



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS  
DA VIDA E DA NATUREZA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM BIODIVERSIDADE NEOTROPICAL**

**INVASÃO BIOLÓGICA E SAÚDE:  
CONTRIBUIÇÃO DE PLANTAS NÃO NATIVAS NA INCIDÊNCIA DE ORGANISMOS  
ASSOCIADOS À TRANSMISSÃO DE DOENÇAS**

**CAMILA DENÓBILE**

Foz do Iguaçu  
2023



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS  
DA VIDA E DA NATUREZA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM BIODIVERSIDADE NEOTROPICAL**

**INVASÃO BIOLÓGICA E SAÚDE:  
CONTRIBUIÇÃO DE PLANTAS NÃO NATIVAS NA INCIDÊNCIA DE ORGANISMOS  
ASSOCIADOS À TRANSMISSÃO DE DOENÇAS**

**CAMILA DENÓBILE**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Biodiversidade Neotropical, do Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza, da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Dalva Maria da Silva Matos  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. María José Corriale

Foz do Iguaçu  
2023

CAMILA DENÓBILE

**INVASÃO BIOLÓGICA E SAÚDE:  
CONTRIBUIÇÃO DE PLANTAS NÃO NATIVAS NA INCIDÊNCIA DE ORGANISMOS  
ASSOCIADOS À TRANSMISSÃO DE DOENÇAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Biodiversidade Neotropical, do Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza, da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas.

**BANCA EXAMINADORA**

Dr<sup>a</sup> Dalva Maria da Silva Matos  
Orientadora  
UNILA

Dr. Felipe Santos de Carvalho  
UFSCar

Dr. Fernando César Vieira Zanella  
UNILA

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação  
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - PTI

D413

Denóbile, Camila.

Invasão biológica e saúde: contribuição de plantas não nativas na incidência de organismos associados à transmissão de doenças / Camila Denóbile. - Foz do Iguaçu, 2023.

57 f.: il., color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Neotropical. Foz do Iguaçu - PR, 2023.

Orientadora: Profa. Dra. Dalva Maria da Silva Matos.

Coorientadora: Profa. Dra. María José Corriale.

1. Invasão biológica. 2. Saúde Única (One Health). 3. Carrapatos Amblyomma. 4. Disseminação de doenças.  
I. Matos, Profa. Dra. Dalva Maria da Silva. II. Corriale, Profa. Dra. María José. III. Título.

CDU 630\*44

## AGRADECIMENTOS

À minha família, principalmente meus pais Ana e Fernando, pelo amor, ensinamentos, suporte e paciência comigo. Um agradecimento especial para minha mãe, que sempre me incentivou em minhas decisões, compartilhou comigo momentos bons e ruins nesses anos de trabalho.

À minha orientadora Profa. Dalva Matos, a quem devo a oportunidade de poder conhecer uma nova área de estudo em uma Universidade que me proporcionou tantas oportunidades, por ter me acolhido de braços abertos e me acompanhado em toda essa jornada.

À minha coorientadora, Profa. María José Corriale, que mesmo de longe foi importante durante a minha caminhada e esclareceu muitas dúvidas em todos os momentos que precisei.

À todos do Laboratório de Ecologia e Conservação da UFSCar pelos momentos de aprendizagem, pela parceira de trabalho e pelo incentivo durante toda a execução do projeto.

Aos professores Wagner Chiba e Rafael Xavier, pela enorme contribuição nesse trabalho, nas orientações e sugestões que guiaram todo o meu processo de pesquisa.

À Beatriz França, a melhor colega de laboratório e companhia nas viagens e em todos os pontos altos e baixos desses últimos dois anos.

À todo o meu grupo de amigos desde o fundamental até a graduação, por serem minha segunda família, estando presente, mesmo de longe, em tantas etapas importantes na minha vida e compartilhando momentos especiais como esse.

À minha amiga Nicole, em especial, deixo meu muito obrigada por ser parte essencial da minha vida nos últimos anos, por ter me ensinado o que é ter uma irmã de outro sangue e me incentivado a sempre seguir meus sonhos.

Aos membros da banca, por aceitarem o convite, pela paciência e pelo tempo em contribuir para a finalização dessa pesquisa.

Ào Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Neotropical da UNILA, que vai ser sempre levado no meu coração por todo o suporte prestado durante os últimos anos.

À CAPES, pelo apoio financeiro a esse trabalho.

## RESUMO

Espécies invasoras podem causar drásticas mudanças no ambiente e alterar a dinâmica de interações ecológicas. Com o crescimento no número de espécies introduzidas em todo o mundo, principalmente devido a perturbações ambientais e intervenção humana, os impactos negativos para a saúde humana e de outros animais poderão ser intensificados. Diante desse campo de pesquisa ainda recente, pretendemos investigar como o processo de invasão pode mudar a dinâmica de interações entre as espécies em um novo ambiente. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o potencial risco de plantas invasoras para a saúde, em um contexto de Saúde Única (*One Health*). Assim, no primeiro capítulo realizamos um estudo cienciométrico das publicações científicas que abordam a temática, avaliando qualitativamente como as pesquisas debatem a complexa relação entre vegetações invasoras e organismos envolvidos na transmissão de doenças. Foram obtidos 36 artigos nas bases *Web of Science* e *Scopus*, publicados entre 2005 e 2022, com um aumento considerável de estudos nos últimos dez anos e uma expressiva participação dos Estados Unidos no cenário científico mundial. Constatou-se que, em geral, maiores concentrações de patógenos, vetores e hospedeiros de doenças foram relacionados a comunidades estruturalmente alteradas, o que pode tornar o habitat propício para a propagação de doenças. No segundo capítulo, buscamos compreender aspectos da dinâmica populacional de carrapatos em áreas invadidas e não invadidas no *campus* da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), testando alguns fatores que podem influenciar variações na abundância de indivíduos do gênero *Amblyomma*. Utilizamos dados de dois métodos de coleta de carrapatos realizados entre os anos de 2018 e 2019, comparando as parcelas de vegetação e flutuações populacionais ao longo de um ano (estações seca e chuvosa). Foi implementado um modelo linear generalizado misto (GLMM) com distribuição binomial negativa para verificar se há efeito considerável do tipo de vegetação na variável resposta. Foi confirmada uma relação significativa entre a dominância de espécies invasoras na mata ripária e a abundância de carrapatos, sobretudo a presença da espécie *Hedychium coronarium* se destacou nos resultados obtidos pela análise, apresentando os maiores números de carrapatos encontrados. A evidente associação entre a vegetação invadida e a maior quantidade de carrapatos é particularmente relevante, visto que estes invertebrados são um dos principais vetores de doenças infecciosas para seres humanos e outros animais. Dado que as áreas dominadas pela invasora também já foram associadas à presença de animais que hospedam o vetor, estes se tornam ambientes altamente propensos à infestações. Esperamos que os resultados obtidos nesse trabalho, futuramente, possam guiar novas pesquisas neste cenário de invasão biológica e doenças, além de embasar estratégias de controle de invasoras e o gerenciamento de políticas públicas.

**Palavras-chave:** Invasão biológica. *One Health*. Carrapatos *Amblyomma*. Disseminação de doenças. Associação.

## RESUMEN

Las especies invasoras pueden provocar cambios drásticos en el medio ambiente y alterar la dinámica de interacciones ecológicas. Con el crecimiento del número de especies introducidas en todo el mundo, debido principalmente a alteraciones ambientales y a la intervención humana, los impactos negativos sobre la salud humana y otros animales pueden intensificarse. Dado este campo de investigación aún reciente, pretendemos investigar cómo el proceso de invasión puede cambiar la dinámica de las interacciones entre especies en un nuevo entorno. El objetivo general de este trabajo fue evaluar el riesgo potencial de plantas invasoras para la salud, en el contexto de *One Health*. Así, en el primer capítulo realizamos un estudio cuantitativo de las publicaciones científicas que abordan el tema, evaluando cualitativamente cómo las investigaciones discuten la compleja relación entre la vegetación invasora y los organismos involucrados en la transmisión de enfermedades. Se obtuvieron 36 artículos de las bases de datos *Web of Science* y *Scopus*, publicados entre 2005 y 2022, con un aumento considerable de estudios en los últimos diez años y una participación significativa de Estados Unidos en el escenario científico mundial. Se descubrió que, en general, las concentraciones más altas de patógenos, vectores y huéspedes de enfermedades estaban relacionadas con comunidades estructuralmente alteradas, lo que puede hacer que el hábitat sea propicio para la propagación de enfermedades. En el segundo capítulo, buscamos comprender aspectos de la dinámica poblacional de garrapatas en áreas invadidas y no invadidas en el campus de la Universidad Federal de São Carlos (UFSCar), probando algunos factores que pueden influir en las variaciones en la abundancia de individuos del género *Amblyomma*. Utilizamos datos de dos métodos de recolección de garrapatas realizados entre 2018 y 2019, comparando parcelas de vegetación y fluctuaciones poblacionales a lo largo de un año (épocas secas y lluviosas). Se implementó un modelo lineal mixto (GLMM) con distribución binomial negativa para verificar si existe un efecto considerable del tipo de vegetación sobre la variable respuesta. Se confirmó una relación significativa entre la dominancia de especies invasoras en el bosque ribereño y la abundancia de garrapatas, destacando en los resultados obtenidos por el análisis la presencia de la especie *Hedychium coronarium*, que presentó el mayor número de garrapatas encontradas. La evidente asociación entre vegetación invadida y un mayor número de garrapatas es particularmente relevante, dado que estos invertebrados son uno de los principales vectores de enfermedades infecciosas para humanos y otros animales. Dado que las zonas dominadas por el invasor también se han asociado con la presencia de animales hospedadores del vector, estas se convierten en ambientes altamente propensos a las infestaciones. Esperamos que los resultados obtenidos en este trabajo, en el futuro, puedan orientar nuevas investigaciones en este escenario de invasión biológica y enfermedades, además de apoyar estrategias de control invasivo y la gestión de políticas públicas.

**Palabras clave:** Invasión biológica. Salud Única. Garrapatas *Amblyomma*. Propagación de enfermedades. Asociación.

## ABSTRACT

Invasive species can cause changes in the physical environment and alter dynamics of ecological interactions. Increases in the number of introduced species around the world, mainly due to environmental disturbances and human intervention, negative impacts on human and animal health could be intensified. Faced with this still recent field, we intend to investigate how invasion process can change the interaction dynamics between species in a new environment. The aim of this work was to evaluate the relationship between invasive plant species and the risk of spreading diseases, in a One Health context. In the first chapter, we conducted a scientometric study of scientific publications, qualitatively assessing how research debates the complex relationship between invasive vegetation and organisms involved in disease transmission. We obtained 36 articles from Web of Science and Scopus databases, published between 2005 and 2022, by considerable increase of studies in the last ten years and a significant participation of United States in the world scientific scene. It was found that, in general, higher concentrations of pathogens, vectors and disease hosts were related to structurally altered communities, which could lead the habitat being more susceptible to diseases spread. In chapter two, we sought to understand aspects of tick population dynamics in invaded and non-invaded areas on the campus of Federal University of São Carlos (UFSCar), testing some factors that may influence variations in abundance of individuals of genus *Amblyomma*. We used data from two tick collection methods carried out between 2018 and 2019, comparing vegetation plots and individuals fluctuations over a year (dry and rainy seasons). A generalized linear mixed model (GLMM) with negative binomial distribution was implemented to obtain if there is a considerable effect of vegetation type on response variable. A significant relationship was confirmed between the dominance of invasive species in riparian forest and the abundance of ticks, in particular the presence of species *Hedychium coronarium* stood out in results obtained, showing highest numbers of ticks. The evident association between invaded vegetation and larger number of ticks is particularly relevant, given that these invertebrates are one of the main vectors of infectious diseases for humans and other animals in our environment, such as Brazilian spotted fever. Given that dominated areas have also been associated with the presence of animals who host this vectors, they become environments highly prone to disease infestation. We hope that these results, in the future, can guide new studies into this system of biological invasion and diseases, as well as supporting invasive control strategies and the management of public policies.

**Keywords:** Biological invasion. One Health. *Amblyomma* ticks. Diseases spread. Association.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Representação do processo metodológico de revisão da literatura, elaborado de acordo com a estrutura PRISMA da figura.....22
- Figura 2** – Distribuição temporal do número de estudos e a proporção de tipos de metodologias abordadas.....24
- Figura 3** – Distribuição geográfica para cada artigo e família das plantas invasoras.....25
- Figura 4** – Proporção de agentes biológicos envolvidos na disseminação de doenças e como foram retratados pelos autores.....27
- Figura 5** – Áreas de estudos localizadas no entorno da Universidade Federal de São Carlos.....43
- Figura 6** – Número total de carrapatos *Amblyomma* coletados nos quatro tipos de vegetação e nas três áreas de estudo, por meses do ano.....46
- Figura 7** – Boxplot da abundância de carrapatos *Amblyomma* encontrados nas áreas de vegetação não invadida (controle) e invadidas por *H. coronarium*, *P. purpureum* e *U. decumbens* .....47
- Figura 8** – Gráfico dos resíduos do modelo GLMM para a distribuição binomial negativa.....48
- Figura 9** – Boxplot da abundância de carrapatos obtida em cada vegetação, comparando as variações entre estação seca e chuvosa.....50

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Combinação de termos empregada nas plataformas Web of Science e Scopus .....	19
<b>Tabela 2</b> – Caracterização dos dados coletados e selecionados para a análise qualitativa .....	20
<b>Tabela 3</b> – Lista de artigos incluídos na análise e seu alvo de impacto .....	23
<b>Tabela 4</b> – Resultados dos parâmetros e valores de p estimados usando um GLMM com distribuição binomial negativa.....	49
<b>Tabela 5</b> – Resultados da análise de desvio pelo teste qui-quadrado de Wald tipo II para as duas variáveis preditoras.....	49
<b>Tabela 6</b> – Análise a posteriori das médias marginais estimadas pelo método de Tukey (pairwise).....	50

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	10
2 OBJETIVOS .....	12
3 REFERÊNCIAS .....	13
4 CAPÍTULO I.....	385
4.1 Introdução.....	16
4.2 Material e Métodos.....	18
4.3 Resultados.....	21
4.4 Discussão.....	28
4.5 Referências.....	32
5 CAPÍTULO II.....	38
5.1 Introdução.....	39
5.2 Material e Métodos.....	42
5.3 Resultados.....	46
5.4 Discussão.....	51
5.5 Referências.....	53
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A biodiversidade vem sendo cada vez mais ameaçada por diversos fatores, principalmente processos de degradação, fragmentação de *habitats* e invasão de espécies exóticas (Simberloff; Rejmánek, 2011). O processo de invasão biológica se constitui lentamente, quando uma espécie ultrapassa as barreiras de dispersão natural e se estabelece em uma nova comunidade, apresentando uma alta taxa de crescimento populacional (Pejchar; Mooney, 2009). Assim, dominam o espaço antes ocupado pela vegetação nativa, sendo capaz de se dispersar com maior intensidade (Mollot *et al.*, 2017).

Espécies exóticas podem ser introduzidas por vias naturais ou antrópicas (Vilà; Hulme, 2017). Comércio e turismo, por exemplo, são algumas das principais atividades que impulsionam o deslocamento de organismos entre uma ampla variedade de regiões ao redor do mundo (Hall, 2019; Pyšek *et al.*, 2020). Nas últimas décadas, tem sido relatado um grande número de invasores que modificam as condições físicas do ambiente e causam danos econômicos (Matos; Pivello, 2009; Nicholson *et al.*, 2009). Outra alteração associada a espécies invasoras se dá na composição nativa de uma comunidade, podendo reduzir ou eliminar a capacidade de um ecossistema fornecer bens ou serviços ecológicos (Pejchar; Mooney, 2009).

Embora o interesse da ciência em avaliar a perda de serviços ecossistêmicos tenha aumentado (Balvanera *et al.*, 2012), as dimensões dos impactos causados por espécies invasoras não são totalmente explorados (Vilà *et al.*, 2011). Além dos impactos a nível ecológico e econômico, invasões biológicas também representam uma grande ameaça à saúde (Vilà *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022), mesmo que os problemas causados nesse âmbito ainda são pouco conhecidos.

A capacidade de plantas não nativas desencadear perturbações ambientais e suprimir outras espécies vegetais residentes é bem reconhecida na literatura, porém, outros potenciais efeitos indiretos têm sido negligenciados (Lortie *et al.*, 2021; Sokol; Kuebbing; Bradford, 2017). Vegetações invasoras são relacionadas a aumentos na disponibilidade de recursos e evidenciadas como agentes facilitadores (Flory; Bauer, 2014). Por fornecerem um microclima adequado para o estabelecimento de outras populações, sua introdução pode interferir positivamente no processo de colonização de novas espécies (crustáceos: Thouvenot *et al.*, 2017).

Mudanças na incidência geográfica de indivíduos influenciam o modo como as espécies interagem (David *et al.*, 2017) e a formação de novas dinâmicas de

associação possibilitam alterações na distribuição de organismos patogênicos (Schatz; Park, 2021). Nesse contexto, interações facilitadoras se estendem de modo que populações introduzidas podem modificar a dispersão de vetores e hospedeiros de doenças que acometem a saúde humana e de outros animais (Morse *et al.*, 2012; Rai; Singh, 2020). Assim, indiretamente, ambientes invadidos podem estar relacionados à propagação de doenças (Seebens *et al.*, 2021).

Em termos de controle de transmissão de doenças, a expansão de espécies de plantas exóticas precisa ser tomada como um processo crítico e impulsionador (Mack; Smith, 2011). Nesse cenário, a ecologia de invasão desempenha um papel crucial em compreender aos potenciais riscos de novas áreas invadidas e investigar as implicações desse sistema, bem como guiar a busca por estratégias que possam proteger as paisagens mais suscetíveis a essas ameaças (Kuebbing; Nuñez, 2016; Young *et al.*, 2017).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Avaliar, qualitativamente e quantitativamente, se áreas dominadas por plantas exóticas invasoras facilitam a manutenção de organismos associados à transmissão de doenças que acometem a saúde humana e de outros animais.

### 2.2 Específicos

i) caracterizar, em um contexto de Saúde Única, a produção científica global referente à contribuição de plantas invasoras na propagação de agentes associados à transmissão de doenças;

ii) investigar as flutuações na abundância de carrapatos *Amblyomma* em locais dominadas por espécies vegetais invasoras e em áreas não invadidas;

iii) analisar se a presença de vegetação invasora e/ou mudanças sazonais afetam a incidência de carrapatos *Amblyomma*.

### 3 REFERÊNCIAS

- BALVANERA, Patricia et al. Ecosystem services research in Latin America: The state of the art. **Ecosystem Services**, v. 2, p. 56-70, 2012.
- CHARLES, Heather; DUKES, Jeffrey S. Impacts of invasive species on ecosystem services. **Biological invasions**, p. 217-237, 2007.
- CONN, David Bruce. Aquatic invasive species and emerging infectious disease threats: A One Health perspective. **Aquatic Invasions**, v. 9, n. 3, 2014.
- DAVID, Patrice et al. Impacts of invasive species on food webs: a review of empirical data. **Advances in ecological research**, v. 56, p. 1-60, 2017.
- FLORY, S. Luke; BAUER, Jonathan T. Experimental evidence for indirect facilitation among invasive plants. **Journal of Ecology**, v. 102, n. 1, p. 12-18, 2014.
- HALL, C. Michael. 10. Biological invasion, biosecurity, tourism, and globalisation. **Handbook of globalisation and tourism**, p. 114, 2019.
- KUEBBING, Sara E.; NUÑEZ, Martin A. Invasive non-native plants have a greater effect on neighbouring natives than other non-natives. **Nature plants**, v. 2, n. 10, p. 1-7, 2016.
- LORTIE, Christopher J. et al. Facilitation promotes plant invasions and indirect negative interactions. **Oikos**, v. 130, n. 7, p. 1056-1061, 2021.
- MACK, Richard; SMITH, Melissa. Invasive plants as catalysts for the spread of human parasites. **NeoBiota**, v. 9, p. 13-29, 2011.
- MATOS, Dalva M. Silva; PIVELLO, Vânia R. O impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres: alguns casos brasileiros. **Ciência e Cultura**, v. 61, n. 1, p. 27-30, 2009.
- MOLLOT, Grégory; PANTEL, J. H.; ROMANUK, T. N. The effects of invasive species on the decline in species richness: a global meta-analysis. In: **Advances in ecological research**. Academic Press, 2017. p. 61-83.
- MORSE, Stephen S. et al. Prediction and prevention of the next pandemic zoonosis. **The Lancet**, v. 380, n. 9857, p. 1956-1965, 2012.
- NICHOLSON, Emily et al. Priority research areas for ecosystem services in a changing world. **Journal of Applied Ecology**, v. 46, n. 6, p. 1139-1144, 2009.
- PEJCHAR, Liba; MOONEY, Harold A. Invasive species, ecosystem services and human well-being. **Trends in ecology & evolution**, v. 24, n. 9, p. 497-504, 2009.
- PYŠEK, Petr et al. Scientists' warning on invasive alien species. **Biological Reviews**, v. 95, n. 6, p. 1511-1534, 2020.
- RAI, Prabhat Kumar; SINGH, J. S. Invasive alien plant species: Their impact on environment, ecosystem services and human health. **Ecological indicators**, v. 111, p. 106020, 2020.

SCHATZ, Annakate M.; PARK, Andrew W. Host and parasite traits predict cross-species parasite acquisition by introduced mammals. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 288, n. 1950, p. 20210341, 2021.

SCHINDLER, Stefan et al. Alien species and public health impacts in Europe: a literature review. **NeoBiota**, v. 27, p. 1-23, 2015.

SEEBENS, Hanno et al. Projecting the continental accumulation of alien species through to 2050. **Global Change Biology**, v. 27, n. 5, p. 970-982, 2021.

SIMBERLOFF, Daniel; REJMÁNEK, Marcel (Ed.). **Encyclopedia of biological invasions**. Univ of California Press, 2011.

SOKOL, Noah W.; KUEBBING, Sara E.; BRADFORD, Mark A. Impacts of an invasive plant are fundamentally altered by a co-occurring forest disturbance. **Ecology**, v. 98, n. 8, p. 2133-2144, 2017.

THOUVENOT, Lise et al. Reciprocal indirect facilitation between an invasive macrophyte and an invasive crayfish. **Aquatic Botany**, v. 139, p. 1-7, 2017.

VILÀ, Montserrat et al. Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. **Ecology letters**, v. 14, n. 7, p. 702-708, 2011.

VILÀ, Montserrat et al. (Ed.). **Impact of biological invasions on ecosystem services**. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017.

VILÀ, Montserrat et al. Viewing emerging human infectious epidemics through the lens of invasion biology. **BioScience**, v. 71, n. 7, p. 722-740, 2021.

YOUNG, Hillary S. et al. Introduced species, disease ecology, and biodiversity–disease relationships. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 32, n. 1, p. 41-54, 2017.

ZHANG, Lin et al. Biological invasions facilitate zoonotic disease emergences. **Nature Communications**, v. 13, n. 1, p. 1762, 2022.

## 4 CAPÍTULO I

### ESPÉCIES VEGETAIS INVASORAS: UMA ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA COM FOCO NA ABORDAGEM *ONE HEALTH*

#### Resumo

O processo de invasão biológica causa mudanças na composição de espécies e na dinâmica de interações ecológicas, podendo tornar um *habitat* propício para a propagação de doenças. Diante de um cenário de riscos para a saúde ambiental, humana e animal, conduzimos um estudo cientométrico para compreender como as perturbações que ocorrem em ambientes invadidos por vegetação não nativa afetam a incidência de organismos envolvidos na transmissão de doenças. O objetivo deste capítulo foi avaliar como os trabalhos científicos apontam a relação entre espécies de plantas invasoras e o risco de disseminação de doenças, em um contexto de Saúde Única (*One Health*). Foi conduzida uma pesquisa por meio de duas buscas na literatura em ambas as plataformas de dados, Web of Science e Scopus, aplicando combinações de 16 termos para obter estudos que associam a presença de plantas invasoras com impactos na saúde humana e animal. Baseado no protocolo PRISMA, etapas de seleção guiaram a obtenção de resultados que se adequaram aos critérios norteadores previamente definidos. A busca estruturada resultou em 36 artigos, publicados entre 2005 e 2022, com um aumento considerável de estudos nos últimos dez anos e uma expressiva participação dos Estados Unidos no cenário científico mundial. Identificamos grupos de plantas que se mostraram relevantes no contexto atual e duas principais doenças apontadas, Lyme e malária, relacionadas a áreas invadidas. Foram constatadas tendências nas atividades científicas sobre o tema, que exploram como plantas invasoras podem provocar danos à saúde de forma indireta, visto que maiores concentrações de patógenos, vetores e hospedeiros de doenças foram relacionados a comunidades estruturalmente alteradas. Destacamos o papel de áreas invadidas como ameaças que viabilizam modificações na distribuição de organismos envolvidos na transmissão de doenças. É provável que, com o frequente crescimento no número de espécies introduzidas em todo o mundo, principalmente devido a perturbações ambientais e intervenção humana, os impactos negativos para a saúde serão intensificados nos próximos anos. Este é um campo de pesquisa ainda recente, com certas limitações quanto ao panorama científico global, mas que pode fornecer um ponto de partida para direcionar tomadas de decisões e embasar iniciativas de resolução de problemas ligados à fauna e flora. A introdução de plantas exóticas precisa receber maior atenção em estudos futuros para garantir uma compreensão mais detalhada de como esses mecanismos determinam alterações, mesmo que discretas, em diferentes aspectos no âmbito da saúde.

**Palavras-chave:** *One Health*. Cienciometria. Plantas invasoras. Disseminação de doenças. Interações.

Este capítulo é referente ao artigo publicado em:

Denóbile, C.; Chiba de Castro, W.A.; Silva Matos, D.M.d. Public Health Implications of Invasive Plants: A Scientometric Study. *Plants* 2023, 12, 661. <https://doi.org/10.3390/plants12030661>.

## 4.1 Introdução

Ambientes alterados pela invasão biológica estão intimamente relacionados a questões de bem estar e saúde (Schindler *et al.*, 2015). Os processos decorrentes de perturbações nos serviços ecossistêmicos por espécies invasoras se estendem a alterações no uso dos *habitats* e ampliação de novos locais de transmissão de doenças infecciosas (Pyšek; Richardson, 2010). Por outro lado, fatores como as características próprias das comunidades também podem contribuir elevando os riscos de proliferação de organismos patogênicos (Assessment, 2005).

Assimilar os impactos da invasão biológica é uma iniciativa importante para guiar tanto a elucidação dos mecanismos envolvidos no processo quanto a busca por ações de intervenção para reduzir novas introduções (Simberloff *et al.*, 2013). Com a crescente introdução de espécies exóticas em todo o mundo, a proximidade humano-animal em ambientes invadidos eleva o risco de exposição a possíveis zonas de incidência de zoonoses (Gezie *et al.*, 2018; Mazza *et al.*, 2014). Por se estabelecerem com maior facilidade em diversos *habitats*, as tentativas de minimizar os impactos à biodiversidade e à saúde devem considerar o vasto perigo que plantas invasoras podem concentrar, indiretamente, como novos reservatórios de patógenos (Chinchio *et al.*, 2020).

Embora as invasões, tanto por flora quanto por fauna sejam demasiadamente prejudiciais, até o momento, o risco de prevalência de doenças infecciosas pouco é relacionado a mudanças no ambiente decorrentes da introdução de plantas exóticas (Hatcher *et al.*, 2012), principalmente se comparado a outras espécies invasoras, como artrópodes e mamíferos, exemplos de agentes diretamente responsáveis pela transmissão de patógenos (Rabitsch; Essl; Schindler, 2017). Em geral, implicações para a saúde atribuídas a plantas não nativas referem-se a problemas de irritação da pele, alergias e intoxicação, devido à presença de pólen e toxinas (Celesti-Grapow *et al.*, 2010; Plaza *et al.*, 2018).

Neste cenário, é incluída a abordagem *One Health*, também denominada Saúde Única, uma iniciativa focada na integração dos seres humanos, outros animais e meio ambiente para garantir a manutenção da saúde das comunidades como um todo (Mackenzie; Jeggo, 2019). Ao integrar ambas as esferas, é possível ampliar nosso conhecimento sobre eventos que afetam a biodiversidade e, assim, traçar prioridades para prevenir rápidas ou grandes mudanças que impactam a saúde e a integridade natural dos ecossistemas (Daszak *et al.*, 2021). Tal proposta se torna especialmente relevante, visto que é esperado que as invasões e proliferações de doenças se intensifiquem em um futuro próximo.

Dado o potencial perigo de espécies invasoras para a saúde humana e de outros animais, este trabalho se aprofunda em compreender os impactos da invasão de plantas exóticas no âmbito da saúde integrada. Nós conduzimos um estudo cienciométrico que busca por pesquisas que debatem a contribuição das áreas de vegetação invadida na dinâmica de incidência de patógenos, vetores ou hospedeiros, para analisar como transformações no ambiente afetam as taxas de prevalência de doenças.

Pretendemos explorar uma ampla perspectiva de como o conhecimento científico se constituiu nas últimas décadas, para que esse ponto de vista possa embasar futuras tomadas de decisão e iniciativas de resolução de problemas ligados à fauna e flora. É imprescindível fundamentar nossa compreensão sobre os fenômenos que afetam a integridade natural dos ecossistemas para preencher as lacunas de pesquisa que associam áreas invadidas a risco de ocorrência de doenças e, assim, delinear intervenções que previnam que patógenos alcancem novos locais (Keesing *et al.*, 2010).

## 4.2 Material e Métodos

### *Busca na literatura*

A investigação de tendências sobre uma determinada área do conhecimento nas últimas décadas trouxe informações valiosas para entendermos o estado atual da ciência, seu progresso em termos de produção, comunicação e aspectos quantitativos (Xie *et al.*, 2020). A cienciometria é ramo interdisciplinar que nos possibilita mapear e medir o conhecimento científico a partir de uma sequência de procedimentos metodológicos, delineando um perfil das tendências e lacunas dentro de um campo de pesquisa específico (Elango; Rajendran, 2012). Para obter um panorama geral da produção científica, nós adotamos a estrutura PRISMA (*Preferred Reporting Items in Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Este protocolo apresenta um *checklist* e um fluxograma orientando os passos recomendados para a realização de revisões sistemáticas (Moher *et al.*, 2009). A pesquisa foi conduzida nas bases de dados *Web of Science* ([www.webofscience.com](http://www.webofscience.com)) e *Scopus* ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)), acessadas em 12 de setembro de 2022. Tais plataformas foram escolhidas por serem multidisciplinares, de alta credibilidade e que dispõem de uma grande quantidade de publicações e revistas científicas indexadas. Uma revisão da literatura inicial direcionou a definição das expressões mais viáveis para serem empregadas na coleta de dados.

A estratégia de busca aplicada seguiu o uso de caracteres especiais para incluir variações de palavras (\*) e para indicar termos compostos ("") e, assim, refinar os resultados. As sequências de palavras-chave foram delimitadas por operadores booleanos "AND" (abrange estudos a respeito de mais de um tema) e "OR" (para localizar publicações com diferentes termos). A fim de ampliar o alcance dos resultados, optamos por duas buscas separadas com as mesmas combinações de termos, alterando apenas o último campo para conciliar pesquisas que abordam tanto saúde humana como também de outros animais (Tabela 1).

A busca foi conduzida sem limitação de intervalo de datas, com os termos no idioma inglês e dispostos no campo de pesquisa "tópico", que filtra as informações fornecidas no título, resumo e palavras-chave dos documentos. Após a consulta dos materiais obtidos, as publicações duplicadas foram excluídas do conjunto, ou seja, quando eram resultado de mais de uma base de dados, apenas uma das referências foi considerada na contagem a fim de evitar repetições no levantamento bibliográfico.

**Tabela 1.** Combinação de termos empregada nas plataformas *Web of Science* e *Scopus*. O uso do asterisco permite que a busca aceite as diversas terminações, mantendo a base das palavras, e as aspas delimitam a ordem dos termos compostos. Os parênteses mostram os conjuntos de termos agrupados em cada linha do campo de pesquisa.

Busca	Combinação de palavras-chave
Saúde Animal	("plant invasion*" OR "introduced plant*" OR "plant introduc*" OR "invasive plant*" OR "non-native plant*" OR "exotic plant*" OR "alien plant*" OR "non-indigenous plant*") AND ("health" OR "disease*" OR "infect*" OR "parasit*" OR "vector*" OR "patho*" OR "host*") AND ("animal*")
Saúde Humana	("plant invasion*" OR "introduced plant*" OR "plant introduc*" OR "invasive plant*" OR "non-native plant*" OR "exotic plant*" OR "alien plant*" OR "non-indigenous plant*") AND ("health" OR "disease*" OR "infect*" OR "parasit*" OR "vector*" OR "patho*" OR "host*") AND ("human*")

### Processo de seleção

O segundo passo deu-se com um procedimento de triagem inicial, avaliando os estudos obtidos por meio das informações contidas no título e resumo, como um reconhecimento preliminar de que esses resultados eram relevantes para o tema. Para garantir isso, os documentos eram excluídos se não se adequassem a critérios norteadores previamente estabelecidos. Foi mantido no conjunto de dados os artigos científicos que:

(i) exploram uma discussão focada na relação de uma vegetação invasora com a manutenção e abundância de hospedeiros, vetores ou patógenos de doenças que acometem o homem e/ou outros animais;

(ii) avaliam como a introdução de espécies vegetais pode se tornar uma ameaça à saúde, quando animais ou a população humana são expostos a áreas invadidas; ou

(iii) tratam de riscos associados à saúde, comparando resultados em locais habitados por populações de plantas exóticas *versus* nativas.

Nós excluímos os documentos que não abordaram plantas invasoras ou não foram encontrados na íntegra. Também foram retiradas as publicações no formato de relatórios, resumos, monografias, anais, boletins, dissertações, teses, etc., pois são vias de publicação que não passam pelo processo de revisão por pares.

Atribuído o conjunto pré-selecionado de bibliografias que corresponderam aos critérios da pesquisa, as referências foram adicionadas ao banco de dados para a análise dos arquivos. A terceira etapa envolveu a obtenção do registro completo e a

leitura cautelosa dos artigos na íntegra para avaliar como as obras relacionam espécies vegetais exóticas a doenças e confirmar se todos se estavam de acordo com os critérios de inclusão. Uma triagem final foi realizada com a exclusão de estudos que eram potencialmente relevantes, mas como apresentavam pouco detalhamento no resumo, apenas examinando o texto completo foi possível identificar que não se adequavam aos objetivos da pesquisa.

### *Análise dos documentos obtidos*

Ao explorar todo o conteúdo dos materiais selecionados, a partir de uma consulta mais aprofundada em todo o texto, foram extraídas e tabuladas informações sobre os artigos, consideradas importantes para sistematizar o processamento de dados e investigar os tópicos relevantes para o presente estudo. Os parâmetros definidos foram: (i) autor(es), (ii) ano de publicação, (iii) periódico de publicação, (iv) localização geográfica, (v) área de pesquisa, (vi) tipo de estudo, (vii) saúde humana ou animal, (viii) atributo de risco (grupo biológico dos organismos envolvidos na interação/doença associada ao estudo) e (ix) planta invasora (quando citada). Alguns dos elementos foram categorizados em opções previamente listadas, para facilitar a análise dos resultados (Tabela 2). Essa caracterização da bibliografia coletada foi utilizada para uma melhor interpretação nas análises e construção da representação gráfica dos resultados.

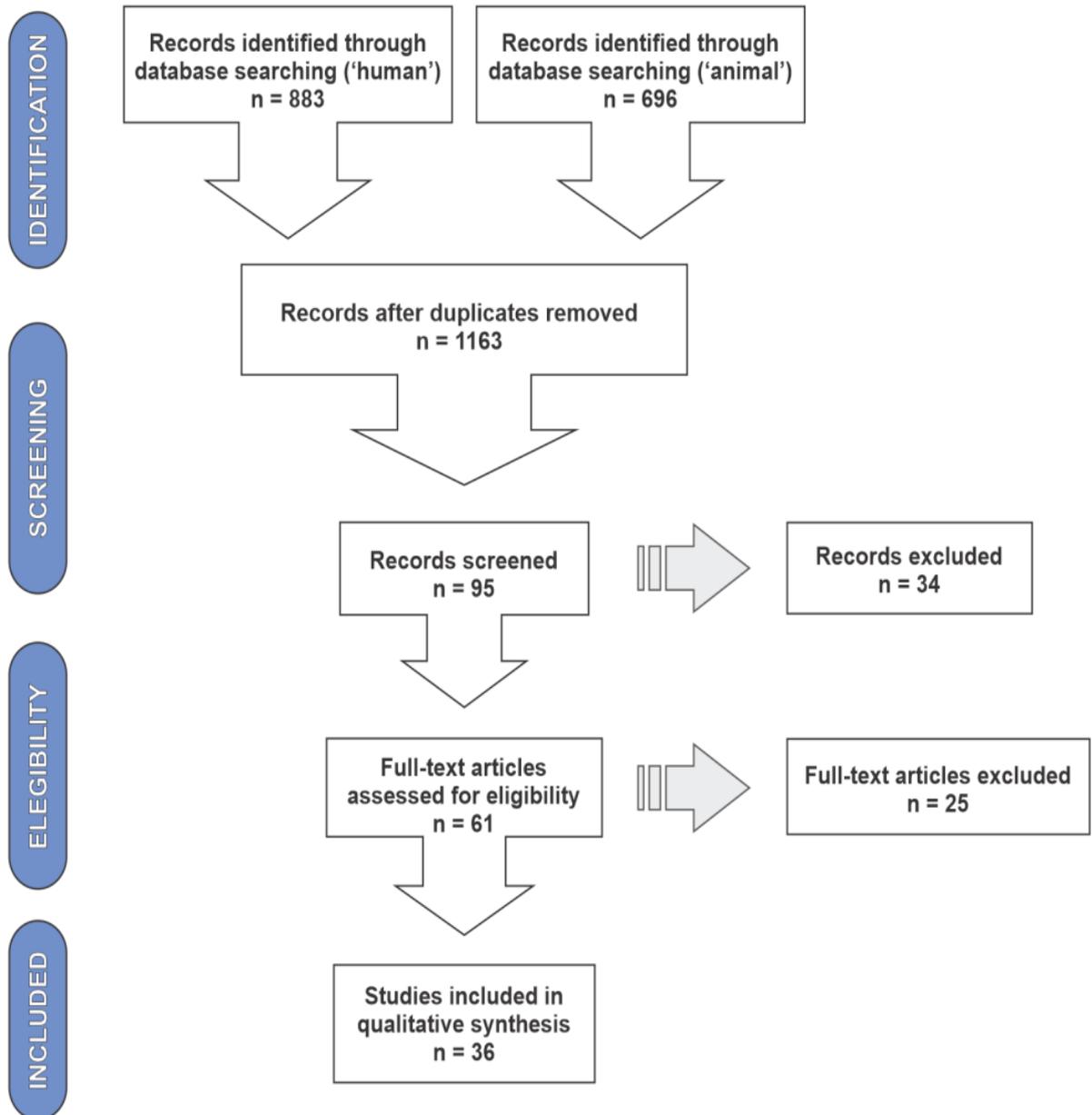
**Tabela 2.** Caracterização dos dados coletados e selecionados para a análise qualitativa.

<b>Parâmetros</b>	<b>Categorias</b>
Detalhes de publicação	Autor(es)
	Título
	Periódico
Ano	Data de publicação
Localização geográfica	Europa
	Ásia
	África
	Oceania
	América do Norte
	América Central
Tipo de pesquisa	América do Sul
	Revisão
	Estudo de campo
	Experimento em laboratório
Impacto	Outro
	Saúde Animal
Atributo de risco	Saúde Humana
	Doença
	Patógeno
	Vetor
Vegetação invasora	Hospedeiro
	Espécie

### 4.3 Resultados

Foram obtidos 1579 documentos no total, considerando as duas buscas em ambas as bases de dados. A plataforma *Web of Science* (WOS) gerou, inicialmente, 381 resultados na coleção principal para “human” e 189 para “animal”, enquanto a base *Scopus* (SCO) resultou em 502 publicações para “human” e 507 para “animal”. Com o auxílio do gerenciador de referências Mendeley (versão *desktop*), após a eliminação das duplicatas e aplicação dos critérios de seleção, foram reduzidos para 51 (WOS) e 44 (SCO). Incorporando os resultados de ambas as bases ao final da triagem, subtraíram-se novamente as referências replicadas (presentes nas buscas “human” e “animal”) e, com a leitura de todos os artigos na íntegra, 36 artigos corresponderam aos critérios e se adequaram aos objetivos da pesquisa por completo (Figura 1). Esse resultado final compreendeu, predominantemente, trabalhos que relacionam plantas invasoras com problemas ligados à saúde humana e de outros animais (52,7% do total), porém uma parte significativa da amostra (38,8%) é restrita a investigar interações que tem o potencial de causar riscos apenas para a saúde humana (Tabela 3).

**Figura 1.** Representação do processo metodológico de revisão da literatura, elaborado de acordo com a estrutura PRISMA.



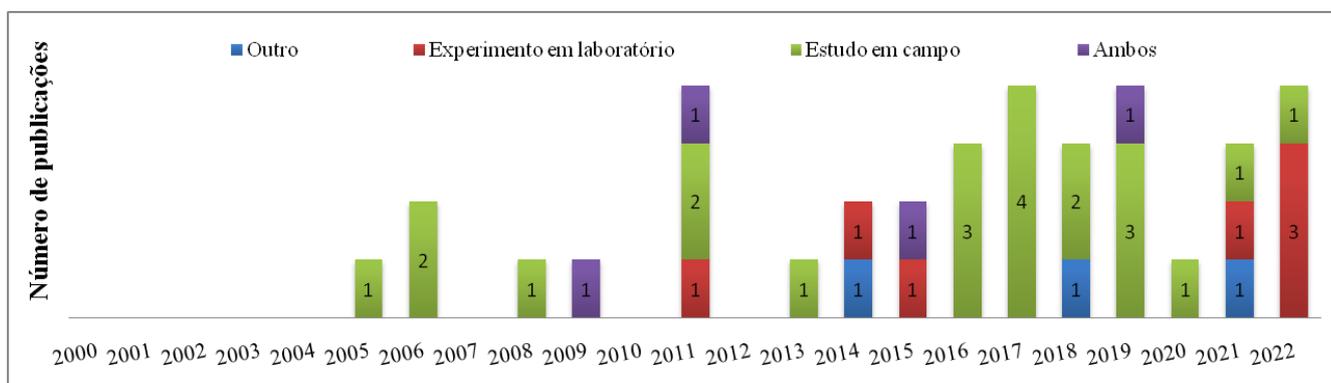
**Tabela 3.** Lista de artigos incluídos na análise e seu alvo de impacto, em termos de saúde.

<b>Referência</b>	<b>Periódico</b>	<b>Impacto</b>
Adalsteinsson <i>et al.</i> (2016)	Ecosphere	Humano + Animal
Adalsteinsson <i>et al.</i> (2018)	Parasites & vectors	Humano + Animal
Agha <i>et al.</i> (2021)	Viruses	Humano + Animal
Andreo <i>et al.</i> (2014)	Viruses	Humano
Blosser <i>et al.</i> (2017)	Acta Tropica	Humano + Animal
Buettner <i>et al.</i> (2013)	PLOS One	Animal
Civitello <i>et al.</i> (2008)	Journal of Medical Entomology	Humano
Conley <i>et al.</i> (2011)	Ecological Applications	Humano
Cuthbert <i>et al.</i> (2019)	Science of the Total Environment	Humano + Animal
Desautels <i>et al.</i> (2022)	Acta Tropica	Humano
Desautels <i>et al.</i> (2022)	Hydrobiologia	Humano
Elias <i>et al.</i> (2006)	Journal of Medical Entomology	Humano + Animal
Field <i>et al.</i> (2016)	EcoHealth	Humano + Animal
Gardner <i>et al.</i> (2015)	Parasites ; vectors	Humano + Animal
Gardner <i>et al.</i> (2017)	EcoHealth	Humano + Animal
Guiden and Orrock (2019)	Behavioral Ecology	Humano
Holsomback <i>et al.</i> (2009)	Journal of Vector Ecology	Humano
Kaestli <i>et al.</i> (2011)	Environmental microbiology	Humano + Animal
Leisnham <i>et al.</i> (2019)	International journal of environmental research and public health	Humano + Animal
Linske <i>et al.</i> (2018)	Environmental Entomology	Humano + Animal
Mackay <i>et al.</i> (2016)	Ecological Applications	Humano + Animal
Marchetto <i>et al.</i> (2022)	EcoHealth	Animal
Milugo <i>et al.</i> (2021)	Scientific Reports	Humano
Muller <i>et al.</i> (2017)	Malaria Journal	Humano
Noden <i>et al.</i> (2021)	EcoHealth	Humano + Animal
Nyasembe <i>et al.</i> (2015)	PLOS One	Humano
Pearson and Callaway (2006)	Ecology Letters	Humano
Persons and Eason (2019)	Urban Ecosystems	Humano + Animal
Plummer (2005)	EcoHealth	Humano
Portman <i>et al.</i> (2011)	Environmental Entomology	Animal
Reiskind and Zarrabi (2011)	Journal of Vector Ecology	Humano + Animal
Shewhart <i>et al.</i> (2014)	Environmental Entomology	Humano + Animal
Simeonova <i>et al.</i> (2022)	Current Issues in Molecular Biology	Humano + Animal
Stone <i>et al.</i> (2018)	Parasites ; vectors	Humano
Teixeira <i>et al.</i> (2017)	Check List	Humano
Wei <i>et al.</i> (2020)	PLOS Neglected Tropical Diseases	Humano + Animal

A análise qualitativa obteve estudos publicados no período de 2005 a 2022 e sua distribuição ao longo do tempo mostrou que o tema de pesquisa é recente e não se manteve constante ao longo dos anos. Mesmo que ainda reduzido, houve um aumento no número de publicações científicas globais, notado principalmente nos últimos dez anos e apenas 13,8% do total é datado de antes de 2010 (Figura 2). Os artigos foram publicados em 22 periódicos diferentes (Tabela 3), entre eles, as revistas “EcoHealth” (n=5), “Parasites ; Vectors” (n=3) e “Environmental Entomology” (n=3). As revistas “Acta Tropica”, “Ecological Applications”, “Journal of Medical Entomology”, “Journal of Vector Ecology”, “PLOS One” e “Viruses” publicaram dois artigos cada, enquanto as demais apareceram apenas uma vez.

Com relação ao tipo de metodologia realizada, houve uma forte prevalência dos estudos realizados em campo (n=22; 61,1%) e os experimentos em laboratório foram o segundo método de pesquisa mais comum (n=7; 19,4%). Revisões da literatura (n=2) e modelagem/sensoriamento remoto (n=1) foram reunidos na classificação “outros”, por serem uma metodologia muito pouco presente (Figura 2).

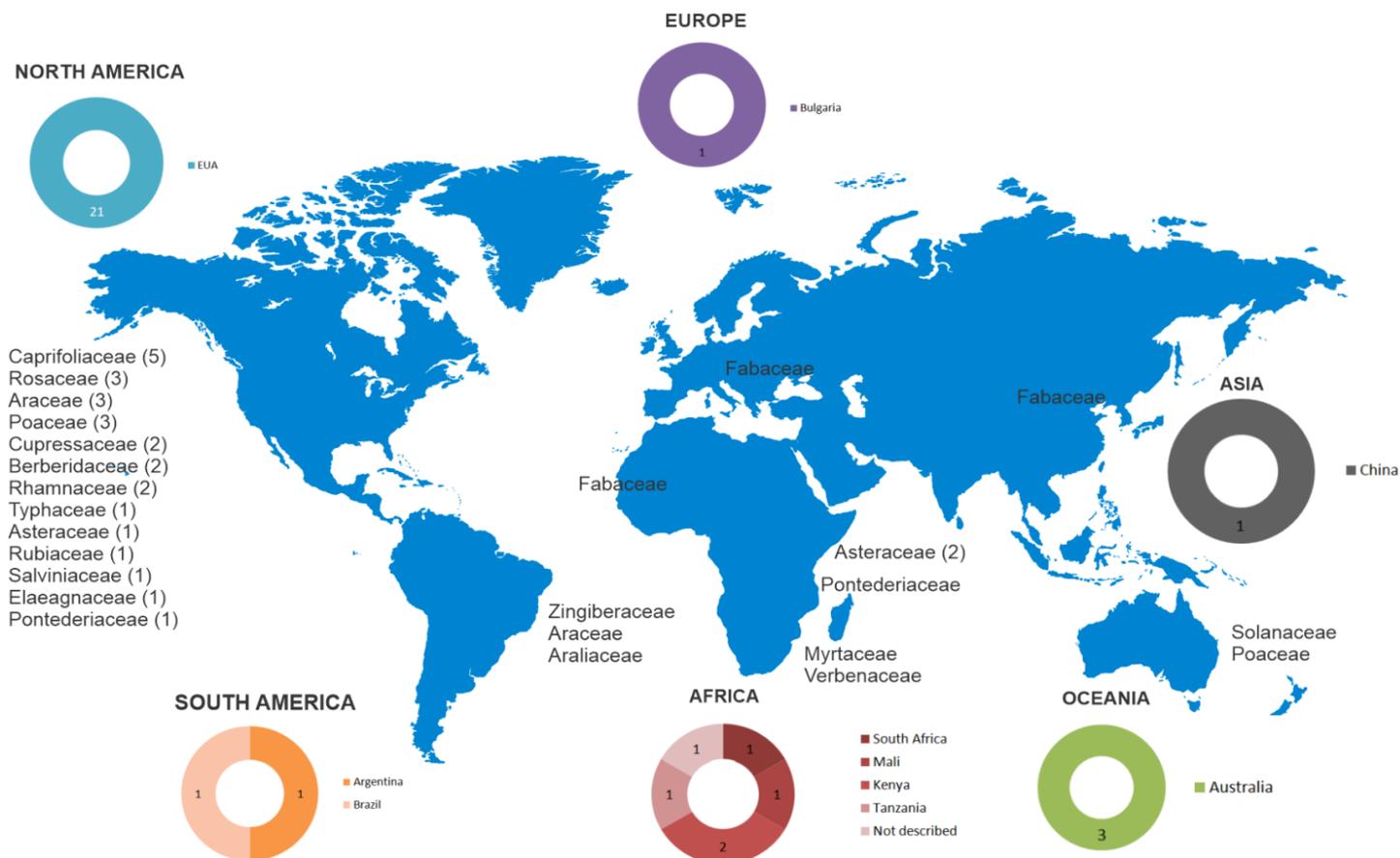
**Figura 2.** Distribuição temporal do número de estudos que relacionaram plantas exóticas com processos que ameaçam a saúde humana e/ou animal e a proporção de tipos de pesquisas abordadas.



Também buscamos entender qual a contribuição de cada região geográfica para o cenário desse campo de estudo. A Figura 3 indica a expressiva participação da América do Norte para o desenvolvimento da área, com Estados Unidos sendo o único país do continente e, de longe, o que mais publicou artigos em todo o mundo, com um número considerável de mais da metade dos resultados obtidos (61,7%). Austrália (n=3) e África do Sul (n=2) foram os dois outros países que não apresentaram apenas uma publicação na contagem, embora com um número bem discreto. Não houve registros em nenhum país da América Central.

Das plantas invasoras mais citadas pelos artigos, as famílias Caprifoliaceae (n=5), Araceae (n=4) e Poaceae (n=4) estiveram em destaque (Figura 3). A espécie *Lonicera mackii* estava presente em todos os estudos relativos à Caprifoliaceae e o gênero *Pistia* foi abordado na maioria dos artigos que retratavam sobre Araceae. Poaceae foi mais diverso em relação às espécies mencionadas, com nenhuma sendo apontada mais de uma vez.

**Figura 3.** Distribuição geográfica para cada artigo e famílias das plantas invasoras, quando citadas.



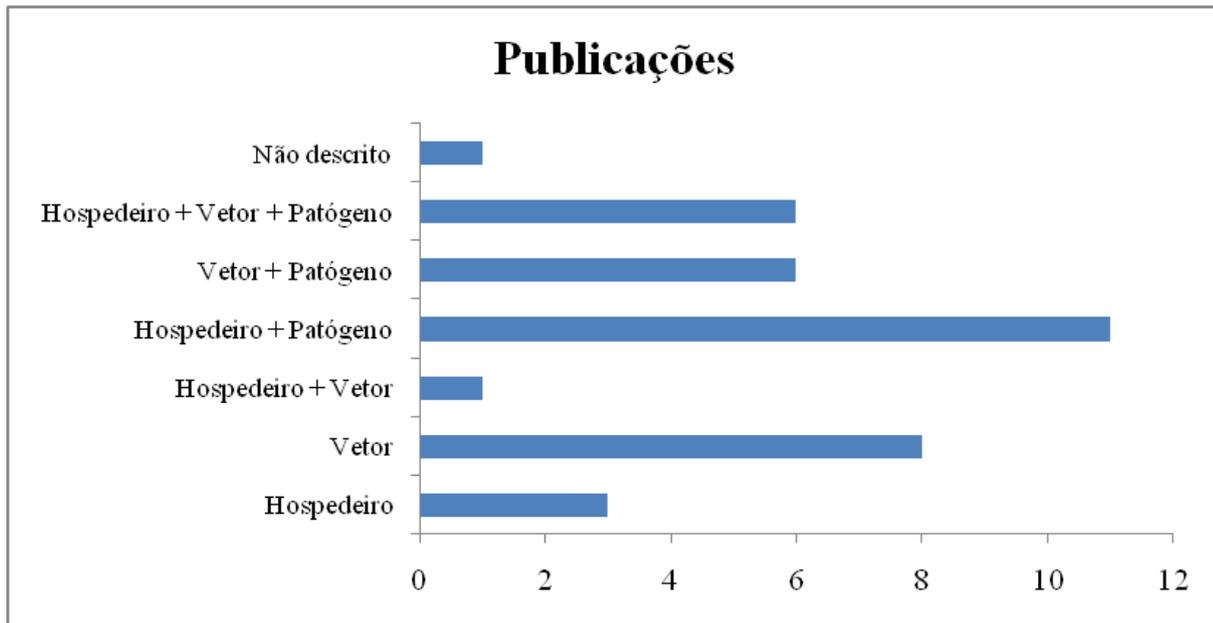
Outra questão importante a ser mensurada são os agentes e os tipos de relações ecológicas envolvidas na disseminação de doenças (Figura 4). Nestes trabalhos, houve uma correlação entre áreas invadidas por plantas exóticas e áreas de ocorrência dos organismos (patógenos, vetores ou hospedeiros), o que poderia indicar uma maior probabilidade de proliferação de patógenos e incidência de doenças associadas. Ao avaliar tais atributos, as relações mais estudadas foram entre hospedeiros e patógenos (30,5%), seguido por estudos que abordaram apenas os organismos vetores (22,2%) (Figura 4.a). Acerca dos grupos taxonômicos, encontramos uma tendência nos trabalhos que se referiram a vetores: 38,8% dos artigos investigaram a relação de plantas e

mosquitos (Figura 4.b), os vetores de transmissão de doenças mais apontados. Apenas mais um grupo foi apontado na categoria de vetores, os carrapatos, porém com metade do número obtido para mosquitos (19,4%). Vírus foi o patógeno mais bem representado, somando quase metade do total (47,8%), seguido pelo grupo das bactérias (26%), considerando o total de estudos que mencionaram essa categoria. Os hospedeiros de doenças foi o conjunto mais bem distribuído, apresentando maior diversidade de grupos representados pelos artigos, mas dentre eles, grande parte citou mamíferos roedores nessa categoria (45%).

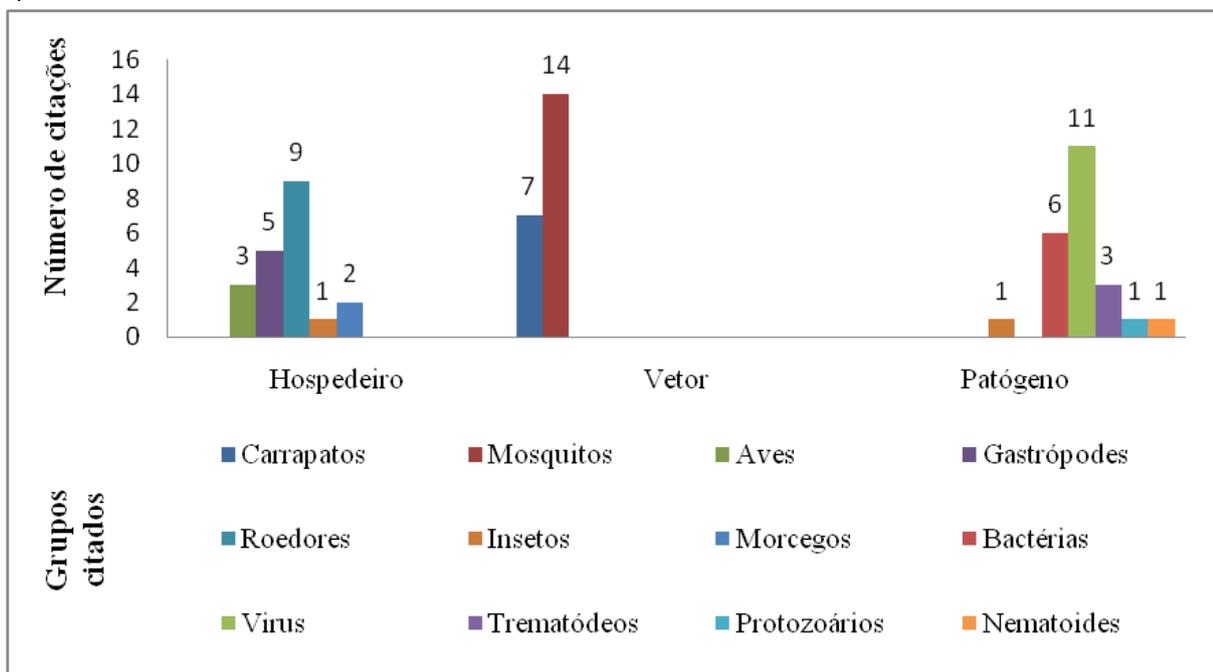
Dos artigos que especificaram o nome de doenças que podem estar relacionadas a áreas invadidas, as duas principais foram doença de Lyme e malária, cada uma citada 4 vezes. Dois dos estudos sobre Lyme investigaram áreas invadidas por *Berberis thunbergii* e também metade dos estudos sobre malária verificaram o impacto de *Parthenium hysterophorus*. Todas as publicações científicas sobre Lyme foram publicadas em regiões dos Estados Unidos, enquanto aquelas que enfatizam a malária são do continente africano (exceto por um estudo que não descrevia a localidade). Alguns dos estudos não estavam restritos a retratar uma única enfermidade, mas se referiram a problemas de saúde indiretamente, por exemplo, abordando “doenças transmitidas por carrapatos” ou “doenças transmitidas por mosquitos”.

Figura 4. Proporção de agentes biológicos envolvidos na disseminação de doenças (ordenados, neste estudo, no parâmetro de “atributos de risco”) e como foram retratados pelos autores: a) frequência na qual cada tipo de interação entre agentes que levam à ocorrência de uma doença foi evidenciada no conjunto de dados; b) grupos taxonômicos de organismos mais apontados para cada categoria (hospedeiro, vetor e patógeno).

a)



b)



#### 4.4 Discussão

Como proposto, conseguimos destacar nesta revisão estudos que associaram invasões de plantas com propagação de organismos associados à transmissão de doenças e confirmamos que esse é um tópico pertinente e relativamente novo. Os procedimentos metodológicos adotados foram uma ferramenta crucial para encontrar documentos com dados relevantes que possibilitam discussões abrangentes e, ao mesmo tempo, bem embasadas, dentro de um vasto panorama de publicações que abordam espécies invasoras.

O presente trabalho resume a produção científica mundial sobre riscos à Saúde Única por plantas invasoras. Foi possível notar que os efeitos de vegetações invasoras podem não ser totalmente aparentes e tais espécies não são tratadas com evidência, uma vez que seus impactos muitas vezes estão camuflados. O crescimento no número de publicações ainda é bem recente e estreito, o que dificulta o estabelecimento de padrões sólidos, embora este seja um tema de interesse mundial e com muitos aspectos a serem explorados.

Encontramos diversas ocorrências de exposição a uma espécie invasora com algum tipo de toxicidade, seja para animais ou humanos. Os principais casos mencionaram reações alérgicas ao pólen e dermatite de contato (Bajwa *et al.*, 2019; Brunel *et al.*, 2014; García *et al.*, 2020; Sladonja; Sušek; Guillermic, 2015). Entretanto, os estudos que abordaram a proximidade entre o homem e/ou outros animais e plantas invasoras por meio de contato direto não foram mantidos na análise. Optamos por excluir esses artigos da análise, pois essas situações dizem respeito à toxicidade individual dessas plantas e sua remoção permitiu delimitar melhor a relação de invasões com aspectos ecológicos em novos ambientes. Também não foram incluídos trabalhos sobre espécies de pragas agrícolas que causam danos à própria vegetação hospedeira, como fungos e pulgões, ou aqueles que discutem a ameaça de fitopatógenos à biossegurança agrícola, ou seja, focados em danos às culturas (Ancona; Appel; de Figueiredo, 2010). Abordagens de pesquisa no âmbito econômico ainda são mais frequentes - como controle e manejo de espécies para mitigar custos de danos em plantações (Cuthbert *et al.*, 2022) - e parecem reter maior volume nas atividades científicas.

Assim como outros autores (Jarić *et al.*, 2019; Mack; Smith, 2011) também verificamos que os impactos de plantas não nativas não são totalmente conhecidos. Geralmente, as espécies invasoras alteram aspectos no ambiente introduzido que, indiretamente, podem modificar os mecanismos de dispersão de patógenos, vetores ou hospedeiros de doenças (Mackay *et al.*, 2016; Muller *et al.*, 2017). Por exemplo, as

plantas fornecem abrigo ou nutrientes (Agha *et al.*, 2021; Shewhart *et al.*, 2014; Wei *et al.*, 2020), que podem influenciar o crescimento e/ou a sobrevivência dessas populações, que então são capazes de se adaptar a novos *habitats* atrativos oferecidos por essas invasoras (Kaestli *et al.*, 2011). Via de regra, os estudos visaram investigar esses efeitos, obtendo diferenças significativas na distribuição espacial ou comportamento desses organismos em áreas invadidas.

Em geral, uma maior concentração de patógenos, vetores ou hospedeiros foi associada a comunidades estruturalmente alteradas e alguns autores sugerem que as expansões vegetais podem representar um alerta para o aumento dos focos de transmissão de doenças. Adalsteinsson e colaboradores (2018) destacam que os vetores apresentaram taxas elevadas de infecção por patógenos nas áreas invadidas. Fornecer ambientes apropriados para oviposição ou recursos para estender a sobrevivência e o desenvolvimento de certos estágios de vida (Conley *et al.*, 2011) - plantas não nativas podem criar *habitats* para vetores e hospedeiros que aumentam as possibilidades de exposição da população humana e de outros animais à doenças (Blosser; Burkett-Cadena, 2017). Para entender as características das áreas invadidas que promovem esse processo, alguns estudos obtiveram preditores de abundância de certos organismos, como a disponibilidade de serapilheira (Adalsteinsson *et al.*, 2016; Cuthbert *et al.*, 2019; Fridley, 2012; Milugo *et al.*, 2021) ou acúmulo de detritos de outra planta (Desautels *et al.*, 2022b).

As duas doenças mais citadas, Lyme (Adalsteinsson *et al.*, 2018; Elias *et al.*, 2006; Linske *et al.*, 2018; Persons; Eason, 2019) e malária (Milugo *et al.*, 2021; Muller *et al.*, 2017; Nyasembe *et al.*, 2015; Stone *et al.*, 2018), mostraram diferentes vias de transmissão, mediante a presença de um carrapato vetor infectado por bactéria e por meio da picada de mosquito contaminado por um parasita, respectivamente. É interessante mencionar que, nos Estados Unidos, as zonas invadidas por *Lonicera maackii* foram positivamente associadas à sobrevivência e abundância de mosquitos vetores (Conley; Watling; Orrock, 2011; Gardner *et al.*, 2015; Gardner *et al.*, 2017; Shewhart; McEwan; Benbow, 2014). *Rosa multiflora* foi investigada por Adalsteinsson e colaboradores (2016 e 2018) e vinculada ao risco de doenças transmitidas por carrapatos, pois locais invadidos por essa espécie apresentaram altas concentrações de carrapatos.

Contudo, o papel de plantas invasoras na dinâmica de vetores e hospedeiros de doenças ainda não é totalmente previsível, visto a escassa informação disponível na literatura atualmente. Além disso, dois trabalhos encontraram resultados opostos dos demais (Civitello *et al.*, 2008; Desautels *et al.*, 2022a): áreas invadidas

alteraram aspectos físicos do ambiente que não favoreceram a permanência de vetores e hospedeiros nestes locais. Isso indica que a preferência de *habitat* dos organismos pode ser ajustada frente à presença de uma planta invasora dominante e que tais efeitos devem ser mais bem investigados em outros sistemas. Há dificuldades em determinar com convicção se essas interações sempre causam efeitos indiretos na exposição humana e de outros animais aos agentes infecciosos, o que torna profundamente necessário intensificar as pesquisas desenvolvidas nesse campo.

Dados como esses alertam para a necessidade de monitoramento contínuo dos fatores de risco associados à incidência de doenças, com atenção especial nestas localidades (regiões da América do Norte e continente africano) e também em outros *habitats* com alta incidência de tais vetores ou suscetíveis a invasão. Uma vez detectadas as áreas mais vulneráveis e, conseqüentemente, áreas com maior risco de aparecimento de doenças, aumenta-se a possibilidade de alocar recursos de intervenção (Jones *et al.*, 2008), principalmente porque muitos impactos são ocultados ou tardiamente identificados (Jarić *et al.*, 2019).

Nossas considerações também consideram o papel do homem tanto em amplificar quanto enfrentar as conseqüências desse complexo sistema (Hulme, 2021; Shackleton *et al.*, 2019). O tráfego internacional (Lemke *et al.*, 2019) e as dispersões através de vestuário, animais ou veículos (Ansong; Pickering, 2013; Rabitsch; Essl; Schindler, 2017) introduzem novas espécies que podem atuar como reservatórios quando se estabelecem em novos ambientes ou, melhor dizendo, transformam-se em fontes de “poluição por patógenos” (Roy *et al.*, 2017). Além disso, eventos de diversificação de patógenos e surtos zoonóticos podem ser atribuídos a paisagens que foram significativamente alteradas pela atividade humana (Dobson *et al.*, 2020; Malmstrom *et al.*, 2007).

É prática comum neste campo investigar espécies invasoras isoladamente ou enfatizar algumas espécies já bem conhecidas na literatura (Davis, 2009; Valéry; Fritz; Lefeuvre, 2013), mas esta limitação interfere no entendimento de todo o processo. Abordagens integrativas, como aplicadas pelas estratégias *One Health*, que consideram múltiplos níveis de interação entre organismos e ambientes - incluindo o papel de espécies invasoras - tornam-se uma importante ponte interdisciplinar para detectar e prever ameaças à biodiversidade e conseqüentes impactos na saúde (Ricciardi *et al.*, 2017; Sinclair, 2019).

Confirmamos um contexto de casos que evidenciam que a introdução de plantas exóticas pode influenciar a incidência de outras espécies, por atenderem às

necessidades de recursos desses organismos em novos *habitats* (Fridley, 2012). Em vez de controlar os efeitos negativos das invasões, um passo primário para conter a cascata de eventos críticos aqui citados é impedir que novas espécies entrem em territórios naturais (Davies; Sheley, 2007), embora seja preciso agir com estratégias de gerenciamento e infraestrutura apropriadas.

## 4.5 Referências

- ANCONA, Veronica; APPEL, David N.; DE FIGUEIREDO, Paul. Xylella fastidiosa: a model for analyzing agricultural biosecurity. **Biosecurity and Bioterrorism: Biodefense Strategy, Practice, and Science**, v. 8, n. 2, p. 171-182, 2010.
- ANSONG, Michael; PICKERING, Catherine. Are weeds hitchhiking a ride on your car? A systematic review of seed dispersal on cars. **PLoS One**, v. 8, n. 11, p. e80275, 2013.
- ASSESSMENT, Millennium Ecosystem et al. **Ecosystems and human well-being**. Island Press, Washington, DC, 2005.
- BAJWA, Ali Ahsan et al. Impact of invasive plant species on the livelihoods of farming households: evidence from Parthenium hysterophorus invasion in rural Punjab, Pakistan. **Biological Invasions**, v. 21, p. 3285-3304, 2019.
- BRUNEL, S. et al. Preventing a new invasive alien plant from entering and spreading in the Euro-Mediterranean region: the case study of Parthenium hysterophorus. **EPPO Bulletin**, v. 44, n. 3, p. 479-489, 2014.
- CELESTI-GRAPOW, L. et al. Non-native flora of Italy: Species distribution and threats. **Plant Biosystems**, v. 144, n. 1, p. 12-28, 2010.
- CHINCHIO, Eleonora et al. Invasive alien species and disease risk: An open challenge in public and animal health. **PLoS pathogens**, v. 16, n. 10, p. e1008922, 2020.
- CUTHBERT, Ross N. et al. Biological invasion costs reveal insufficient proactive management worldwide. **Science of the Total Environment**, v. 819, p. 153404, 2022.
- DAVIES, Kirk W.; SHELEY, Roger L. A conceptual framework for preventing the spatial dispersal of invasive plants. **Weed Science**, v. 55, n. 2, p. 178-184, 2007.
- DAVIS, Mark A. **Invasion biology**. Oxford University Press, 2009.
- DOBSON, Andrew P. et al. Ecology and economics for pandemic prevention. **Science**, v. 369, n. 6502, p. 379-381, 2020.
- ELANGO, B.; RAJENDRAN, P. Authorship trends and collaboration pattern in the marine sciences literature: a scientometric study. **International Journal of Information Dissemination and Technology**, v. 2, n. 3, p. 166-169, 2012.
- GARCÍA, Juan A. et al. Senecio spp. transboundary introduction and expansion affecting cattle in Uruguay: Clinico-pathological, epidemiological and genetic survey, and experimental intoxication with Senecio oxyphyllus. **Toxicon**, v. 173, p. 68-74, 2020.
- GEZIE, Ayenew et al. Potential impacts of water hyacinth invasion and management on water quality and human health in Lake Tana watershed, Northwest Ethiopia. **Biological Invasions**, v. 20, p. 2517-2534, 2018.
- HALL, C. Michael. 10. Biological invasion, biosecurity, tourism, and globalisation. **Handbook of globalisation and tourism**, p. 114, 2019.

- HATCHER, Melanie J.; DICK, Jaimie TA; DUNN, Alison M. Disease emergence and invasions. **Functional Ecology**, v. 26, n. 6, p. 1275-1287, 2012.
- HULME, Philip E. Unwelcome exchange: International trade as a direct and indirect driver of biological invasions worldwide. **One Earth**, v. 4, n. 5, p. 666-679, 2021.
- JARIĆ, Ivan et al. Crypticity in biological invasions. **Trends in ecology & evolution**, v. 34, n. 4, p. 291-302, 2019.
- JONES, Kate E. et al. Global trends in emerging infectious diseases. **Nature**, v. 451, n. 7181, p. 990-993, 2008.
- KEESING, Felicia et al. Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. **Nature**, v. 468, n. 7324, p. 647-652, 2010.
- LEMKE, Andreas; KOWARIK, Ingo; VON DER LIPPE, Moritz. How traffic facilitates population expansion of invasive species along roads: The case of common ragweed in Germany. **Journal of Applied Ecology**, v. 56, n. 2, p. 413-422, 2019.
- LORTIE, Christopher J. et al. Facilitation promotes plant invasions and indirect negative interactions. **Oikos**, v. 130, n. 7, p. 1056-1061, 2021.
- MACKENZIE, John S.; JEGGO, Martyn. The One Health approach—Why is it so important?. **Tropical medicine and infectious disease**, v. 4, n. 2, p. 88, 2019.
- MALMSTROM, Carolyn M. et al. Barley yellow dwarf viruses (BYDVs) preserved in herbarium specimens illuminate historical disease ecology of invasive and native grasses. **Journal of Ecology**, p. 1153-1166, 2007.
- MAZZA, G. et al. Biological invaders are threats to human health: an overview. **Ethology Ecology & Evolution**, v. 26, n. 2-3, p. 112-129, 2014.
- MAZZA, G. et al. Biological invaders are threats to human health: an overview. **Ethology Ecology & Evolution**, v. 26, n. 2-3, p. 112-129, 2014.
- MOHER, David et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Annals of internal medicine**, v. 151, n. 4, p. 264-269, 2009.
- MOLLOT, Grégory; PANTEL, J. H.; ROMANUK, T. N. The effects of invasive species on the decline in species richness: a global meta-analysis. In: **Advances in ecological research**. Academic Press, 2017. p. 61-83.
- MORSE, Stephen S. et al. Prediction and prevention of the next pandemic zoonosis. **The Lancet**, v. 380, n. 9857, p. 1956-1965, 2012.
- PLAZA, Pablo I.; SPEZIALE, Karina L.; LAMBERTUCCI, Sergio A. Rubbish dumps as invasive plant epicentres. **Biological Invasions**, v. 20, p. 2277-2283, 2018.
- PYŠEK, Petr; RICHARDSON, David M. Invasive species, environmental change and management, and health. **Annual review of environment and resources**, v. 35, p. 25-55, 2010.

RABITSCH, Wolfgang; ESSL, Franz; SCHINDLER, Stefan. The rise of non-native vectors and reservoirs of human diseases. **Impact of biological invasions on ecosystem services**, p. 263-275, 2017.

RAI, Prabhat Kumar; SINGH, J. S. Invasive alien plant species: Their impact on environment, ecosystem services and human health. **Ecological indicators**, v. 111, p. 106020, 2020.

RICCIARDI, Anthony et al. Invasion science: a horizon scan of emerging challenges and opportunities. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 32, n. 6, p. 464-474, 2017.

ROY, Helen E. et al. Alien pathogens on the horizon: Opportunities for predicting their threat to wildlife. **Conservation Letters**, v. 10, n. 4, p. 477-484, 2017.

SCHATZ, Annakate M.; PARK, Andrew W. Host and parasite traits predict cross-species parasite acquisition by introduced mammals. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 288, n. 1950, p. 20210341, 2021.

SCHINDLER, Stefan et al. Alien species and public health impacts in Europe: a literature review. **NeoBiota**, v. 27, p. 1-23, 2015.

SHACKLETON, Ross T. et al. The human and social dimensions of invasion science and management. **Journal of Environmental Management**, v. 229, p. 1-9, 2019.

SIMBERLOFF, Daniel et al. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. **Trends in ecology & evolution**, v. 28, n. 1, p. 58-66, 2013.

SINCLAIR, Julie R. Importance of a One Health approach in advancing global health security and the Sustainable Development Goals. **Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)**, v. 38, n. 1, p. 145-154, 2019.

SLADONJA, Barbara; SUŠEK, Marta; GUILLERMIC, Julia. Review on invasive tree of heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) conflicting values: assessment of its ecosystem services and potential biological threat. **Environmental management**, v. 56, p. 1009-1034, 2015.

SOKOL, Noah W.; KUEBBING, Sara E.; BRADFORD, Mark A. Impacts of an invasive plant are fundamentally altered by a co-occurring forest disturbance. **Ecology**, v. 98, n. 8, p. 2133-2144, 2017.

VALÉRY, Loïc; FRITZ, Hervé; LEFEUVRE, Jean-Claude. Another call for the end of invasion biology. **Oikos**, v. 122, n. 8, p. 1143-1146, 2013.

XIE, Hualin et al. Sustainable land use and management research: A scientometric review. **Landscape Ecology**, v. 35, p. 2381-2411, 2020.

## LISTA DAS 36 REFERÊNCIAS INCLUÍDAS NA ANÁLISE

- ADALSTEINSSON, Solny A. et al. Scale-dependent effects of nonnative plant invasion on host-seeking tick abundance. **Ecosphere**, v. 7, n. 3, p. e01317, 2016.
- ADALSTEINSSON, Solny A. et al. Multiflora rose invasion amplifies prevalence of Lyme disease pathogen, but not necessarily Lyme disease risk. **Parasites & vectors**, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2018.
- AGHA, Sheila B. et al. Invasive alien plants in Africa and the potential emergence of mosquito-borne arboviral diseases—a review and research outlook. **Viruses**, v. 13, n. 1, p. 32, 2020.
- ANDREO, Veronica et al. Estimating hantavirus risk in Southern Argentina: a GIS-based approach combining human cases and host distribution. **Viruses**, v. 6, n. 1, p. 201-222, 2014.
- BLOSSER, Erik M.; BURKETT-CADENA, Nathan D. Culex (Melanoconion) panocossa from peninsular Florida, USA. **Acta tropica**, v. 167, p. 59-63, 2017.
- BUETTNER, Petra G. et al. Tick paralysis in spectacled flying-foxes (Pteropus conspicillatus) in North Queensland, Australia: impact of a ground-dwelling ectoparasite finding an arboreal host. **Plos one**, v. 8, n. 9, p. e73078, 2013.
- CIVITELLO, David J.; FLORY, S. Luke; CLAY, Keith. Exotic grass invasion reduces survival of Amblyomma americanum and Dermacentor variabilis ticks (Acari: Ixodidae). **Journal of Medical Entomology**, v. 45, n. 5, p. 867-872, 2008.
- CONLEY, Amy K.; WATLING, James I.; ORROCK, John L. Invasive plant alters ability to predict disease vector distribution. **Ecological Applications**, v. 21, n. 2, p. 329-334, 2011.
- CUTHBERT, Ross N. et al. Leaf inputs from invasive and native plants drive differential mosquito abundances. **Science of the Total Environment**, v. 689, p. 652-654, 2019.
- DASZAK, Peter et al. Infectious Disease Threats: A Rebound To Resilience: Commentary reviews the US approach to pandemic preparedness, its impact on the response to COVID-19, and offers policy options to strengthen US pandemic resilience. **Health Affairs**, v. 40, n. 2, p. 204-211, 2021.
- DESAUTELS, Daniel J. et al. Divergent effects of invasive macrophytes on population dynamics of a snail intermediate host of Schistosoma mansoni. **Acta Tropica**, v. 225, p. 106226, 2022.
- DESAUTELS, Daniel J. et al. Nutritional effects of invasive macrophyte detritus on Schistosoma mansoni infections in snail intermediate hosts. **Hydrobiologia**, v. 849, n. 16, p. 3607-3616, 2022.
- ELIAS, Susan P. et al. Deer browse resistant exotic-invasive understory: an indicator of elevated human risk of exposure to Ixodes scapularis (Acari: Ixodidae) in southern coastal Maine woodlands. **Journal of medical entomology**, v. 43, n. 6, p. 1142-1152, 2006.
- FIELD, Hume E. et al. Landscape utilisation, animal behaviour and Hendra virus risk. **EcoHealth**, v. 13, p. 26-38, 2016.

GARDNER, Allison M. et al. Asymmetric effects of native and exotic invasive shrubs on ecology of the West Nile virus vector *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). **Parasites & vectors**, v. 8, n. 1, p. 1-9, 2015.

GARDNER, Allison M. et al. Large-scale removal of invasive honeysuckle decreases mosquito and avian host abundance. **EcoHealth**, v. 14, p. 750-761, 2017.

GUIDEN, Peter W.; ORROCK, John L. Invasive shrubs modify rodent activity timing, revealing a consistent behavioral rule governing diel activity. **Behavioral Ecology**, v. 30, n. 4, p. 1069-1075, 2019.

HOLSOMBACK, Tyla S. et al. Bayou virus detected in non-oryzomyine rodent hosts: an assessment of habitat composition, reservoir community structure, and marsh rice rat social dynamics. **Journal of Vector Ecology**, v. 34, n. 1, p. 9-21, 2009.

KAESTLI, Mirjam et al. Out of the ground: aerial and exotic habitats of the melioidosis bacterium *Burkholderia pseudomallei* in grasses in Australia. **Environmental microbiology**, v. 14, n. 8, p. 2058-2070, 2012.

LEISNHAM, Paul T. et al. Effects of detritus on the mosquito *Culex pipiens*: *Phragmites* and *Schedonorus* (*Festuca*) invasion affect population performance. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 21, p. 4118, 2019.

LINSKE, Megan A. et al. Indirect effects of Japanese barberry infestations on white-footed mice exposure to *Borrelia burgdorferi*. **Environmental entomology**, v. 47, n. 4, p. 795-802, 2018.

MACKAY, Andrew J. et al. Cascade of ecological consequences for West Nile virus transmission when aquatic macrophytes invade stormwater habitats. **Ecological Applications**, v. 26, n. 1, p. 219-232, 2016.

MACKENZIE, John S.; MCKINNON, Moira; JEGGO, Martyn. One Health: from concept to practice. **Confronting emerging zoonoses: the One Health paradigm**, p. 163-189, 2014.

MARCHETTO, Katherine M. et al. Can Co-Grazing Waterfowl Reduce Brainworm Risk for Goats Browsing in Natural Areas?. **EcoHealth**, v. 19, n. 1, p. 135-144, 2022.

MILUGO, Trizah K. et al. Root exudate chemical cues of an invasive plant modulate oviposition behavior and survivorship of a malaria mosquito vector. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 14785, 2021.

MULLER, Gunter C. et al. The invasive shrub *Prosopis juliflora* enhances the malaria parasite transmission capacity of *Anopheles* mosquitoes: a habitat manipulation experiment. **Malaria journal**, v. 16, p. 1-9, 2017.

NODEN, Bruce H. et al. Invasive plants as foci of mosquito-borne pathogens: red cedar in the southern Great Plains of the USA. **EcoHealth**, p. 1-12, 2021.

NYASEMBE, Vincent O. et al. The invasive American weed *Parthenium hysterophorus* can negatively impact malaria control in Africa. **PLoS One**, v. 10, n. 9, p. e0137836, 2015.

PEARSON, Dean E.; CALLAWAY, Ragan M. Biological control agents elevate hantavirus by subsidizing deer mouse populations. **Ecology Letters**, v. 9, n. 4, p. 443-450, 2006.

- PERSONS, William E.; EASON, Perri K. White-footed mouse (*Peromyscus leucopus*) habitat selection and Amur honeysuckle (*Lonicera maackii*) canopy use in an urban forest. **Urban Ecosystems**, v. 22, p. 471-482, 2019.
- PORTMAN, S. L. et al. Nectar-seeking and host-seeking by *Larra bicolor* (Hymenoptera: Crabronidae), a parasitoid of *Scapteriscus mole* crickets (Orthoptera: Gryllotalpidae). **Environmental entomology**, v. 39, n. 3, p. 939-943, 2010.
- PLUMMER, Mary L. Impact of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) on snail hosts of schistosomiasis in Lake Victoria, East Africa. **EcoHealth**, v. 2, p. 81-86, 2005.
- REISKIND, Michael H.; ZARRABI, Ali A. The importance of an invasive tree fruit as a resource for mosquito larvae. **Journal of Vector Ecology**, v. 36, n. 1, p. 197-203, 2011.
- SHEWHART, Lauren; MCEWAN, Ryan W.; BENBOW, M. Eric. Evidence for facilitation of *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) life history traits by the nonnative invasive shrub Amur honeysuckle (*Lonicera maackii*). **Environmental entomology**, v. 43, n. 6, p. 1584-1593, 2014.
- SIMEONOVA, Rumyana et al. A Study on the Safety and Effects of *Amorpha fruticosa* Fruit Extract on Spontaneously Hypertensive Rats with Induced Type 2 Diabetes. **Current Issues in Molecular Biology**, v. 44, n. 6, p. 2583-2592, 2022.
- STONE, Christopher M. et al. Would the control of invasive alien plants reduce malaria transmission? A review. **Parasites & vectors**, v. 11, n. 1, p. 1-18, 2018.
- TEIXEIRA, Larissa; CUNHA, Carlo Magenta; BORNSCHEIN, Marcos R. First record of the Japanese land snail *Ovachlamys fulgens* (Gude, 1900)(Gastropoda, Helicarionidae) in Brazil. **Check list**, v. 13, n. 5, p. 703-706, 2017.
- WEI, Chen-Yu et al. Invasive plants facilitated by socioeconomic change harbor vectors of scrub typhus and spotted fever. **PLoS neglected tropical diseases**, v. 14, n. 1, p. e0007519, 2020.

## 5 CAPÍTULO II

### VARIAÇÕES NA ABUNDÂNCIA DE CARRAPATOS *AMBLYOMMA* EM ÁREAS DE MATA RIPÁRIA DE SÃO CARLOS – SP

#### Resumo

Plantas invasoras podem causar impactos em diferentes escalas nas comunidades naturais e afetar processos fundamentais para a manutenção dos serviços ecossistêmicos. No sudeste brasileiro, plantas invasoras herbáceas, como o lírio do brejo (*Hedychium coronarium*), capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e capim-braquiária (*Urochloa decumbens*), podem alterar a diversidade de espécies nativas em áreas ribeirinhas, bem como a distribuição e abundância de outras espécies não vegetais. Dentre eles, podemos citar os carrapatos do gênero *Amblyomma*, vetores da bactéria causadora da febre maculosa brasileira (FMB). Assim, plantas invasoras possuem potencial para aumentar as zonas de incidência de doenças como a FMB nas áreas invadidas, porém, faltam informações quantitativas e qualitativas que descrevam a intensidade destas interações. O entendimento de como ocorre essa relação e a possível influência de outros fatores nessa dinâmica é fundamental para compreender os padrões espaço-temporais de risco de doenças transmitidas por carrapatos nessa região. O objetivo geral deste capítulo é investigar as variações na dinâmica populacional de carrapatos em áreas invadidas e não invadidas na cidade de São Carlos, interior de São Paulo, testando os fatores que influenciam alterações em sua distribuição. Foram coletados indivíduos de *Amblyomma* utilizando a técnica de arraste de flanela e a de gelo seco ao longo de doze meses de experimento em três áreas no entorno do *campus* da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Investigamos a influência da sazonalidade (estação seca e chuvosa) e do tipo de vegetação (três locais dominados por cada espécie invasora e um local controle não invadido) na dinâmica populacional de carrapatos por meio da análise de modelos lineares generalizados mistos (GLMM) no software R. Foi obtido um total de 15456 indivíduos, com maior abundância no mês de abril, com *H. coronarium* representando maiores abundâncias que os demais tipos vegetacionais em todos os meses. Obtivemos o modelo mais simples que melhor explicou a variação dos dados, de acordo com a distribuição binomial negativa. Verificamos que a abundância de carrapatos foi significativamente maior nas áreas invadidas, em especial nos locais dominados por *H. coronarium*, seguido de *P. purpureum*. As áreas controle, assim como o período da estação, não influenciaram significativamente na variável resposta. As diferenças encontradas nas comparações indicam que vegetações invasoras, como *H. coronarium*, atuam como agentes facilitadores de propagação de carrapatos do gênero *Amblyomma*, além de poder impulsionar a expansão territorial de outras espécies envolvidas nos ciclos de transmissão de doenças, como populações de capivaras que se movimentam por esses espaços. Estes resultados podem explicar a elevada abundância de carrapatos encontrados nas áreas alteradas pela vegetação invasora. Associações como essa modificam as zonas de incidência de patógenos e podem propiciar novas áreas de transmissão de doenças. Sugerimos que essa relação deve ser abordada mais profundamente em futuras pesquisas, de forma a contribuir para o conhecimento sobre as alterações ecológicas e a magnitude dos seus impactos em outras escalas.

**Palavras-chave:** Áreas invadidas. *Hedychium coronarium*. Abundância de carrapatos. Febre maculosa. Facilitação.

## 5.1 Introdução

A invasão biológica por plantas exóticas é extremamente preocupante, visto que as vegetações invasoras tendem a se estabelecer facilmente em diversos *habitats*, devido principalmente a características relacionadas à plasticidade fenotípica, morfológica e fisiológica (Richardson *et al.*, 2007). Esses atributos, por sua vez, podem favorecer seu processo de introdução, particularmente considerando *habitats* que passam por degradações ambientais (Pysek *et al.*, 2003).

As características de um ambiente podem ser determinantes no processo de invasão biológica. A susceptibilidade à introdução de espécies exóticas envolve condições bióticas e abióticas (Thomaz; Mormul; Michelan, 2015), dado que certas comunidades são mais vulneráveis, principalmente, devido à maior facilidade de disseminação de seus propágulos pela água (Richardson *et al.*, 2007). Este é o caso de ambientes ripários, que apresentam diversos registros de áreas de ocorrência de espécies vegetais invasoras e estão cada vez mais ameaçados devido à sua relação com atividades antrópicas (Meek; Richardson; Mucina, 2010; Tererai *et al.*, 2013).

A perda de biodiversidade e as alterações na fisionomia da zona ripária podem estar associadas à disseminação descontrolada de plantas invasoras. A sedimentação de corpos hídricos em áreas dominadas deixa aparente a dimensão do impacto na paisagem causada pelas invasões, em comunidades que muitas vezes não conseguem se recuperar na mesma velocidade (Pivello, 2011). Porém, diversas espécies invasoras de grande ameaça ainda não estão submetidas a planos de manejo sustentável no país (Carello; Pretto, 2023; Leão *et al.*, 2011; Rocha *et al.*, 2017).

Quando uma planta introduzida se torna invasora em um novo território, essa espécie pode oferecer recursos para outras espécies, como aves e mamíferos (Aslan; Rejmánek, 2010). Por atenderem as necessidades desses organismos, a introdução de plantas pode aumentar a incidência de novas espécies no ambiente recém invadido (Padayachee *et al.*, 2017). Porém, o papel das plantas invasoras na dinâmica de vetores e hospedeiros de doenças não é totalmente previsível e pouco ainda foi avaliado quantitativamente. Considerando que as espécies invasoras podem afetar a composição das espécies em um ambiente e os processos ecológicos da comunidade, buscamos compreender os impactos dessa dinâmica de interações no risco de transmissão de doenças em áreas invadidas, comparando com áreas de vegetação natural.

Este capítulo se propõe a esclarecer algumas lacunas apontadas no decorrer da síntese do referencial teórico, evidenciando as implicações das plantas invasoras para a Saúde Única por meio de análises quantitativas. Especificamente,

buscamos responder as questões que envolvem esse campo de estudo, para confirmar a existência de associações entre a invasão de plantas, a proliferação de organismos patogênicos e a emergência de doenças que acometem a saúde humana e de outros animais, verificando se há padrões possíveis de ser identificados nesse processo.

### *Breve descrição das espécies*

*Hedychium coronarium* (Zingiberaceae) é uma invasora com alta taxa de crescimento e dispersão, mesmo em condições adversas, principalmente em áreas ripárias com baixadas úmidas e pantanosas, margens de lago, riachos e canais de drenagem (Couto; Cordeiro, 2005). Costuma formar populações densas devido à sua alta taxa de crescimento e dispersão, mesmo em condições adversas (Lorenzi; Souza, 2001). Macrófita perene, nativa da região da Ásia Tropical, devido ao seu rápido crescimento e dispersão, forma densas populações (Lorenzi, 1991). Foi introduzida principalmente para fins ornamentais (Santos *et al.*, 2006), tornando-se uma invasora severa em diversas regiões.

*Urochloa decumbens* é uma gramínea terrestre nativa da África e muito comum em regiões de savana. As gramíneas deste gênero ocupam atualmente cerca de 85% das áreas de pastagem do Brasil, sendo que só no estado de São Paulo abrangem milhões de hectares de terra (Lucena, 2011). Por ser adaptável e resistente a solos de baixa fertilidade e alterações no ambiente, além de apresentar fácil estabelecimento em diferentes *habitats* e uma produção de biomassa considerável ao longo do ano, elas demonstram considerável potencial de invasão (Jakelaitis *et al.*, 2004).

*Pennisetum purpureum* é uma gramínea perene e rizomatosa, com que pode atingir grandes alturas (Schmitt, 2012). É nativa da África tropical e cultivada no Brasil principalmente para utilização na pecuária. Por possuir alta taxa de crescimento e produtividade (Saking; Qomariyah, 2021), além de demonstrar uma excelente adaptação às condições climáticas brasileiras, sua invasão já foi documentada em vários estados do país.

O gênero *Amblyomma* inclui carrapatos com ampla distribuição na região neotropical (Estrada-Peña *et al.*, 2004), que se hospedam principalmente em mamíferos silvestres. Seu ciclo de vida é de geralmente um ano, com adultos predominando na primavera e no verão, larvas no outono e inverno e ninfas no inverno e primavera (Cabrera; Labruna, 2009). Estes invertebrados são parasitas que, durante um estágio de

desenvolvimento, podem ser encontrados livres na vegetação, tanto em pastos quanto gramados, preferencialmente em lugares distantes do sol, bem sombreados e próximos a rios e lagos (Labruna *et al.*, 2002).

Os perigos para o homem se intensificaram nas últimas décadas, devido a sua proximidade em áreas de mata onde populações de animais hospedeiros transitam. Por consequência, há um maior risco de transmissão de doenças como a febre maculosa brasileira (FMB) nestes locais (Labruna *et al.*, 2004; Guedes *et al.*, 2005), visto que carrapatos contaminados pela bactéria *Rickettsia* são vetores desta zoonose altamente letal. A febre maculosa é uma doença grave, com altas taxas de letalidade (Angerami *et al.*, 2006) e, desse modo, o estudo sobre questões ambientais associadas a transmissão de vetores é fundamental para que se possa avaliar os riscos da expansão dessa e outras doenças infecciosas em outras regiões de São Paulo e de outros estados.

## 5.2 Material e Métodos

### *Áreas de estudo*

Esta pesquisa foi desenvolvida dentro e no entorno do *campus* da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), localizado no município de São Carlos, no interior do estado de São Paulo. O *campus* compreende uma área de 645 hectares de extensão e 196 mil m<sup>2</sup> de área construída. Desde 2014, diversos experimentos vêm sendo desenvolvidos nas mesmas localidades utilizadas neste trabalho, por pesquisadores do Laboratório de Ecologia e Conservação/Departamento de Hidrobiologia (Castro, 2014; Estêvão, 2018; Pinheiro, 2018; Zanatta, 2019).

Foram selecionadas três áreas para a realização dos experimentos, devido à disponibilidade de locais adequados e com ocorrência das vegetações invasoras estudadas. As áreas continham fragmentos invadidos (com incidência das invasoras *Urochloa decumbens*, *Pennisetum purpureum* e *Hedychium coronarium*) e controle (ausência de espécies de plantas invasoras).

A área 1 compreende o Horto Municipal de São Carlos, localizado na Estrada Municipal Guilherme Scatena, próxima a UFSCar. É um local que abriga alguns remanescentes florestais e possui as espécies invasoras *U. decumbens* e *H. coronarium*, porém não há *P. purpureum* em espaço considerável para que pudessem ser feitas as réplicas necessárias. A área controle se encontra distante das espécies invasoras e dispõe de maior riqueza na vegetação, com espécies arbóreas de grande e médio porte, espécies herbáceas e espécies arbustivas, além de apresentar uma abundante serapilheira.

A área 2 é um fragmento de cerrado na área norte do *campus*. A região controle, também afastada das áreas que contêm espécies invasoras, compõe uma zona de mata ripária, formada por uma fisionomia florestal com uma densa camada de serapilheira. A porção de *H. coronarium* se localiza nas margens da Represa do Fazzari, próximo a um remanescente florestal composto por espécies herbáceas e arbóreas. Adjacente à represa encontra-se uma estrada de terra, com a presença de uma porção de *P. purpureum* em uma das bordas e, na face oposta, uma região invadida por *U. decumbens*, que formam populações extensas e predominantes.

A área 3 se localiza na área sul do *campus*, nos arredores do lago formado em decorrência da barragem artificial do Córrego do Monjolinho. Ao longo de suas margens, a riqueza da vegetação é baixa, em função da dominância das espécies invasoras *U. decumbense* e *H. coronarium*, dispostas em margens opostas do lago,

constituindo densas populações. Um pouco mais afastado deste lago, *P. purpureum* invade uma região que cerca quase toda a moradia da Universidade e, por fim, a área controle está situada em frente à escadaria do restaurante universitário e é composta por espécies arborícolas e densa quantidade de serapilheira.



**Figura 5** - Áreas de estudos localizadas no entorno da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). a) área 1 (Horto Municipal); b) área 2 (Represa do Fazzari); e c) área 3 (Córrego do Monjolinho). Fotos: Camila Denóbile e Driéli Carvalho Vergne.

### *Coleta de dados*

A escolha dos locais de estudo e a montagem dos experimentos se deram durante o mês de agosto de 2018 e uma amostragem prévia para a adequação da metodologia em campo foi realizada ao longo do mês de setembro. Este capítulo utiliza dados coletados por alunos de Iniciação Científica do Laboratório de Ecologia e Conservação (Departamento de Hidrobiologia – UFSCar), no período de amostragem correspondente a 12 meses, de outubro de 2018 a setembro de 2019.

Para avaliar a distribuição das populações de carrapatos em áreas invadidas e não invadidas, foram estabelecidos dois métodos de coleta de carrapatos, buscando ampliar a robustez do experimento. O arrasto de flanela é uma técnica que consiste na utilização de uma flanela branca com dimensão de 1,5 metros de

comprimento e 1 metro de largura, com dois canos de PVC, um em cada ponta da flanela para que o tecido se mantenha em proximidade com a vegetação e bem esticado. Em uma das extremidades que compõem a largura do pano deve conter um fio, para que possa percorrer o perímetro desejado puxando a flanela. Os carrapatos que se aderem na flanela durante o percurso devem ser coletados com fita adesiva e, depois, colocados em recipientes ou envelopes lacrados e bem identificados. O perímetro para o arraste nesse estudo foi de 10 m<sup>2</sup> em cada área.

Para o segundo método de coleta, foram configuradas quatro armadilhas de gelo seco em cada área de estudo, sendo uma em cada tipo vegetacional. Como são eficientes em capturar carrapatos dentro de um raio de 10 metros, foi mantida uma distância de mais de 10 metros entre tipos de vegetação. Estas armadilhas são montadas estendendo-se uma flanela branca de 1 m<sup>2</sup> com cerca de 500g de CO<sub>2</sub> disposto sobre ela, um atrativo químico opera em um raio de 10 metros. A flanela branca facilita a visualização dos indivíduos aderidos, que são retirados com fita adesiva após 1 hora e 30 minutos de exposição. Em seguida, são colocados em potes ou envelopes lacrados e devidamente identificados.

Neste estudo foram capturados carrapatos do gênero *Amblyomma*, não sendo possível identificar a espécie de cada indivíduo. Foram estabelecidos valores únicos de abundância em cada amostragem, visto que a comparação de métodos não foi definido como um tópico relevante para este trabalho, considerando os objetivos propostos. Assim, o número total obtido a partir de cada método de coleta foi somado. Para simplificar algumas análises, ao invés dos meses de coleta foram considerados os períodos das estações seca e chuvosa do ano, visto que mudanças sazonais podem ocasionar alterações relevantes na dinâmica populacional de carrapatos. Assim, neste estudo consideramos a estação seca durante os meses de abril a setembro e compreende baixos índices pluviométricos e temperaturas mais baixas, em oposição ao período chuvoso, que se dá entre outubro e março.

### *Análise de dados*

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R versão 4.1.1 (R Core Team, 2018; Crawley, 2012), buscando avaliar se há diferenças significativas no efeito da estação e/ou do tipo de vegetação no número de carrapatos. Para verificar a normalidade da distribuição dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk (Shapiro; Wilk, 1965) através da função "shapiro.test", que fornece um valor "w" entre

0 e 1, de modo que valores mais próximos de 0 evidenciam um desvio da normalidade. Quando violados os pressupostos de normalidade, não sendo possível aplicar uma análise de variância usual, comparamos a significância dos níveis de tratamento através do teste de Kruskal-Wallis.

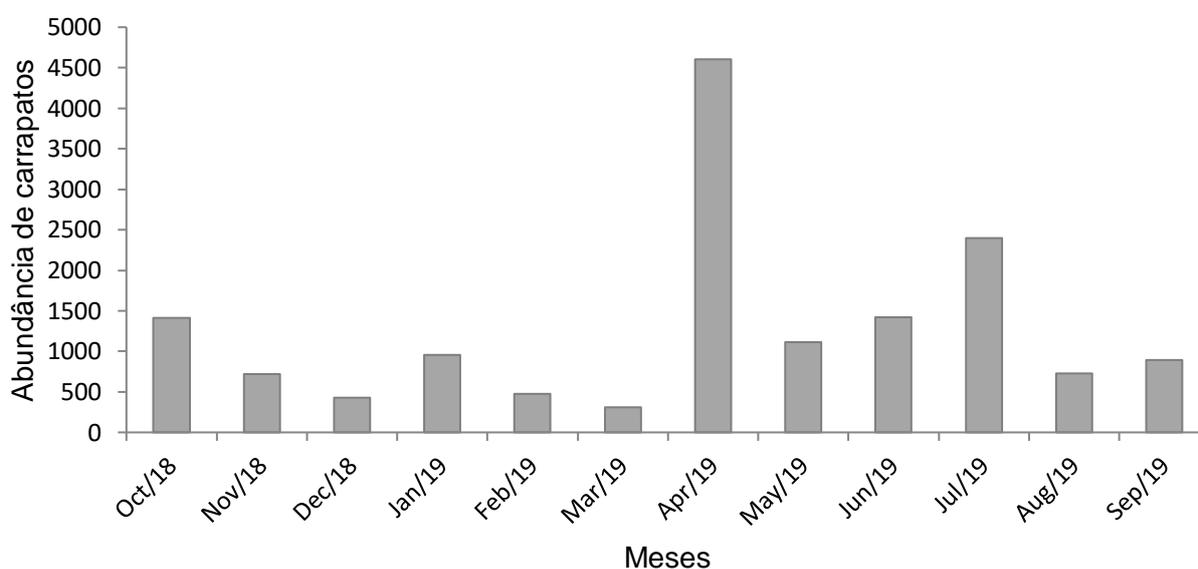
Em razão da variável resposta ‘abundância de carrapatos’ assumir dados de contagem, que comumente não se ajustam a uma distribuição normal, sua variação foi investigada por meio de modelos lineares generalizados mistos (GLMM; Bolker *et al.*, 2009; Dean; Nielsen, 2007) usando as funções do pacote “lme4” (Bates *et al.*, 2015). Na aplicação do GLMM, a abundância foi modelada de acordo com o ‘tipo de vegetação’ e a ‘estação do ano’, variáveis preditoras tratadas como efeitos fixos. O fator ‘área de estudo’ foi inserido no modelo como efeito aleatório, para que os efeitos dos diferentes locais de coleta na variável de interesse não fossem ressaltados (Zuur *et al.*, 2009).

Para testar as diferenças no efeito isolado das vegetações e em cada estação do ano, considerando também a interação entre eles. A escolha do melhor modelo será baseada no Critério de seleção de modelos de Akaike (AIC), avaliando o valor fornecido conforme a retirada das variáveis e da interação entre elas. Para testar se o modelo é válido e visualizar a dispersão dos resíduos em distribuições que diferem da normalidade, usamos a função “simulateResiduals” do pacote “DHARMA”. Os modelos foram ajustados considerando todas as categorias dentro das variáveis preditoras e a interação entre elas. A partir do modelo obtido, foram utilizados os pacotes “car” e “emmeans” (Fox; Weisberg, 2011; Lenth, 2018) para aferir a significância do efeito das variáveis preditoras na abundância de carrapatos e estabelecer comparações entre pares das médias marginais estimadas das diferentes categorias.

### 5.3 Resultados

Ao longo de doze meses de experimento, foram coletados 15456 carrapatos no total, com maior abundância no mês de Abril ( $n = 4607$ ). Julho apresentou o segundo maior número ( $n = 2400$ ), porém foi obtido pouco mais da metade da abundância de Abril (Figura 6). Nas demais coletas, a variação do número total de carrapatos entre os meses do ano foi menor. *H. coronarium* apresentou maior abundância que os outros tipos vegetacionais em todos os meses.

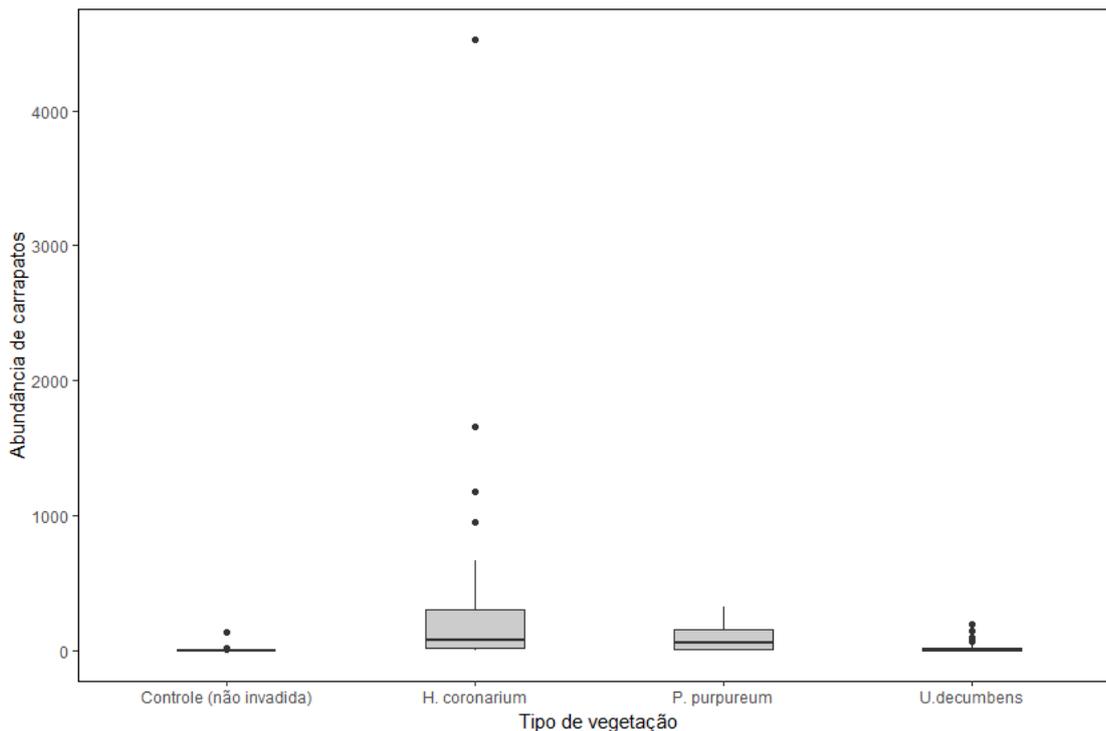
**Figura 6** – Número total de carrapatos *Amblyomma* coletados nos quatro tipos de vegetação e nas três áreas de estudo, por meses do ano.



Comparando os tipos de vegetação (Figura 7), foi significativa a maior abundância de *Amblyomma* ( $n = 12280$ ) associada a *H. coronarium*. Em apenas uma coleta, na área 2 durante o mês de Abril, foram contabilizados 4528 carrapatos, sendo possível visualizar a abundância com um valor bem discrepante dos demais neste mês. A incidência de carrapatos foi maior nas vegetações invadidas: foram encontrados 2196 carrapatos associados a *P. purpureum* e 750 associados a *U. decumbens*, enquanto na vegetação não invadida (controle), o número obtido foi de 230 carrapatos no total.

Considerando a distribuição dos dados de acordo com a sazonalidade, houve uma leve variação na abundância de *Amblyomma* entre estações (mais na estação chuvosa). A distribuição dos valores. Sendo que maiores valores foram encontrados na estação chuvosa.

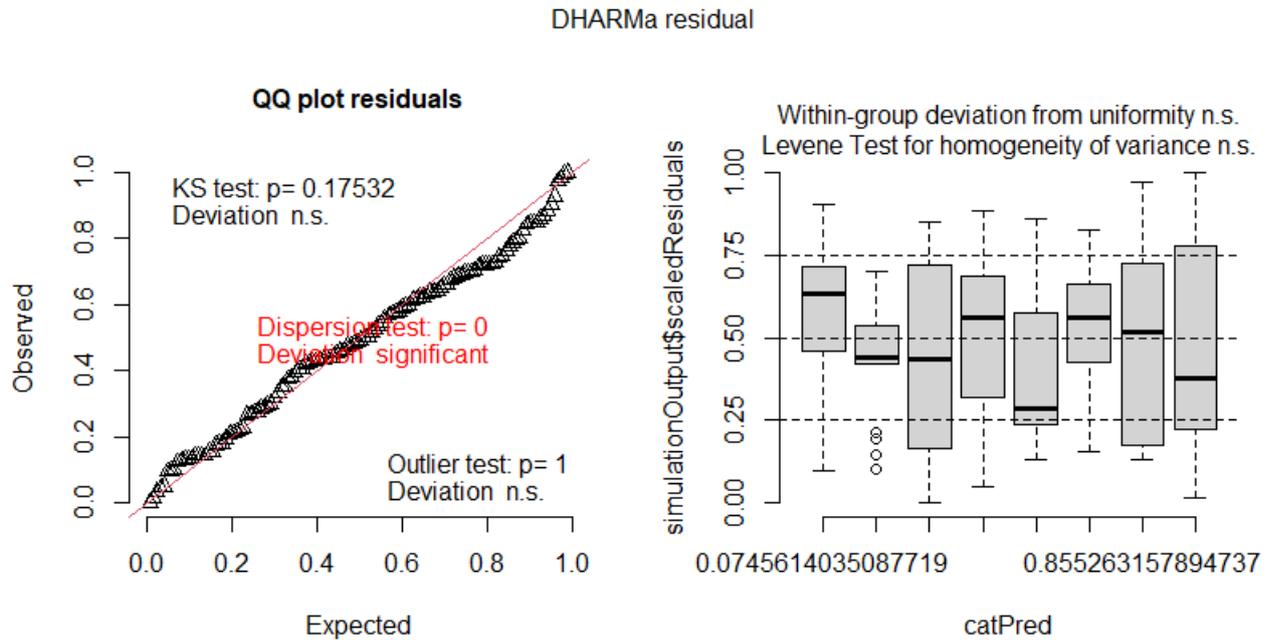
**Figura 7** – Boxplot da abundância de carrapatos *Amblyomma* encontrados nas áreas de vegetação não invadida (controle) e invadidas por *H. coronarium*, *P. purpureum* e *U. decumbens*.



Como esperado, a distribuição dos dados desviaram significativamente da normalidade, confirmado pelos valores da estatística “w” do teste de Shapiro-Wilk nos níveis com mais de 95% de confiança. Inicialmente, foi assumida a distribuição de Poisson usando a função “glmer” do pacote “lme4”, mas o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov indicou que a distribuição de erros difere do esperado para essa distribuição. Assim, atribuímos a distribuição binomial negativa, que possui ampla flexibilidade de aplicação em dados ecológicos que variam muito entre si. Para rodar o modelo para essa distribuição, foram utilizadas as funções “glmer.nb” do pacote “lme4” e a função “glmmTMB” do pacote “glmmTMB”.

A análise dos resíduos para a distribuição binomial negativa, diferente do obtido para a distribuição de Poisson, não apresentou problemas de fuga da normalidade. O desvio do esperado e a uniformidade do desvio não foram significativos, dado o valor p do teste de Kolmogorov-Smirnov. As pequenas dispersões verificadas pouco influenciaram na interpretação do modelo ajustado, que apontou homogeneidade da variância (teste de Levene não significativo). Assim, é possível ter confiança na estimação dos parâmetros.

**Figura 8** – Gráfico dos resíduos do modelo GLMM para a distribuição binomial negativa.



O modelo simplificado foi escolhido como o melhor modelo, de acordo com o menor valor de AIC (AIC = 1112.5), com notável diferença no efeito das variáveis. No modelo com interações (AIC = 1113.8), nenhuma delas foi significativa. A variável preditora ‘tipo de vegetação’ se mostrou importante para o modelo final, pois exibiu diferença significativa aferida pelo teste de hipótese (Tabela 4), ao contrário da variável ‘estação’. Assim, a incidência de carrapatos não apresentou correlação com os períodos sazonais amostrados.

Avaliamos os efeitos das vegetações em conjunto e de cada uma isoladamente. A maioria das combinações entre tipos vegetacionais mostrou diferenças significativas, exceto nas comparações entre controle e *U. decumbens* (p=0,73) e entre *H. coronarium* e *P. purpureum* (p=0,59) (Tabela 5). *H. coronarium* apresentou o maior valor de efeito estimado.

**Tabela 4** – Resultados dos parâmetros e valores de p estimados usando um GLMM com distribuição binomial negativa.

	<b>Estimativa</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>p</b>	<b>Significância</b>
Intercepto	3.6457	0.3485	< 2e-16	***
Vegetação <i>H. coronarium</i>	1.6990	0.2955	8.99e-09	***
Vegetação <i>P. purpureum</i>	1.3666	0.3135	1.31e-05	***
Vegetação <i>U. decumbens</i>	0.3436	0.3205	0.284	
Estação seca	0.1793	0.1994	0.369	

Significância estatística: \*\*\* p<0.001; \*\* p<0.01; \* p<0.05.

**Tabela 5** – Resultados da análise de desvio pelo teste qui-quadrado de Wald tipo II para as duas variáveis preditoras.

	<b>Chisq</b>	<b>Df</b>	<b>p</b>	<b>Significância</b>
Vegetação	45.4965	3	7.257e-10	***
Estação	0.8087	1	0.3685	

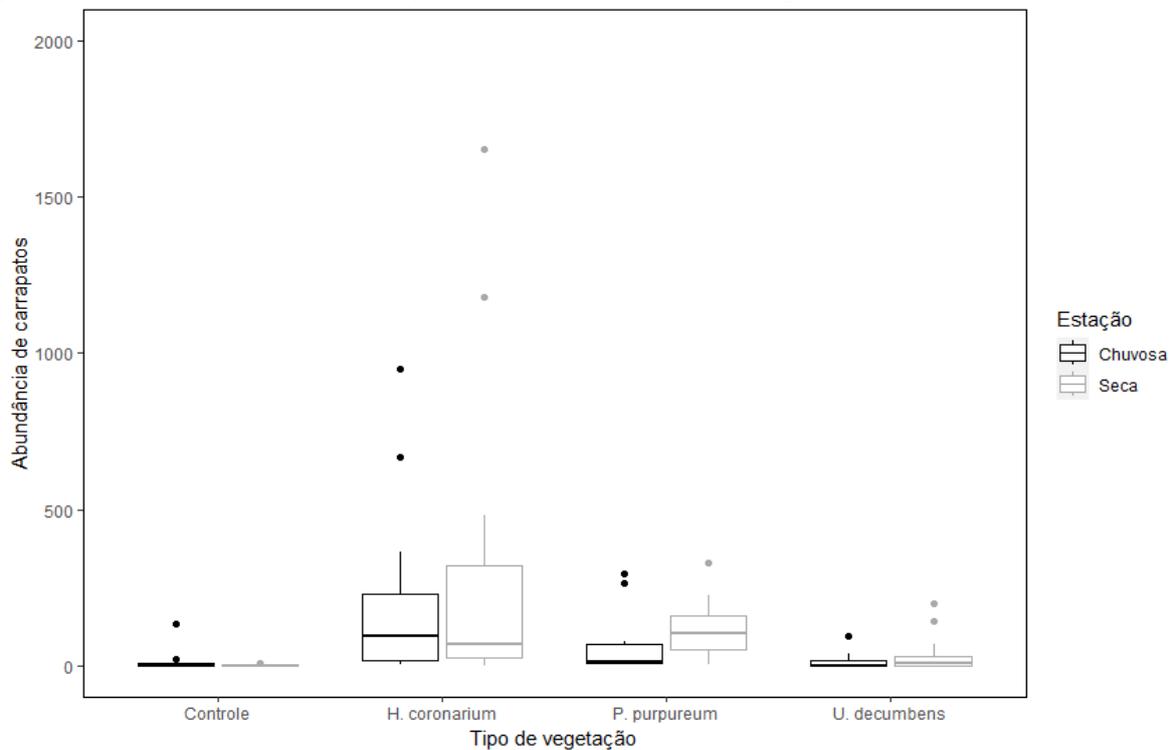
Significância estatística: \*\*\* p<0.001; \*\* p<0.01; \* p<0.05.

Avaliamos os efeitos das vegetações em conjunto e de cada uma isoladamente. A maioria das combinações entre tipos vegetacionais mostrou diferenças significativas, exceto nas comparações entre controle e *U. decumbens* (p=0,73) e entre *H. coronarium* e *P. purpureum* (p=0,59) (Tabela 6). A abundância de carrapatos é muito maior nas áreas com *H. coronarium* em relação aos demais tipos de vegetação. *H. coronarium* apresentou o maior valor de efeito estimado, seguido por *P. purpureum*, indicando que essas vegetações exercem grande influência na dinâmica populacional de *Amblyomma* nas áreas estudadas.

**Tabela 6** – Análise a posteriori das médias marginais estimadas pelo método de Tukey (pairwise).

	<b>Estimativa</b>	<b>SE</b>	<b>z.ratio</b>	<b>p</b>
Controle - <i>H. coronarium</i>	-1.699	0.296	-5.749	<.0001
Controle - <i>P. purpureum</i>	-1.367	0.314	4.359	0.0001
Controle - <i>U. decumbens</i>	-0.344	0.320	-1.072	0.7066
<i>H. coronarium</i> - <i>P. purpureum</i>	0.332	0.274	1.215	0.6175
<i>H. coronarium</i> - <i>U. decumbens</i>	1.355	0.281	4.825	<.0001
<i>P. purpureum</i> - <i>U. decumbens</i>	1.023	0.303	3.379	0.0041

**Figura 9** – Boxplot da abundância de carrapatos obtida em cada vegetação, comparando as variações entre estação seca e chuvosa. O valor discrepante de *H.coronarium* na estação seca foi removido.



## 5.4 Discussão

Constatamos uma maior abundância de carrapatos do gênero *Amblyomma* em locais dominados por espécies de plantas invasoras. Foi possível estimar uma forte associação entre as flutuações de indivíduos coletados com a ocupação da vegetação invasora. Por outro lado, as variações populacionais observadas não foram atribuídas à sazonalidade de forma expressiva. Mesmo que valores mais altos de abundância de carrapatos foram obtidos, em geral, em meses da estação seca do ano, esse dado não resultou em efeito significativo nas comparações executadas. Variações na temperatura podem não ser os fatores mais limitantes com relação à área de distribuição desses vetores (Estrada-Peña *et al.*, 2004).

Dentre essas vegetações, *H. coronarium* apresentou grande destaque pelos maiores valores médios de indivíduos de *Amblyomma* coletados durante todo o período do experimento. Em todas as áreas desse estudo, se aproximando dos locais ocupados por *H. coronarium*, é notada uma diminuição da diversidade vegetal até que se dá a predominância da espécie invasora. A quantidade de biomassa dessa espécie é elevada e por ser uma macrófita que ocorre em locais úmidos próximos a corpos d'água, é facilmente encontrada.

A introdução de uma nova espécie pode propiciar novos recursos alimentares em épocas de escassez de alimentos nativos, gerando assim, mudanças comportamentais e de uso de habitat (Aslan; Rejmánek, 2010). A espécie *H. coronarium* também é utilizada como abrigo para diversos representantes da fauna regional, dentre eles as capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) (Ferraz *et al.*, 2007). Castro *et al.* (2013) detectou, pela primeira vez, capivaras se alimentando de *H. coronarium* no inverno, o que poderia ocorrer devido a uma menor disponibilidade de recursos alimentares. Neste período, há uma diminuição da biomassa de gramíneas, sua principal fonte alimentar, durante períodos mais secos.

O estreito contato do animal hospedeiro com a planta pode estar favorecendo a abundância de carrapatos nestas áreas. Bandos de capivaras podem mudar de *habitat* em busca de novos recursos como um comportamento oportunista, provavelmente não apresentado em períodos com grande abundância de recursos, como a primavera (Barreto; Quintana, 2013; Borges; Colares, 2007). Dado que capivaras são apontadas como amplificadores de patógenos (De Melo *et al.*, 2021) e um dos principais hospedeiros de carrapatos que podem estar infectados com a bactéria *Rickettsia* (Perez *et al.*, 2008), isso pode explicar as maiores quantidades de carrapatos encontrados nas vegetações invasoras ao longo da estação seca.

Assim, acreditamos que *H. coronarium* pode concentrar uma maior abundância de carrapatos por servir como abrigo, proteção e alimento para *H. hydrochaeris*, ao longo de todo o ano, proporcionando mudanças na abundância e/ou distribuição de populações de capivara. Seus rizomas são particularmente atrativos, pois armazenam água e substâncias nutritivas, além de ter importantes características funcionais que permitem à planta sobreviver até mesmo em condições desfavoráveis (Scatena; Scremin-Dias, 2003). Ao mesmo tempo, a utilização da área por esses animais pode facilitar a expansão da invasora para novos locais, por meio da fragmentação de seus rizomas durante a alimentação ou no ato de pisoteio da vegetação, o principal mecanismo de dispersão dessa planta (Almeida, 2015).

Há mais de uma década vem sendo constatados excedentes populacionais destes roedores no estado de São Paulo (Vargas, 2007). Mesmo dentro das cidades a ameaça é recorrente, dado que, devido à crescente expansão dos centros urbanos, populações de capivaras se deslocam para ambientes com grande circulação de pessoas (Guedes *et al.*, 2005). Consequentemente, outros fatores que não foram possíveis de serem abordados nesse trabalho, podem atuar em conjunto com o tipo de vegetação para alterar a distribuição de carrapatos e toda a cadeia epidemiológica (Pinter *et al.*, 2004) . Como ponto de partida, demonstrar essa nítida associação entre áreas invadidas e presença de carrapatos pode ser um ponto de partida para reforçar o alerta para a ameaça da invasão e dispersão de espécies invasoras. Ressaltamos a relevância de que resultados como os obtidos neste trabalho sejam extrapolados para localidades, padrões temporais ou espécies diferentes com a execução de novas pesquisas no futuro.

## 5.5 Referências

- ANGERAMI, Rodrigo N. et al. Brazilian spotted fever: a case series from an endemic area in southeastern Brazil: clinical aspects. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1078, n. 1, p. 252-254, 2006.
- ASLAN, Clare E.; REJMÁNEK, Marcel. Avian use of introduced plants: ornithologist records illuminate interspecific associations and research needs. **Ecological Applications**, v. 20, n. 4, p. 1005-1020, 2010.
- BARRETO, Guillermo R.; QUINTANA, Rúben D. Foraging strategies and feeding habits of capybaras. **Capybara: biology, use and conservation of an exceptional neotropical species**, p. 83-96, 2013.
- BATES, Douglas et al. Fitting linear mixed-effects models using lme4. 2014.
- BOLKER, Benjamin M. et al. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. **Trends in ecology & evolution**, v. 24, n. 3, p. 127-135, 2009.
- BORGES, Lucélia do Valle; COLARES, Ioni Gonçalves. Feeding habits of capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*, Linnaeus 1766), in the Ecological Reserve of Taim (ESEC-Taim)-south of Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 50, p. 409-416, 2007.
- CASTRO, Wagner Antonio Chiba de et al. First record of herbivory of the invasive macrophyte *Hedychium coronarium* J. König (Zingiberaceae). **Biota Neotropica**, v. 13, p. 368-370, 2013.
- CASTRO, Wagner Antonio Chiba de. Ecologia da invasora *Hedychium coronarium* J. König (Zingiberaceae). 2014.
- CARELLO COLLAR, Fernanda et al. Invasão Biológica na Zona Costeira: Ameaça Ambiental e Perspectivas de Manejo nos Municípios Litorâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí/RS. 2023.
- COUTO, O. S.; CORDEIRO, R. M. S. Manual de reconhecimento de espécies vegetais da restinga do Estado de São Paulo. **Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, Departamento Estadual de Proteção de recursos Naturais, São Paulo**, 2005.
- CRAWLEY, Michael J. **The R book**. John Wiley & Sons, 2012.
- CORRIALE, María José; HERRERA, Emilio A. Patterns of habitat use and selection by the capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*): a landscape-scale analysis. **Ecological research**, v. 29, p. 191-201, 2014.
- DEAN, C. B.; NIELSEN, Jason D. Generalized linear mixed models: a review and some extensions. **Lifetime data analysis**, v. 13, p. 497-512, 2007.
- DE MELO EVANGELISTA, Luanna Soares et al. *Amblyomma* spp. e a relação com a febre maculosa brasileira. **Veterinária e Zootecnia**, v. 28, p. 1-15, 2021.

ESTÊVÃO, Julia Ramos. Produção de biomassa e necromassa de espécies invasoras e controle mecânico e químico de *Hedychium coronarium* König.(Zingiberaceae) em zonas ripárias neotropicais. 2018.

ESTRADA-PEÑA, Agustín; GUGLIELMONE, Alberto Alejandro; MANGOLD, Atilio José. The distribution and ecological 'preferences' of the tick *Amblyomma cajennense* (Acari: Ixodidae), an ectoparasite of humans and other mammals in the Americas. **Annals of Tropical Medicine & Parasitology**, v. 98, n. 3, p. 283-292, 2004.

FERRAZ, K. P. M. B.; VERDADE, Luciano M. Ecologia comportamental da capivara: bases biológicas para o manejo da espécie. **A Produção Animal na Visão dos Brasileiros. Sociedade Brasileira de Zootecnia, Piracicaba, SP, Brasil**, p. 589-595, 2001.

FOX, John; WEISBERG, Sanford. **An R companion to applied regression**. Sage publications, 2011.

GUEDES, Elizângela et al. Detection of *Rickettsia rickettsii* in the tick *Amblyomma cajennense* in a new Brazilian spotted fever-endemic area in the state of Minas Gerais. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 100, p. 841-845, 2005.

HERRERA, Emilio A. Capybara digestive adaptations. **Capybara: biology, use and conservation of an exceptional Neotropical species**, p. 97-106, 2013.

HOCKING, Ronald R. A Biometrics invited paper. The analysis and selection of variables in linear regression. **Biometrics**, p. 1-49, 1976.

JAKELAITIS, A. et al. Manejo de plantas daninhas no consórcio de milho com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta daninha**, v. 22, p. 553-560, 2004.

LABRUNA, Marcelo B. et al. Seasonal dynamics of ticks (Acari: Ixodidae) on horses in the state of São Paulo, Brazil. **Veterinary Parasitology**, v. 105, n. 1, p. 65-77, 2002.

LABRUNA, Marcelo B. et al. *Rickettsia* species infecting *Amblyomma cooperi* ticks from an area in the state of Sao Paulo, Brazil, where Brazilian spotted fever is endemic. **Journal of clinical microbiology**, v. 42, n. 1, p. 90-98, 2004.

LEÃO, T. C. C. et al. Espécies Exóticas Invasoras no Nordeste do Brasil: Contextualização. **Manejo e Políticas Públicas. Recife: Cepan**, 2011.

LENTH, Russell et al. Emmeans: Estimated marginal means. **AKA least-squares means**, p. 2-1, 2018.

LORENZI, Harri. Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. **(No Title)**, 2000.

LUCENA, MAC de. **Características agrônômicas e estruturais de *Brachiaria* spp submetidas a doses e fontes de nitrogênio em solo de cerrado**. 2011. Tese de Doutorado. Dissertação (mestrado). Nova Odessa-SP, 2010. MACEDO, RLG.

MEEK, Clifton S.; RICHARDSON, David M.; MUCINA, Ladislav. A river runs through it: land-use and the composition of vegetation along a riparian corridor in the Cape Floristic Region, South Africa. **Biological Conservation**, v. 143, n. 1, p. 156-164, 2010.

MOREIRA, José Roberto et al. Taxonomy, natural history and distribution of the capybara. **Capybara: Biology, use and conservation of an exceptional neotropical species**, p. 3-37, 2013.

OLIVEIRA, PAULO ROBERTO et al. Seasonal dynamics of the Cayenne tick, *Amblyomma cajennense* on horses in Brazil. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 17, n. 4, p. 412-416, 2003.

PADAYACHEE, Ashlyn L. et al. How do invasive species travel to and through urban environments?. **Biological invasions**, v. 19, p. 3557-3570, 2017.

PEREZ, Carlos Alberto et al. Carrapatos do gênero *Amblyomma* (Acari: Ixodidae) e suas relações com os hospedeiros em área endêmica para febre maculosa no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 17, p. 210-217, 2008.

PINHEIRO, Amanda Maria. Atributos ecológicos que contribuem para invasibilidade da macrófita *Hedychium coronarium* J. König (Zingiberaceae). 2018.

PINTER, Adriano et al. Study of the seasonal dynamics, life cycle, and host specificity of *Amblyomma aureolatum* (Acari: Ixodidae). **Journal of medical entomology**, v. 41, n. 3, p. 324-332, 2004.

PIVELLO, Valéria R. Invasões biológicas no cerrado brasileiro: efeitos da introdução de espécies exóticas sobre a biodiversidade. **Ecologia. info**, v. 33, 2011.

PYŠEK, Petr et al. Vegetative regeneration in invasive *Reynoutria* (Polygonaceae) taxa: the determinant of invasibility at the genotype level. **American journal of botany**, v. 90, n. 10, p. 1487-1495, 2003.

TEAM, R. Development Core. R: A language and environment for statistical computing. 2010.

TERERAI, Farai et al. Eucalyptus invasions in riparian forests: effects on native vegetation community diversity, stand structure and composition. **Forest Ecology and Management**, v. 297, p. 84-93, 2013.

RICHARDSON, David M. et al. Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. **Diversity and distributions**, v. 13, n. 1, p. 126-139, 2007.

ROCHA, Lucas Fernandes et al. Avaliação da presença de espécies exóticas em unidades de conservação estaduais de Minas Gerais. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 15, n. 2, p. 238-248, 2017.

SAKING, N.; RUBA, K.; QOMARIYAH, N. Forage potential and carrying capacity of *Indigofera* sp and *Pennisetum purpureum*. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2021. p. 012168.

SANTOS, Estácio Alves dos; SILVA, Divan Soares da; QUEIROZ FILHO, José Leite de. Aspectos produtivos do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) cv. Roxo no Brejo Paraibano. **Revista brasileira de zootecnia**, v. 30, p. 31-36, 2001.

SCHMITT, Daniel et al. Composição morfo-bromatológica em pastos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Pioneiro) submetidos a estratégias de lotação intermitente. 2012.

- SHAPIRO, Samuel Sanford; WILK, Martin B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.
- THOMAZ, Sidinei M.; MORMUL, Roger P.; MICHELAN, Thaisa S. Propagule pressure, invasibility of freshwater ecosystems by macrophytes and their ecological impacts: a review of tropical freshwater ecosystems. **Hydrobiologia**, v. 746, p. 39-59, 2015.
- TONETTI, Ariádina; BIONDI, Daniela. Dieta de capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*, LINNAEUS, 1766) em ambiente urbano, Parque Municipal Tingui, Curitiba-PR. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 9, n. 4, p. 316-326, 2015.
- VERDADE, Luciano Martins; FERRAZ, KMPMB. Capybaras in an anthropogenic habitat in southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, p. 371-378, 2006.
- ZANATTA, Mariane Patrezi. O impacto da invasão por *Hedychium coronarium* J. König (Zingiberaceae) em áreas ripárias. 2019.
- ZUUR, Alain F. et al. **Mixed effects models and extensions in ecology with R**. New York: springer, 2009.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até agora, o trabalho científico tem se concentrado em tentar rastrear as mudanças no ecossistema como resultado do estabelecimento de plantas invasoras. No entanto, apenas esse esforço é insuficiente, pois atualmente é imprescindível propor ferramentas e avaliar estratégias para gerenciar e prevenir a rápida disseminação de agentes e doenças. A redução dessa lacuna de pesquisa pode ser um ponto de foco para garantir respostas para esse campo da ciência nos próximos anos.

O controle de vetores e hospedeiros é uma das formas mais eficazes de minimizar as taxas de disseminação de doenças. Ao mesmo tempo, o manejo de plantas invasoras é necessário, pois representa outro grande e custoso problema, mas que pode ser melhorado com o estabelecimento de parcerias entre organizações de todo o mundo para a realização de ações colaborativas na busca por estratégias mais eficazes. Sugerimos monitoramento contínuo em várias escalas espaciais e tentativas de empregar técnicas de erradicação. Novos modelos para abordagens de pesquisa podem ser úteis para estimar as áreas de distribuição, calcular riscos e priorizar estratégias de controle.

Compreender os custos da invasão biológica para a saúde animal e humana é uma demanda urgente, dado que as introduções de espécies exóticas estão aumentando em todo o mundo. O desenvolvimento de modelos que investigam fatores envolvidos na perturbação de serviços ecossistêmicos ou prevêm os impactos de espécies que ameaçam a biodiversidade pode contribuir na interpretação de como essas associações pode ser uma boa estratégia para entender como mudanças no uso do espaço influenciam o estabelecimento de populações.

As implicações do uso de *Hedychium coronarium* por capivaras é um foco que precisa continuar a ser investigados por meio de pesquisas em amplas escalas. Em especial, estes resultados sucedem outros trabalhos realizados dentro de um amplo projeto que continuará a ser desenvolvido em sequência e abrange parcerias com diversos pesquisadores e instituições. Nos anos de 2018/2019 foram reunidos dados de produção de biomassa de invasoras e densidade de capivaras e em 2022 instalamos e monitoramos armadilhas fotográficas nas áreas de estudo citadas para confirmar o uso de *H. coronarium*. Embora tenham sido obtidos registros de presença e padrões de movimentação dos bandos que indicam uma alteração de uso desses locais, o conjunto de dados não foi robusto o suficiente para estabelecer comparações estatisticamente válidas.

Diante dos resultados apresentados, buscamos discutir questões relevantes com potencial para nortear direções a serem seguidas em novas pesquisas. Além das contribuições para o campo de estudo, esperamos conseguir disseminar as respostas obtidas de forma que o conhecimento seja expandido para outros âmbitos da sociedade. Incentivamos também a composição de ambientes colaborativos para fundamentar ações relacionadas ao controle de invasões.

Sendo assim, a invasão por espécies exóticas, além dos danos a nível econômico e para a biodiversidade, concentram uma vasta ameaça para a saúde. Controlar espécies invasoras pode ser uma via para dificultar a disseminação de várias doenças infecciosas. Ainda há grandes limitações para o controle de várias plantas invasoras, principalmente vegetações associadas a corpos hídricos das matas ripárias. Isto ressalta a importância de se buscar mecanismos para controle da expansão dos rizomas desta espécie. Muitas técnicas de manejo podem não ser eficiente em larga escala, considerando o esforço envolvido e o risco de dispersão da vegetação para outras áreas. Esperamos poder obter informações ainda mais precisas sobre essas relações para que se possa incluir espécies como as invasoras estudadas em posição de destaque para a urgência de manejo e disseminar o problema para um público amplo.