amostra.

Existem diversas medidas de tamanho de efeito, como por exemplo o Hedges'd, Coeficiente de correlação de Pearson e Correlação de Mantel (Koricheva, Gurevitch e Mengersen, 2013). Para nosso estudo, onde nosso objetivo foi entender como o clima e a estabilidade do cultivo afetam o controle biológico, isto é, comparando tratamentos com a exclusão e presença do predador, nós escolhemos uma medida de comparação de diferenças de médias padronizadas, o Hedges'd (Hedges, 1996). Além disso, o modelo utilizado para calcular o efeito geral dos predadores na supressão de pragas e produtividade dos cultivos foi o de Efeitos Aleatórios (Random-effects model), pois ele considera a variação entre e dentro de cada estudo, e pondera

o tamanho de efeito por essa variação (Hedges, 1983; Riley, Higgins e Deeks, 2011). Essa escolha também se justifica pelo fato de existir grande heterogeneidade nos estudos de ecologia (não são como estudos clínicos, por exemplo, com maior controle). Na prática, esse modelo permitiu atribuir maior “peso” aos estudos com maior tamanho de amostra e menor variação (Hunter e Schmidt, 2000).

Por último, para transmitir as informações necessárias referentes às nossas estratégias de busca, seleção e análise de dados, viés de publicação, resultados e discussão de nossa meta-análise, utilizamos o artigo publicado por O’dea et al. (2021a), pois trata-se de um “guia” de como e quais itens devem ser reportados em uma meta-análise de ecologia. Dessa forma, nós tentamos seguir as recomendações de transparência e reprodutibilidade em estudos de síntese (O’dea et al., 2021b).

Fundamentação Teórica

Serviços ecossistêmicos

A biodiversidade possui seu valor intrínseco e é importante por fornecer à humanidade serviços ecossistêmicos. Segundo Daily 1997, serviços ecossistêmicos podem ser compreendidos como condições e processos fornecidos por ecossistemas e suas espécies para sustentar a humanidade. Uma outra definição aborda os serviços ecossistêmicos como componentes da natureza que beneficiam diretamente o bem-estar humano (Boyd e Banzhaf, 2007). Existem diversos serviços fornecidos pelos ecossistemas à humanidade, como por exemplo a purificação do ar e água, mitigação de inundações e secas, polinização de cultivos e vegetação natural e controle de pragas agrícolas (Daily, 1997).

Esses serviços também são importantes do ponto de vista econômico, sendo estimado um valor de 125 trilhões de dólares por ano (em 2011) aos serviços ecossistêmicos. Existem também desserviços ecossistêmicos, como os danos às plantações, provocados por pragas como insetos, caracóis, mamíferos, fungos, bactérias, vírus e ervas daninhas (Zhang et al., 2007). Somente no Brasil por exemplo, um país que tem grande parte da sua economia baseada na agricultura, insetos que são considerados pragas provocam uma perda média anual de 7.7% da produção dos principais cultivos, o que significa aproximadamente 25 milhões de toneladas de comidas, fibras e biocombustíveis perdidos, e conseqüentemente a perda de 17.7 bilhões de dólares por ano (considerando também gastos com inseticidas) (Oliveira et al., 2014). No entanto, o controle de pragas é um serviço ecossistêmico que pode ser relacionado à agricultura, e pode ser desempenhado por predadores como aranhas, vespas, pássaros, morcegos e parasitas (Zhang et al., 2007).

Fatores que influenciam na relação entre predadores e presas

Alguns fatores como a perda de habitats e as mudanças climáticas são duas das maiores ameaças à biodiversidade. Além disso, essas ameaças podem agir sinergicamente, e locais com altas temperaturas e baixa precipitação vão potencializar os efeitos da perda e fragmentação de

habitats sobre a diversidade e densidade das espécies (Mantyka-pringle, Martin e Rhodes, 2012). É previsto ainda que com as mudanças climáticas, como o aumento de eventos extremos de seca ou chuva os sistemas agrícolas sejam afetados, e conseqüentemente a produção de alimentos para a humanidade, sendo previsto por exemplo que países que já sofrem com a fome (e.g., nos continentes Africano e Asiático) sejam ainda mais impactados (Wheeler e Von braun, 2013).

Outro fator preocupante é que as mudanças climáticas e a distribuição de hospedeiros podem influenciar na distribuição de patógenos e pragas de cultivos, com um esperado aumento de pragas em países de importância agrícola nos próximos anos (Bebber, Holmes e Gurr, 2014). Uma das atuais soluções para controlar pragas na agricultura é a utilização de pesticidas. No entanto, em geral esses químicos podem apresentar riscos aos ecossistemas como um todo e especificamente à saúde humana, portanto para alcançar a segurança alimentar global é necessário novas práticas de agricultura, como desenvolvimento de novas tecnologias e manejos de sistemas agrícolas, assim como é importante também a ação de órgãos governamentais na solução desses problemas (Wheeler e Von braun; Oliveira et al., 2014; Nicolopoulou-Stamati et al., 2016).

Além disso, existem alternativas como a utilização de cultivos diversificados por exemplo, que podem ser uma maneira de mitigar o uso de pesticidas, uma vez que o controle biológico de pragas aumenta com a diversificação de cultivos em diferentes escalas (Redlich, Martin e Steffan-Dewenter, 2018). A estabilidade do habitat parece ser uma outra variável importante no controle biológico, uma vez que as taxas de sucesso na introdução de inimigos naturais de artrópodes foram maiores em cultivos perenes (e.g., pomares) em relação aos anuais (e.g., vegetais) (Hall, Ehler e Bisabri-Ershadi, 1980).

A diversidade de espécies também pode influenciar no controle biológico de pragas através da complementaridade de nicho entre inimigos naturais, ou seja, pode provocar o aumento na supressão de pragas, por diferentes tipos de agentes de controle biológico serem mais eficazes em diferentes períodos de ocorrências das presas (Dainese et al., 2017). Há alguns estudos que avaliam o efeito de múltiplas espécies de predadores na eficiência do controle biológico de pragas, formigas por exemplo são importantes agentes de controle biológico em cultivos orgânicos de vegetais no Brasil (Frizzo et al., 2020).

Cascata trófica e efeito contexto-dependente

A importância da identidade dos predadores no controle biológico e sobre a contexto-dependência do efeito foi demonstrada em um estudo de exclusão de pássaros e morcegos em plantações de café na Costa Rica, que provocou efeitos diferentes causados pelos predadores, uma vez que a exclusão de pássaros teve um maior efeito sobre artrópodes herbívoros enquanto a exclusão de morcegos teve um maior efeito em artrópodes predadores (Karp e Daily, 2014). Além disso, um estudo experimental demonstrou que morcegos podem não só atuar como inimigos naturais de insetos considerados pragas, por reduzir a herbivoria provocada por esses

insetos, mas também aumentar indiretamente a produtividade em cultivos de vinho no Chile (Rodríguez-San Pedro et al., 2020).

Alguns estudos de sínteses como de revisões sistemáticas que avaliaram o potencial e eficiência de predadores como agentes do controle biológico já foram realizados. Para aranhas, por exemplo, foi demonstrado que esses organismos podem ser bons agentes de controle biológico contra insetos e outros invertebrados em ecossistemas de florestas, gramíneas e pomares (Nyffeler e Benz, 1987). Além disso, uma meta-análise apontou que a eficiência das aranhas na supressão de pragas e na produtividade do cultivo depende de muitos fatores como a diversidade e abundância desses predadores, as características das próprias aranhas (e.g., estratégias de caça das pragas, fatores climáticos (e.g., temperatura) e tipos de cultivo (Michalko et al., 2019).

Stiling e Cornelissen (2005) realizaram uma meta-análise sobre diversos aspectos que permeiam o controle biológico, como quais são as principais pragas e agentes estudados, as taxas de supressão de pragas, para uma ou várias espécies de agentes de controle biológico e sobre a efetividade de generalistas e especialistas. Contudo, apesar da importância do tema, até onde sabemos não foi feito nenhum estudo que avalie o quanto efeitos bióticos (e.g., identidade dos predadores, e estabilidade de plantas) e abióticos (e.g., clima) influenciam a efetividade do controle biológico na supressão de pragas e produtividade do cultivo abrangendo diferentes predadores em diversos tipos de cultivos globais

Resumo

Pragas agrícolas provocam a perda de produção dos principais cultivos agrícolas no mundo. O controle biológico de pragas fornecido por inimigos naturais em cultivos agrícolas pode mitigar esses danos. Existem diversos fatores que podem influenciar no controle biológico, como a identidade e diversidade de predadores. Entretanto, o clima e a estabilidade das plantas são fatores negligenciados. Aqui, nosso objetivo foi entender o tamanho do efeito do controle biológico de predadores na supressão de pragas e produtividade dos cultivos, e compreender se o clima e a estabilidade dos cultivos afetam o controle. Dessa forma, realizamos uma meta-análise global, com estudos que investigaram o efeito da remoção de predadores (e.g., artrópodes, aves, morcegos) na supressão de pragas (maioria artrópodes) e/ou produtividade de cultivos. Incluímos em nossa meta-análise 61 estudos e 125 medidas de tamanho de efeito na supressão de pragas e 16 estudos com 19 medidas de tamanho de efeito sobre a produtividade. No geral, os predadores foram efetivos na supressão de pragas em diferentes cultivos. Assim como no efeito em cascata, beneficiando a produtividade dos cultivos. Para as aves, o efeito da presença do predador na redução de pragas foi maior em estudos com múltiplas espécies de predadores. Mas encontramos o contrário para predadores artrópodes. A redução das pragas foi maior em cultivos anuais do que em perenes. Contudo nós também encontramos o contrário em relação a produtividade. Além disso, os predadores foram mais eficientes na supressão das pragas em locais com maior sazonalidade de precipitação. A predação intraguilddia em artrópodes pode ser uma possível explicação para a maior supressão de pragas com uma única espécie de predador. Nossos resultados demonstram que a sazonalidade da precipitação, a estabilidade dos cultivos e a diversidade de predadores são fatores que modulam o efeito do controle biológico de predadores sobre pragas. Nós acreditamos que a literatura ainda carece de mais investigações sobre o efeito da precipitação sobre o controle biológico, assim como sobre outros grupos de predadores (e.g., morcegos) e no possível efeito em cascata sobre a produtividade.

Palavras-chave: Supressão de pragas, Produtividade do cultivo, Diversidade de predadores, Estabilidade do cultivo, sazonalidade da precipitação

Abstract

Pests cause the loss of production of the main crops in the world. Pest biological control by natural enemies in crops can mitigate these damages. Several factors may influence biological control, such as the identity and diversity of predators. However, climate and crop stability are neglected. Here, we aim to understand the effect size of biological control on pest suppression and productivity. We also aim to understand if climate and crop stability affect the effect size. In this way, we did a meta-analysis to investigate the effect of predators exclusion (e.g., arthropods, birds, and bats) on pest suppression (mostly arthropods) and productivity. We included in our meta-analysis 61 studies and 125 effect size measures on pest suppression and 16 studies with 19 effect size measures on crop productivity. In general, the predators were efficient on pest suppression. As well as in cascading effect, benefiting crop productivity. The effect size on pest suppression was larger in studies with multiple birds predators than just one. But we found the opposite for arthropod predators. The pest suppression was larger in annual crops than in perennials. Although we also found the opposite to productivity. In addition, the predators were more efficient in sites with more rainfall seasonality. Predation intraguild on arthropods may be a possible explanation for larger pest suppression in studies with a single predator. Our results demonstrate that rainfall seasonality, crop stability, and predator diversity are factors that modulate the effect of biological control. Further investigation on other predator groups (e.g., bats) and cascading effects is needed.

Key-words: Pest suppression, crop productivity, Predators diversity, crop stability, rainfall

Introdução

As pragas agrícolas provocam a perda de produção dos principais cultivos agrícolas no mundo (Oerke, 2006). Portanto, o controle biológico de pragas fornecido por inimigos naturais em cultivos agrícolas é um tópico bastante estudado na ecologia (Stiling e Cornelissen, 2005). Especificamente, aves, morcegos e artrópodes são grupos de predadores que podem desempenhar esse papel (Karp et al., 2014; Michalko et al., 2019; Diaz-Siéfer et al., 2021). Existem diversos fatores que influenciam no efeito desses agentes do controle biológico sobre pragas agrícolas, como a diversidade de espécies de inimigos naturais e plantas, hábitos alimentares e paisagem (Stiling e Cornelissen, 2005; Dainese et al., 2017). Entretanto, menos atenção é dada para o efeito do clima e estabilidade do cultivo (Stacey, 2003; Jamieson et al., 2012; but see Michalko et al. 2019).

Com as mudanças climáticas, é esperado o aumento de eventos extremos na precipitação, com secas prolongadas, por exemplo, que podem provocar a mortalidade de populações de plantas e diminuir sua resistência a herbívoros (Jamieson et al., 2012; Alizadeh et al., 2015). O estresse hídrico também é um fator limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Fathi e Tari, 2016). Já a temperatura influencia na fisiologia e metabolismo (Lafta e Lorenzen, 1995). Além disso, baseado na estabilidade dos cultivos, o clima pode afetar as plantas de forma diferente. Para plantas anuais, o aumento da temperatura, de CO₂ e do estresse hídrico provoca o aumento de danos foliares via herbivoria (Hamann et al., 2021). Esse efeito pode ser importante para o controle biológico, uma vez que é esperado maior estabilidade em cultivos perenes em relação aos anuais, suportando populações de predadores por maior tempo (Pimentel et al., 2012; Vico e Brunsell, 2018).

Além dos efeitos sobre as plantas, o clima pode afetar diretamente as pragas agrícolas, pois a temperatura é o principal fator abiótico que influencia no desenvolvimento, sobrevivência, distribuição e abundância dos insetos herbívoros (Bale et al., 2002). É esperado que o aumento da temperatura provoque também maior incidência de pragas (Jamieson et al., 2012; Deutsch et al., 2018). Os efeitos da precipitação sobre os herbívoros vem sendo negligenciados em estudos de mudanças climáticas (Bale et al., 2002). Além disso, é necessário também mais estudos sobre como a interação entre fatores climáticos e inimigos naturais afetam as pragas (Bale et al., 2002; Jamieson et al., 2012).

A eficiência do controle biológico pode depender da temperatura, pois a pressão de predação sobre herbívoros é maior em temperaturas mais altas (Rodríguez-Castañeda, 2013). É previsto que com as mudanças climáticas, a pressão de predação seja, de fato, maior em climas mais estáveis e com maiores temperaturas (Romero et al., 2018). Por outro lado, predadores são mais sensíveis às mudanças climáticas em comparação às plantas e herbívoros (Voigt et al., 2003). Dessa forma, a influência do clima sobre o controle biológico nem sempre é linear. Por exemplo, predadores foram mais eficazes na redução de populações de ácaros em cultivos com estresse hídrico moderado do que em cultivos com alto estresse (English-Loeb, 1990).

Aqui, nosso objetivo é primeiramente entender o tamanho do efeito do controle biológico de predadores na supressão de pragas e produtividade dos cultivos, e pretendemos compreender se o clima e a estabilidade dos cultivos afetam esse serviço ecossistêmico. Dessa forma, realizamos uma meta-análise global, com estudos que investigaram o efeito da presença de predadores (e.g., artrópodes, aves, morcegos) na supressão de pragas (maioria artrópodes) e/ou produtividade de cultivos. Nossas previsões são que: (1a) Cultivos com a presença de predadores terão menor abundância de pragas e (1b) maior produtividade; (2a) Múltiplos predadores serão mais eficientes na supressão de pragas e (2b) favorecimento a produtividade; (3a) Predadores em cultivos perenes serão mais eficientes na supressão de pragas e (3b) favorecimento a produtividade; (4a) A eficiência de predadores na supressão de pragas será maior em temperaturas maiores e (4b) em locais com maior precipitação (4c) e menor em locais com maior variação de temperatura e precipitação.

Metodologia

Estratégia de busca

Realizamos uma meta-análise de estudos primários que investigaram a eficiência de predadores como agentes de controle biológico em cultivos agrícolas. Para a formulação de nossas perguntas, utilizamos a estratégia PICO (Santos et al., 2007), onde a (1) População = predadores e pragas de sistemas agrícolas; (2) Intervenção = diversidade, tipo do cultivo e clima; (3) Comparador = tratamento controle (com a presença do predador) e manipulativo (exclusão do predador); (4) Desfecho = supressão de pragas (abundância) e produtividade do cultivo.

Dessa forma, fizemos as buscas dos estudos primários nas bases de dados Web of Science e Scopus. Nós utilizamos as seguintes palavras-chave: (Biocontrol OR "Biological Control" OR Pest NEAR/3 Control OR Predator NEAR/3 Prey) AND (Abundance OR Density OR "Crop yield" OR "Crop damage" OR "Seed set" OR "Fruit development" OR "Fruit production") AND (Crop OR Cropland OR Tillage OR Cultivation OR Plantation). Nós também adicionamos os estudos utilizados na meta-análise de Díaz-Sieffer et al. (2021).

Seleção dos estudos

Como critérios de inclusão, selecionamos artigos que investigaram o efeito da presença de predadores em sistemas agrícolas na supressão de pragas e produtividade (e.g., estudos manipulativos com tratamento e controle, como estudos de exclusão ou inclusão de predadores), sem restrições quanto aos anos de publicação e idiomas. Além disso, incluímos apenas estudos realizados em cultivos agrícolas (estudos de campo), excluindo aqueles realizados em laboratórios ou em casas de vegetação.

Seguindo esses critérios, o processo de seleção de estudos foi realizado em 2 etapas. A primeira foi a análise dos títulos e resumos, e utilizamos o Excel para os estudos da Web of Science e o

Mendeley para os estudos da Scopus. Nessa etapa mantivemos os estudos que pelo menos tratavam de predadores como agentes de controle biológico de pragas. Na segunda etapa, fizemos o download dos artigos que cumpriram esse critério, e realizamos a leitura completa, marcando nos arquivos as informações para a coleta dos dados, mantendo apenas os estudos de campo (em cultivos agrícolas) que compararam a eficiência de predadores na supressão (presença x ausência).

Coleta de dados

Após isso, coletamos os dados dos estudos remanescentes. Muitos dos estudos só reportavam os dados (média, desvio padrão/erro padrão/intervalo de confiança) em figuras, então utilizamos o pacote Juicr (versão 0.1) no RStudio 4.0.5 para extrair os dados das figuras. Também fizemos algumas imputações e transformações de dados ausentes. Os dados climáticos (temperatura média anual, variação anual da temperatura, precipitação anual e sazonalidade da precipitação, Bio 1, Bio7, Bio12 e Bio15 respectivamente) foram coletados do Worldclim. Para estudos que não apresentavam as coordenadas, nós coletamos no Geohack as coordenadas dos locais que os estudos forneciam (e.g. cidade, estado). A maioria dos estudos reportou o erro padrão ou intervalo de confiança como medida de variação, e para o cálculo do tamanho de efeito nós transformamos em desvio padrão. Além disso, por existir estudos com diferentes espaços temporais, coletamos o dado (média e desvio padrão) da última coleta feita no estudo, quando eles não reportavam uma medida geral.

Os principais dados que coletamos dos estudos foram: coordenadas; tipo e estabilidade do cultivo; nome comum, ordem e espécie de predadores e pragas; tratamento; média, desvio padrão e N amostral, variável resposta. Os dados coletados das figuras, como médias e desvio padrão, foram transcritos com 2 casas decimais. Além disso, uma possível fonte de heterogeneidade aqui foi a variável resposta representando a supressão de pragas (i.e. abundância, densidade, porcentagem de pragas por planta/tratamento).

Análise de dados

Nós calculamos o tamanho de efeito com diferenças de médias padronizadas, Hedges'd. Escolhemos essa medida pois selecionamos estudos que mediram a supressão de pragas comparando entre tratamentos com a presença (controle) e ausência (tratamento) do predador. Como tivemos dois tipos de experimentos manipulativos (i.e., exclusão ou adição) invertemos as medidas dos estudos de adição para se adequar aos de exclusão (maioria dos estudos). Além disso, fizemos o mesmo quando a variável resposta do estudo era probabilidade de predação, uma vez que a maioria das variáveis de supressão foram abundância e densidade. Dessa forma, para os estudos que avaliaram o efeito da ausência do predador na supressão de pragas, ou seja, comparando a abundância de pragas com e sem o predador, os valores negativos de tamanho de efeito representam menor abundância de pragas com a presença do predador. Semelhantemente, para os estudos que avaliaram o efeito da ausência do predador na produtividade, ou seja, comparando a produtividade dos cultivos sem e com o predador, os

valores negativos de tamanho de efeito representam maior produtividade com a presença do predador.

Os modelos utilizados para testar nossas previsões foram de efeitos aleatórios (Hedges, 1983), que consideram a variância da amostra dentro e entre estudos. Dessa forma, estudos com tamanhos de efeito mais precisos tiveram maior influência. Fizemos também análises com moderadores (modelos mistos) para testar a previsão 3, utilizando a estabilidade dos cultivos. Para a previsão 4 fizemos uma meta-regressão, com a variável resposta sendo o tamanho de efeito (Hedges d) e a variável preditora a sazonalidade da precipitação. As outras variáveis bioclimáticas foram retiradas das análises, uma vez que selecionamos o melhor modelo com auxílio da função `anova.rma`. Todas as análises do estudo foram feitas no RStudio 4.0.5 (R Development Core Team 2020) e utilizamos o pacote `Metafor` (versão 3.0-2) (Viechtbauer, 2010).

Análises de viés de publicação

Para acessar se nossos resultados estavam enviesados por um viés de publicação (i.e., artigos com resultados significativos são mais publicados) testamos de forma visual a relação do tamanho de efeito com o tamanho da amostra dos estudos através de gráficos de funil (funnel plot) (Hedges e Vevea, 1996). Também testamos uma possível significância na assimetria dos gráficos de funil através do teste de regressão de Egger (Egger et al., 1997). Por último, onde a assimetria foi detectado, nós utilizamos a análise de “trim and fill” (Duval e Tweedie, 2000), que calcula novamente as médias e os intervalos de confiança após considerar a assimetria dos gráficos de funil.

Resultados

Base de dados e tamanhos de efeito gerais

Em nossa busca obtivemos 3765 artigos da Web of Science e 1190 artigos da Scopus (490 foram excluídos: revisões e capítulos de livro), totalizando 4399 artigos após remoção de duplicatas. Fizemos a leitura completa de 116 artigos, além disso, adicionamos outros 32 estudos provenientes da meta-análise de Díaz-Sieffer et al. (2021). Portanto, incluímos em nossas meta-análise sobre o efeito de predadores na supressão de pragas 61 estudos e 125 medidas de tamanho de efeito e para o efeito na produtividade, 16 estudos com 19 medidas de tamanho de efeito.

No geral, os predadores foram efetivos na supressão de pragas em diferentes cultivos agrícolas ($d = -0.5878$, 95% CI = -0.6988 a -0.4769 , $p < 0.0001$), confirmando nossa primeira previsão (1a) (Figura 1). Além disso, foram eficientes quanto ao efeito em cascata, beneficiando a produtividade dos cultivos ($d = -0.4128$, 95% CI = -0.1203 a -0.7052 , $p < 0.0043$) (Figura 2).

Efeito da diversidade de predadores na supressão de pragas e produtividade

Só foi possível testar nossa segunda predição para aves e artrópodes (dado ao número de estudos) (Figura 1). A redução de pragas por aves foi maior em estudos com múltiplas espécies de predadores ($d = -0.5555$, 95% CI = -0.6822 a -0.4288 , $p < 0.0001$) do que em estudos com uma única espécie. Em artrópodes nós encontramos o inverso, uma vez que estudos com uma única espécie tiveram o tamanho de efeito maior ($d = -1.1032$, 95% CI = -1.4892 a -0.7172 , $p < 0.0001$) em comparação com múltiplas espécies ($d = -0.9269$, 95% CI = -1.4243 a -0.4296 , $p = 0.0003$). Devido ao baixo número de estudos, não foi possível testar o efeito da diversidade de predadores sobre a produtividade.

Efeito da estabilidade dos cultivos na supressão de pragas e produtividade

Contrário ao que esperávamos em nossa terceira predição, a redução de pragas por predadores foi maior em cultivos anuais ($d = -0.7352$, 95% CI = -0.9367 a -0.5337 , $p < 0.0001$) do que em perenes ($d = -0.4855$, 95% CI = -0.6159 a -0.3552 , $p < 0.0001$) (Figura 3). Entretanto, o efeito de predadores na produtividade dos cultivos foi maior em cultivos perenes ($d = 0.2429$, 95% CI = 0.0576 a 0.4281 , $p = 0.0102$) do que em cultivos anuais ($d = 0.8150$, 95% CI = -0.0150 a 1.6449 , $p = 0.0543$) (Figura 4).

Efeito do clima na supressão de pragas

A sazonalidade da precipitação teve relação negativa com o tamanho de efeito de predadores sobre a supressão de pragas, evidenciando maior eficiência de predadores em locais com maior variação de precipitação (Estimate = -0.0064 , CI = -0.0098 a -0.0030 , $p = 0.0002$) (Figura 5).

Viés de publicação

O teste de regressão para verificar a assimetria do gráfico de funil não foi significativo para o efeito total dos predadores na produtividade (Fig. 6a, $z = 1.4249$, $p = 0.1542$), mas foi significativo para o efeito total dos predadores na supressão de pragas (Fig. 6b, $z = -4.7894$, $p < 0.0001$), indicando que estudos com baixo ou nenhum efeito significativo são menos publicados. Assim, o método trim and fill estimou que o número de estudos perdidos (do lado direito da Fig. 6b) foi de 22. Além disso, o tamanho do efeito diminui após a correção (Efeito antes da correção: $d = -0.5878$, 95% CI = -0.6988 a -0.4769 , $p < 0.0001$; Efeito após a correção: $d = -0.4307$, 95% CI = -0.5557 a -0.3057 , $p < 0.0001$).

Discussão

Nossos resultados demonstram que a sazonalidade da precipitação, a estabilidade dos cultivos e a diversidade de predadores são fatores que modulam o efeito de predadores na supressão de pragas. No geral, a presença de predadores diminui a abundância de pragas nos cultivos

agrícolas, entretanto, a supressão de pragas só ocorreu com a presença de múltiplas espécies de pássaros e para artrópodes com uma e múltiplas espécies. Contrário a nossa predição, o tamanho de efeito foi maior em plantas anuais, indicando maior supressão de pragas nesses cultivos. Além disso, a presença de predadores nos cultivos foi favorável para a produtividade, e de acordo com o que esperávamos, o tamanho do efeito dos predadores na produtividade foi maior em cultivos perenes, com predadores vertebrados apresentando um efeito significativo. Além disso, também ao contrário do que prevíamos, a sazonalidade da temperatura teve relação negativa com o tamanho de efeito dos predadores na supressão de pragas, indicando que a variação na precipitação favorece o controle biológico. Portanto, nossos resultados contribuem para uma melhor compreensão dos efeitos de fatores abióticos e bióticos que modulam a eficiência de predadores na supressão de pragas e na produtividade de cultivos agrícolas.

Em relação ao efeito da diversidade de predadores sobre o controle biológico, a literatura apresenta tanto efeitos positivos, negativos e nulos, indicando uma relação contexto-dependente (Roubinet et al., 2015). Nossos resultados também sugerem uma relação contexto-dependente, uma vez que múltiplas espécies de pássaros foram mais eficientes na supressão de pragas do que espécies únicas, contudo, encontramos o contrário para artrópodes. Um possível mecanismo para o efeito positivo da diversidade é via complementaridade de nicho, entretanto, pode ser anulado pela predação intraguildd (Finke e Denno, 2005). De fato, a predação intraguildd é bastante difundida em predadores artrópodes (Gagnon et al., 2011). Além disso, a diversidade de predadores só é benéfica para o controle biológico em habitats heterogêneos (Tylianakis e Romo, 2010).

Nós também encontramos resultados contrários para o efeito da estabilidade dos cultivos na supressão de pragas e na produtividade. Nos dois tipos de cultivo, os predadores foram eficientes na supressão das pragas, contudo o tamanho de efeito foi maior em cultivos anuais. Esse resultado é contrário ao encontrado por Michalko et al. (2019) para predadores aranhas. Apesar da estabilidade ser maior em cultivos anuais, plantas anuais em ambientes perturbadas têm maior estabilidade do que as perenes em ambientes não perturbados (Grman et al., 2010). Contudo, o efeito positivo de predadores sobre a produtividade dos cultivos só foi significativo em cultivos perenes.

Apesar de ser previsto um efeito positivo da estabilidade climática sobre a pressão de predação (Romero et al., 2018), nós encontramos uma maior eficiência de predadores na supressão de pragas em cultivos com maior sazonalidade de precipitação. Esse resultado é interessante, pois existe um padrão contrastante entre menor herbivoria em locais com maior precipitação e maior pressão de predação locais mais secos (Weissflog et al., 2017). Similarmente ao nosso resultado, Diehl et al. (2013) encontraram que o efeito de inimigos naturais sobre afídeos foi mais forte em locais com alta sazonalidade de precipitação.

Uma das limitações do estudo é o viés de publicação existente, uma vez que a maioria dos estudos publicados tiveram efeito positivo de predadores na supressão de pragas e produtividade dos cultivos. Contudo, após correção, o efeito geral não mudou drasticamente. Outra limitação que nós encontramos foi o baixo número de estudos com diferentes grupos de

predadores, pois só fomos capazes de testar nossas previsões para pássaros, morcegos e artrópodes (englobando diferentes ordens). Esse cenário é pior em estudos onde o efeito do predador foi medido na produtividade. Dessa forma, para melhorar a compreensão do efeito indireto de predadores na produtividade, via supressão de pragas, é preciso mais estudos que investiguem esse efeito em cascata. Além disso, somente estudos com múltiplas espécies de morcegos foram identificados, portanto não fomos capazes de testar nossas previsões para o efeito de uma única espécie desse grupo. Para os pássaros o número de estudos de múltiplas espécies foi maior do que o de únicas espécies de predador. Portanto, nós sugerimos que é necessário mais estudos sobre o efeito de uma única espécie de pássaro na supressão de pragas e na produtividade dos cultivos. Mais estudos no hemisfério sul também são necessários, principalmente para que exista uma maior variedade de locais com diferentes fatores bióticos e abióticos. Por último, esperamos que esses gaps e limitações identificados em nosso estudo incentivem pesquisas futuras.

No geral, nós evidenciamos a importância da estabilidade dos cultivos no efeito de predadores para a supressão de pragas e produtividade. Além disso, nosso estudo fornece suporte para as evidências de que o efeito da diversidade de predadores é contexto-dependente, e variou com o grupo taxonômico do predador. Estudos futuros também podem investigar a importância dos atributos funcionais nesse efeito (Jonsson, Kaartinen e Straub, 2017). Finalmente, até onde sabemos, nossa meta-análise é o único estudo de síntese que evidenciou a importância da sazonalidade da precipitação para o efeito de predadores no controle biológico. Apesar de alguns estudos investigarem a relação entre clima e o controle biológico, a maioria é focada nos efeitos da temperatura. Nós acreditamos que a literatura ainda carece de mais investigações sobre o efeito da precipitação sobre esse serviço ecossistêmico, principalmente desenvolvendo perguntas sobre a sazonalidade, devido aos futuros cenários de mudanças climáticas.

Figuras

Fig. 1: Tamanhos de efeito médio geral (Total effect) e por grupos de predadores sobre a supressão de pragas. Valores de Hedges'd negativos representam maior supressão de pragas. Os números ao lado das barras de erro representam os tamanhos de efeito individuais de cada estudo. As barras que tocam a linha pontilhada são de tamanhos de efeito médio não significativo.

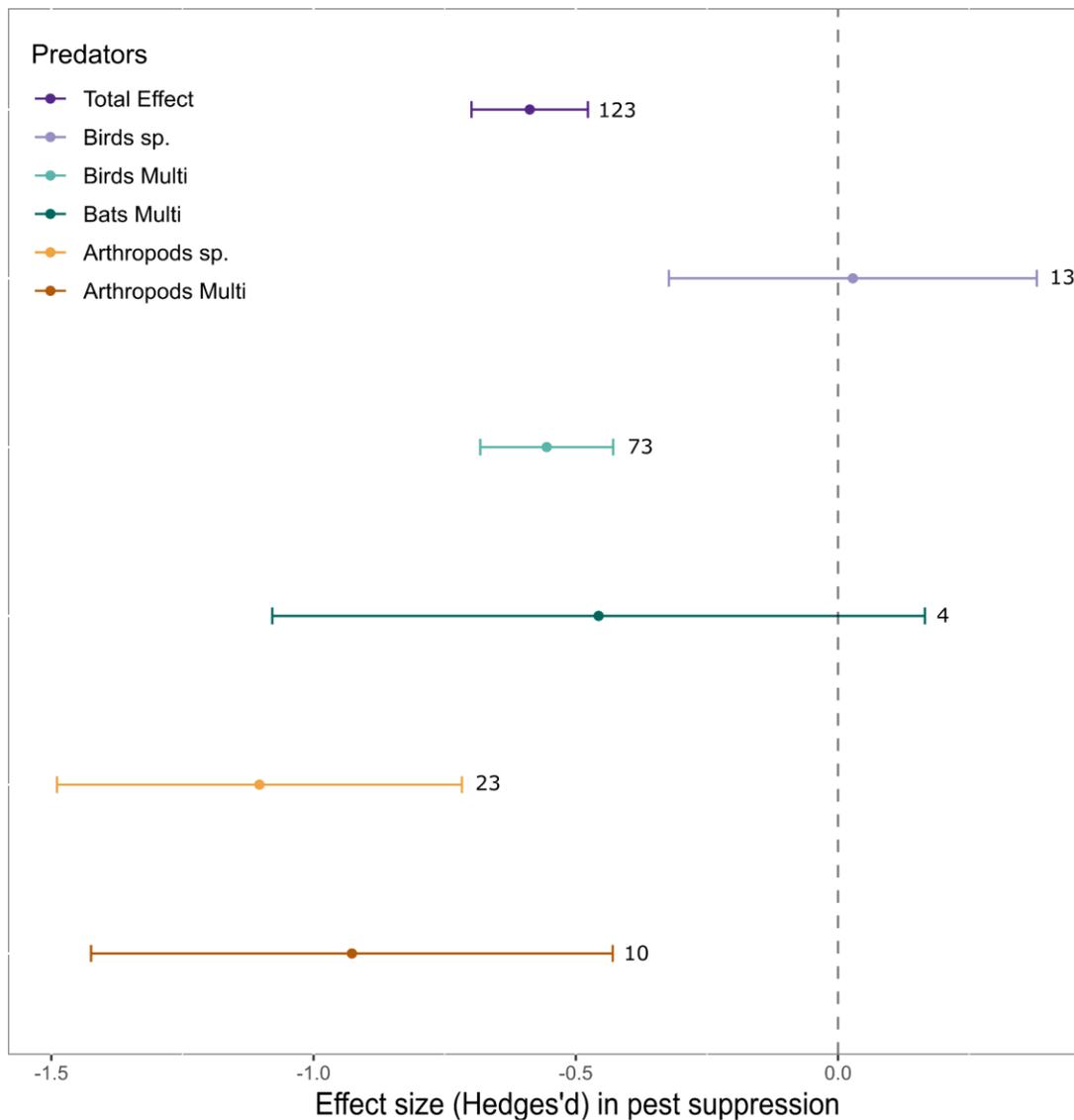


Fig. 2: Tamanhos de efeito médio geral (Total effect) e por grupo de predadores sobre a produtividade. Valores de Hedges'd negativos representam maior produtividade. Os números ao lado das barras de erro representam os tamanhos de efeito individuais de cada estudo. As barras que tocam a linha pontilhada são de tamanhos de efeito médio não significativo.

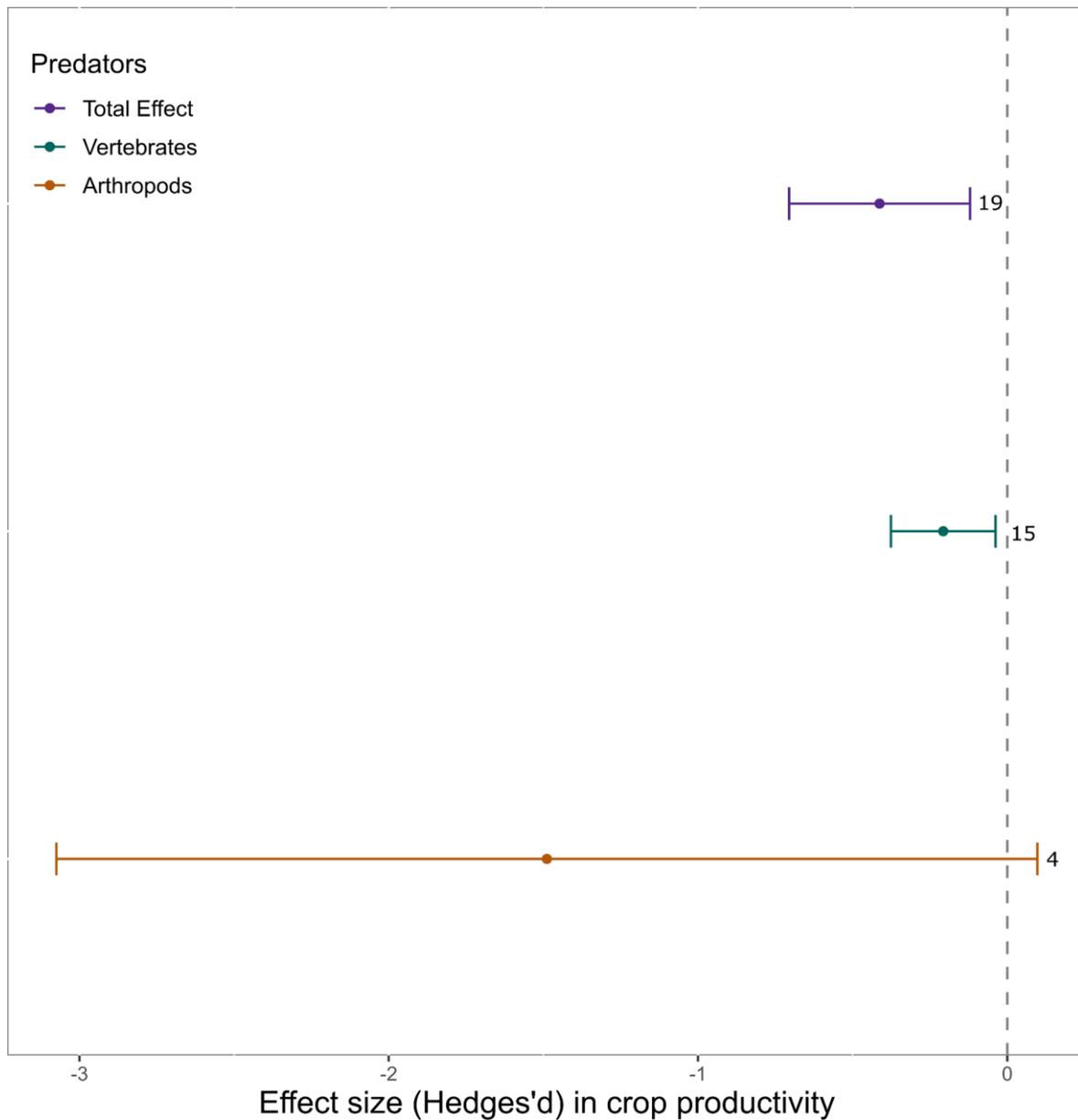


Fig. 3: Tamanhos de efeito médio geral (Total effect) e por estabilidade de cultivos sobre a supressão de pragas. Valores de Hedges'd negativos representam maior supressão de pragas. Os números ao lado das barras de erro representam os tamanhos de efeito individuais de cada estudo. As barras que tocam a linha pontilhada são de tamanhos de efeito médio não significativo.

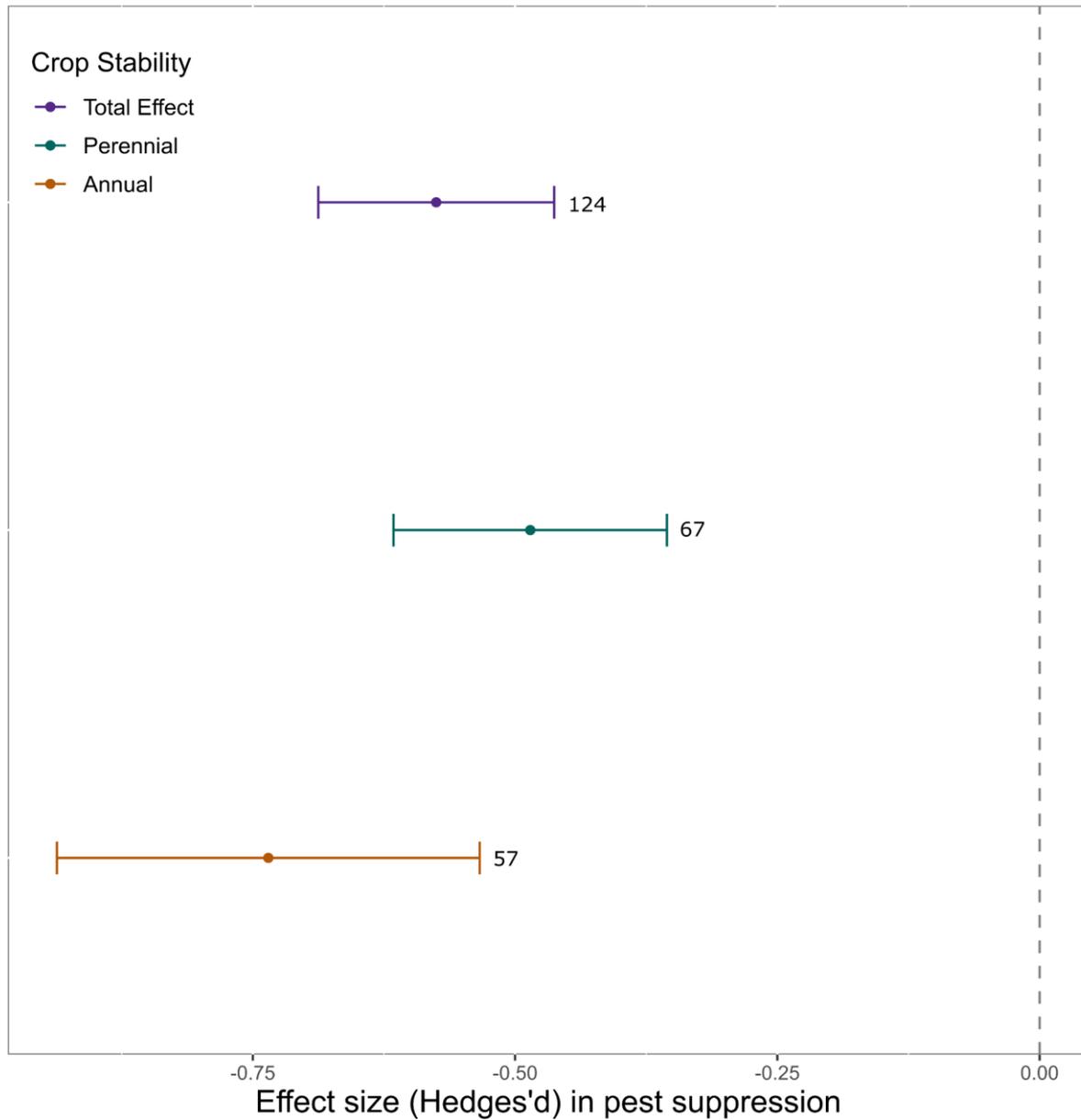


Fig. 4: Tamanhos de efeito médio geral (Total effect) e por estabilidade de cultivos sobre a produtividade. Valores de Hedges'd negativos representam maior produtividade. Os números ao lado das barras de erro representam os tamanhos de efeito individuais de cada estudo. As barras que tocam a linha pontilhada são de tamanhos de efeito médio não significativo.

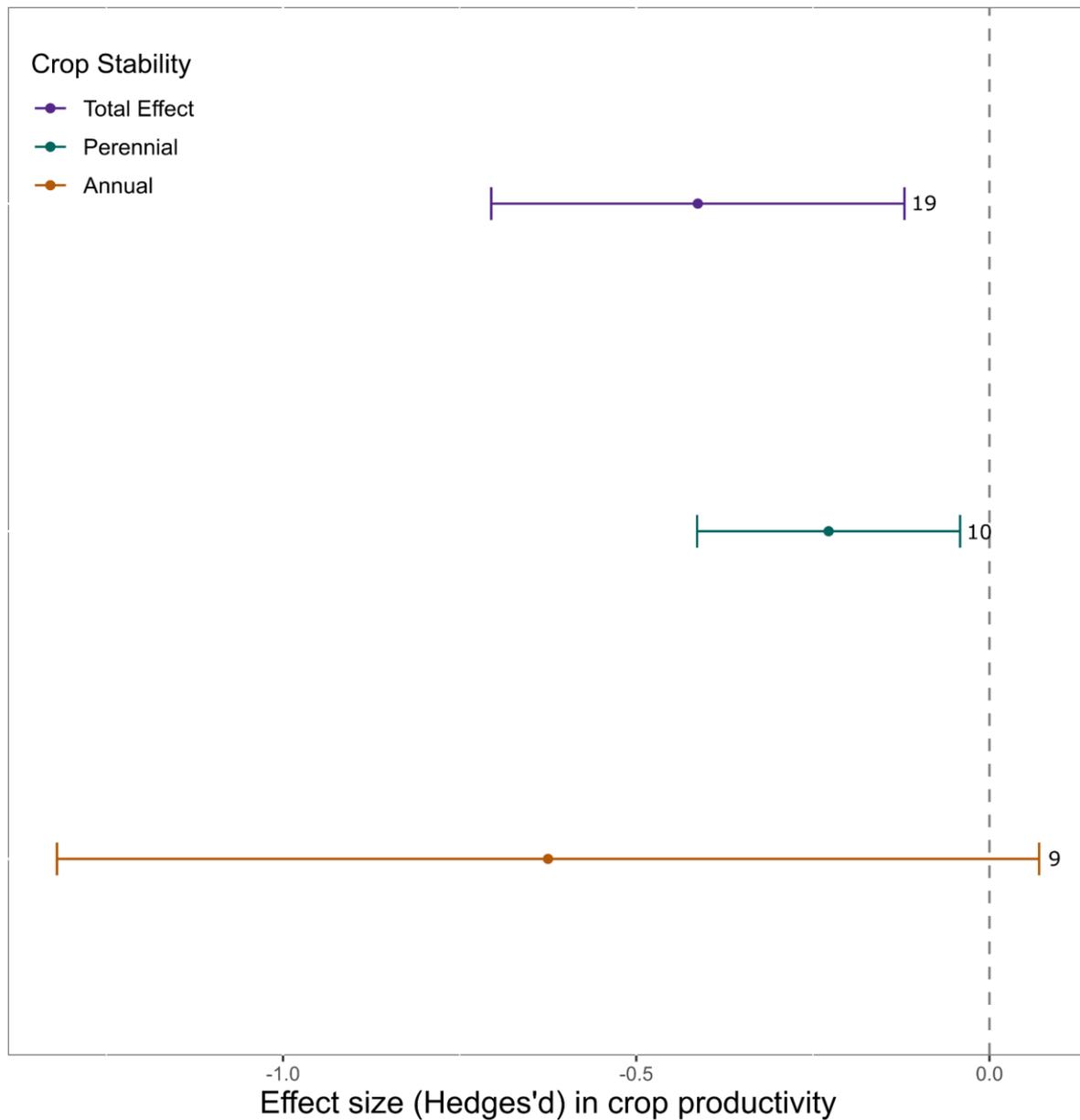


Fig. 5: Relação entre a Sazonalidade da Precipitação e o tamanho de efeito dos predadores na supressão de pragas. Valores de Hedges'd negativos representam maior produtividade. Os pontos que tocam a linha pontilhada são de tamanhos de efeito não significativos. O tamanho dos pontos representa a robustez do tamanho de efeito (inverso da variância).

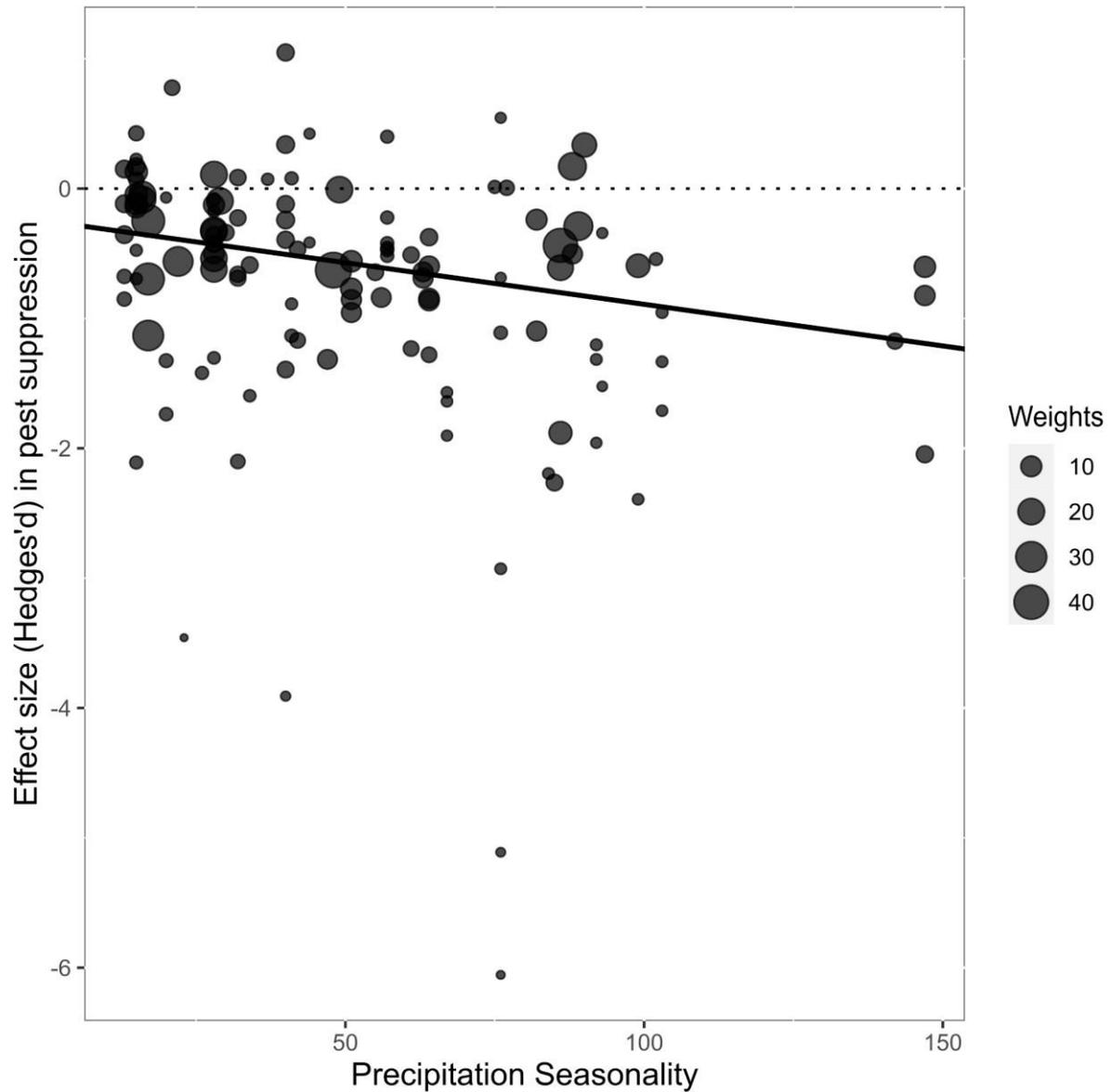


Fig. 6a: Os pontos pretos representam os tamanhos de efeito na produtividade de cada estudo. Pontos que estão dentro da faixa branca tem valor de p maior que 0.1; na faixa cinza escuro (ao lado da branca) entre 0.10 e 0.05; na faixa cinza claro entre 0.05 e 0.01 e para fora do funil o valor de p é menor que 0.01.

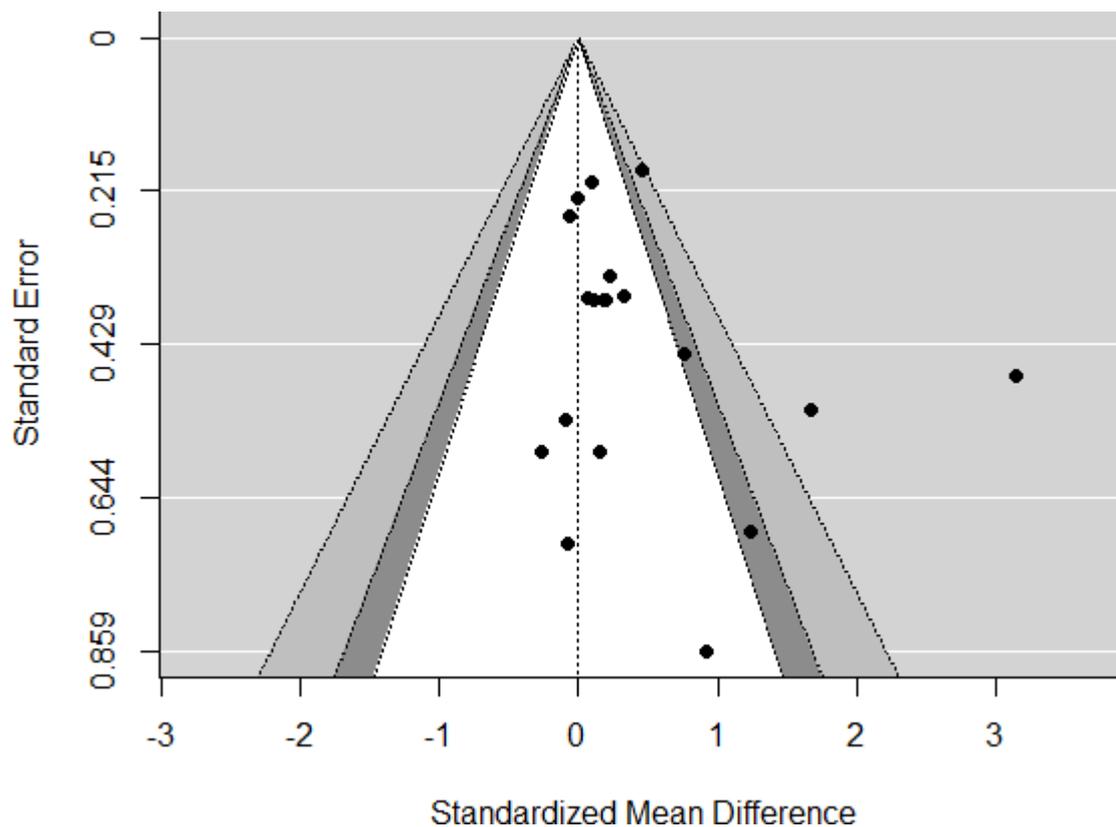
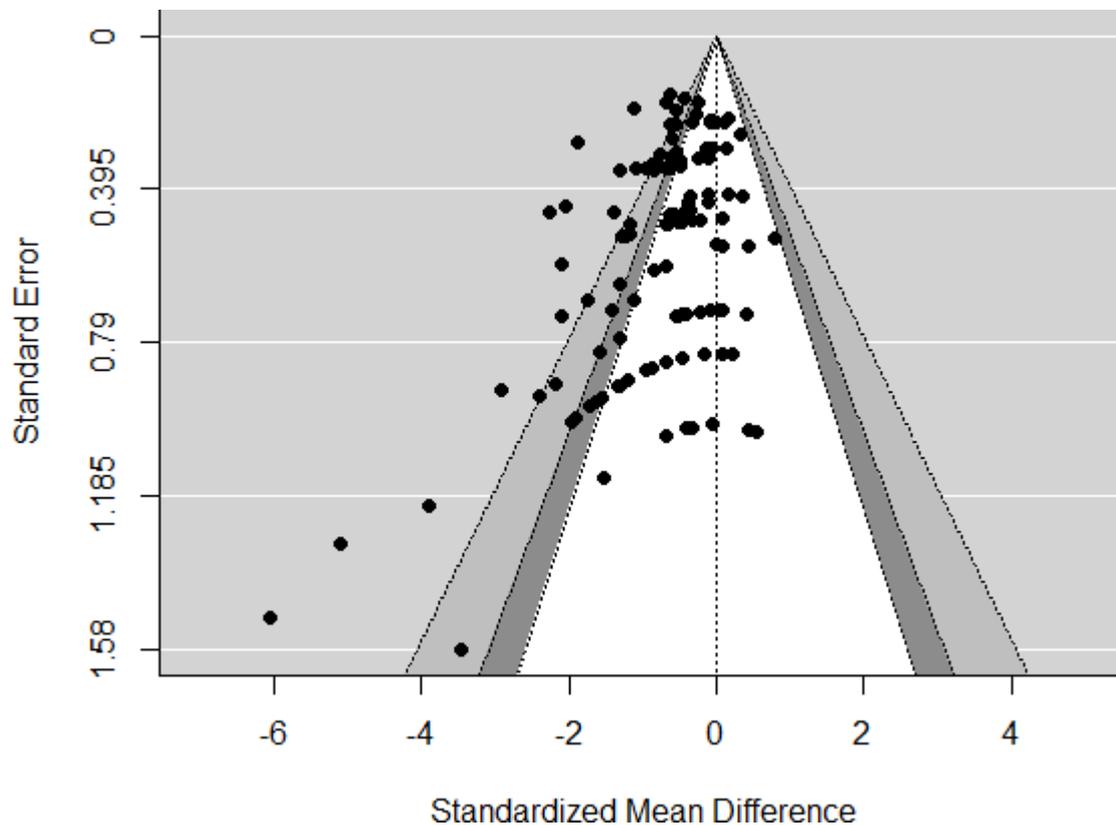


Fig. 6b: Os pontos pretos representam os tamanhos de efeito na supressão de pragas de cada estudo. Pontos que estão dentro da faixa branca tem valor de p

maior que 0.1; na faixa cinza escuro (ao lado da branca) entre 0.10 e 0.05; na faixa cinza claro entre 0.05 e 0.01 e para fora do funil o valor de p é menor que 0.01.



Referências

ALIZADEH, Vahi et al. Effects of Climate Change and Drought-Stress on Plant Physiology. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, v. 3, n. 1, p. 38-42, 2015.

BALE, J. S. et al. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores: RISING TEMPERATURE and INSECT HERBIVORES. *Global Change Biology*, v. 8, n. 1, p. 1–16, jan. 2002.

BEBBER, D. P.; HOLMES, T.; GURR, S. J. The global spread of crop pests and pathogens: The global spread of crop pests and pathogens. *Global Ecology and Biogeography*, v. 23, n. 12, p. 1398–1407, dez. 2014.

BOYD, J.; BANZHAF, S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, v. 63, n. 2–3, p. 616–626, ago. 2007.

DAILY, G. C. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington, DC: Island Press, 1997.

DAINESE, M. et al. High cover of hedgerows in the landscape supports multiple ecosystem services in Mediterranean cereal fields. *Journal of Applied Ecology*, v. 54, n. 2, p. 380–388, abr. 2017.

DEUTSCH, C. A. et al. Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, v. 361, n. 6405, p. 916–919, 31 ago. 2018.

DÍAZ-SIEFER, P. et al. Bird-mediated effects of pest control services on crop productivity: a global synthesis. *Journal of Pest Science*, 27 set. 2021.

DIEHL, E. et al. Effects of predator specialization, host plant and climate on biological control of aphids by natural enemies: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, v. 50, n. 1, p. 262–270, fev. 2013.

DUVAL, S.; TWEEDIE, R. Trim and Fill: A Simple Funnel-Plot-Based Method of Testing and Adjusting for Publication Bias in Meta-Analysis. *Biometrics*, v. 56, n. 2, p. 455–463, jun. 2000.

EGGER, M. et al. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ*, v. 315, n. 7109, p. 629–634, 13 set. 1997.

ENGLISH-LOEB, G. M. Plant Drought Stress and Outbreaks of Spider Mites: A Field Test. *Ecology*, v. 71, n. 4, p. 1401–1411, ago. 1990.

FATHI, A.; TARI, D. B. Effect of Drought Stress and its Mechanism in Plants. *International Journal of Life Sciences*, v. 10, n. 1, p. 1–6, 10 fev. 2016.

FINKE, D. L.; DENNO, R. F. Predator diversity and the functioning of ecosystems: the role of intraguild predation in dampening trophic cascades. *Ecology Letters*, v. 8, n. 12, p. 1299–1306, dez. 2005.

FRIZZO, T. L. M. et al. Ants provide biological control on tropical organic farms influenced by local and landscape factors. *Biological Control*, v. 151, p. 104378, dez. 2020.

GAGNON, A.-È.; HEIMPEL, G. E.; BRODEUR, J. The Ubiquity of Intraguild Predation among Predatory Arthropods. *PLoS ONE*, v. 6, n. 11, p. e28061, 23 nov. 2011.

GRMAN, E. et al. Mechanisms contributing to stability in ecosystem function depend on the environmental context: Stabilizing mechanisms in grasslands. *Ecology Letters*, v. 13, n. 11, p. 1400–1410, nov. 2010.

HALL, R. W.; EHLER, L. E.; BISABRI-ERSHADI, B. Rate of Success in Classical Biological Control of Arthropods. *Bulletin of the Entomological Society of America*, v. 26, n. 2, p. 111–114, 15 jun. 1980.

HAMANN, E. et al. Climate change alters plant–herbivore interactions. *New Phytologist*, v. 229, n. 4, p. 1894–1910, fev. 2021.

HEDGES, L. V. A random effects model for effect sizes. *Psychological Bulletin*, v. 93, n. 2, p. 388–395, 1983.

HEDGES, L. V.; VEVEA, J. L. Estimating Effect Size Under Publication Bias: Small Sample Properties and Robustness of a Random Effects Selection Model. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, v. 21, n. 4, p. 299–332, dez. 1996.

HUNTER, J. E.; SCHMIDT, F. L. Fixed Effects vs. Random Effects Meta-Analysis Models: Implications for Cumulative Research Knowledge. *International Journal of Selection and Assessment*, v. 8, n. 4, p. 275–292, dez. 2000.

JAMIESON, M. A. et al. Consequences of Climate Warming and Altered Precipitation Patterns for Plant-Insect and Multitrophic Interactions. *Plant Physiology*, v. 160, n. 4, p. 1719–1727, 5 dez. 2012.

JONSSON, M.; KAARTINEN, R.; STRAUB, C. S. Relationships between natural enemy diversity and biological control. *Current Opinion in Insect Science*, v. 20, p. 1–6, abr. 2017.

KARP, D. S.; DAILY, G. C. Cascading effects of insectivorous birds and bats in tropical coffee plantations. *Ecology*, v. 95, n. 4, p. 1065–1074, abr. 2014.

KORICHEVA, J.; GUREVITCH, J.; MENGERSEN, K. (EDS.). *Handbook of meta-analysis in ecology and evolution*. Princeton: Princeton University Press, 2013.

LAFTA, A. M.; LORENZEN, J. H. Effect of High Temperature on Plant Growth and Carbohydrate Metabolism in Potato. *Plant Physiology*, v. 109, n. 2, p. 637–643, 1 out. 1995.

MANTYKA-PRINGLE, C. S.; MARTIN, T. G.; RHODES, J. R. Interactions between climate and habitat loss effects on biodiversity: a systematic review and meta-analysis. *Global Change Biology*, v. 18, n. 4, p. 1239–1252, abr. 2012.

MICHALKO, R. et al. Global patterns in the biocontrol efficacy of spiders: A meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, v. 28, n. 9, p. 1366–1378, set. 2019.

NICOLOPOULOU-STAMATI, P. et al. Chemical Pesticides and Human Health: The Urgent Need for a New Concept in Agriculture. *Frontiers in Public Health*, v. 4, 18 jul. 2016.

NYFFELER, M.; BENZ, G. Spiders in natural pest control: A review. *Journal of Applied Entomology*, v. 103, n. 1–5, p. 321–339, 12 jan. 1987.

O'DEA, R. E. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses in ecology and evolutionary biology: a PRISMA extension. *Biological Reviews*, v. 96, n. 5, p. 1695–1722, out. 2021a.

O'DEA, R. E. et al. Towards open, reliable, and transparent ecology and evolutionary biology. *BMC Biology*, v. 19, n. 1, p. 68, 9 abr. 2021b.

OERKE, E.-C. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, v. 144, n. 1, p. 31–43, fev. 2006.

OLIVEIRA, C. M. et al. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. *Crop Protection*, v. 56, p. 50–54, fev. 2014.

PIMENTEL, D. et al. Annual vs. perennial grain production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 161, p. 1–9, out. 2012.

REDLICH, S.; MARTIN, E. A.; STEFFAN-DEWENTER, I. Landscape-level crop diversity benefits biological pest control. *Journal of Applied Ecology*, v. 55, n. 5, p. 2419–2428, set. 2018.

RILEY, R. D.; HIGGINS, J. P. T.; DEEKS, J. J. Interpretation of random effects meta-analyses. *BMJ*, v. 342, n. feb10 2, p. d549–d549, 10 fev. 2011.

RODRÍGUEZ-CASTAÑEDA, G. The world and its shades of green: a meta-analysis on trophic cascades across temperature and precipitation gradients: Trophic interactions across gradients. *Global Ecology and Biogeography*, v. 22, n. 1, p. 118–130, jan. 2013.

RODRÍGUEZ-SAN PEDRO, A. et al. Quantifying ecological and economic value of pest control services provided by bats in a vineyard landscape of central Chile. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 302, p. 107063, out. 2020.

ROMERO, G. Q. et al. Global predation pressure redistribution under future climate change. *Nature Climate Change*, v. 8, n. 12, p. 1087–1091, dez. 2018.

ROUBINET, E. et al. Additive effects of predator diversity on pest control caused by few interactions among predator species: Additive effects of predator diversity. *Ecological Entomology*, v. 40, n. 4, p. 362–371, ago. 2015.

SANTOS, C. M. DA C.; PIMENTA, C. A. DE M.; NOBRE, M. R. C. The PICO strategy for the research question construction and evidence search. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, v. 15, n. 3, p. 508–511, jun. 2007.

SAYERS, A. Tips and tricks in performing a systematic review. *British Journal of General Practice*, v. 58, n. 547, p. 136.1-136, 1 fev. 2008.

STACEY, D. Climate and biological control in organic crops. *International Journal of Pest Management*, v. 49, n. 3, p. 205–214, jul. 2003.

STILING, P.; CORNELISSEN, T. What makes a successful biocontrol agent? A meta-analysis of biological control agent performance. *Biological Control*, v. 34, n. 3, p. 236–246, set. 2005.

TYLIANAKIS, J. M.; ROMO, C. M. Natural enemy diversity and biological control: Making sense of the context-dependency. *Basic and Applied Ecology*, v. 11, n. 8, p. 657–668, dez. 2010.

VIECHTBAUER, W. Conducting Meta-Analyses in R with the metafor Package. *Journal of Statistical Software*, v. 36, n. 3, 2010.

VICO, G.; BRUNSELL, N. A. Tradeoffs between water requirements and yield stability in annual vs. perennial crops. *Advances in Water Resources*, v. 112, p. 189–202, fev. 2018.

VOIGT, W. et al. Trophic levels are differentially sensitive to climate. *Ecology*, v. 84, n. 9, p. 2444–2453, set. 2003.

WEISSFLOG, A. et al. Contrasting patterns of insect herbivory and predation pressure across a tropical rainfall gradient. *Biotropica*, v. 50, n. 2, p. 302–311, mar. 2018.

WHEELER, T.; VON BRAUN, J. Climate Change Impacts on Global Food Security. *Science*, v. 341, n. 6145, p. 508–513, 2 ago. 2013.

ZHANG, W. et al. Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics*, v. 64, n. 2, p. 253–260, dez. 2007.