

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE DE
ECOSSISTEMAS COSTEIROS E MARINHOS PPG ECOMAR

LEANDRO FRANÇA VILAÇA

***Brillantaisia lamium* (Ness) Benth: Uma Ameaça à Mata Atlântica? Padrões de Distribuição, Vias de Dispersão e Implicações para a Biodiversidade**

SANTOS

2024

LEANDRO FRANÇA VILAÇA

***Brillantaisia lamium* (Ness) Benth: Uma Ameaça à Mata Atlântica? Padrões de Distribuição, Vias de Dispersão e Implicações para a Biodiversidade**

Dissertação apresentada a Universidade Santa Cecília com parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre em Ecologia, sob a orientação da Prof. Dra. Mara Angelina Galvão Magenta e coorientação do Prof. Dr. Davi Butturi

SANTOS

2024

581
V745b

Vilaça, Leandro França.

Brillantaisia lamium: uma ameaça emergente à Mata Atlântica?
padrões de distribuição, vias de dispersão e implicações para a
biodiversidade / Leandro França Vilaça.

2024.

119 f.

Orientador: Dra. Mara Angelina Galvão Magenta.

Coorientador: Dr. Davi Butturi-Gomes.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Santa Cecília, Programa
de pós-graduação em Ecologia, Santos, SP, 2024.

1. Ciências Biológicas. 2. Botânica. 3. Flora. 4. Acanthaceae. 5.
Espécies Exóticas. I. Magenta, Mara Angelina Galvão . II.
Brillantaisia lamium: uma ameaça emergente à Mata Atlântica?
padrões de distribuição, vias de dispersão e implicações para a
biodiversidade.

Dedico a Deus, pela vida dada;

Dedico aos meus pais, pela vida cuidada;

Dedico aos meus amigos, pela vida doada;

Dedico aos meus familiares pela vida compartilhada;

E dedico aos meus professores, pela vida ensinada.

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grato a Professora Dra. Mara Angelina Galvão Magenta, pela sua orientação meticulosa e pelos conhecimentos compartilhados ao longo deste trabalho. Sua capacidade de direcionar minhas pesquisas e suas críticas construtivas foram essenciais para o sucesso deste projeto.

Agradeço à Universidade Santa Cecília pela infraestrutura de qualidade que proporcionou durante meu mestrado, fundamental para o sucesso da minha pesquisa.

Agradeço ao meu coorientador Davi Butturi, pela valiosa colaboração e pelas contribuições significativas para este trabalho.

Agradeço infinitamente e por toda a minha vida, as pessoas de minha família que, me apoiaram em cada etapa e, inclusive em visitas a campo para efetuar coletas e registros. Sem deixar de salientar o mais profundo respeito que tiveram comigo em diversos momentos de dificuldade, insegurança e dúvida sobre este estudo.

A Deus, por ter me dado forças para conseguir desbravar novos horizontes, antes desacreditados.

Agradeço imensamente a Thais Malaquias, pelas incansáveis idas a campo, em busca quase que diária por registros para a minha dissertação. Pela companhia em diversos momentos cansativos e ao mesmo tempo prazerosos. Pelas risadas e pelo carinho em me ajudar, apoiar e muitas vezes, em se doar para que eu pudemos vislumbrar horizontes antes desconhecido nas ciências biológicas.

Aos meus amigos, que muitas vezes deixei de estar presente em suas vidas, para buscar um novo horizonte.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Santa Cecília (Unisantia), pelo companheirismo, parceria e excelente contribuição no meu aprimoramento acadêmico e pessoal.

Aos coordenadores, professores e funcionários que, com suas ações, inspiram, motivam e transformam. Cada um de vocês desempenha um papel crucial na construção de um curso de excelência.

Agradeço todas as contribuições e deliberações da Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo (SEMIL), Fundação Florestal (FF) – Fundação para a Conservação e a Produção do Estado de São Paulo e ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO).

A equipe preciosa e aos curadores Paulo Salles Penteado Sampaio e Zélia Rodrigues de Mello, do Herbário da Universidade Santa Cecília, pela recepção, permissão de uso do espaço e apoio a esta pesquisa. Além de todo o preparo com as exsicatas, e inserção dos dados em plataformas de especializadas.

A experiência de percorrer o litoral de São Paulo e Rio de Janeiro foi enriquecida pela cordialidade e hospitalidade das pessoas que encontrei. Agradeço a todos os que, em diferentes contextos e localidades, contribuíram para o sucesso desta jornada. Em particular, gostaria de manifestar minha gratidão aos indivíduos que, de forma espontânea, ofereceram sua ajuda e companhia.

A memória do ilustre, poeta, contista, escritor, curador e presidente da Academia Brasileira de Literatura de Cordel – Gonçalves Ferreira da Silva, cujo legado inspirador ecoa nas ladeiras de Santa Teresa no Rio de Janeiro. Sua acolhida calorosa e seus sábios conselhos foram determinantes para minha trajetória. Agradeço imensamente por ter me impulsionado a explorar novos horizontes e a expandir meus conhecimentos.

Dedico ao senhor meu livro
eterno e sincero amor,
ele me ensina em silêncio
sem ar de superior;
por ser meu fraterno amigo
antes de dormir eu digo:
- Vou guardar, meu professor.
Confidente verdadeiro,
companheiro e aliado,
portanto querido livro
eternamente obrigado,
pois fraternalmente mudo
o senhor me ensina tudo
humildemente calado
Arquivo de intimidades,
canal de sabedoria,
farol de conhecimentos,
inspirador, mestre e guia
que mostra em poucos instantes
o que há dois minutos antes
o seu leitor não sabia.
Obrigado, senhor livro,
pelo seu grande valor;
só como mestre em carne e
osso
não se chega a ser doutor;
mesmo depois de formados
nós somos sempre obrigados
a consultar o senhor.
Como Confúcio o senhor
faz bem sem olhar a quem
e sem esperar jamais
recompensa de ninguém;
o título, com mil louvores
de professor dos doutores
ao senhor cai muito bem.
Obrigado. [...]
Gonçalo Ferreira da Silva

APRESENTAÇÃO

Brillantaisia lamium (Ness) Benth., da família Acanthaceae, é uma espécie herbácea originária da África Ocidental e Central (Ness Von Esenbecc 1847; Sidwell, 1998). Embora a Acanthaceae seja amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais (Tripp; Mcdade, 2014), sérios desafios em relação à conservação de *Brillantaisia lamium* em sua região de origem têm surgido (Ness Von Esenbeck 1847; Sidwell, 1998). Nas últimas décadas, a área de distribuição natural desta espécie foi reduzida pela conversão de habitats em áreas agrícolas e outras atividades humanas (Beentje, 2017). No entanto, a espécie tem sido registrada em outros países da África, como Etiópia, Quênia e Tanzânia (Witt; Luke, 2017) e de outros continentes, como Austrália, Brasil, Estados Unidos e Japão, como não nativa. As projeções indicam um cenário ainda mais preocupante para o futuro, com custos derivados da presença de espécies exóticas que se tornam invasoras estimados em trilhões de dólares por ano na próxima década (Diagne; Leroy; Vaissière et al., 2021).

A probabilidade de naturalização de espécies exóticas e a suscetibilidade de diversos países a invasões biológicas vegetais tendem a aumentar significativamente em decorrência da intensificação dos fluxos migratórios e das alterações climáticas globais (Ansong, 2024). As atividades agrícolas, turismo e navegação comercial constituem as principais vias de introdução antrópica de espécies exóticas, facilitando sua dispersão e estabelecimento em novos ecossistemas, com conseqüente potencial para invasões biológicas (Instituto Hórus, 2023; Saul; Roy; Booy et al., 2017). Um estudo comparativo entre 1980 e 2019 revelou que as perdas econômicas decorrentes de invasões biológicas (US\$ 1.208,0 bilhões) são da mesma ordem de grandeza que as causadas por eventos naturais como tempestades (US\$ 1.913,6 bilhões) e terremotos (US\$ 1.139,4 bilhões) (Turbelin; Cuthbert; Essl et al., 2023).

Vários autores se referem às espécies com potencial invasor como a segunda maior ameaça para diversidade biológica, podendo levar à extinção de espécies (Bellard; Cassey; Blackburn, 2016; Blackburn; Lockwood; Cassey, 2015; Pyšek; Pergl; Essl et al., 2017; Ziller; Zalba, 2007); tal ameaça é superada apenas pela destruição de habitats, causada pela exploração humana. Com isso, a definição de ações que visam reduzir os potenciais impactos futuros causados por espécies invasoras, devem ser implementados considerando os objetivos do Quadro Global da Biodiversidade

Pós-2020 (CBD, 2022) e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, Agenda 2030 (ONU, 2016).

Apesar do crescente interesse na ciência das invasões, a maior parte das pesquisas ainda se concentra em processos biológicos, com apenas 3% dos estudos integrando de forma abrangente os sistemas socioecológicos (Shackleton; Richardson; Shackleton et al., 2018; Vaz; Castro-Díez; Godoy et al., 2018). Shackleton; Richardson; Shackleton et al. (2018), evidenciam a necessidade de uma abordagem mais inter e transdisciplinar na pesquisa sobre invasões biológicas, onde a colaboração entre diversas disciplinas, instituições e atores sociais fundamenta e promove a compreensão mais profunda do problema, gerando resultados mais relevantes para a gestão e a formulação de políticas públicas. Levantamentos da distribuição geográfica atual da espécie, bem como de sua abundância, são cruciais para a conservação da biodiversidade, gerando informações para prever futuras ocorrências e a potencial substituição de espécies, permitindo a implementação de medidas preventivas.

No capítulo 1 deste trabalho foi analisada a distribuição de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., que é nativa nas regiões ocidental e central da África (Sidwell, 1998). Através de atividades humanas, como o comércio de plantas ornamentais e o transporte acidental, essa espécie se dispersou para diversos continentes, incluindo a Ásia, Oceania e Américas, chegando no Havaí. A distribuição geográfica na zona intertropical e a crescente globalização, corroborando com estudos sobre as movimentações e registros da espécie, em regiões predominantemente com clima tropical e subtropical.

A pesquisa apresentada no capítulo 2 tem como foco a distribuição e dispersão da espécie na região costeira do estado de São Paulo, que está encravada no bioma Mata Atlântica, um dos mais biodiversos do Brasil e considerado um dos 36 hotspots mundiais (CEPF, 2017). Em contrapartida, a região abriga grande parte da população brasileira, e suas áreas abertas são bastante suscetíveis à invasão biológica (Dawson; Moser; Van Kleunen et al., 2017). A área de estudo compreendeu a Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN), e Vale do Ribeira e Litoral Sul (RVRLS). Para isso, foram percorridos mais de 20 municípios incluindo 20 áreas protegidas (nos âmbitos municipal, estadual e federal) registrando as ocorrências, fatores bióticos e abióticos observados *in loco*.

O terceiro e último capítulo, aborda a problemática de invasão de ecossistemas aquáticos por espécies exóticas, um problema global com consequências ecológicas e socioeconômicas significativas. A compreensão dos mecanismos que impulsionam a dispersão e o estabelecimento dessas espécies é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo e conservação. Neste estudo, investigamos a distribuição de *Brillantaisia lamium* ao longo do rio Itapanhaú, em Bertioga (SP) analisando a influência da hidromorfologia, a dinâmica fluvial e a salinidade, na dispersão dessa espécie. Os resultados deste estudo contribuirão para elucidar os processos ecológicos que governam a invasão de rios por plantas exóticas e fornecerão subsídios para a gestão de áreas protegidas e a conservação da biodiversidade em ambientes fluviais.

Como estabelece a Convenção sobre Biodiversidade Biológica (CDB, 2020) em seu artigo 8(h), é dever dos países prevenirem a introdução, o controle ou a erradicação de espécies exóticas que representem ameaça aos ecossistemas e às espécies nativas. Nesse contexto, foi instituída no Brasil a Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras (CONABIO 07/2018).

Esta pesquisa tem como objetivo principal contribuir para o conhecimento sobre a dinâmica da distribuição de *Brillantaisia lamium*, espécie de grande importância ecológica. Através da análise da distribuição geográfica atual e histórica, da identificação dos fatores ambientais e antrópicos que influenciam sua expansão, e da modelagem de nicho ecológico, pretende-se compreender os processos que moldam a distribuição espacial dessa espécie e prever como ela pode responder a mudanças futuras no ambiente. Os resultados deste estudo contribuem para a conservação da biodiversidade e o manejo de ecossistemas, oferecendo subsídios para a criação de estratégias e ações preventivas contra invasões biológicas, promovendo, em acréscimo, a inclusão social, por meio de tomadas de opinião.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES – CAPÍTULO 1

| | | |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - | <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) corola azul roxo profundo e brilhante ou violeta ocasionalmente lilás pálido, um lábio, geralmente o superior; poderia ser mais pálido que o outro, com variação na cor branca (Sidwell, 1998) | 25 |
| Figura 2 - | Total de registros de ocorrências da <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., em cada uma das 23 nações com registros no continente africano..... | 29 |
| Figura 3 - | Registros de ocorrências na África de <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth..... | 30 |
| Figura 4 - | Análise de registros das ocorrências por ano, nos períodos de 1841-1850, 1851-1900, 1901-1950, 1951-2000, 2001-2023, e os quartis com mediana..... | 31 |
| Figura 5 - | Registros de ocorrências da <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., como espécie exótica, no Brasil, Austrália, Estados Unidos da América e Japão, entre 1975 e 2024..... | 32 |
| Figura 6 - | Análise de registros de <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., por ano (Brasil Austrália EUA e Japão), nos períodos de 1975-2024, e os quartis com mediana..... | 33 |
| Figura 7 - | Registros de ocorrências de <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., no Brasil entre os anos de 1975 e 2024..... | 35 |
| Figura 8 - | Registros de ocorrências de <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., no Brasil..... | 36 |
| Figura 9 - | Registros de ocorrências da <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., na Austrália entre os anos de 1996 e 2023..... | 37 |
| Figura 10 - | Registros de ocorrência da <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth na Austrália..... | 38 |
| Figura 11 - | Registros de ocorrências de <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., nos Estados Unidos da América..... | 40 |
| Figura 12 - | Registros de ocorrências de <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., no Japão..... | 41 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES – CAPÍTULO 2

| | | |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - | Destaque da área de estudo..... | 64 |
| Figura 2 - | Registro de ocorrência em Ubatumirim, em Ubatuba/SP..... | 68 |
| Figura 3 - | a) fotografia do fruto da <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth após dispersão, efetuada durante saída de campo em Ubatuba. (b) imagem do fruto para análise da curvatura de abertura da capsula, (c) sementes com tricomas (pelos) sobre a sua área de cobertura..... | 69 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES – CAPÍTULO 3

| | | |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1 - | Imagens da <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., efetuadas em campo: (A) folhas simples e opostas, (B) folhas flores e frutos, (C) detalhe da floração, (D) segmento do fruto tipo capsular com retináculos após dispersão de sementes. Efetuados em laboratório: (E) fruto tipo capsula com abertura aproximada de 45° (dispersão por balística) e (F) semente discoide com tricomas (pelos)..... | 100 |
| Figura 2 - | Polígono para análise e determinação da curvatura em barra aluvial. ao longo do rio Itapanhaú (Bertioga, SP)..... | 101 |
| Figura 3 - | Registros de ocorrências da <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth. em quadrantes – margem e salinidade. Áreas A, B, C E D, 44,64% dos registros de ocorrências da espécie em trecho do rio Itapanhaú (Bertioga, SP) | 103 |
| Figura 4 - | Registros de ocorrências da <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., (A, B, C E D. Imagens E, F e G destaque para as curvaturas do trecho do Rio Itapanhaú em Bertioga(SP, Brasil)..... | 104 |
| Figura 5 - | Comparação da distribuição dos registros de ocorrência de <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth), em distância (metros) do ponto inicial em relação as duas diferentes faixas de salinidade... | 105 |

Figura 6 - Registros de ocorrências da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., por características físicas e morfológicas do rio Itapanhaú nas margens esquerda e direita pela média de salinidade..... 106

LISTA DE MAPAS - CAPÍTULO 1

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Mapa 1 - | Registros de ocorrências da <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth, na África, Ásia, América do Norte e Sul, Oceania e ilhas do Pacífico..... | 28 |
| Mapa 2 - | Registros de ocorrências de <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., no continente africano (nativa) e continentes (não nativa) na zona intertropical, destaque para os registros de ocorrência fora da zona intertropical..... | 34 |
| Mapa 3 - | Classificação climática de Köppen-Geiger (2018) climas abrangentes nos locais com registros de ocorrências e sinalizados na legenda..... | 43 |

LISTA DE MAPAS - CAPÍTULO 2

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Mapa 1 - | Unidades de Conservação na zona costeira do Estado de São Paulo..... | 67 |
| Mapa 2 - | Mapa de calor (Kernel) da área de estudo da <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth..... | 75 |
| Mapa 3 - | Frota de veículos e malha viária (rodovias e estradas) da zona costeira do Estado de São Paulo..... | 80 |

LISTA DE MAPAS - CAPÍTULO 3

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Mapa 1 - | Localização e detalhes do trecho do Rio Itapanhaú e seus afluentes localizado em Bertioga (SP, Brasil)..... | 99 |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

LISTA DE TABELAS – CAPÍTULO 1

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Classificação climática de Köppen (2018) nos locais com registros de ocorrências de <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., na África, Ásia, Austrália e Brasil..... | 42 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

LISTA DE TABELAS – CAPÍTULO 2

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Rodovias e estradas nas localidades de estudo da <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth..... | 70 |
| Tabela 2 - Frota de veículos por municípios (dados até 2022) | 71 |
| Tabela 3 - Registros de ocorrências de <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., nas regiões RVRLS, RMBS e RMVPLN, e área das ocorrências em km ² | 72 |
| Tabela 4 - Registros de ocorrências de <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., em número de registros e em km ² em Unidades de Conservação (UC), sem área de amortecimento e com área de amortecimento de 500 metros..... | 73 |
| Tabela 5 - Frota de veículos por região e localidades, potencial de dispersão de duas e quatro sementes de <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth., com os percentuais em relação ao total da região e do total da frota de veículos automotores da área de estudo..... | 77 |
| Tabela 6 - Rodovias na RMBS, RVRLS e RMVPLN (numeração e respectivos nomes), o número do volume médio diário (VMD), e os números estimado de sementes dispersados pelos veículos de 02 sementes e 04 sementes da <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth..... | 79 |
| Tabela 7 - Projeção de dispersão por frota de veículos automotores e veículo médio por dia nas rodovias área de estudo da <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth..... | 81 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AGRITEMPO – Sistema de Monitoramento Meteorológico e Agrometeorológico

ANA – Agência Nacional de Águas

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

APA – Área de Preservação Ambiental

APAs – Áreas de Proteção Ambientais

AR5 – Fifth Assessment Report

CABI – Commonwealth Agricultural Bureaux International

CBD – Convention on Biological Diversity

CBH BS – Comitê da Bacia Hidrográfica da Baixada Santista

CMS – Convention on Migratory Species

CEMADEM – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CEMAVE – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Aves Silvestres

CEPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CIIAGRO – Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas

CONABIO – Comissão Nacional da Biodiversidade

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica

DER – Departamento de Estrada de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EEl – Espécies Exóticas Invasoras

EPSCG – European Petroleum Survey Group

EUA – Estados Unidos da América

FENABRAVE – Federação Nacional de Distribuidores de Veículos Automotores

GBIF – Global Biodiversity Information Facility

GIS – Geographic Information System

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPBES - The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

IUCN – International Union for Conservation of Nature’s

MMA - Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

PERB – Parque Estadual Restinga de Bertiooga

PESM – Parque Estadual Serra do Mar

PPT – Partes Por Trilhão

RDC – República Democrática do Congo

RCPs – Representative Concentration Pathways

RM – Região Metropolitana

RMBS – Região Metropolitana da Baixada Santista

RMVPLN – Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte

RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural

RVRLS – Região do Vale do Ribeira e Litoral Sul

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SEMIL – Secretaria de Meio Ambiente, infraestrutura e logística

SENATRAN – Secretaria Nacional de Trânsito

SIG – Sistema de Informações Geográfica

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

SRES – Special Report on Emissions Scenarios

UC – Unidade de Conservação

UTM - Módulo de Rastreamento Urchin

VMD – Volume Médio Diário

WFO – The World Life Online

SUMÁRIO

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| CAPÍTULO 1 DA ÁFRICA PARA O MUNDO – DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE | |
| <i>BRILLANTAISIA LAMIUM</i> (NESS) BENTH..... | 20 |
| 1.1 INTRODUÇÃO | 23 |
| 1.2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 25 |
| 1.2.1 Obtenção de Dados | 25 |
| 1.3 RESULTADOS..... | 27 |
| 1.3.1 Distribuição da <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth - Nativa da África.. | 27 |
| 1.3.2 Distribuição Não Nativa pelo Mundo | 31 |
| 1.3.2.1 Registros da Distribuição na América do Sul - Brasil..... | 35 |
| 1.3.2.2 Registros da Distribuição na Oceania - Austrália..... | 37 |
| 1.3.2.3 Registros de Distribuição na Ásia e América do Norte | 39 |
| 1.3.3 Distribuição na Zona Intertropical (Pantropicalismo) | 41 |
| 1.4 DISCUSSÃO | 44 |
| 1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 54 |
| REFERÊNCIAS..... | 55 |
| CAPÍTULO 2 DISTRIBUIÇÃO DE <i>BRILLANTAISIA LAMIUM</i> PRÓXIMO À ÁREAS | |
| PROTEGIDAS NA REGIÃO COSTEIRA DE SÃO PAULO: MALHA VIÁRIA | |
| COMO POTENCIAL VIA DE DISPERSÃO | 61 |
| 2.1 INTRODUÇÃO | 64 |
| 2.2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 66 |
| 2.2.1 Área de Estudo | 66 |
| 2.2.2 <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth..... | 68 |
| 2.2.3 Malha viária e frota de veículos..... | 70 |
| 2.3 RESULTADOS..... | 72 |
| 2.4 DISCUSSÃO | 82 |
| 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 86 |
| REFERÊNCIAS..... | 87 |

| | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------|
| CAPÍTULO 3 PRIMEIROS REGISTROS DE <i>BRILLANTAISIA LAMIUM</i> EM UM RIO COSTEIRO DE SÃO PAULO: INFLUÊNCIA DA HIDROGEOMORFOLOGIA E SALINIDADE NA DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE | | 92 |
| 3.1 | INTRODUÇÃO | 95 |
| 3.2 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 98 |
| 3.2.1 | Área de Estudo | 98 |
| 3.2.2 | Registros de <i>Brillantaisia lamium</i> (Ness) Benth. | 99 |
| 3.2.3 | Morfologia do Rio | 100 |
| 3.2.4 | Análise de Dados..... | 101 |
| 3.3 | RESULTADOS..... | 103 |
| 3.4 | DISCUSSÃO | 107 |
| 3.5 | PERSPECTIVAS FUTURAS | 112 |
| REFERÊNCIAS..... | | 113 |
| CONSIDERAÇÕES GERAIS | | 117 |
| REFERÊNCIAS GERAIS | | 118 |

**CAPÍTULO 1 DA ÁFRICA PARA O MUNDO – DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE
BRILLANTAISIA LAMIUM (NESS) BENTH.**

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho é compreender a dinâmica da distribuição da espécie *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., em seus habitats de origem na África Central e Ocidental. Além disso, busca-se identificar os mecanismos e fatores que propiciaram a dispersão desta espécie para outras regiões do globo, analisando os diferentes contextos ecológicos e geográficos envolvidos nesse processo. Os dados foram filtrados e georreferenciados para gerar mapas de distribuição. A análise considerou fatores como clima (utilizando a classificação de Köppen-Geiger) e tipo de habitat. O software QGIS foi utilizado para a visualização e análise espacial dos dados. A análise de registros históricos e recentes revelou uma distribuição geográfica surpreendentemente ampla para a espécie, que se estende além de sua região nativa. A distribuição da espécie em regiões tropicais da América do Norte, América do Sul, Ásia, Oceania e ilhas do Pacífico indica que sua dispersão foi impulsionada pelo comércio internacional, turismo e pela alteração de habitats (desmatamento), sugerindo uma distribuição Pantropical. A invasão de áreas de vegetação nativa por *Brillantaisia lamium* representa uma ameaça significativa para a biodiversidade. Compreender os mecanismos de dispersão dessa espécie e seus impactos ecológicos é fundamental para a conservação de ecossistemas naturais e o desenvolvimento de medidas eficazes de controle.

Palavras-chave: desequilíbrio ecológico, colonização por espécie exóticas, impactos ecológicos e conservação da biodiversidade, espécies invasoras.

ABSTRACT

This study main objective of this study is to understand the dynamics of the distribution of the species *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., in its habitats of origin in Central and West Africa. In addition, we seek to identify the mechanisms and factors that led to the dispersion of this species to other regions of the globe, analyzing the different ecological and geographic contexts involved in this process. The data were filtered and georeferenced to generate distribution maps. The analysis considered factors such as climate (using the Köppen-Geiger classification) and habitat type. The QGIS software was used for visualization and spatial analysis of the data. The analysis of historical and recent records revealed a surprisingly wide geographic distribution for the species, which extends beyond its native region. The species distribution in tropical regions of North America, South America, Asia, Oceania and the Pacific Islands indicates that its dispersion was driven by international trade, tourism and habitat alteration (deforestation), suggesting a pantropical distribution. The invasion of native vegetation areas by *Brillantaisia lamium* represents a significant threat to biodiversity. Understanding the dispersal mechanisms of this species and its ecological impacts is essential for the conservation of natural ecosystems and the development of effective control measures.

Keywords: ecological imbalance, invasive alien species, colonization by exotic species, environmental impacts, biodiversity conservation

1.1 INTRODUÇÃO

Brillantaisia lamium (Ness) Benth., da família Acanthaceae, é nativa da África Ocidental e Central (Nees Von Esenbeck, 1847; Sidwell, 1998). A família é amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais, com centros de diversidade nas Américas, África (incluindo Madagascar) e partes da Ásia (Tripp; Mcdade, 2014). A conversão de áreas florestais para agricultura e outras atividades humanas, no continente africano, tem reduzido a sua área de distribuição natural (Beentje, 2017). Etiópia, Quênia e Tanzânia, consideram a espécie como não nativa em seus respectivos territórios (Witt; Luke, 2017).

A introdução e dispersão de espécies exóticas são frequentemente associadas a atividades como agricultura, criação de animais, turismo, recreação em áreas naturais, comércio de plantas ornamentais, transporte marítimo e aéreo, que facilitam a colonização e estabelecimento de espécies exóticas em novos ecossistemas, no entanto, o estabelecimento e colonização envolvem outros processos ecológicos mais complexos. (Heiden; Lía Barbieri; Regina Tempel Stumpf, 2006; Pickering; Ansong, 2022). Uma análise aprofundada de 60 anos de dados comerciais internacionais entre 147 países, revelou que o volume de exportações é um forte preditor da disseminação de plantas exóticas em escala global. Esses resultados evidenciam o papel crucial do comércio na introdução de espécies invasoras e seus impactos negativos sobre a biodiversidade, podendo variar conforme a compatibilidade climática entre as regiões envolvidas (Hulme, 2021). As invasões biológicas são fenômenos complexos, influenciados por uma série de variáveis que interagem de forma única em cada local. A escassez de dados em grandes escalas temporais e espaciais, abrangendo múltiplas espécies e habitats, restringe a construção de modelos preditivos robustos. Ademais, os impactos das espécies exóticas sobre a biodiversidade e os meios de subsistência variam consideravelmente entre as regiões, sendo moldados por fatores socioeconômicos, culturais e perceptuais (Essl; Lenzner; Bacher et al., 2020; Seebens; Blackburn; Dyer et al., 2017).

A ameaça das espécies exóticas que se tornam invasoras é cada vez mais evidente em todas as partes do globo e as projeções indicam um cenário ainda mais preocupante no futuro (IPBES, 2023), podendo atingir prejuízos inimagináveis, da ordem de trilhões de dólares por ano, na próxima década (Diagne; Leroy; Vaissière et al., 2021). As rápidas mudanças climáticas, o uso intenso do solo e as invasões

biológicas estão gerando dinâmicas espaciais complexas e em rápida evolução em diversos fragmentos de paisagem (Hobbs; Higgs; Hall et al., 2014). Conseqüentemente, a diminuição da capacidade da natureza de fornecer benefícios essenciais para a humanidade, como a provisão de alimentos, a regulação do ciclo hidrológico e a manutenção da biodiversidade. Os custos associados a essa degradação ambiental são distribuídos de forma desigual, recaindo desproporcionalmente sobre as populações mais pobres e marginalizadas (Díaz; Settele; Brondízio et al., 2019). Para isso, deve-se definir uma ordem de importância para as ações que visam reduzir os potenciais impactos futuros causados por espécies invasoras, considerando os objetivos do Quadro Global da Biodiversidade Pós-2020 (CBD, 2022) e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, Agenda 2030 (ONU, 2016).

Este presente estudo examina a distribuição de ocorrências em bases de dados digitais da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., em sua área origem na África Central e Ocidental, sob diferentes contextos e contrastes e, sua dispersão para países das Américas, Ásia, Oceania e ilhas do Pacífico.

Nossas análises, abordaram a distribuição da espécie em sua área de origem (nativa), seu estado de conservação segundo a IUCN – Red List, e a dispersão para outras localidades (continentes, países e regiões) como não nativa (espécie exótica). Além disso, foi investigada a frequência de registros de ocorrência ao longo do tempo, a relação entre a distribuição da espécie e as zonas climáticas globais.

A presença da espécie nos países analisados foi confirmada em áreas protegidas, entornos de rodovias e áreas urbanizadas. O comércio internacional, o turismo e o desmatamento emergem como potenciais vetores, facilitando a introdução e a propagação da espécie em novos habitats. A compreensão da distribuição geográfica de *B. lamium* é fundamental para a elaboração de estratégias eficazes de conservação e para prever sua expansão em novas áreas. Os resultados deste estudo apontam para a necessidade de considerar a implementação de programas de monitoramento e manejo adequados para esta espécie, tanto em suas regiões de origem quanto nas áreas onde foi introduzida.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Obtenção de Dados

Os dados de taxonomia, dispersão e registros de ocorrências de espécie *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. (Figura 1), foram pesquisados em diversas fontes, incluindo base de dados *on line*, artigos revistos por pares, relatórios, publicações científicas, livros, dissertações e teses. O nome da espécie seguiu a lista de espécies descrita em The World Flora Online (WFO, 2023), Catalogue of Life, fornecendo as referências taxonômicas mundiais mais abrangente para plantas.



Figura 1 – Variações da cor da corola de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. A – Lilás pálida. B - Roxo-azulada. C – Branca. Notar lábio superior mais pálido que o inferior em A e B, como descrito por Sidwell (1998).

Fonte: Imagens próprias do autor.

A distribuição de *Brillantaisia lamium* foi mapeada com base em dados de ocorrência compilados em plataformas *on line* de acesso aberto, tais como Global Biodiversity Information Facility – GBIF, SpeciesLink e World Flora Online. Primeiramente a busca foi feita pelo nome científico *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., sem outras anotações, obtendo-se os registros de ocorrências já registradas e datas de coleta ou registros fotográficos (GBIF, 2024) no mundo. Em uma segunda etapa, os registros foram extraídos aplicando os filtros, nome científico, continente e país. Embora este estudo tenha como objetivo a dispersão da espécie, também foi consultado o banco de dados da International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species – IUCN (Beentje, 2017), como indicador crítico da conservação da espécie em seus locais originários.

No caso de múltiplos registros de ocorrências na mesma localidade e com dados idênticos, porém em listas diferentes, foi mantido apenas os primeiros registros, ou os registros de fontes de alta qualidade, com espécies preservadas, em grandes

bases dados com elevado grau de normalização (Reflora, 2023; GBIF, 2024; Instituto Hórus, 2023; WFO, 2023). Os dados que não possuíam as coordenadas (latitude e longitude) completas, com graus, minutos e segundos, não foram considerados na análise. Após a compilação dos dados, priorizou-se a padronização dos nomes de países, estados e localidades para garantir a consistência e a integridade dos dados geográficos: 100% dos dados possuíam o nome do país e estado; 80% dos registros possuíam o nome da localidade (município, aldeia e ou distrito). As datas dos registros, não estavam devidamente padronizadas no formato dia/mês/ano, assim apenas o ano foi considerado.

As Ilhas de Reunião e Hawaii, no oceano Índico (próximo ao continente africano) e Oceano Pacífico respectivamente, foram consideradas de forma independente de seus politicamente relacionados países continentais (França e Estados Unidos da América), dentro de outra região climática, ou biogeográfica. Apenas a Ilha de Okinawa, no Arquipélago de Ryukyu, manteve-se de forma dependente politicamente de seu país, o Japão, por estar na mesma região climática e biogeográfica. O país insular, São Tomé e Príncipe e a Ilha Bioko (Guiné Equatorial), seguiram as mesmas classificações que os países continentais africanos.

Os dados sobre o clima, nos locais de registro das ocorrências da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., em todos os continentes, foram retirados da Classificação Climática de Köppen-Geiger 2018 (Beck; Mcvicar; Vergopolan et al., 2023). As nomenclaturas dos tipos climáticos são compostas de letras maiúsculas e minúsculas, cuja combinação apresenta a primeira letra maiúscula, sendo o grupo climático (tropical, seco, temperado, continental e polar), a segunda letra (minúscula) representa o tipo de precipitação sazonal, e a terceira letra o nível de calor.

Para o processamento de dados espaciais, foi utilizado o QGIS (3.34), sistema de informações geográfica com código aberto, permitindo a execução de análises geoespaciais avançadas e a geração de mapas temáticos (Mapa 2), o que por sua vez facilitou a visualização dos resultados. Para a representação matemático-teórica da superfície da Terra ao nível do mar cartograficamente, foi usado o sistema de coordenadas EPSG: 4674, fuso 23Sul e Datum SIRGAS 2000.

Baseados em Richardson et al. (2000), classificamos os resultados dos registros de ocorrências da espécie como nativas ou não nativas. Essa classificação se baseia no fato de que a espécie foi descrita pela primeira vez em 1847 como nativa da África. Assim, os resultados serão apresentados em duas partes: a primeira aborda

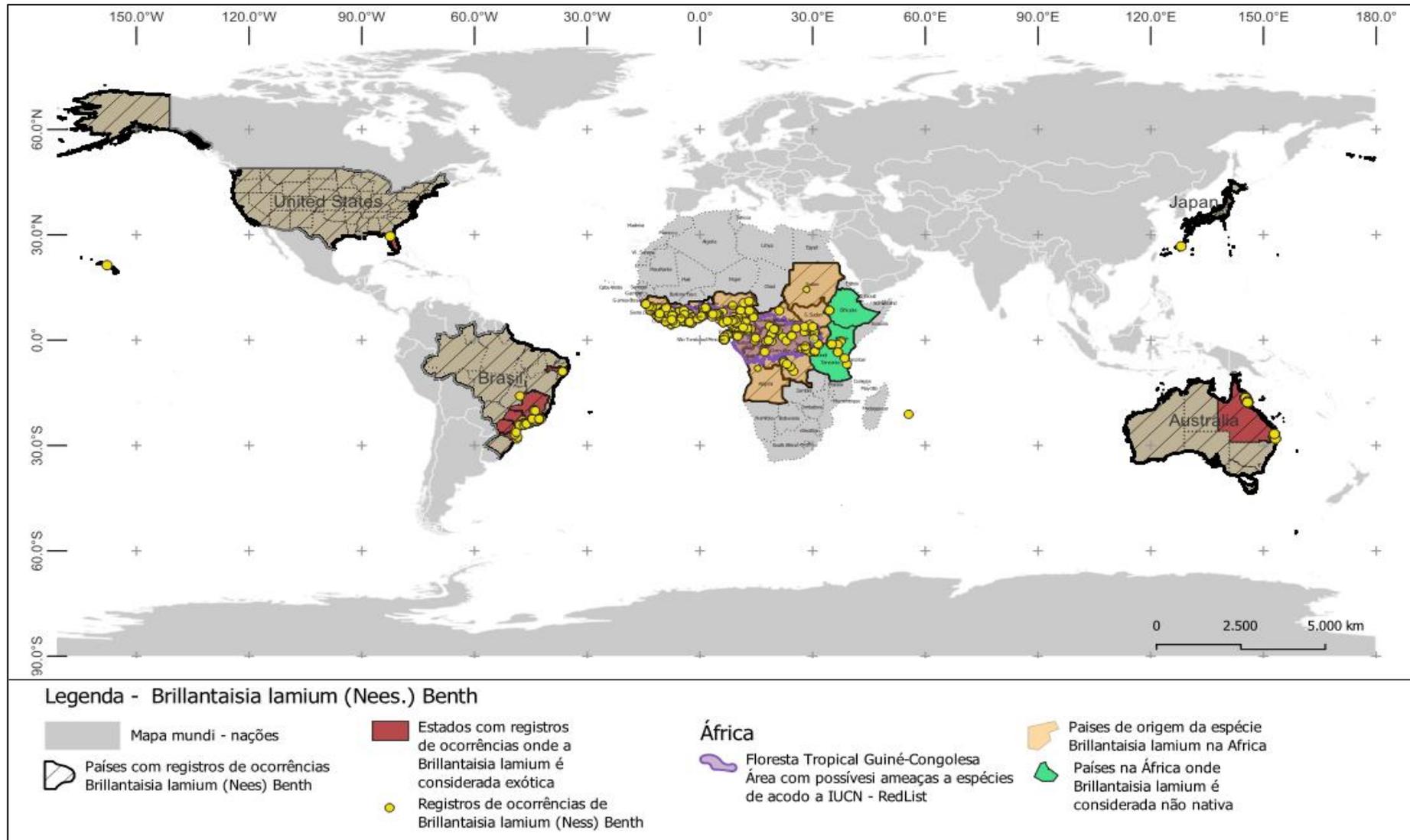
a distribuição da espécie em seu continente de origem, e a segunda se concentra em suas ocorrências em outras regiões onde foi introduzida (Palisot De Beauvois, 1818; Sidwell, 1998).

1.3 RESULTADOS

Brillantaisia lamium (Ness) Benth. apresenta uma distribuição geográfica ampla e Pantropical, com 578 registros de ocorrência em quatro continentes: África, Ásia, América e Oceania (Mapa 1). A África concentra o maior número de registros de ocorrências da espécie, com 68,16%, evidenciando sua origem e centro de diversidade *Brillantaisia* nesse continente. Os demais continentes abrigam 31,16% dos registros de ocorrências, indicando uma ampla dispersão da espécie para outras regiões do globo, possivelmente mediada por atividades humanas (Mapa 1). A distribuição geográfica da espécie revela um padrão marcadamente Pantropical, com uma concentração impressionante de 93,26% de seus registros localizados na zona intertropical. Essa concentração indica uma forte adaptação da espécie às condições climáticas e ecológicas típicas das regiões tropicais e subtropicais do planeta.

1.3.1 Distribuição da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth - Nativa da África

Foram evidenciados 394 registros de ocorrências em 23 países no continente africano, circunscrita, ou especialmente na África Ocidental, Central e Austral, sendo 341 dos registros em 21 países continentais e 53 registros em países insulares africanos, São Tomé e Príncipe, Reunião e na ilha Bioko, pertencente a Guiné Equatorial, foram consideradas no grupo de Insulares. A distribuição de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. (Mapa 1), houve uma grande disparidade na quantidade de registros de ocorrências entre os países, com um mínimo de 1 e um máximo de 72 registros.



Mapa 1 – Registros de ocorrências da *Brillantaisia lamium* (Nees.) Benth, na África, Ásia, América do Norte e Sul, Oceania e ilhas do Pacífico
 Fonte: Limites de setores (IBGE,2022 e Datageo 2022). Sistemas de coordenadas EPSG: 4674, fuso 23Sul e Datum SIRGAS 2000. Elaborado cartograficamente pelo autor

O primeiro quartil dos registros de ocorrências por países foi de 4,5, o segundo quartil (mediana) foi de 7 registros e o terceiro quartil foi de 21 registros (Figura 2). Isso indica que metade dos países tiveram menos de 7 registros e 75% tiveram menos de 21 registros. Vale destacar que um grupo menor de países 25%, tiveram acima de 21 registros de ocorrências.

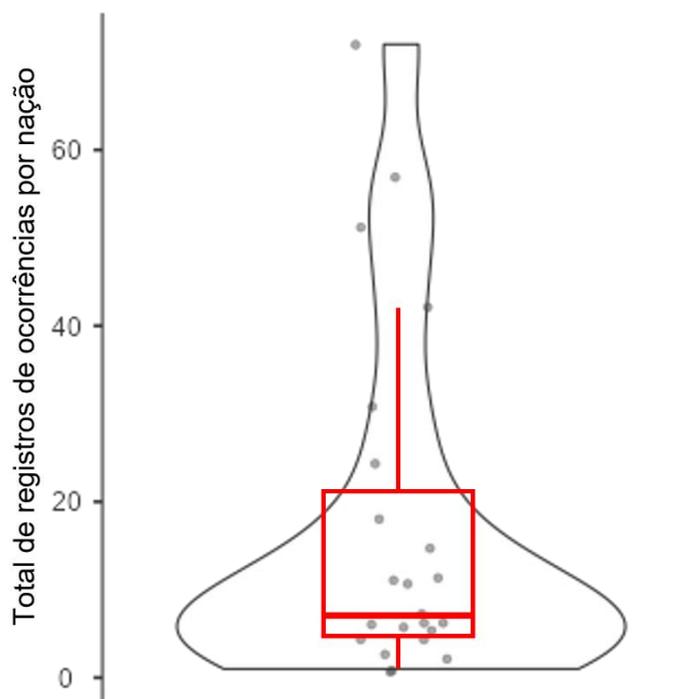


Figura 2 – Total de registros de ocorrências da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., em cada uma das 23 nações com registros no continente africano.

Fonte: Elaborado pelo autor

Os países com maiores registros de ocorrências foram, República Democrática do Congo com 72 registros, seguido por, Camarões (57 registros), São Tome e Príncipe (51 registros), Costa do Marfim (42 registros), Nigéria (31 registros), Libéria (24 registros), Guiné (18 registros), Togo (15 registros), Serra Leoa, Tanzânia e Quênia (11 registros cada país), Gana (7 registros), República do Congo, Gabão, Guiné Equatorial e República Centro-Africana (6 registros cada país), Etiópia (5 registros), Benin e Burundi (4 registros cada país), Uganda (3 registros), Sudão, Reunião e Angola (2, 1 e 1 registros respectivamente) (Figura 2).

O Bioma Floresta Guine-Congolesa Bacia do Congo e terras baixas da África Ocidental, concentrou 69,27% dos registros de ocorrências no continente. Um

corredor árido no Benin e Togo, separa a floresta em duas áreas. A menor área, a noroeste do Golfo da Guiné (Benin, Costa do Marfim, Gana, Guiné, Libéria, Serra Leoa e Togo) teve 41,62% das ocorrências, enquanto a área do Sudeste do Golfo da Guiné (Camarões, Nigéria, República Democrática do Congo e República do Congo) com 58,38% dos registros. Outra análise dos mapas cartográficos em coordenadas UTM revelou que 28,3% dos registros estão até 100 km da linha costeira. As ilhas Reunião, São Tomé e Príncipe, e Bioko (pertencente a Guiné Equatorial) foram considerados todos os registros de ocorrências, devido à sua dimensão (menor de 100km entre suas extremidades). Vale destacar que Etiópia, Quênia e Tanzânia, consideram a espécie *Brillantaisia lamium*, como não nativa em seus territórios (Figura 3).

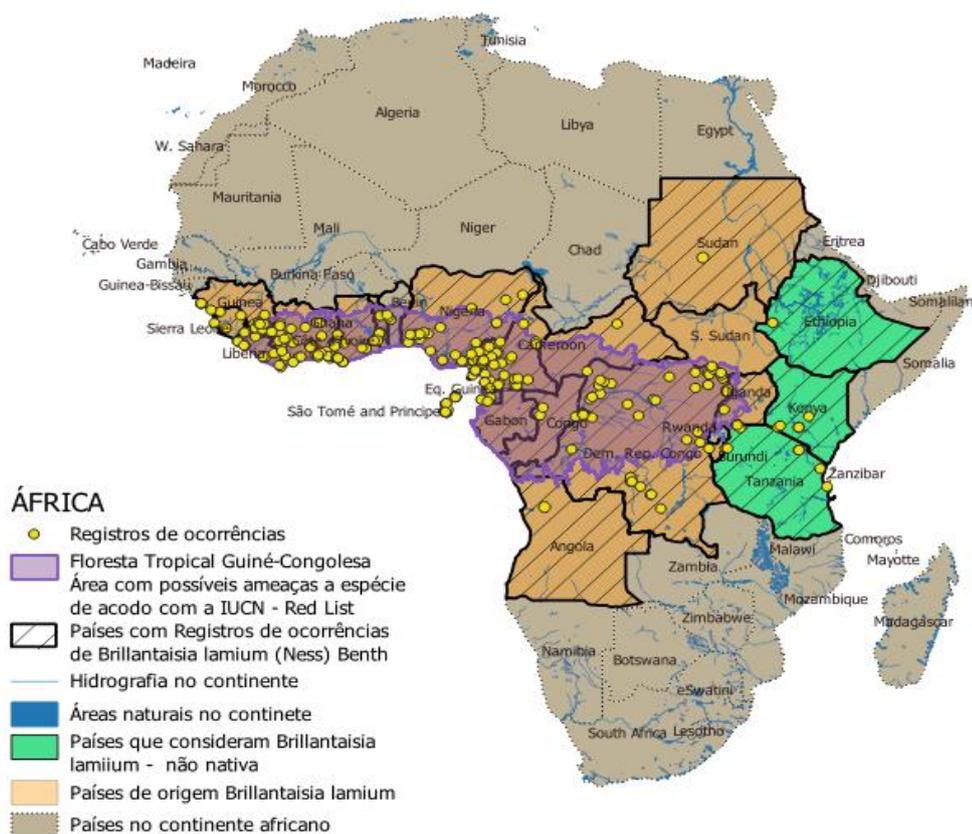


Figura 3 – Registros de ocorrências na África de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth.
Fonte: elaborado pelo autor

O Golfo da Guiné está localizado na costa ocidental da África no oceano Atlântico e, é partilhado por Benin, Camarões, Costa do Marfim, Gabão, Gana, Guiné Equatorial, Nigéria, São Tomé e Príncipe e Togo, com 55,58% dos registros do continente africano. Os rios Niger, Volta e Congo deságuam na reentrância do golfo.

Na compilação dos registros de ocorrências, descritos por pesquisadores, 26,08% dos países (Camarões 1971 - 1984 - 1995 - 1998, Costa do Marfim 1956 - 1963 - 2001, Etiópia 2013, Nigéria 1977, República Democrática do Congo - 1941, e São Tomé e Príncipe 1991 - 1992 - 2008) a espécie está presente em plantações de café, algodão, palmeira (dendezeiro), cacau, banana e outras culturas.

Analisando a frequência anual dos registros de ocorrências na África, observa-se que 24,04% dos anos apresentaram apenas um registro, enquanto 18,27% dos anos tiveram dois registros. A frequência de três registros (8,65%), quatro registros (18,27), cinco registros (9,62%), seis registros (7,69%), sete registros (3,85%), oito registros (2,88%), de nove a quatorze registros, acumularam (6,73%). Entre 1841 e 1941, apenas em 29 anos houve registros de ocorrências, com 72% deles apresentando 1 ou 2 registros. Durante o período de 1941 a 2023, a frequência aumentou substancialmente, 91% dos anos apresentaram algum tipo de ocorrência, variando de 1 a 14 eventos por ano. A década de 1990 concentrou o maior número de registros, correspondendo a 14,21% de todos os registros em 182 anos (Figura 4).

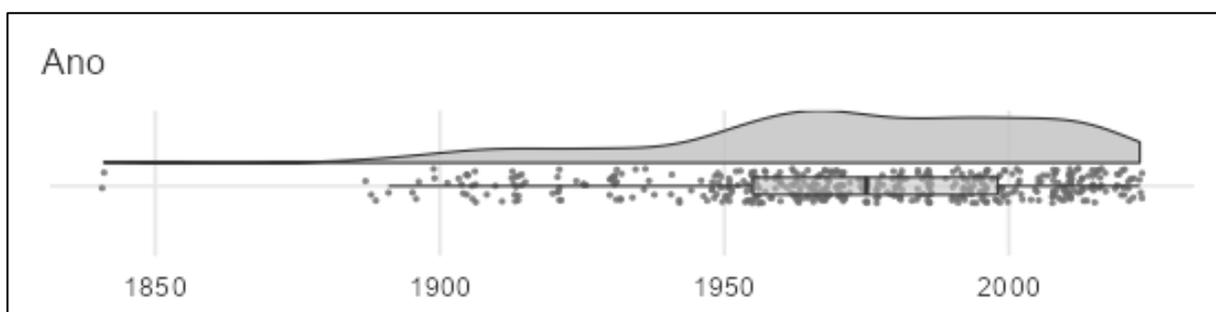


Figura 4 - Análise de registros das ocorrências de *Brillantaisia lamium* por ano na África, nos períodos de 1841-1850, 1851-1900, 1901-1950, 1951-2000, 2001-2023, e os quartis com mediana.

Fonte: Dados do GBIF International e elaboração do gráfico pelo software The jamovi project (2022). jamovi. (Version 2.3) [Computer Software].

1.3.2 Distribuição Não Nativa pelo Mundo

A *Brillantaisia lamium* (Nees) Benth., foi introduzida em outros continentes e, assume diversas classificações segundo Richardson et al., 2000, como: exótica (não nativa), naturalizada, invasora ou transformadora, refletindo a complexidade em definir seu status ecológico em cada região.

Os resultados da pesquisa nos bancos de dados do GBIF, Word Flora on line, Species Link, e Flora e Funga evidenciam a ampla distribuição geográfica de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., com 184 registros de ocorrências dispersos na América do Norte, América do Sul, Oceania e Ásia, além do arquipélago do Hawaii (território dos Estados Unidos da América no pacífico) (Mapa 2).

Nesse sentido, a distribuição geográfica da espécie concentra-se em quatro países: Brasil, Austrália, Estados Unidos e Japão. Estas nações não compartilham fronteiras terrestres entre si e, também não fazem fronteira com o continente africano, onde a espécie é nativa. O Brasil apresenta a maior diversidade de registros, com 113 registros de ocorrências, seguido pela Austrália com 68 (Figura 5). Os Estados Unidos e o Japão, por sua vez, possuem menos registros, com 2 e 1 registros de ocorrência, respectivamente. A distribuição espacial dos registros mostrou uma forte concentração em ambientes insulares e costeiros, representando 96,78% do total. Apenas uma pequena parcela (3,22%) foi registrada em áreas continentais a mais de 100 km do litoral, todas localizadas no Brasil.

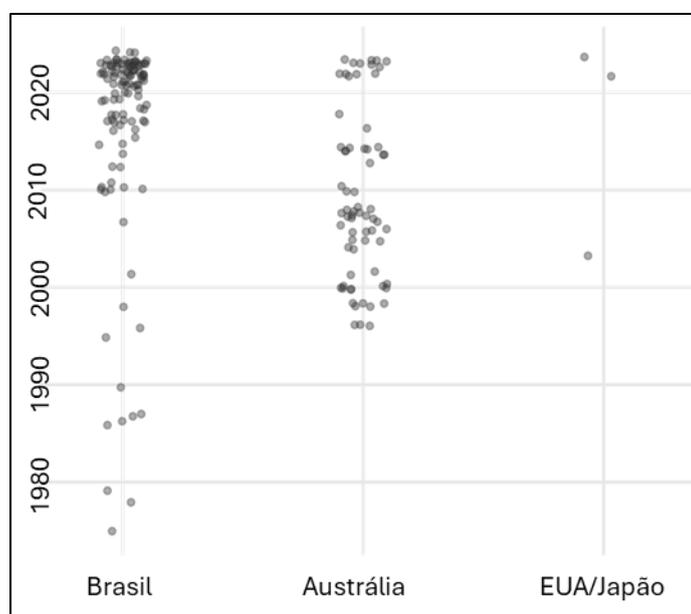


Figura 5 - Registros de ocorrências da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., como espécie exótica, no Brasil, Austrália, Estados Unidos da América e Japão, entre 1975 e 2024.

Fonte: Elaborado pelo autor no software The jamovi project (2022) (Version 2.3), R: (Version 4.1)

A distribuição de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., como exótica de acordo com Richardson et al., 2000, apresentou uma diferença entre os países não africanos, variando entre 1 e 35 registros por ano/país. Para todos os 4 países, com registros únicos por ano, obtivemos 19 registros de ocorrências (mediana 3,5 por nação), enquanto países com mais de 2 registros por ano, foi de 165 registros (mediana 6 por nação).

Analisando a frequência anual dos registros, observa-se que a maior parte dos anos (53,3%) apresentou 1 ou 2 registros de ocorrências. A frequência de registros aumentou significativamente após 2000, representando 87,63% do total. A década de 2020, já registrou 80 registros de ocorrências, equivalente a 50% dos registros, destacando o Brasil com 67 registros (Figura 6).

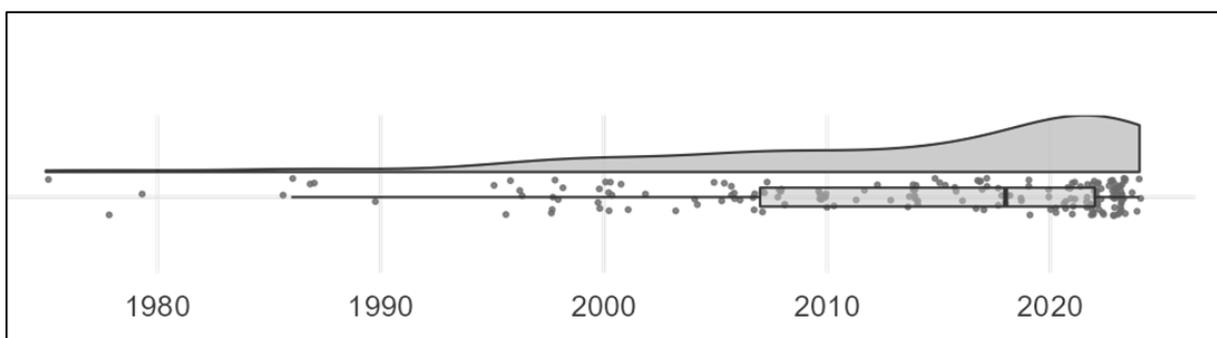
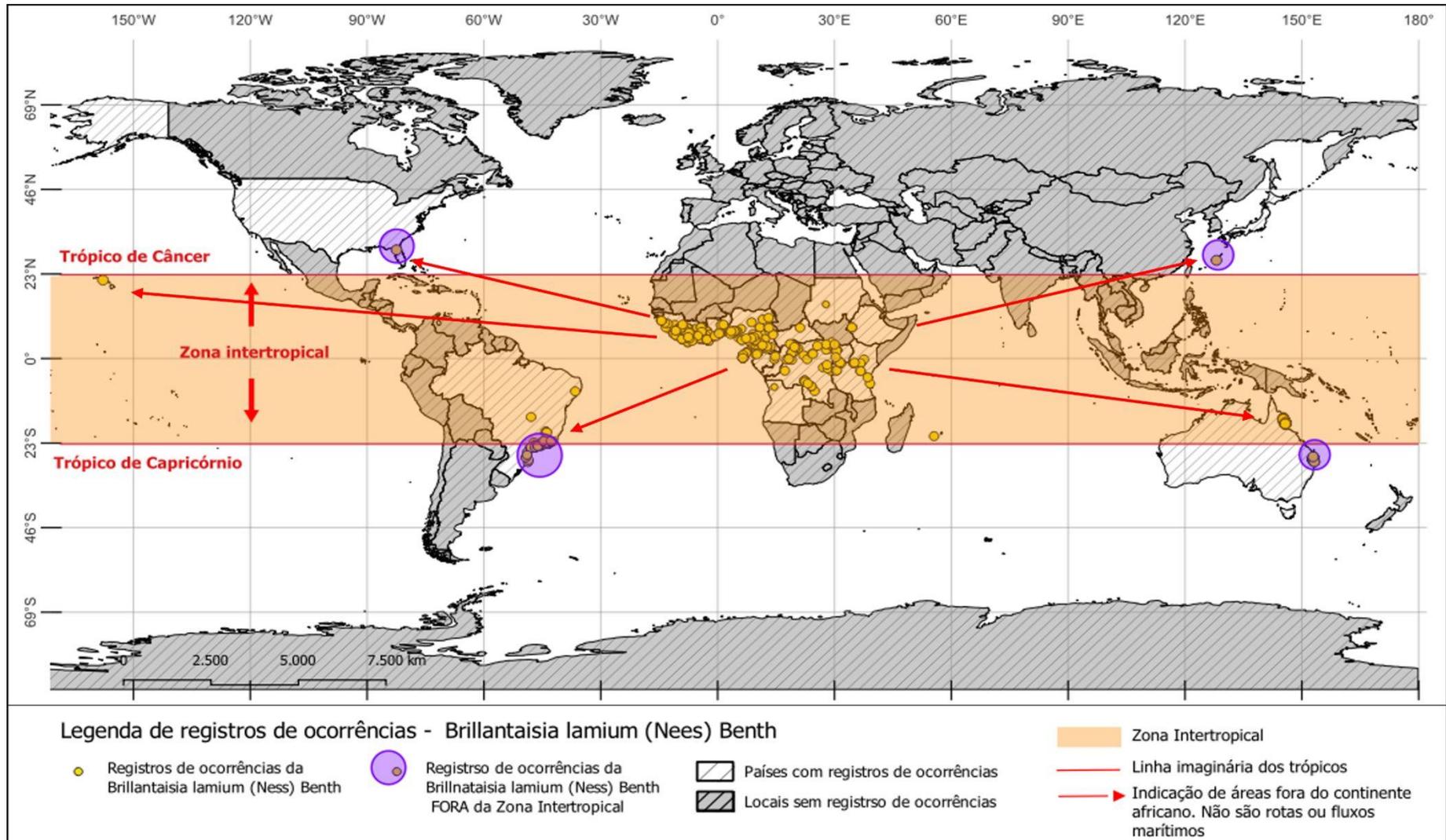


Figura 6 - Análise de registros de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., por ano (Brasil, Austrália, EUA e Japão), nos períodos de 1975-2024, e os quartis com mediana.

Fonte: Dados do GBIF International e elaboração do gráfico pelo software The jamovi project (2022). jamovi. (Version 2.3) [Computer Software].

A região entre os trópicos de Câncer e Capricórnio (aproximadamente 23° N e -23° S) apresentou a maior concentração de registros de ocorrências, totalizando 394 registros no continente africano. Nos outros continentes, foram registradas 143 ocorrências dentro da Zona Intertropical e 41 fora dela. Dentre os países com registros externos à zona intertropical, o Brasil se destaca com 27 registros de ocorrências, seguido pela Austrália (12), Estados Unidos e Japão (um cada). Vale mencionar que, apesar de localizados fora da Zona Intertropical, esses países possuem extensas áreas sob influência de climas tropicais ou de transição (Mapa 2).



Mapa 2 - Registros de ocorrências de *Brillantaisia lamium* (Nees) Benth., no continente africano (nativa) e continentes (não nativa) na zona intertropical, destaque para os registros de ocorrência fora da zona intertropical.

Fonte: Limites de setores (IBGE, 2022 e Datageo 2022). Sistemas de coordenadas EPSG: 4674, e Datum SIRGAS 2000

1.3.2.1 Registros da Distribuição na América do Sul - Brasil

No Brasil o primeiro registro ocorreu em 1975, no estado do Rio de Janeiro. Até o ano de 1996, 90% dos registros de ocorrência foram efetuados na cidade do Rio de Janeiro. A partir de 1998, os registros de ocorrências passaram a ser feitos em diversos locais no estado do Rio de Janeiro e outros estados, sugerindo uma dispersão geográfica. A análise dos registros revela um crescimento a partir de 2016, com um aumento no número de registros de ocorrências anuais (Figura 7). A distribuição das ocorrências ao longo do ano apresentou uma clara sazonalidade. O segundo trimestre (período do outono) foi o menos ativo (5%), enquanto o quarto trimestre, período da estação primavera, concentrou 41% do total, com destaque para outubro (19 eventos). O primeiro e o terceiro trimestres apresentaram uma proporção similar (27% cada), com o último mostrando uma estabilidade de sete eventos por mês (Figura 7).

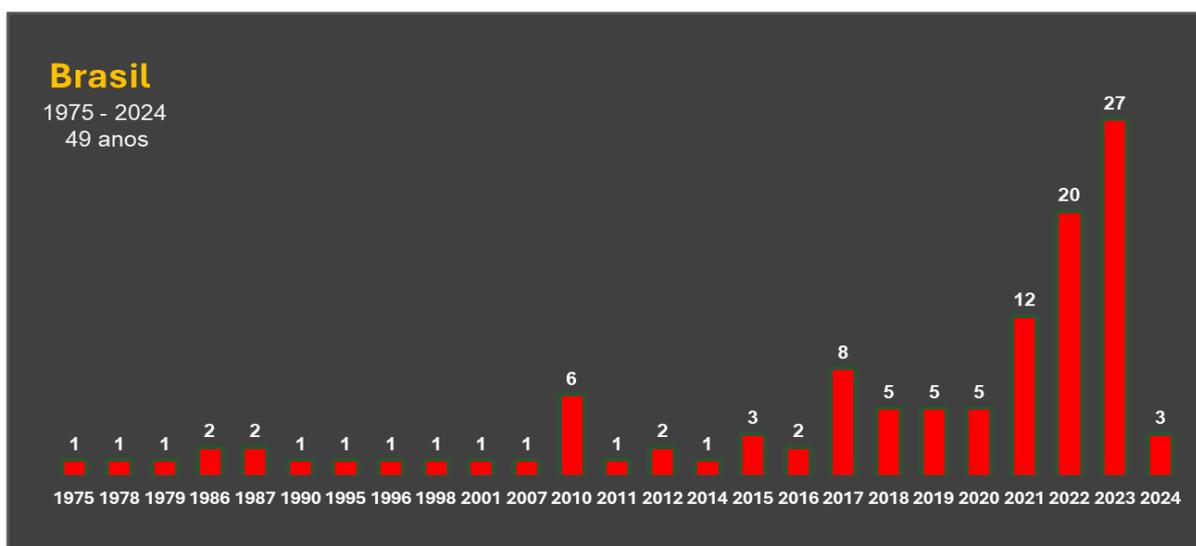


Figura 7 - Registros de ocorrências de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., no Brasil entre os anos de 1975 e 2024.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição da espécie no território brasileiro, apresenta uma clara concentração na região Sudeste, com 103 das 113 ocorrências (Figura 8), seguido pela região Sul (6 registros), Centro Oeste (1 registro) e Nordeste com (1 registro). O estado do Rio de Janeiro registrou 67 ocorrências, São Paulo (32), Minas Gerais (5) Santa Catarina (4), Distrito Federal, Paraná e Pernambuco (1 registro por estado). Além disso, 41,66% dos municípios com ocorrências estão na faixa litorânea.

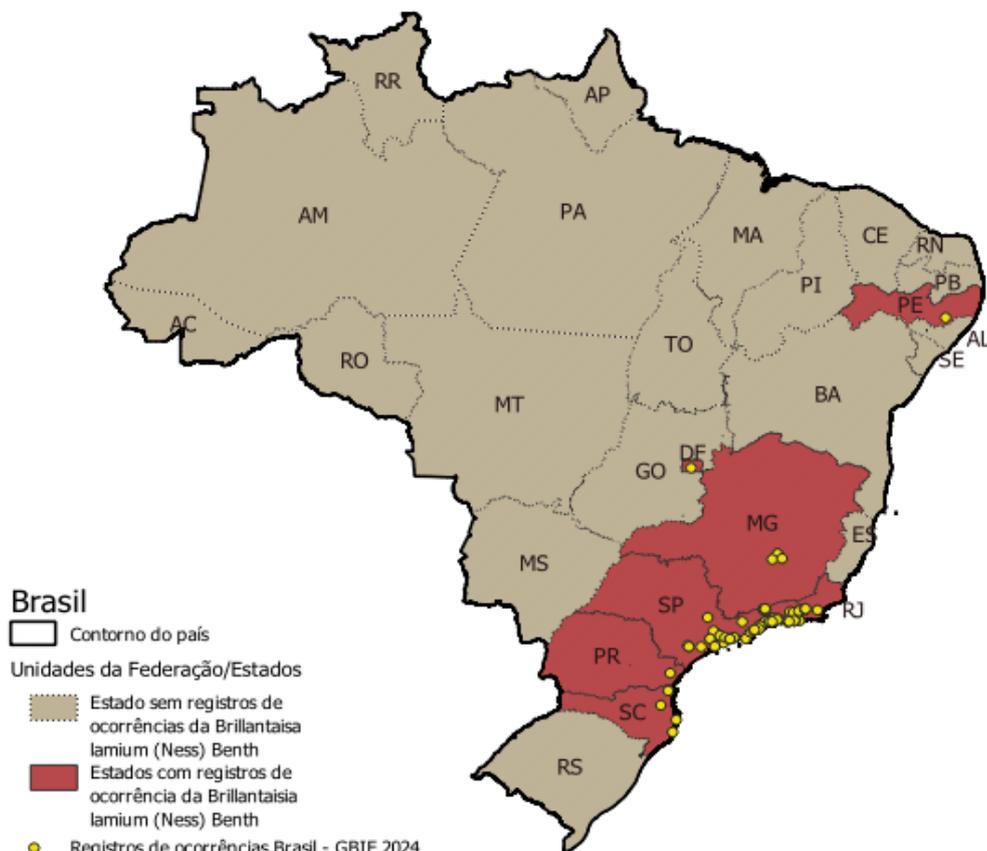


Figura 8 – Registros de ocorrências de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., no Brasil

Fonte: elaborado pelo autor

A zona intertropical concentra a maior parte dos registros brasileiros, correspondendo a 78% do total. Abrangendo do Nordeste ao Sul do Brasil, a Mata Atlântica foi o bioma com a maior concentração de registros, totalizando 93,08% do total nacional. As áreas de transição e o Cerrado concentraram o restante. De acordo com os dados coletados em campo da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. e as informações da base de dados no ICMBio (2023) e SEMIL (2020), expressivamente 82,30% dos registros de ocorrências da espécie, estão localizadas no entorno (borda) de áreas de proteção ambiental, como o Parque Nacional da Tijuca, Parque Estadual Serra do Mar – Núcleo Picinguaba, Parque Nacional da Serra dos Órgãos, Parque Nacional do Itatiaia, Parque Nacional Serra da Bocaina, Parque Estadual Carlos Botelho, Parque Estadual Xixová, Parque Estadual Restinga de Bertiooga, Parque Estadual da Pedra Branca, Reserva Ecológica do Guapiaçu, Reserva Biológica do Tinguá, além de outros parques, bosques, estações ecológicas, reservas biológicas inseridas no bioma Mata Atlântica. A maioria dos registros de ocorrências (40,70%) foram efetuados em áreas adjacentes a rios, córregos, riachos e lagos.

Os cinco registros de ocorrência da região Sul do Brasil, foram feitos em cidades servidas, pelas Rodovia Federal BR 116 (trajeto entre Cajati e Curitiba), e de Curitiba até Imbituba pela Rodovia BR 101, possibilitando ser um dos vetores da dispersão das espécies. A análise dos registros de ocorrências da espécie no eixo São Paulo-Rio de Janeiro revela uma concentração significativa em municípios cortados por rodovias de grande movimento. Especificamente, 65,48% dos casos estão localizados em áreas próximas à Rodovia Presidente Dutra (BR-116) e à Rodovia Rio-Santos (SP-55, BR 101 e BR-465). A Rodovia Presidente Dutra concentrou 40 registros, enquanto a Rio-Santos apresentou 60 eventos, evidenciando a forte associação entre a distribuição da espécie e essas importantes vias de transporte.

1.3.2.2 Registros da Distribuição na Oceania - Austrália

A Austrália, um país continental, se tornou o segundo país a registrar a presença da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., em 1996, marcando o início de sua expansão na Oceania. Todos as 68 ocorrências computadas para este país pertencem a registro feitos no Estado de Queensland, localizado no nordeste da Austrália. Ao longo de 28 anos, a frequência de eventos no país apresentou um crescimento, com mais de 60% dos anos registrando ocorrências. Embora cinco anos tenham apresentado apenas um registro, doze anos concentraram entre 2 e 9 registros. O período entre 2004 e 2008, se destaca pela tendência no aumento do número de registros de ocorrência, apresentando o maior número de anotações total (Figura 9).

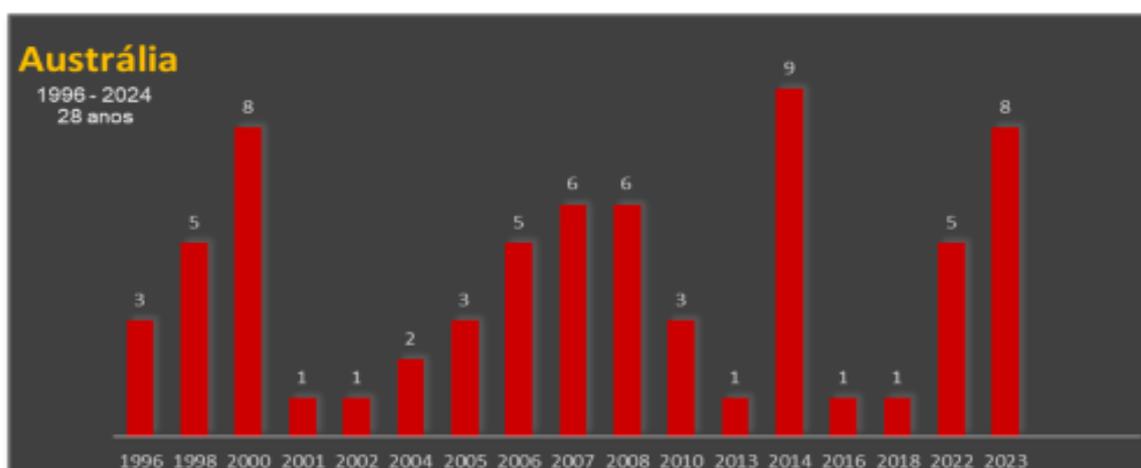


Figura 9 - Registros de ocorrências da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth, na Austrália entre os anos de 1996 e 2023.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A capital do estado, Brisbane, registrou 6 ocorrências, seguida por Whyanbeel Creek (24 registros), Cassowary Coast (23 registros), Cairns (5 registros), Sunshine Coast (4 registros), Tablelands (4 registros) e Gold Coast (2 registros).

A análise da distribuição dos registros de ocorrências em Queensland revela dois núcleos de concentração distintos. A região sul, com destaque para Brisbane, Sunshine Coast e Gold Coast, abriga 17,64% dos registros, distribuídos em áreas urbanas e antropizadas, exceto, três registros de ocorrências, registradas no interior de área de preservação ambiental (trilha) da MT. Coot-tha Reserve (Mt Coot-tha Forest) no entorno do Jardim Botânico de Brisbane. Esta região tem o clima subtropical úmido e, está localizada fora da zona intertropical. Por outro lado, a região norte, no Bioma Wet Tropics – Forest Daintree, incluindo Cairns, Cassowary Coast Tableland e Whyanbeel Creek, apresenta uma concentração maior, com 82,35% dos registros da Austrália (Figura 10).

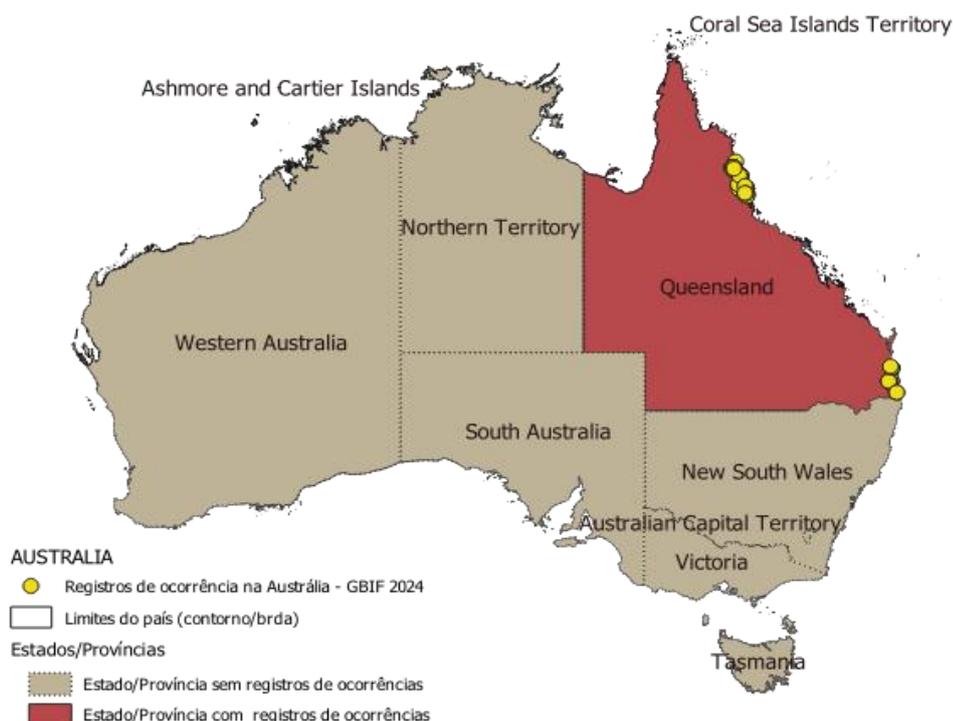


Figura 10 - Registros de ocorrência da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth na Austrália.

Fonte: Elaborado pelo autor

O clima é Tropical com variações de clima equatorial. É interessante notar que, dentre os registros de ocorrências na região norte, 34 registros foram encontrados em áreas protegidas e zonas de amortecimentos, incluindo, Daintree Rainforest (2), Daintree National Park (12), Barron Gorge Forest (1), Kuranda State Forest (2),

Peterson Creek Walking Tracks (2), The Australian Playtups Park at Tarzali Lake (1) (área privada), Babinda Boulders and Mount Barthe Frere (4) e Japoon National Park (10). Especificamente, 51,47% de todos os registros estão localizados nas bordas de rios, córregos, riachos e lagos, tanto nas regiões norte quanto sul de Queensland.

A rodovia Highway 1 (A1) contorna a costa leste de Queensland, no seu entorno foram registradas 29 ocorrências em cidades entre Brisbane e Cairns. A região Sul, apresentou nove de seus 12 registros no entorno das rodovias M1 (A1), M5, A7 e outras estradas locais. Na região norte, 40 de seus 56 registros estão localizados próximos as rodovias A1, SR52, SR25, SR44, além de rodovias não pavimentadas de acesso as reservas florestais e linhas férreas.

A distribuição dos registros de ocorrências ao longo do ano apresentou uma clara sazonalidade. O primeiro e segundo trimestre foram os menos ativos 10,29% e 14,71% respectivamente, enquanto o terceiro trimestre, concentrou 45,59% do total, com destaque para outubro período da estação primavera (31 eventos). O quarto trimestre apresentou 20 registros (ainda na estação primavera), o equivalente a 29,41%.

1.3.2.3 Registros de Distribuição na Ásia e América do Norte

Especificamente, foram registrados três eventos nesses continentes, sendo dois nos Estados Unidos da América (EUA) e um no Japão.

1.3.2.3.1 Estados Unidos da América (EUA)

Os Estados Unidos documentaram a primeira ocorrência em 2003, Gainesville, Condado de Alachua, estado da Flórida (Figura 11). Em abril de 2024, uma nova anotação da espécie foi encontrado na região de Kaneohe, ilha de Oahu, no isolado Arquipélago Havaiano. O registro da ocorrência foi nas adjacências do Loko Waimaluhia Reservoir Fishing, situado no Jardim Botânico Ho'omaluhia. Geograficamente, este local encontra-se nas proximidades de área de preservação ambiental, em um dos núcleos da floresta tropical da montanha Ko'olau. As condições

climáticas da região, caracterizadas por um clima subtropical quente e úmido, são típicas da zona intertropical.

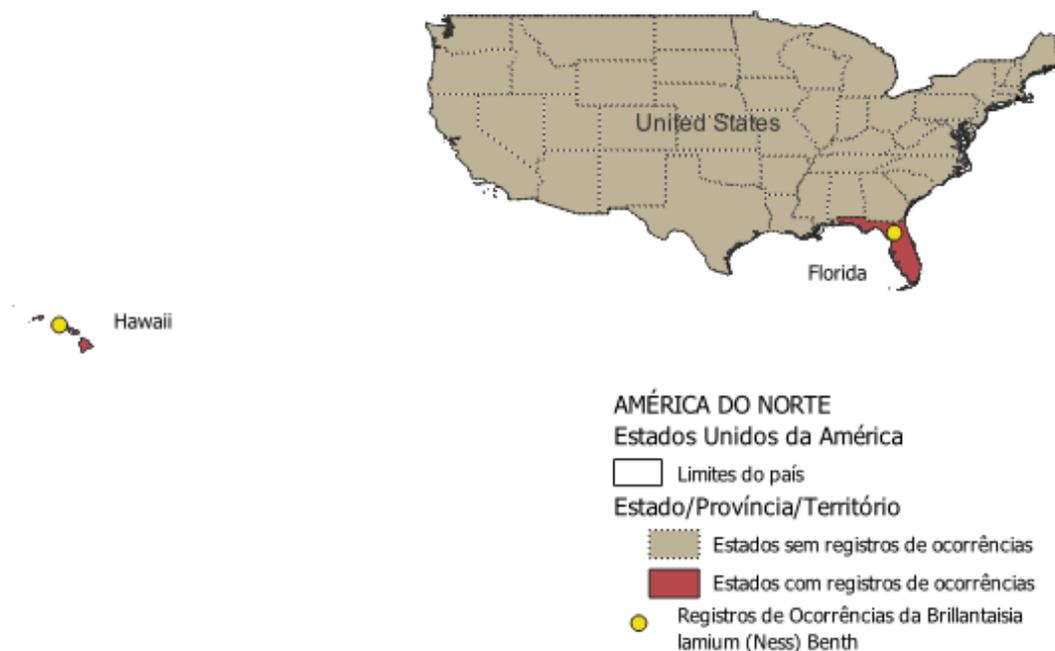


Figura 11 - Registros de ocorrência de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., nos Estados Unidos da América.

Fonte: Elaborado pelo autor

1.3.2.3.2 Japão

Ainda no pacífico, um outro registro de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. ocorreu na vila de Yona, distrito de Kunigami, no extremo norte da província de Okinawa, no Japão. Tornando-se o primeiro registro de ocorrência no continente Asiático. Situada a aproximadamente três graus de latitude ao norte do Trópico de Câncer, a ilha de Okinawa faz parte do Arquipélago de Ryukyu, composto por 169 ilhas (Figura 12). Embora esteja fora da zona intertropical, a região possui um clima de transição entre o subtropical e o temperado, as temperaturas médias anuais variam consideravelmente, com extremos que podem atingir 40°C no verão e 10°C no inverno. A ocorrência localiza-se nas margens dos rios Sumpa e Yona, próximos à sua confluência. Estes rios têm sua nascente na floresta subtropical da Montanha Fenchiji, localizada no interior do Parque Nacional Yanbaru, e desembocam no mar da vila Yona.

Os registros de ocorrências em Okinawa, Havaí e Flórida, se reportam a espécimes coletados no mês de abril de seus respectivos anos: 2022, 2024 e 2003. Essa época coincide com a primavera no hemisfério norte, estação marcada por um aumento da temperatura e pela floração de diversas espécies.

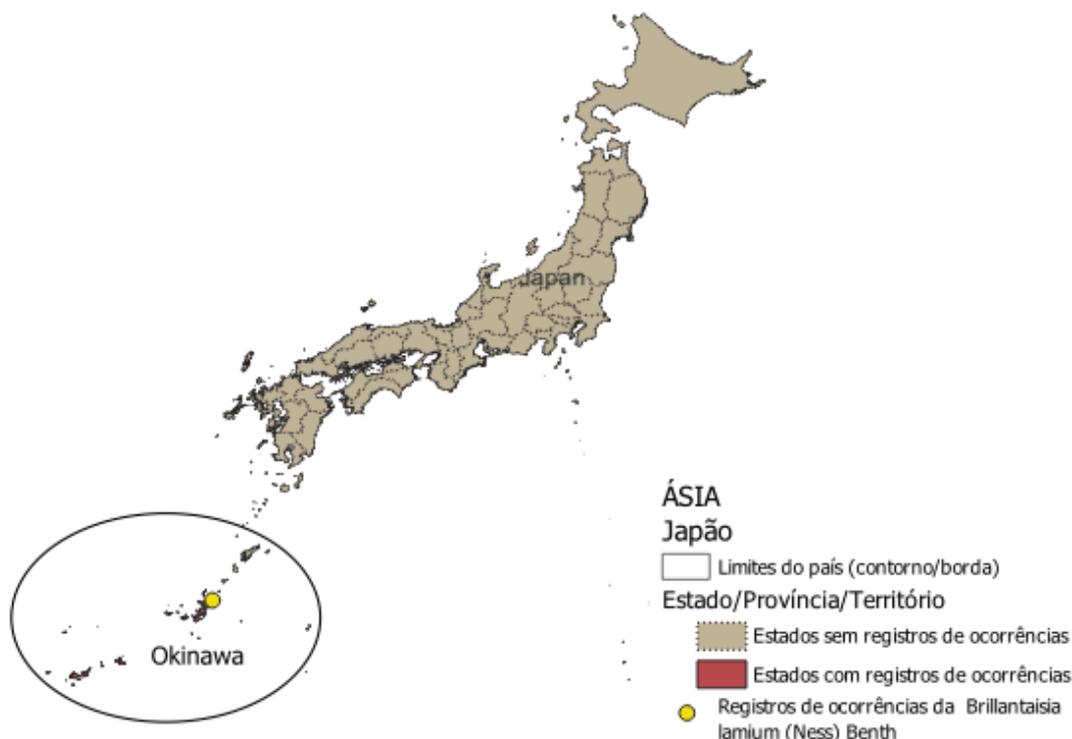


Figura 12 - Registros de ocorrências de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. no Japão

Fonte: Elaborado pelo autor

1.3.3 Distribuição na Zona Intertropical (Pantropicalismo)

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger de 2018 (Beck; Mcvicar; Vergopolan et al., 2023) ao sobrepor os dados de registros de ocorrências (mundial) no mapa climático, identificamos que os registros se distribuíram principalmente nos tipos climáticos: Tropical úmido e superúmido (Af) 16,44%, Tropical úmido ou subúmido (Am) 30,50%, Tropical inverno seco (Aw) 38,02%, Subtropical (Oceânico) sem estação seca e verão quente (Cfa) 8,12%, Subtropical (oceânico) sem estação seca e verão ameno (Cfb) 0,90%, Subtropical com verão seco e quente (Csa) 0,40%, Subtropical com verão seco e ameno (Csb) 3,37%, Subtropical com inverno

seco e verão quente (Cwa) 1,58% e Subtropical com inverno seco e verão curto e fresco (Cwb) com 0,59% (Mapa 3).

A análise da distribuição dos tipos climáticos no continente africano, revelou uma predominância do clima tropical. O tipo Af (tropical inverno seco) destacou-se com 49,53% da área total, seguido pelos tipos Am (tropical úmido ou subúmido) com 32,92% e Af (Tropical úmido e Superúmido) com 9,72%. Os climas subtropicais (Cfa, Cfb, Csa, Csb, Cwa e Cwb) representaram uma parcela menor, com 7,84% da área. (Tabela 1). Na Ásia e América do Norte, o clima subtropical sem estação seca e verão quente (Cfa) predominou com 66,67% nos locais de registros.

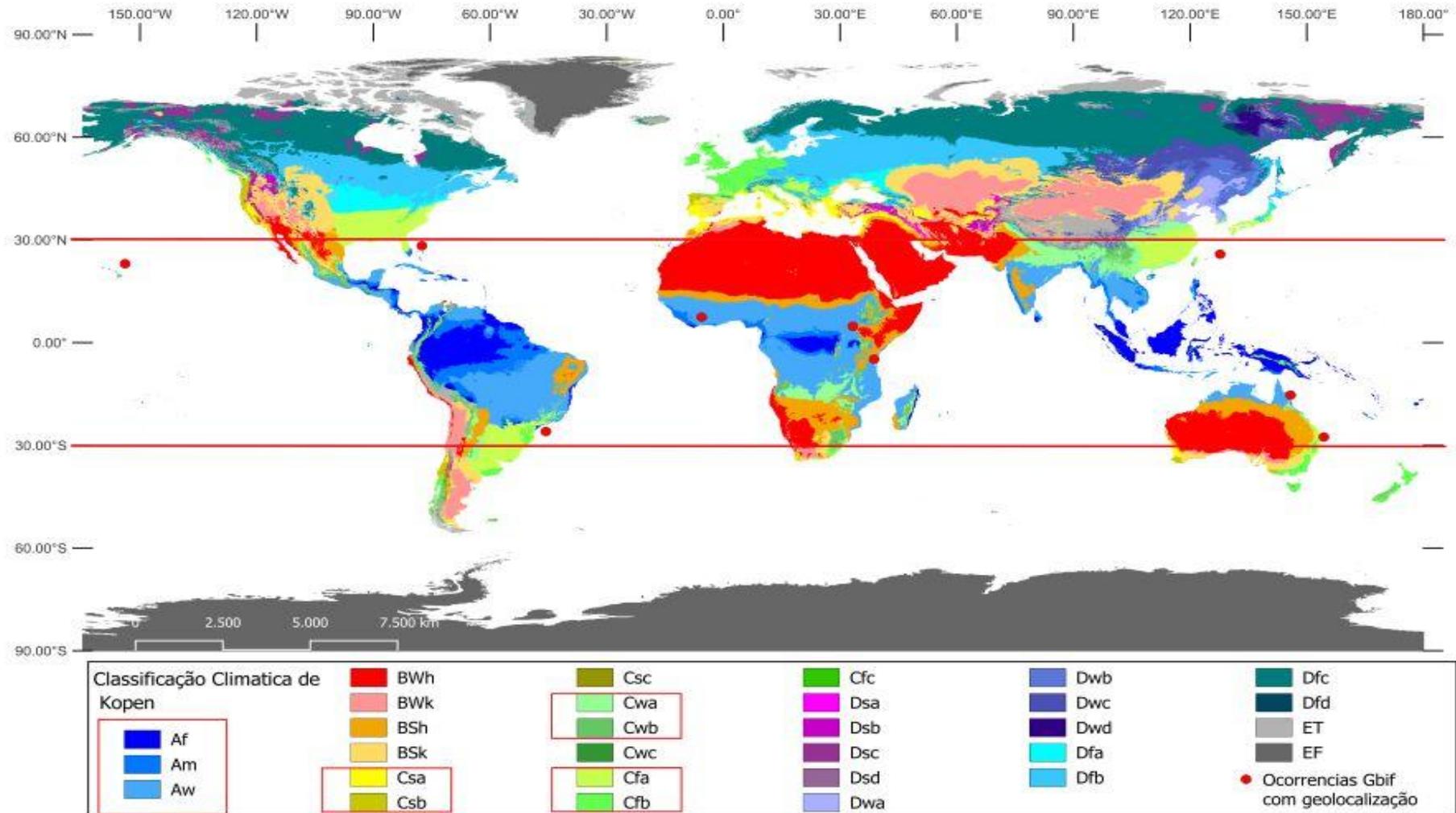
Foi realizada uma análise detalhada da distribuição dos tipos climáticos em Queensland. Os resultados indicam que 72,86% do estado está sob a influência dos climas tropicais Af, Am e Aw, enquanto 27,14% apresentam características subtropicais (Tabela 1).

O Brasil apresentou uma distribuição mais diversificada entre os tipos climáticos (Tabela 1), sendo: tropical Inverno seco (Aw) 29,20%, tropical úmido e superúmido (Af) 23,89%, tropical úmido ou subúmido (Am) 20,35%, subtropical sem estação seca e verão quente (Cfa) 18,58%, Subtropical com inverno seco e verão quente (Cwa) 5,31% e com 2,65% o clima subtropical sem estação seca e verão ameno.

Tabela 1 - Classificação climática de Köppen (2018) nos locais de ocorrências de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., na África, Ásia, Austrália e Brasil

| Tipo climático | Sigla | África | Ásia | Austrália | Brasil |
|-----------------------------------------------------|--------------|---------------|-------------|------------------|---------------|
| Tropical úmido e superúmido | Af | 9,72% | 33,33% | 34,29% | 23,89% |
| Tropical úmido ou subúmido | Am | 32,92% | | 37,14% | 20,35% |
| Tropical inverno seco | Aw | 49,53% | | 1,43% | 29,20% |
| Subtropical sem estação seca e verão quente | Cfa | 0,31% | 66,67% | 24,29% | 18,58% |
| Subtropical sem estação seca e verão ameno | Cfb | 0,63% | | | 2,65% |
| Subtropical com verão seco e quente | Csa | 0,63% | | | |
| Subtropical com verão seco e ameno | Csb | 5,33% | | | |
| Subtropical com inverno seco e verão quente | Cwa | 0,31% | | 1,43% | 5,31% |
| Subtropical com inverno seco e verão curto e fresco | Cwb | 0,63% | | 1,43% | |
| | | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Fonte: Elaborado pelo autor.



Mapa 3 - Classificação climática de Köppen-Geiger (2018) climas abrangentes nos locais com ocorrências de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. sinalizados na legenda.

Fonte: Beck et al., (2023). Mapas Köppen-Geiger. Reelaborado pelo autor

1.4 DISCUSSÃO

Nossos estudos constataram 578 registros de ocorrências de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., distribuídos globalmente, sendo 394 em seu habitat de origem (África Ocidental e Central), e 184 registros como não nativa no continente americano (EUA - dois registros; Brasil – 113 registros) asiático (Japão – um registro) e a Oceania (Austrália – 68 registros). Evidenciou-se geograficamente que os registros, em sua maioria, estão dentro da zona intertropical, sugerindo distribuição Pantropical, concentração de registros de ocorrências, próximas a malha viária, ambientes fluviais e Unidades de Conservação.

Desde sua primeira descrição como nativa da África Ocidental, o gênero *Brillantaisia* tem sido objeto de diversos estudos que revelaram uma distribuição geográfica ampla, abrangendo a África Central e Madagascar (Sidwell, 1998). Ao analisar a distribuição da espécie na África, nossos resultados corroboram estudos anteriores e, além disso, evidenciam sua presença em um dos mais importantes hotspots de biodiversidade do planeta: o Bioma Floresta Guine-Congoleza Bacia do Congo e terras baixas da África Ocidental (Huntley, 2023). A concentração da espécie nesse bioma confirma a forte associação com as condições ecológicas específicas da região. No entanto, nas últimas três décadas, a África tropical tem sido palco de crescentes desafios para a conservação da biodiversidade, despertando a preocupação tanto de nações africanas quanto da comunidade internacional (Forje; Tchamba; Eno-Nku, 2021).

A combinação de evidências paleoecológicas, arqueológicas e genéticas, além da análise de depósitos de carvão, demonstra que as florestas têm sido transformadas por atividades agrícolas há milênios, ocorrendo a formação de fragmentos florestais ao longo do tempo (Maley; Doumenge; Giresse et al., 2018). Muitos destes fragmentos são áreas de conservação da biodiversidade e apresentaram a presença de 43% das ocorrências de *Brillantaisia lamium*, no continente africano, como exemplo: Parc National du Mont Péko, na Costa do Marfim, Parque Nacional Lorma North na Libéria, Rumanyika Orgundu Game Reserva na Tanzânia, no Parque Nacional de Bakossi em Camarões, Floresta do Monte Bimba na Guiné, Parque Nacional da Garamba na República Democrática do Congo e Mount Nimba Strict Nature Reserva, localizado na borda da Guiné, Libéria e Costa do Marfim.

Brillantaisia lamium (Ness) Benth., apesar de ser classificada pela IUCN - Red List (Beentje, 2017) como de “menor preocupação”, na lista vermelha de espécies ameaçadas de extinção, apresenta uma situação paradoxal. Enquanto a espécie, em seu habitat natural, sofre a diminuição da área de cobertura, com a degradação causada por atividades antrópicas, como agricultura, exploração madeireira para a indústria de celulose e poluição nos rios provenientes dos agronegócios, também, tem demonstrado uma capacidade de adaptação, expandindo-se para áreas agrícolas. No entanto, essa mesma adaptabilidade pode se tornar um problema, pois a formação de densos sub-bosques de *Brillantaisia lamium* em plantações como as de dendezeiros e cacau pode competir por recursos com as culturas, impactando negativamente a produção agrícola e gerando conflitos no uso e ocupação do solo (Witt; Luke, 2017).

Entre 2002 e 2021, a região em estudo, experimentou um crescimento significativo da área agrícola, em detrimento da cobertura florestal. Países como Benim, Costa do Marfim, Gana, Guiné, Nigéria, Serra Leoa e Togo registraram perdas florestais alarmantes nesse período (Nneji; Azevedo; Oyebanji et al., 2023). A República Democrática do Congo (RDC), um dos países mais ricos em biodiversidade do mundo, enfrenta uma crise ambiental grave, em virtude do desmatamento, impulsionado principalmente pela agricultura itinerante e pela produção de carvão vegetal. Essas práticas, agravadas pela pobreza e pela falta de acesso à energia (US\$ 2 por dia é a renda de 62% da população e apenas 19% possuem energia elétrica), estão destruindo vastas áreas de floresta, com consequências devastadoras para a biodiversidade, o clima e as comunidades locais (ONU, 2016; WFO, 2023). A necessidade de proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres é urgente, conforme estabelecido pela ODS 15 (ONU, 2016).

A floresta tropical Guiné-Congolesa, é separada por um corredor árido e seco no Benin e Togo, formando dois grandes fragmentos: área da Guiné (África Ocidental) e área do Congo (África Central). Enquanto a área da Guiné se caracteriza por pequenos fragmentos florestais em uma matriz altamente modificada, a área do Congo apresenta grandes extensões de floresta contínua, embora com crescente pressão antrópica (Huntley, 2023). A análise da distribuição das espécies na área da Floresta Guine-Congolesa, revela um padrão interessante: 58,38% dos registros foram encontrados na área do Congo, enquanto 41,62% ocorreram na área da Guiné. Esses dados reforçam a hipótese de que a extensão e a integridade dos habitats em

ecossistemas tropicais e subtropicais desempenham um papel crucial na determinação da riqueza de espécies, como afirmam Tripp e Mcdade (2014).

A ampla distribuição da *Brillantaisia lamium*, abrangendo 23,35% das terras baixas das florestas da Guiné, Serra Leoa, Libéria, Costa do Marfim e Gana, na África Ocidental, pode ser explicada pela notável adaptação da espécie a ambientes úmidos (Parmentier; Harrigan; Buermann et al., 2011). Para Ansong; Pergl; Essl et al. (2018), a longa estação chuvosa (abril a outubro) e as elevadas precipitações características dessas regiões proporcionam as condições ideais para o desenvolvimento dessa espécie, que apresenta características morfológicas e fisiológicas que favorecem sua sobrevivência em áreas com alta umidade.

A partir da segunda metade do século XX, houve um notável aumento nos registros de *Brillantaisia lamium*. A República Democrática do Congo dominou os registros no início do século passado, enquanto Camarões, Costa do Marfim e São Tomé e Príncipe se destacaram nas últimas décadas. Os períodos de 2008, 2011 e 2015 foram particularmente marcantes, com um pico nas ocorrências, especialmente em São Tomé e Príncipe, Quênia e Togo.

O intenso interesse da Bélgica na exploração botânica da África Central durante o período neocolonial teve um impacto significativo nos registros de ocorrências da *B. lamium*. A RDC, sob domínio belga, emergiu como um dos principais centros de registros da espécie, concentrando 60,91% de todas as coleções botânicas entre 1841 e 1950 (Rammeloo, et al., 2005). Essa concentração é evidenciada pelos picos de registros nos anos de 1913, 1921 e 1931, com a maioria das amostras depositadas no Meise Botanical Garden na Bélgica (Leliaert; Bogaerts; De Meeter et al., 2023). O período entre 1935 e 1970 foi marcado por uma intensificação das expedições botânicas à RDC, impulsionadas por instituições como o Institut National Pour l'étude Agronomique du Congo e o Institut des Parcs Nationaux du Congo. No entanto, após a independência da RDC em 1960, observa-se uma redução significativa no número de registros da espécie, com apenas 9,09% das ocorrências totais do período de 1951 a 2000 sendo registradas no país. Essa diminuição sugere uma possível descontinuidade nas atividades de coleta e pesquisa botânica na RDC após a descolonização (Leliaert; Bogaerts; De Meeter et al., 2023; Ronse; Vidts, 2011; Segers; Desment; Baus, 2005).

Conseqüentemente a esta intensa pesquisa na RDC, evidenciou-se a grande presença 34,45% da espécie em florestas úmidas, florestas pantanosas, bordas de

rios e lagos na bacia hidrográfica do Congo, reforçando que a espécie tem característica de ambientes com alta umidade e solos hidromórficos (Sidwell, 1998). A Bacia hidrográfica do Congo abrange dez países da África Central e Austral, abriga o maior bloco de floresta tropical (1,8 milhões de km²) e vastos mosaicos de Floresta/Savannah (2,5 milhões de km²) no entorno da floresta, além de extensas áreas de florestas pantanosas ocupando um terço da bacia do Congo (Huntley, 2023).

Camarões se destacou em nossos estudos, apresentando o segundo maior número de registros (14,47%) e concentrando a maioria das ocorrências após 1950 no Golfo da Guiné. Além disso, apresentou 50% de seus registros na faixa litorânea de 100km. O aumento de registros de *Brillantaisia lamium* em Camarões se deve, em parte, à intensificação das pesquisas na região. Diversos estudos, como os de Manning (Missouri Botanical Garden Herbarium), Joseph NIchenda Asonganyi (1981) e Tchouto; Yemefack; De Boer et al. (2006), focaram na flora de Camarões, incluindo a família Acanthaceae, à qual pertence *B. lamium*. Essa concentração de esforços de coleta e identificação pode influenciar a percepção da distribuição da espécie, exigindo uma análise cuidadosa dos dados para evitar vieses amostrais, pois Onana; Cheek e Pollard (2011), descreveram, que o gênero *Brillantaisia* tem sua área nativa bem delimitada em Camarões, durante seus estudos nos anos de 1996 a 2008.

A distribuição de *Brillantaisia lamium* em áreas protegidas de Camarões, como a Reserva Florestal do Monte Rumpi, e em áreas adjacentes a plantações de dendê, revela um padrão de fragmentação do habitat. Conforme boletim (WRM124) da World Rainforest Movement (2007), essas plantações ocupam aproximadamente 31.000 hectares no entorno de áreas de proteção ambiental. A expansão da agricultura, pode ter consequências significativas para a espécie, aumento da vulnerabilidade a distúrbios e a perda de habitat. A presença da espécie em áreas de monocultura indica uma certa capacidade de adaptação, mas a longo prazo, a fragmentação pode limitar a distribuição e a abundância da espécie.

A ampla distribuição de *Brillantaisia lamium* ao longo da costa e sudeste da Costa do Marfim, predominou nas zonas climáticas tropicais e equatoriais, sendo encontrada em diversos tipos de vegetação, desde florestas densas e úmidas até áreas mais montanhosas e secas, como as Savana. Isso é reflexo do trabalho diversos pesquisadores, como Claude Farron (1981), Wilde, J.J.F.E. (1956) e Adjanohoun e Guillaumet (1961), Aké-Assi (1980), se dedicaram a documentar a rica flora local, dentre elas as Acanthaceae e, tornando o país o quarto maior em registros de

Brillantaisia lamium (Jean, 2015). Estes pesquisadores destacara a ocorrência da espécie, em áreas altamente alteradas pela ação humana em rodovias, plantações de cacau e banana

O crescimento nos registros botânicos de São Tomé e Príncipe a partir dos anos 1990 deve-se, em grande parte, às expedições científicas realizadas no arquipélago. Iniciativas como as expedições ao Golfo da Guiné, lideradas por nomes como Daniel Thomas Franklin e Estrela Figueiredo, foram fundamentais para a coleta de um vasto banco de dados sobre a flora local, com destaque para a família Acanthaceae. Esses esforços de campo, em conjunto com a produção de catálogos florísticos detalhados, como o de Paiva et al (2011), resultaram em um acúmulo substancial de registros de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. em São Tomé e Príncipe (Daniel; Figueiredo, 2009; Figueiredo; Paiva; Stévert et al., 2011).

Além disso, em São Tomé e Príncipe, a espécie apresentou a terceira maior frequência de registros 12,94% (em relação ao total), com grandes populações concentradas em linhas férreas, rodovias, estradas, nos arredores dos Jardins Botânicos Me-Zochi e Bom Sucesso e, distribuindo-se intensamente em áreas de cultivo de cacau e café. Na ilha do Príncipe, a espécie também está presente, especialmente nas proximidades do Parque Nacional do Pico do Papagaio (Daniel; Figueiredo, 2009). Essa espécie, poderá se tornar "superdominante" (espécie nativa cuja população, liberada dos mecanismos de controle, prolifera intensamente e inesperadamente, causando impactos negativos ao alterar a composição ou estrutura da comunidade). Perturbações humanas, como o desmatamento para agricultura, podem desencadear explosões populacionais de espécies nativas (Pivello et al., 2018). Ainda segundo Pivello; Vieira; Matos et al. (2018), é crucial identificar as condições que levam à superdominância e desenvolver estratégias para gerenciar essas espécies. Com as mudanças climáticas, espera-se que o problema se agrave, afetando diretamente o uso da terra (Ziller et al., 2005; Rilley et al., 2017; Diaz et al., 2019).

Exell (1944) propôs que a flora de São Tomé possui uma "idade botânica" distinta, com uma composição e história evolutiva únicas. Essa singularidade é evidenciada pela presença de espécies antigas e endêmicas como *Melchiora mannii*, isolada de outras populações na República Democrática do Congo e nas montanhas Usambara e Uluguru. Essa disjunção florística indica que São Tomé pode ter sido colonizada por plantas mais antigas, antes de outras regiões da África continental.

Apesar da falta de estudos paleoflorísticos para *Brillantaisia lamium*, sua ampla distribuição nas ilhas pode ser explicada pela vulnerabilidade desses ecossistemas à naturalização de espécies exóticas. As ilhas tropicais, são particularmente suscetíveis à invasão por espécies continentais introduzidas historicamente (Potter; Riitters; Guo, 2022).

Tanzânia, Etiópia e Quênia consideram a espécie como introduzida, e não nativa. Na Tanzânia, suas primeiras aparições foram registradas em 1932, próximas à fronteira com Uganda, expandindo-se rapidamente para o leste do continente (Witt; Luke, 2017). No Quênia, a espécie colonizou rapidamente áreas de baixa altitude, formando densos povoamentos que suprimem a vegetação nativa. A Etiópia também registra sua presença, especialmente em regiões com cursos d'água. A maioria das plantas no Quênia originou-se de material introduzido de Uganda (Vollensen, 2008). Além disso, no ano de 2011, houve um pico de registros de ocorrências, o maior entre 2000 e 2023, onde 60% dos registros ocorreram no entorno de Nairobi, capital do Quênia, realizados pelo departamento de gerenciamento de espécies exóticas da Commonwealth Agricultural Bureaux International – CABI (2011),

A ampla distribuição da espécie em sua área de origem, abrangendo diversos climas, *pode ter* conferido uma plasticidade fenotípica que *facilita* a colonização de novos ambientes (Pyšek; Pergl; Essl et al., 2017; Richardson; Pyšek, 2012). Em nosso estudo a área de clima tropical (superúmido, úmido e subúmido) predominou de forma significativa, abrangendo 84,96% dos registros no mundo. Esse resultado indica que as condições climáticas tropicais são as mais prevalentes na área de análise, dispersão e estabelecimento da espécie, superando os demais tipos climáticos.

A análise permitiu compreender a relação entre a distribuição das ocorrências e as condições climáticas nas diferentes regiões do planeta. Essa heterogeneidade climática, com destaque para o clima tropical, reflete a influência de fatores geográficos e atmosféricos, como a localização geográfica do continente, a dinâmica das massas de ar e a distribuição das chuvas (Huntley, 2023; Makoni, 2020). A concentração da maioria dos registros globais da espécie *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., na Zona Intertropical delinea um padrão biogeográfico: a distribuição Pantropical. Essa configuração, caracterizada pela presença da espécie em diversas regiões tropicais ao redor do globo, representa um caso exemplar de disjunção intercontinental (Tripp; Daniel; Md Isa et al., 2013; Tripp; Mcdade, 2013).

Os dados sugerem que a dispersão dessa espécie para novos continentes foi um resultado da interação entre fatores ecológicos e socioeconômicos. A espécie, adaptada a diversas condições ambientais e concentrada na zona intertropical, encontrou um ambiente propício para sua expansão. No entanto, pode ser que o comércio global, o turismo e a ampliação dos serviços de transporte, tenham proporcionado as condições ideais para sua disseminação em escala global. A intensificação do comércio internacional nas últimas décadas tem sido acompanhada por um aumento alarmante na taxa de detecção de novas espécies exóticas em todo o mundo. O número de países e parceiros comerciais mais do que quadruplicou desde 1948, enquanto o registro de novas ocorrências de espécies exóticas aumentou quase 20 vezes no mesmo período (Hulme, 2021). Esses dados demonstram a dimensão do problema das invasões biológicas no contexto da globalização.

A importância das vias de transporte (aéreo, marítimo e terrestre) na dispersão de espécies não nativas (exóticas) fica evidente ao analisar a distribuição da *Brillantaisia lamium*, que teve suas primeiras ocorrências registradas em regiões costeiras e urbanizadas, próximas a grandes centros urbanos e portos, tanto no Brasil quanto na Austrália. As áreas urbanas concentram uma alta diversidade de espécies exóticas devido à introdução deliberada de plantas e animais para fins ornamentais ou outros, que posteriormente escapam para o ambiente natural, e à maior facilidade de introdução não intencional através de portos e aeroportos (Hulme, 2021).

Nossos estudos, são consistentes com estudos anteriores que identificaram a Bioregião da Floresta Úmida de Queensland e, o Bioma Mata Atlântica na Região Sudeste (Brasil), como áreas propensas a colonização, estabelecimento, naturalização e invasão de espécies exóticas (não nativas) nos respectivos países Austrália e Brasil (Humphries; Stanton, 1992; Zenni, 2014). Nas últimas três décadas as espécies não nativas, tem predominado na costa leste de Queensland, caracterizada por elevados índices pluviométricos (Australian Government – Bureau of Meteorology), oferece um ambiente particularmente propício para a espécie. A presença de extensas áreas de floresta tropical, ainda que fragmentadas, ao longo da costa do estado, representa um fator adicional que potencializa a naturalização da espécie nessa região (Werren, 2001). A intensa ocupação humana da faixa litorânea brasileira, especialmente na Mata Atlântica, onde se concentra a maior parte da população, tem contribuído significativamente para a introdução e estabelecimento de espécies exóticas invasoras (Dechoum; Barbizan Sühs; Futada et al., 2021; Sampaio;

Schmidt, 2013; Zenni, 2015). Em ambos os países, as áreas de grande concentração de registros são biomas de biodiversidade importantes, no Brasil a Mata Atlântica é considerada um hotspots de biodiversidade (Myers, 1988), enquanto na Austrália, a Floresta Úmida dos Trópicos é considerada a floresta tropical mais antiga do mundo e Patrimônio Mundial (Werren, 2001).

O sucesso da distribuição, introdução e naturalização da espécie, na região dos Trópicos Úmidos na Austrália e Mata Atlântica no Brasil, pode estar sendo influenciado (o sucesso) por duas vertentes, dentre outras. Primeiro, pela combinação da diversidade de precipitação (altos índices pluviométricos), terras baixas costeiras bem variadas em suas larguras, grandes rios perenes, solo nutricionalmente rico, resultando em florestas altamente diversificadas. Segundo a constante transformação na paisagem terrestre, moldada por uma complexa interação de processos naturais e atividades humanas como: desmatamento, urbanização, comércio global, migrações e desastres naturais podem causar profundas alterações na paisagem (Gallardo; Vila, 2019; Lira; Pena Rodrigues, 2019). A fragmentação das florestas tropicais cria condições favoráveis à invasão por espécies exóticas, tornando-as mais vulneráveis a essas ameaças (Hulme, 2021).

Brillantaisia lamium em sido registrada em Unidades de Conservação, rodovias e áreas agrícolas na Austrália. A espécie se estabelece em habitats ribeirinhos e costeiros, podendo superar a vegetação nativa e comprometer a disponibilidade de alimento e abrigo para a fauna local. Além disso, ela também é considerada uma possível ameaça às áreas agrícolas, infestando pomares, viveiros e valas de drenagem em plantações de cana-de-açúcar (Centre for Invasive Species Solutions - CISS, 2016) (Witt; Luke, 2017).

Um aspecto que se destaca na distribuição da *Brillantaisia lamium* é Equivalência Ecológica, com a similaridade entre as condições ambientais de Queensland e das regiões Sul e Sudeste do Brasil, onde possivelmente a rodovia atua como principal via de dispersão. Essa relação sugere que a espécie aproveitou as vias rodoviárias para colonizar novas áreas, expandindo sua distribuição geográfica. Os registros foram superiores a 65% (Brasil) e 70% (Austrália), em rodovias, estradas, pontes e acessos (não pavimentadas, pavimentadas, locais, estaduais interestaduais e federais). Na Austrália, Highway - A1, contorna todo o país, inclusive as localidades com registros da espécie entre as cidades de Brisbane e Cairns e seus entornos. As pesquisas de Ansong e Pickering (2013); Pickering e Ansong (2022) indicam que as

rodovias australianas atuam como importantes vias de dispersão de sementes, com um potencial de transporte de até 50,8 milhões de sementes diariamente. Essas mesmas rotas analisadas, em nossos estudos, são as vias de acesso as principais áreas de preservação ambiental, que registraram ocorrências.

Na região Sul do Brasil, a concentração dos registros se dá exclusivamente em localidades próximas às rodovias BR 101 e BR 116, sugerindo a influência dessas vias na dispersão da *Brillantaisia lamium*. Na região Sudeste, a situação é similar, com as rodovias Dutra e Rio-Santos, que conectam Rio de Janeiro e São Paulo, atuando como possíveis via de dispersão da espécie. Essa dependência de infraestrutura viária para a dispersão da espécie é particularmente preocupante para a Mata Atlântica, um dos hotspots de biodiversidade mais importantes do mundo. A intensa ocupação humana, com cerca de 125 milhões de habitantes e uma contribuição de quase 70% para o PIB nacional, exerce uma pressão significativa sobre esse bioma, tornando-o ainda mais vulnerável aos impactos da fragmentação, ocasionados pela construção de rodovias e estradas e da invasão de espécies exóticas (Bicudo Da Silva; Millington; Moran et al., 2020). Conforme Bergallo; Silveira Filho e Ziller (2021), a identificação e o controle dos vetores e vias de introdução são cruciais para a gestão de espécies exóticas invasoras.

Na Austrália, entre 1996 e 2015, houve um aumento de 30,43% no número de registros, atingindo 30 ocorrências na segunda década. No entanto, a partir de 2016, observa-se uma tendência de estabilização ou declínio. Essa variação nos registros ao longo do tempo indica a necessidade de monitoramento contínuo para avaliar a situação da espécie. No território brasileiro, o aumento nos registros sugere uma expansão da distribuição da espécie e a necessidade de monitoramento contínuo para entender melhor essa dinâmica.

Em comparação com outros países, os Estados Unidos apresentaram um número significativamente menor de casos, com apenas dois registros concentrados nos estados da Flórida e do Havaí (estado insular). O primeiro registro da espécie foi documentado em 2003, Gainesville, Condado de Alachua, Flórida. O espécime, proveniente de uma estufa de propagação aquecida, foi preservado e encontra-se depositado no acervo do Kanapaha Botanic Garden & Florida Museum of Natural History, instituições afiliadas à Universidade da Florida. Em abril de 2024, o segundo registro da espécie foi na região de Kaneohe, ilha de Oahu, no isolado Arquipélago Havaiano. De acordo com a classificação de Richardson; Pyšek; Rejmánek et al.

(2000), este único exemplar no Hawaii, é considerado uma planta exótica para o estado, dada a ausência de registros anteriores. A ocorrência foi registrada nas adjacências do Loko Waimaluhia Reservoir Fishing, situado no Jardim Botânico Ho'omaluhia. Geograficamente, este local encontra-se nas proximidades de área de preservação ambiental, em um dos núcleos da floresta tropical da montanha Ko'olau. As condições climáticas da região, caracterizadas por um clima subtropical quente e úmido, são típicas da zona intertropical. Vale ressaltar que de acordo com Werren (2001), as ilhas oceânicas tropicais como o Havaí possuem características ecológicas únicas que as tornam hotspots de biodiversidade e, ao mesmo tempo, ecossistemas frágeis, altamente suscetíveis a perturbações, especialmente as causadas pela introdução de espécies exóticas.

Ainda no pacífico, um outro registro de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. ocorreu na vila de Yona, distrito de Kunigami, no extremo norte da província de Okinawa, no Japão. Tornando-se o primeiro registro no continente Asiático. As espécies exóticas apresentam uma rica diversidade, com 1.552 espécies de plantas vasculares estabelecidas no território japonês ou em seus ambientes naturais, segundo levantamento de 2004 (Japan, 2004; Mito; Uesugi, 2004). No entanto, *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., não está incluída no catálogo oficial do Ministério do Desenvolvimento, indicando que sua presença no Japão pode não ser amplamente reconhecida ou registrada. Além disso, uma comparação entre as listas de espécies exóticas invasoras do Japão e do Sudeste da Austrália, realizada por Auld; Morita; Nishida et al. (2003), identificou 72 espécies comuns a ambos os países. No entanto, a espécie alvo deste estudo, *Brillantaisia lamium*, também não consta nessa lista comparativa, ressaltando que a lista de estudo na Austrália ficou restrita a região Sudeste do país, excluindo o estado de Queensland.

A ameaça representada pelas espécies exóticas invasoras é reconhecida tanto pela Convenção sobre Diversidade Biológica quanto pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. O Marco Global para a Biodiversidade, ao estabelecer a meta de proteger 30% dos ecossistemas, implicitamente reconhece a necessidade de controlar essas espécies, que representam uma das principais causas de perda de biodiversidade (CBD, 2022). A Meta 15.8 dos ODS reforça essa preocupação, estabelecendo um prazo para a implementação de medidas de controle e erradicação (Bergallo; Silveira Filho; Ziller, 2021; ONU, 2016; 2024).

1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a distribuição da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. em sua área natural na África, e sua dispersão e naturalização global. Constatamos que os registros, não são uniformes nos países onde a espécie é nativa, tão pouco catalogada. Além da situação de declínio em sua área de origem por ações antrópicas. Com base na análise apresentada, evidenciou-se que *Brillantaisia lamium*, outrora confinada ao continente africano, demonstrou uma notável capacidade de adaptação, naturalização e possível invasão por diversas regiões geográficas. A rápida expansão da espécie, facilitada por atividades humanas como o comércio, o transporte e a alteração do habitat, sublinha a necessidade de adoção de medidas preventivas, que são essenciais para minimizar os impactos negativos das espécies invasoras, que representam uma ameaça significativa à biodiversidade nativa e aos serviços ecossistêmicos. No entanto, estudos e pesquisas futuras devem concentrar-se na compreensão da base genética do seu sucesso invasor, nas suas interações ecológicas com as comunidades nativas e no desenvolvimento de estratégias de gestão direcionadas, no sentido de salvaguardar a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas para as gerações vindouras.

REFERÊNCIAS

ANSONG, M.; PERGL, J.; ESSL, F.; HEJDA, M. *et al.* Naturalized and invasive alien flora of Ghana. **Biological Invasions** 2018 21:3, 21, n. 3, 2018.

ANSONG, M.; PICKERING, C. Are Weeds Hitchhiking a Ride on Your Car? A Systematic Review of Seed Dispersal on Cars. **PLoS ONE**, 8, n. 11, p. e80275, 2013.

ANSONG, M.; PICKERING, C. What's a Weed? Knowledge, Attitude and Behaviour of Park Visitors about Weeds. **PLOS ONE**, 10, n. 8, p. e0135026, 2015-08-07 2015.

AULD, B.; MORITA, H.; NISHIDA, T.; ITO, M. *et al.* Shared exotica: Plant invasions of Japan and south eastern Australia. **Cunninghamia**, 8, 01/01 2003.

AZEVEDO, I. H. F. Morfologia de sementes de espécies da tribo Ruellieae (Acanthaceae) no Brasil. : 125 p. 2017.

AZEVEDO, I. H. F.; BRAZ, D. M. Seed morphology of *Ruellia* L. (Acanthaceae) from the Southeastern Brazilian Atlantic rain forest: Taxonomic, phylogenetic, and ecological aspects. **Flora**, 240, p. 48-57, 2018/03/01/ 2018.

BECK, H. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A. *et al.* High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections. **Scientific Data** 2023 10:1, 10, n. 1, 2023.

BEENTJE, H. J. ***Brillantaisia lamium*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017 : e.T185265A84260857**. 2017. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/>. Acesso em: 01 setembro 2024.

BERGALLO, H. G.; SILVEIRA FILHO, T. B.; ZILLER, S. R. Primeira lista de referência de espécies exóticas invasoras no estado do Rio de Janeiro-Brasil: implicações para pesquisas, políticas e manejo. **Bioinvasiones**, 8, p. 3-18, 2021.

BICUDO DA SILVA, R. F.; MILLINGTON, J. D. A.; MORAN, E. F.; BATISTELLA, M. *et al.* Three decades of land-use and land-cover change in mountain regions of the Brazilian Atlantic Forest. **Landscape and Urban Planning**, 204, p. 103948, 2020/12/01/ 2020.

CBD - CONVENTION OF BIOLOGICAL DIVERSITY. Article 8. h. In-situ Conservation, 2020. Disponível em: <https://www.cbd.int/convention/articles/default.shtml?a=cbd-08>. Acesso em: 11 nov. 2023.

CBD - CONVENTION OF BIOLOGICAL DIVERSITY. Post-2020 Global Biodiversity Framework, 2022. Disponível em: <https://www.cbd.int/doc/c/409e/19ae/369752b245f05e88f760aeb3/wg2020-05-l-02-en.pdf>. Acesso em: 10 jun 2024.

CISS - CENTRE FOR INVASIVE SPECIES SOLUTIONS. Australian Government. Weeds Australia 2016. Disponível em: <https://weeds.org.au/profiles/giant-tropical-salvia/>. Acesso em 22 set 2023; 14 dez 2023 e 30 jun 2024.

DANIEL, T.; FIGUEIREDO, E. The California Academy of Sciences Gulf of Guinea Expeditions (2001, 2006, 2008) VII. Acanthaceae of São Tomé and Príncipe. **Proceedings of the California Academy of Sciences**, 60, p. 623–674, 01/01 2009.

DATAGEO. Sistema ambiental paulista. 2023. Disponível em: <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/>. Acessado em: 10 ago 2023.

DATAGEO. Sistema ambiental paulista. 2024. Disponível em: <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/>. Acessado em: 23 jan 2024.

DECHOUM, M.; BARBIZAN SÜHS, R.; FUTADA, S.; ZILLER, S. Distribution of Invasive Alien Species in Brazilian Ecoregions and Protected Areas. *In*, 2021. p. 1488.

DECHOUM, M. S.; JUNQUEIRA, A. O. R.; ORSI, M. L.; XAVIER, R. O. *et al.* Capítulo 1: Introdução. In: Dechoum, M.S; Junqueira, A. O. R; Orsi, M.L. (Org.). **Relatório Temático sobre Espécies Exóticas Invasoras, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos.**, 1a.Ed. São Carlos: Editora Cubo, p. 6-48, 2024.

DIAGNE, C.; LEROY, B.; VAISSIÈRE, A.C.; GOZLAN, R. E. High and rising economic costs of biological invasions worldwide. **Nature**, 592, n. 7855, p. 571-576, 2021.

DÍAZ, S. A.-O.; SETTELE, J. A.-O.; BRONDÍZIO, E. A.-O.; NGO, H. T. *et al.* Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. LID - eaax3100 [pii] LID - 10.1126/science.aax3100 [doi]. n. 1095-9203 (Electronic), 2019.

ESSL, F.; LENZNER, B.; BACHER, S.; BAILEY, S. *et al.* Drivers of future alien species impacts: An expert-based assessment. **Global Change Biology**, 26, n. 9, 2020.

EXELL, A. W. Catalogue of the vascular plants of S. Tome (with Principe and Annobon). London: Printed by order of the Trustees of the British Museum. 1: 428 p. 1944.

FIGUEIREDO, E.; PAIVA, J.; STÉVART, T.; OLIVEIRA, F. *et al.* Annotated catalogue of the flowering plants of São Tomé and Príncipe. **Bothalia**, 41, n. 1, p. 41-82, 2011-12-13 2011.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. 2023. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 04 abr 2023; 10 out 2023; 09 jan 2024 e 17 mar 2024.

FORJE, G. W.; TCHAMBA, M. N.; ENO-NKU, M. Determinants of ecotourism development in and around protected areas: The case of Campo Ma'an National Park in Cameroon. **Scientific African**, 11, p. e00663, 2021/03/01/ 2021.

GALLARDO, B.; VILA, L. Human influence, key to understand the biogeography of invasive species in the Anthropocene. **Cuadernos de Investigación Geográfica**, 45, n. 1, 2019.

GBIF - GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY. Global Core Biodata Resource, 2024. Disponível em: <https://www.gbif.org/>. Acesso em: 25 jul. 2024.

HEIDEN, G.; LÍA BARBIERI, R.; REGINA TEMPEL STUMPF, E. Considerações sobre o uso de plantas ornamentais nativas. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, 12, n. 1, 2006.

HOBBS, R. J.; HIGGS, E.; HALL, C. M.; BRIDGEWATER, P. *et al.* Managing the whole landscape: historical, hybrid, and novel ecosystems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, 12, n. 10, p. 557-564, 2014.

HULME, P. E. Unwelcome exchange: International trade as a direct and indirect driver of biological invasions worldwide. **One Earth**, 4, n. 5, p. 666-679, 2021.

HULME, P. E.; BACHER, S.; KENIS, M.; KLOTZ, S. *et al.* Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. **Journal of Applied Ecology**, 45, n. 2, 2008.

HUNTLEY, B. J. The Guineo-Congolian Rain Forest Biome. *In: Ecology of Angola*: Springer International Publishing, 2023. p. 279-304.

Humphries, S. E. & Stanton, J. P. (1992) Weed Assessment in the Wet Tropics World Heritage Area of North Queensland. **Report to the Wet Tropics Management Agency**. Cair. 75pp, 1992.

INSTITUTO HÓRUS. Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras, 2023. Disponível em: <https://bd.institutohorus.org.br/> Acesso em: 20 dez. 2023.

INSTITUTO HÓRUS. Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras, 2024. Disponível em: <https://bd.institutohorus.org.br/>. Acesso em: 10 fev 2024.

IPBES - THE INTERGOVERNMENTAL SCIENCE-POLICY PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES. The IPBES Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and Their Control. 2023.

JAPAN, M. O. T. E. G. O. **Basic Policy for Preventing Adverse Effects on Ecosystems caused by Invasive Alien Species.**, 2004. Disponível em: <https://www.env.go.jp/en/nature/index.html>. Acesso em: 10 Agosto.

JEAN, K. THE PRESENT STATE OF BOTANICAL INVESTIGATIONS IN CÔTE D'IVOIRE. **Biodiversity Informatics**, 10, 2015.

LELIAERT, F.; BOGAERTS, A.; DE MEETER, N.; DESSEIN, S. *et al.* Enabling botanical collaboration through digitization of the Meise Botanic Garden and Central African herbaria Faciliter la collaboration botanique par la numérisation des herbiers du jardin botanique de Meise et de l'Afrique centrale. 2023.

LIRA, C. F.; PENA RODRIGUES, P. J. F. The Bio-Evolutionary Anthropocene Hypothesis: Rethinking the Role of Human-Induced Novel Organisms in Evolution. **Biological Theory**, 14, n. 3, p. 141-150, 2019.

MAKONI, M. Africa's invasive species problem. **The Lancet Planetary Health**, 4, n. 8, 2020.

MALEY, J.; DOUMENGE, C.; GIRESE, P.; MAHÉ, G. *et al.* Late Holocene forest contraction and fragmentation in central Africa | Quaternary Research | Cambridge Core. **Quaternary Research**, 89, n. 1, 2018.

MITO, T.; UESUGI, T. Invasive alien species in Japan: The status quo and the new regulation for prevention of their adverse effects. **Glob Environ Res**, 8, 01/01 2004.

MYERS, N. Threatened biotas: "Hot spots" in tropical forests. **Environmentalist**, 8, n. 3, p. 187-208, 1988/09/01 1988.

NEES VON ESENBECK, C. G. **Acanthaceae**. In **A. de Candolle (Ed.)**, **Prodromus Systematis Naturalis Regni Vegetabilis**. Paris: 1847.

NNEJI, L. M.; AZEVEDO, J. A. R.; OYEBANJI, O. O.; MA, L. *et al.* Patterns of species richness and turnover in endemic amphibians of the Guineo-Congolian rain forest. **Diversity and Distributions**, 29, n. 8, p. 1035-1051, 2023.

ONANA, J. M.; CHEEK, M.; POLLARD, B. J. **Red data book of the flowering plants of Cameroon**. Royal Botanic Gardens, Kew, 2011. 1842464299.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2016. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em: 01 set 2024.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2024. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em: 01 set 2024.

PALISOT DE BEAUVOIS, A. M. F. J. **Flore d'Oware et de Benin en Afrique**. Paris: 1818. t. 100 p.

PARMENTIER, I.; HARRIGAN, R. J.; BUERMANN, W.; MITCHARD, E. T. A. *et al.* Predicting alpha diversity of African rain forests: models based on climate and satellite-derived data do not perform better than a purely spatial model. **Journal of Biogeography**, 38, n. 6, 2011.

PICKERING, C.; ANSONG, M. Nature-based Tourists as Seed Dispersal Vectors. *In*, 2022. p. 7-13.

PIVELLO, V. R.; ROCHA, R. M.; VITULE, J. R. S.; BRAGA, R. R. *et al.* Capítulo 4: Impactos de espécies exóticas invasoras sobre as Contribuições da Natureza para as Pessoas (CNP), o Desenvolvimento Sustentável e a boa qualidade de vida. *In* n: Dechoum; M.S Junqueira; A. O. R Orsi, M.L. (Org.). **Relatório Temático sobre Espécies Exóticas Invasoras, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos** . 1a. Ed. São Carlos: Editora Cubo, p. 133-184, 2024.

PIVELLO, V. R.; VIEIRA, M. V.; MATOS, D. M. S.; GROMBONE-GUARATINI, M. T. Thinking about super-dominant populations of native species – Examples from Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, 16, n. 2, p. 74-82, 2018/04/01/ 2018.

PYŠEK, P.; HULME, P. Spatio-temporal dynamics of plant invasions: Linking pattern to process. **Ecoscience**, 12, p. 302-315, 2005.

PYŠEK, P.; PERGL, J.; ESSL, F.; LENZNER, B. *et al.* Naturalized alien flora of the world. **Preslia**, 89, n. 3, p. 203-274, 2017.

RAMMELOO, J.; DIAGRE, D.; APLIN, D.; FABRI, R. The collections of the National Botanic Garden of Belgium. **Tropical Biodiversity: Science, Data Conservation**. Proceedings of the 3rd GBIF Science Symposium, Brussels. 171, p. 31-71, 2005

RICHARDSON, D. M.; PYŠEK, P. Naturalization of introduced plants: ecological drivers of biogeographical patterns. **New Phytologist**, 196, n. 2, p. 383-396, 2012.

RICHARDSON, D. M.; PYŠEK, P.; REJMÁNEK, M.; BARBOUR, M. G. *et al.* Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. **Diversity and Distributions**, 6, n. 2, 2000.

RILEY, C. B.; HERMS, D. A.; GARDINER, M. M. Exotic trees contribute to urban forest diversity and ecosystem services in inner-city Cleveland, OH. **Urban Forestry & Urban Greening**, 29, p. 367-376, 2017.

RONSE, A.; VIDTS, S. A short history of the land use and vegetation of the Botanic Garden. **Scripta Botanica Belgica**, 47, p. 19-26, 2011.

SAMPAIO, A. B.; SCHMIDT, I. B. Espécies exóticas invasoras em unidades de conservação federais do Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, 3, n. 2, 2013.

SÃO PAULO, Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente / Coordenação de Planejamento Ambiental. Mapeamento Digital da Cobertura Vegetal do Município de São Paulo. Relatório Final / Coordenação: OLIVEIRA, Vivian Prado de. São Paulo: SVMA, 2020. 112 pp

SEEBENS, H.; BLACKBURN, T. M.; DYER, E. E.; GENOVESI, P. No saturation in the accumulation of alien species worldwide. **Nat Commun**, 8, p. 14435, Feb 15 2017.

SEGERS, H.; DESMENT, P.; BAUS, E. Tropical Biodiversity: Science, Data, Conservation. *In: Proceedings of the 3rd GBIF Science Symposium*. Brussels: 18-19 April, 2005.

SHACKLETON, R. T.; RICHARDSON, D. M.; SHACKLETON, C. M.; BENNETT, B. *et al.* Explaining people's perceptions of invasive alien species: A conceptual framework. **Journal of Environmental Management**, 229, p. 10-26, 2018.

SIDWELL, K. J. **A Revision of *Brillantaisia* P. Beauv. (Acantheceae)**. London: University of Oxford, 1998.

TCHOUTO, M. G. P.; YEMEFACK, M.; DE BOER, W. F.; DE WILDE, J. J. F. E. *et al.* Biodiversity Hotspots and Conservation Priorities in the Campo-Ma'an Rain Forests, Cameroon. **Biodiversity & Conservation** 2006 **15:4**, 15, n. 4, 2006.

TRIPP, E.; DANIEL, T.; MD ISA, S. F.; MCDADE, L. Phylogenetic Relationships within Ruellieae (Acanthaceae) and a Revised Classification. **International Journal of Plant Sciences**, 174, p. 97-137, 2013.

TRIPP, E.; MCDADE, L. Time-Calibrated Phylogenies of Hummingbirds and Hummingbird-Pollinated Plants Reject a Hypothesis of Diffuse Co-Evolution. **Aliso**, 31, p. 89-103, 2013.

TRIPP, E. A.; MCDADE, L. A. A Rich Fossil Record Yields Calibrated Phylogeny for Acanthaceae (Lamiales) and Evidence for Marked Biases in Timing and Directionality of Intercontinental Disjunctions. **Systematic Biology**, 63, n. 5, 2014.

VAZ, A. S.; CASTRO-DÍEZ, P.; GODOY, O.; ALONSO, Á. *et al.* An indicator-based approach to analyse the effects of non-native tree species on multiple cultural ecosystem services. **Ecological Indicators**, 85, p. 48-56, 2018/02/01/ 2018.

VOLLENSEN, K. Acanthaceae (Part 1). *In*: BEENTJE, H. J. e GAHZANFAR, S. A. (Ed.). **Flora of Tropical East Africa**. London, UK: Royal Botanic Gardens Kew, 2008. cap. Acanthaceae (Part 1), p. 1-285.

WERREN, G. Environmental Weeds of the Wet Tropics - Biorregion: risk assessment & priority ranking. Cairns: Wet Tropics Management Authority: 94 p. p. 2001.

WFO - WORLD FLORA ONLINE. Supporting the Global Strategy for Plant Conservation, 2023. Disponível em: <https://www.worldfloraonline.org/>. Acesso em: 10 dez 2023.

WRM - WORLD RAINFOREST MOVEMENT. *in*: GERBER, J. F. Camarões: mecanismos do Estado para a promoção das plantações de dendê. Bulletin 124 - 08 novembro 2007. Acesso em: 02 fev 2024.

WITT, A.; LUKE, Q. **Guide to the naturalized and invasive plants of Eastern Africa**. 2017. 0 p. (CABI Books, doi:10.1079/9781786392145.0000).

ZENNI, R. D. Analysis of introduction history of invasive plants in Brazil reveals patterns of association between biogeographical origin and reason for introduction. **Austral Ecology**, 39, n. 4, 2014.

ZENNI, R. D. The naturalized flora of Brazil: a step towards identifying future invasive non-native species. **Rodriguésia**, 66, n. 4, 2015.

ZILLER, S. R.; REASER, J. K.; NEVILLE, L. E. B., K. (EDS). *Espécies alienígenas invasoras em Sudamérica: informes nacionales & directorio de recursos.*, 2005, Ciudad del Cabo, Sudáfrica.

**CAPÍTULO 2 DISTRIBUIÇÃO DE *BRILLANTAISIA LAMIUM* PRÓXIMO À ÁREAS
PROTEGIDAS NA REGIÃO COSTEIRA DE SÃO PAULO: MALHA
VIÁRIA COMO POTENCIAL VIA DE DISPERSÃO**

RESUMO

Este estudo teve como objetivo investigar a distribuição da espécie exótica *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., em áreas de conservação da zona costeira do Estado de São Paulo, bem como avaliar seu potencial invasor nestas áreas, com foco na RMBS, RVRLS e RMVPLN. Foram realizadas expedições de campo para coletar dados sobre a ocorrência da espécie em 17 municípios e 20 Unidades de Conservação. Através da análise da distribuição da espécie ao longo da zona costeira, foram identificados potenciais corredores de dispersão, com a malha viária (rodovias, estradas, caminhos e trilhas) como vias de dispersão e os veículos atuando como os principais vetores de dispersão, especialmente pelas rodovias Rio-Santos e Padre Manoel da Nóbrega. Os resultados apresentaram que a *B. lamium*, teve maior concentração de registros de ocorrências em duas regiões: RMBS e RMVPLN. A análise de séries temporais da frota de veículos sugeriu um aumento no potencial de dispersão de espécies vegetais, incluindo as exóticas (não nativas) nas próximas décadas e, *B. lamium* emerge como uma espécie possível em tornar-se invasora de alta relevância para a zona costeira do estado de São Paulo, representando potencial ameaça à biodiversidade da Mata Atlântica. A compreensão dos mecanismos de dispersão e dos fatores que influenciam a invasão é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo e controle.

Palavras-chaves: vias e vetores, espécie exótica invasora, Infraestrutura viária, dispersão e distribuição, litoral de São Paulo

ABSTRACT

This study aimed to assess the distribution of the exotic species *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. in conservation areas along the coastal zone of the State of São Paulo, focusing on the Metropolitan Region of Baixada Santista, the Vale do Ribeira and Southern Coast region, and the Metropolitan Region of Vale do Paraíba and Northern Coast. Field expeditions were conducted to collect data on the occurrence of the species in 17 municipalities and 20 Conservation Units. Through the analysis of the species distribution along the coastal zone, potential dispersal corridors were identified, with the road network (highways, roads, paths, and trails) as dispersal pathways and vehicles acting as the main dispersion vectors, especially along the Rio-Santos and Padre Manoel da Nóbrega highways. The results showed that *B. lamium* had a higher concentration of occurrence records in two regions: the Metropolitan Region of Baixada Santista and the Metropolitan Region of Vale do Paraíba and Northern Coast. The analysis of time series of the vehicle fleet suggested an increase in the potential for dispersal of plant species, including exotic (non-native) species, in the coming decades. *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. emerges as a species with the potential to become a highly relevant invasive species for the coastal zone of the State of São Paulo, representing a potential threat to the biodiversity of the Atlantic Forest. Understanding the mechanisms of dispersal and the factors that influence invasion is essential for the development of management and control strategies.

Keywords: *pathways and vectors*, invasive alien species, road infrastructure, dispersal and distribution, São Paulo coast.

2.1 INTRODUÇÃO

A intensificação da globalização, com o aumento do transporte e do comércio, as mudanças climáticas e as alterações no uso e ocupação do solo, estão expandindo as oportunidades para a introdução e proliferação de espécies exóticas invasoras no mundo (Ziller; Reaser; Neville, 2005).



Figura 1 - Destaque da área de estudo.

Fonte: Elaborado pelo autor

As paisagens, do ponto de vista da conservação da biodiversidade, são mosaicos de ecossistemas com características e funções únicas (Hobbs; Higgs; Hall et al., 2014). No entanto, devido às transformações causadas pela ação humana, a maioria dos ecossistemas terrestres perdeu suas características originais, tornando-se ambientes antropogênicos (Ellis; Klein Goldewijk; Siebert et al., 2010). Essa perda de biodiversidade e de serviços ecossistêmicos representa um grande desafio para a sustentabilidade do planeta. O Bioma Mata Atlântica possui vegetação remanescente variando entre 11,4% e 16% (do original), distribuídos em 245.173 fragmentos florestais (Ribeiro; Metzger; Martensen et al., 2009). A Serra do Mar abriga o maior fragmento contínuo de Mata Atlântica, estendendo-se ao longo da costa do estado de São Paulo, desde sua porção sul até a região sul do estado do Rio de Janeiro (Figura 1). Nessa área, estima-se que 36,5% da vegetação original do bioma ainda se mantenha preservada (Dechoum; Junqueira; Orsi et al., 2024; Ribeiro; Metzger; Martensen et al., 2009; Zenni; Ziller, 2011; Ziller; Dechoum, 2013).

Na região Sudeste do Brasil, as espécies exóticas invasoras com registros de impactos ambientais têm origem predominantemente na América do Sul (38 espécies), Ásia (30 espécies) e África (28 espécies) (Pivello; Rocha; Vitule et al., 2024; Pivello; Vieira; Matos et al., 2018). No País, a distribuição desses organismos invasores nas Unidades de Conservação (UCs) da região é heterogênea, com maior concentração de registros em áreas protegidas localizadas nas regiões Sul e Sudeste. Particularmente, as Áreas de Proteção Ambiental (APAs) apresentam o maior número

de registros de ocorrências de espécies exóticas invasoras com impactos documentados (Ziller; Dechoum, 2013; Ziller; Dechoum; Silveira et al., 2020).

A infraestrutura viária, como rodovias, estradas e trilhas, desempenha um papel a ser fortemente considerado na dispersão de espécies exóticas invasoras, fragmentando habitats e facilitando a colonização de novas áreas (Hodkinson; Thompson, 1997; Huntley, 2023). Na Serra do Mar, por exemplo, a construção de rodovias desmembrou grandes áreas de floresta (Ribeiro; Metzger; Martensen et al., 2009), podendo levar ao isolamento de populações de espécies nativas e facilitando a invasão por espécies exóticas. Para minimizar esses impactos, é necessário implementar políticas de mitigação que visem reduzir a presença dessas espécies ao longo das vias e restaurar a conectividade entre os fragmentos florestais, promovendo a recuperação da biodiversidade (Pickering; Ansong, 2022).

Brillantaisia lamium Ness (Benth)., é uma espécie exótica invasora da família Acanthaceae, que se destaca por sua capacidade de dispersão, adaptação a diversos ambientes, crescimento rápido e alta produção de sementes. Seu mecanismo de dispersão por bolocoria, no qual os frutos que são cápsulas que chegam a ter entre 16 e 20 sementes por lóculo (Sidwell, 1998), explodem lançando as sementes, que possuem estrutura adesivas (mucilagem) em seus tricomas (Lester; Ezcurra, 1991) sugere uma estratégia reprodutiva eficaz para a dispersão e colonização de novos ambientes. A combinação de alta produção de sementes, mecanismos de dispersão explosiva (bolocoria) (Witztum; Schulgasser, 1995).

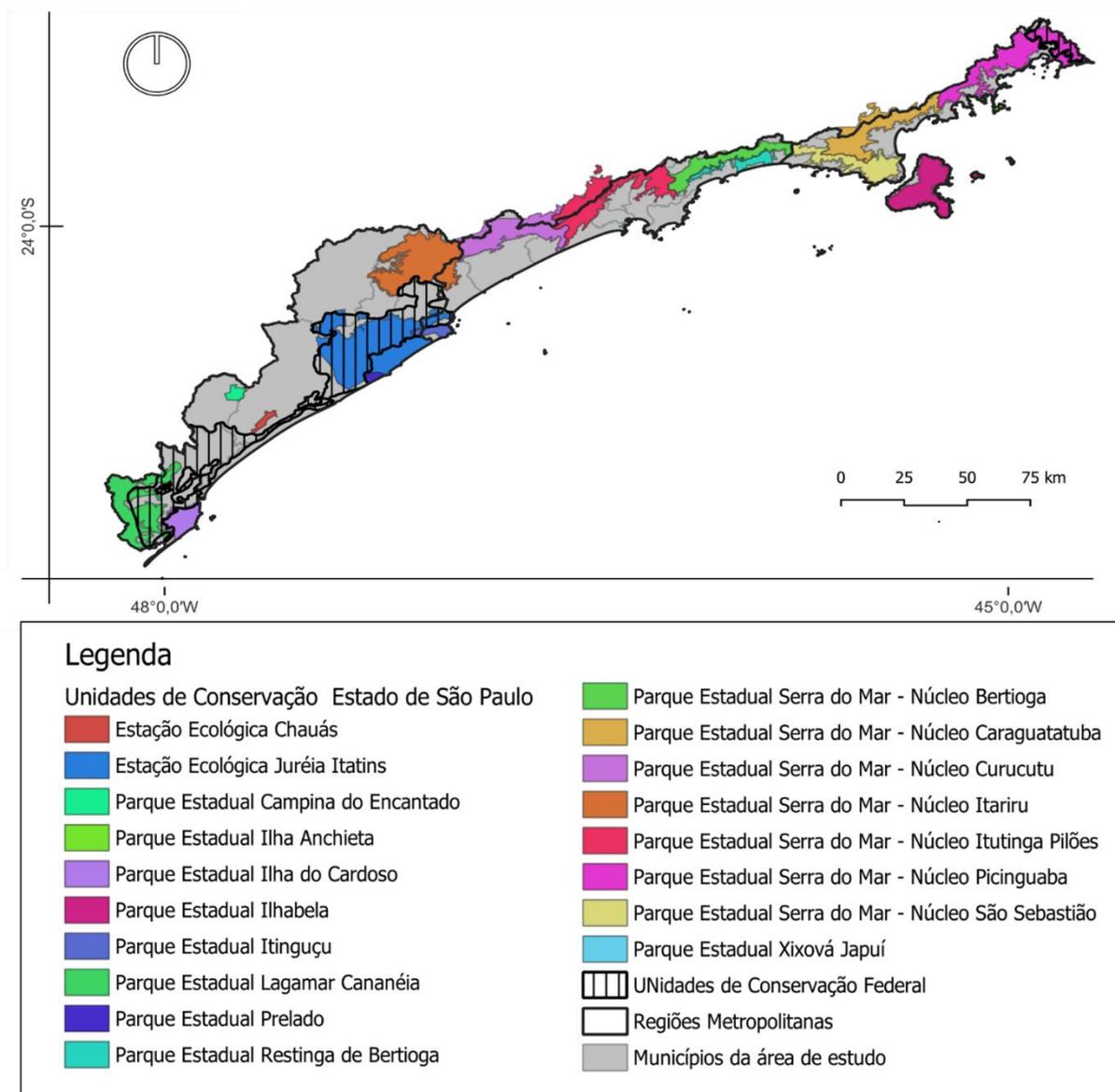
Este estudo teve como objetivo investigar a distribuição da espécie exótica *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., em áreas de conservação da zona costeira do Estado de São Paulo, bem como avaliar seu potencial invasor nestas áreas. As áreas que envolvem a RMBS, RVRLS e RMVRLN, foram priorizadas devido à sua rica biodiversidade e importância para a conservação. A distribuição da espécie ao longo da zona costeira foi analisada, com ênfase na identificação de possíveis rotas de dispersão. A malha viária, composta por rodovias, estradas, caminhos e trilhas, foi considerada como a principal via de dispersão, com os veículos atuando como vetores. Através dessa análise, foram delimitados potenciais corredores por onde a espécie pode se espalhar e áreas mais vulneráveis à invasão. Ao elucidar esses aspectos, buscamos compreender os mecanismos que impulsionam sua dispersão e os impactos que ela pode causar nos ecossistemas, fornecendo subsídios para a elaboração de estratégias de manejo e controle.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de Estudo

A área compreende o litoral do estado de São Paulo, geolocalização - 23,198570° Norte, -25,357999° Sul, -44,723749° Leste e -48,239692 Oeste, Área do projeto (*in loco*) é subdividida em três regiões, segundo o Governo do Estado de São Paulo: Região do Vale do Ribeira – Litoral Sul (RVRLS), Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS) e Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN). Foram selecionados nove municípios da RMBS (Bertioga, Cubatão, Guarujá, Itanhaém, Mongaguá, Peruíbe, Praia Grande, Santos e São Vicente), sete na RVRLS (Cananéia, Iguape, Ilha Comprida, Itariri, Miracatu, Pariquera-Açú e Pedro de Toledo) e quatro na RMVPLN (Caraguatatuba, Ilhabela, São Sebastião e Ubatuba). Embora o município de Ilhabela não tenha sido visitado em campo, os dados da pesquisa englobam análises de sua área, rede viária, frota de veículos e cobertura vegetal. Todos os municípios juntos, possuem 10.086,26 km² de área territorial, e 8.024,27 km² de cobertura vegetal (média de 76% do total de suas respectivas áreas). Os dados sobre área de cada município foram compilados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023) e, os dados sobre dimensões de cobertura vegetal são provenientes do banco de dados da Secretária Estadual de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística de São Paulo (SEMIL, 2020).

No estudo de campo, foram inclusas e visitadas 20 Unidades de Conservação em nossa área de pesquisa (Mapa 1) de abril de 2023 a maio de 2024, estratificada em Área de Preservação Ambiental, Estação ecológica e Parque (Mapa 1), nos âmbitos municipal (1), estadual (de 3 a 19) e federal (2 e 20). Os dados das unidades de conservação, área (km²), classe, categoria, limites, bioma, e outros dados, foram coletados em bancos de dados do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA), DataGEO – Sistema Ambiental Paulista e Secretária do Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística (SEMIL).



Mapa 1 - Unidades de Conservação na Zona Costeira do Estados de São Paulo.

Fonte: Elaborado pelo autor

A técnica de Kernel é um método não paramétrico utilizado para analisar a distribuição espacial de dados. Ela funciona estimando a densidade de pontos em uma área, atribuindo pesos maiores aos pontos (registros de ocorrências em nosso estudo) mais próximos e pesos menores aos mais distantes. Essa abordagem permite criar mapas de densidade que visualizam de forma clara as áreas onde os eventos são mais frequentes, auxiliando na identificação de padrões e tendências espaciais (Kawamoto, 2012).

Para a produção do mapa de calor Kernel de nossa área de estudo, foram extraídos os registros georreferenciados do programa Softwel - SW Maps – GIS &

Data Collector, e, inseridos no software QGIS. Em seguida utilizamos a ferramenta mapa de calor (Estimativa de Densidade Kernel), basemaps, SRC EPSG 3857 – WGS 84/ Pseudo-mercator, (QGIS 3.36.3, 2024). Seguindo a metodologia de Rizzatti et al. (2020), o mapa de calor (Kernel) foi construído com base no cálculo do raio de distância entre os pontos de dados, utilizando a fórmula (5) e equação (6):

$$R = \bar{X} \pm \bar{X}\sigma \quad (5)$$

Onde, \bar{X} : média da distância média, $\bar{X}\sigma$: média do desvio padrão e R: o raio.

$$R = \bar{X} \pm \bar{X}\sigma \rightarrow R = 92.033,62 \frac{+ 60.285,90}{-60.285,90} \rightarrow \frac{R+ = 152.319,52}{R- = 31.747,72} \quad (6)$$

2.2.2 *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth.

Os dados taxonomia, dispersão e registros de ocorrências de *Brillantaisia lamium.*, foram pesquisados em diversas fontes, incluindo base de dados *on line*, revistas por pares, relatórios, publicações científicas (Azevedo; Braz, 2018), livros (Sidwell, 1998). O nome da espécie está de acordo com *The Word Flora Online* (WFO), Catalogue of Life, fornecendo as referências taxonômicas mundiais mais abrangentes para plantas. Durante visitas a campo, foi possível efetuar registros georreferenciados e fotográficos em pontos independentes (Figura 2), com precisão GPS, no aplicativo da Softwel - SW Maps – GIS & Data Collector. O conjunto de dados de campo foi associado com fotos aéreas do HCMGIS – Basemaps, Google Satélite Hybrid SRC EPSG 3857 – WGS 84/ Pseudo-mercator (QGIS 3.36.3, 2024) e Shapefile das regiões de estudo (Datageo, 2022). Em campo foram observados: dados fenológicos, medidas de altura individual.



Figura 2 – Registro de ocorrência em Ubatumirim, em Ubatuba/SP.

Fonte: foto própria do autor

Os registros de ocorrência foram efetuados por indivíduo e as áreas ocupadas em m² foram quantificadas utilizando instrumentos como trena metálica e trena a laser. Para áreas de maior extensão, a estimativa da área foi realizada por meio de processamento de imagens de satélite. Os frutos e as sementes foram observados e fotografados com o uso de estereomicroscópio Zeiss Discovery, V8, com câmera clara acoplada (Figura 2 a b).

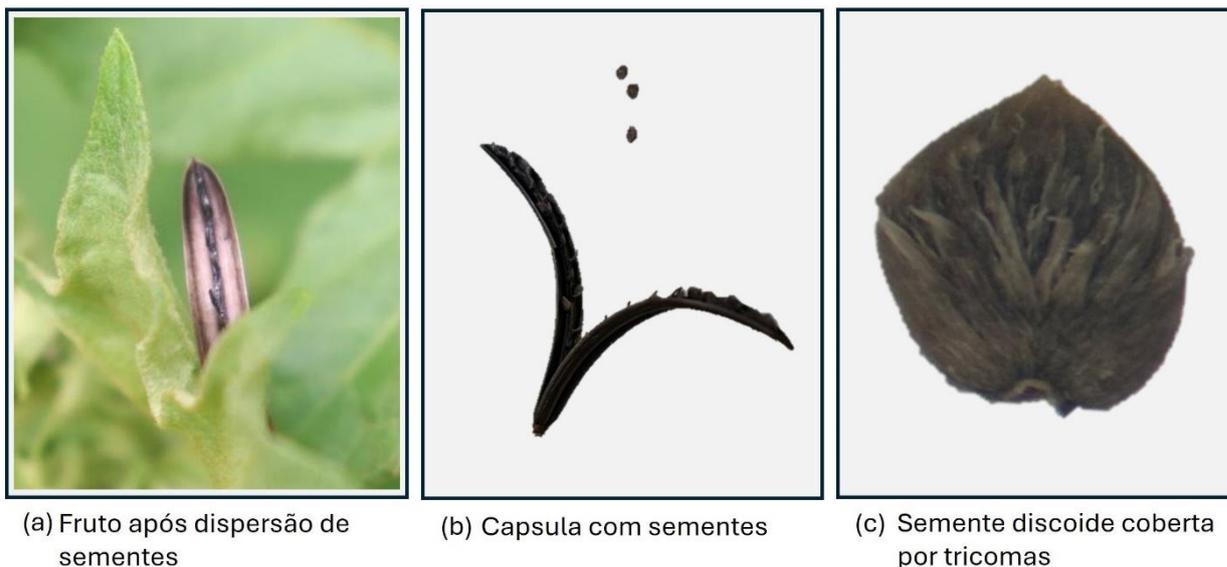


Figura 3 – a) fotografia do fruto da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth após dispersão, efetuada durante saída de campo em Ubatuba. (b) imagem do fruto para análise da curvatura de abertura da cápsula, (c) sementes com tricomas (pelos) sobre a sua área de cobertura

De acordo com estudos de Pickering et al. (2013), dentre as espécies vegetais com sucesso na dispersão por veículos, tiveram características em comum, espécies disseminadas que se beneficiam de perturbações (áreas antropizadas), tem produção de sementes muito alta, liberam sementes em torno de 1 m no solo e tem sementes pequenas e leves (aproximadamente 1 mg) e, também possam se reproduzir vegetativamente.

A malha viária das três regiões de nossa área de estudo, é composta por estradas federais, estaduais e municipais. Com base na estimativa de que cada veículo transporta em média duas a quatro sementes (Pickering et al., 2013; Ansong et al., 2015; Hodgkinson et al., 1997; Lonsdale et al., 1994; Zwaenepoel et al., 2006), o potencial de dispersão de sementes vegetais (com as características anteriormente descritas) por veículos, nas rodovias e estradas nas regiões da área de estudo foi analisado.

2.2.3 Malha viária e frota de veículos

Para a análise de dispersão pela malha viária (rodovias e estradas), foram consultados os bancos de dados do IBGE, Departamento de Estrada e Rodagens (DER), Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), e extraídos os dados (código, nome, categoria, velocidade permitida, extensão em km, pedágio, média de veículos por dia), das rodovias, vias e estradas, que compõem a malha viária intermunicipal, em âmbito municipal, estadual e federal (Tabela 1).

Tabela 1 - Rodovias e estradas que servem localidades com registros de ocorrências de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., na Zona Costeira do estado de São Paulo (dados de 2022).

| Cód. | Via | km | % | VMD* |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------|----------------|----------------|
| Região do Vale do Ribeira e Litoral Sul¹ | | 414 | 43,07% | 227.489 |
| 55 | Rod. Padre Manoel da Nobrega | 46 | 4,79% | 14.729 |
| 101 | Estrada Colônia Santa Maria - Mandira | 45 | 4,71% | |
| 116 | Rod. Regis Bittencourt | 135 | 14,05% | 185.392 |
| 193 | Rod. Prefeito Manoel de Lima | 33 | 3,39% | |
| 222 | Rod. Ivo Zanella | 45 | 4,64% | 13.019 |
| 222 | Rod. Jose Redis | 13 | 1,32% | 2.751 |
| 222 | Rod. Prefeito Casimiro Teixeira | 58 | 5,99% | 1.198 |
| 226 | Rod. Abilio Previdi | 8 | 0,83% | 2.696 |
| 226 | Rod. Amantino Stievano | 32 | 3,35% | 7.704 |
| Região Metropolitana da Baixada Santista² | | 290 | 30,12% | 520.804 |
| 50 | Rod. Anchieta | 26 | 2,67% | 132.269 |
| 55 | Rod. Conego Domenico Rangoni | 23 | 2,34% | 30.864 |
| 55 | Rod. Dr. Manoel Hipólito do Rego - Rio Santos | 63 | 6,50% | 43.195 |
| 55 | Rod. Padre Manoel da Nobrega | 74 | 7,65% | 141.114 |
| 61 | Rod. Ariovaldo de Almeida de Viana | 27 | 2,80% | |
| 98 | Rod. Mogi-Bertioga | 35 | 3,62% | 2.789 |
| 148 | Interligação Anchieta-Imigrantes | 2 | 0,20% | 21.434 |
| 160 | Rod. dos Imigrantes | 27 | 2,83% | 149.139 |
| 999 | Ponte Deputado Esmeraldo Tarquinio | 2 | 0,25% | |
| 999 | Via Expressa Sul | 12 | 1,25% | |
| Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte³ | | 258 | 26,80% | 126.700 |
| 55 | Rod. Dr. Manoel Hipólito do Rego - Rio Santos | 136 | 14,13% | 92.271 |
| 99 | Rod. dos Tamoios | 23 | 2,42% | 17.442 |
| 101 | Rod. Rio-Santos | 47 | 4,93% | 3.381 |
| 383 | Rod. Oswaldo Cruz | 51 | 5,32% | 13.606 |
| Total Geral | | 961 | 100,00% | 874.993 |

*VMD – Volume Médio Diário. ¹ -Cananéia, Pariquera-Açú, Iguape, Miracatu, Pedro de Toledo e Itariri.

² - Peruíbe, Itanhaém, Mongaguá, Praia Grande, São Vicente, Cubatão, Santos, Guarujá e Bertioga. ³ - São Sebastião Caraguatatuba e Ubatuba.

Fonte: DNIT - DER - FENABRAVE - IBGE

Na análise sobre a possível dispersão de espécies vegetais, incluindo *Brillantaisia lamium*, por veículos automotores utilizamos o último censo (2022) da frota de veículos dos municípios de nossa área de estudo (Tabela 2), exceto bicicletas motorizadas, motocicletas até 50cc, tratores e equipamentos automotores rurais.

Tabela 2 - Frota de veículos por municípios e percentual de cada município em relação ao total da frota da área de estudo, na Zona Costeira do estado de São Paulo (dados de 2022)

| Frota | | | | Frota | | | |
|--------------------|---------------|------------|--------------|-----------|------------------|---------------|--------------|
| Município | Unidade | % do geral | | Município | Unidade | % do geral | |
| 1 | Bertioga | 31.166 | 2,5% | 11 | Miracatu | 10.403 | 0,8% |
| 2 | Cananéia | 4.327 | 0,3% | 12 | Mongaguá | 27.083 | 2,2% |
| 3 | Caraguatatuba | 78.499 | 6,3% | 13 | Pariquera-Açu | 10.933 | 0,9% |
| 4 | Cubatão | 61.809 | 5,0% | 14 | Pedro de Toledo | 4.325 | 0,3% |
| 5 | Guarujá | 156.204 | 12,6% | 15 | Peruíbe | 41.744 | 3,4% |
| 6 | Iguape | 12.142 | 1,0% | 16 | Praia Grande | 168.764 | 13,6% |
| 7 | Ilhabela | 25.803 | 2,1% | 17 | Santos | 281.536 | 22,7% |
| 8 | Ilha Comprida | 6.828 | 0,6% | 18 | São Sebastião | 43.402 | 3,5% |
| 9 | Itanhaém | 55.250 | 4,5% | 19 | São Vicente | 156.152 | 12,6% |
| 10 | Itariri | 5.445 | 0,4% | 20 | Ubatuba | 58.221 | 4,7% |
| Total geral | | | | | 1.240.036 | 100,0% | |

Fonte: IBGE e FENABRAVE

Para projeção futura da frota de veículos e da média diária de veículos circulando nas rodovias da nossa área de estudo, utilizamos os índices estimados de vendas de veículos novos (incremento da frota), para todo o território nacional, pela Federação Nacional de Distribuidores de Veículos Automotores (FENABRAVE). Para calcular o aumento acumulado na frota de veículos e da média diária de veículos, utilizamos a fórmula (7):

$$M = C \times (1 + i)^t \quad (7)$$

Onde, M: é a projeção da frota para os anos estimados, C: é o número da frota de 2022, i: é a taxa aplicada ao aumento acumulado de veículos (índice - FENABRAVE), t: é a quantidade de vezes que a taxa será acumulada ao longo do tempo.

2.3 RESULTADOS

Nas 17 localidades de nosso estudo foram anotados 508 registros de ocorrências de *Brillantaisia lamium*. Os quatro municípios com a maior taxa de registros (acima de 50 registros) foram: Bertiooga 20% (102), São Sebastião 17% (86), Ubatuba 14% (71) e Cubatão 12% (61). Os municípios de Iguape 5,3% (27), Itanhaém 4,5% (23), Peruíbe 4,3% (22), Santos 4,1% (21), São Vicente 3,7% (19), Miracatu 3,3% (17), Guarujá 3,1% (16) e Mongaguá com 3% (15) apresentaram percentuais muito próximos (entre 3% e 6%), indicando uma similaridade nas quantidades de registros. Na faixa de três e dez registros estão Praia Grande 2% (10), Pariquera-Açú 1,6% (8), Caraguatatuba 0,8% (4), Cananéia e Pedro de Toledo com 0,6% (3).

Em relação à área ocupada (m²) pela espécie, três municípios representam juntos, 71,6% das áreas ocupadas: Ubatuba, Bertiooga e São Sebastião, com 25.743 m², 18.238 m² e 14.300 m² respectivamente. Do total ocupado, 26,7% estão localizados áreas entre 1.000m² e 10.000 m², sendo Miracatu com 6.816 m², seguido de Santos (4.753 m²), Iguape (2.925 m²), Itanhaém (1.779m²), São Vicente (1.502 m²), Mongaguá (1.444 m²), Guarujá (1.88 m²) e Cubatão (1.114 m²). Os demais 1,75%, se concentraram em Peruíbe com 472 m², Praia Grande (365 m²), Caraguatatuba (322 m²), Pariquera-Açú (164 m²), Pedro de Toledo (63 m²) e Cananéia (43 m²).

A RMVPLN apresentou a maior extensão ocupada por *B. lamium*, apesar de ter o segundo maior número de registros de ocorrências. A RMBS concentrou mais registros por área, indicando alta densidade da espécie. A RVRLS teve os menores valores em ambos os indicadores (Tabela 3).

Tabela 3 - Registros de ocorrências de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., nas áreas da Região do Vale do Ribeira e Litoral Sul, Região Metropolitana da Baixada Santista e Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, em km².

| | Registros | % Registros | km² | % km² |
|----------------------------------------------|------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|
| Litoral Sul - Vale do Ribeira | 58 | 11% | 10,01 | 12% |
| Região Metropolitana da Baixada Santista | 289 | 57% | 31,06 | 38% |
| Região Metrop. do Vale Paraíba Litoral Norte | 161 | 32% | 40,37 | 50% |
| Total Geral | 508 | 100% | 81,43 | 100% |

Fonte: Elaborado pelo autor

As 20 Unidades de Conservação (UC) visitadas em nossa área de estudo, estão divididas nas seguintes categorias e níveis de abrangência: Área de Preservação Ambiental – municipal (1), Área de Proteção Ambiental – federal (1),

Estação Ecológica – estadual (2), Parque Estadual – estado (15) e Parque Nacional – federal (1). As anotações abrangeram tanto as áreas internas das Unidades de Conservação (UCs) quanto uma zona de amortecimento de 500 metros circundante a cada UC. Foram registrados 36,41% das ocorrências dentro dos limites cartográficos das UCs (municipal, estadual e federal), Considerando a zona de amortecimento de 500 m, os registros subiram para 78,14%, de *B. lamium* (Tabela 4).

Tabela 4 – Registros de ocorrências de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., em número de registros e em km² em Unidades de Conservação (UC) da Zona Costeira do estado de São Paulo, sem área de amortecimento e com área de amortecimento de 500 metros.

| Unidade de Conservação | Sem área de amortecimento | | Com área de amortecimento de 500m | |
|------------------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| | Registro | km ² | Registro | km ² |
| Area Preservação Ambiental Serra Guararú | 13 | 1,226 | 13 | 1,226 |
| APA - Cananeia/Iguape/Peruíbe | 18 | 1,343 | 21 | 4,415 |
| Estação Ecológica dos Chauas | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Estação Ecológica Jureia Itatins | 9 | 0,421 | 15 | 1,015 |
| Parque Estadual Campina do Encantado | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parque Estadual do Prelado | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parque Estadual Lagamar Cananeia | 1 | 0,002 | 1 | 0,002 |
| Parque Estadual Restinga de Bertiooga | 33 | 6,931 | 102 | 17,543 |
| PESM - Bertiooga | 4 | 0,203 | 4 | 0,203 |
| PESM - núcleo Caraguatatuba | 0 | 0 | 3 | 0,306 |
| PESM - núcleo Curucutu | 1 | 0,001 | 3 | 0,005 |
| PESM - núcleo Itariru | 11 | 0,204 | 14 | 0,29 |
| PESM - núcleo Itinguçu | 1 | 0,004 | 2 | 0,02 |
| PESM - núcleo Itutinga Pilões | 56 | 1,439 | 98 | 7,967 |
| PESM - núcleo Picinguaba | 22 | 12,278 | 37 | 19,615 |
| PESM - núcleo São Sebastiao | 4 | 1,306 | 56 | 11,264 |
| PESM- Caminhos do Mar | 6 | 0,013 | 8 | 0,096 |
| Parque Estadual Xixová Japuí | 2 | 0,017 | 6 | 0,1 |
| Parque Nacional Serra da Bocaina* | 4 | 2,106 | 14 | 8,776 |
| | 185 | 27,494 | 397 | 72,843 |

*12,7% da área do Parque Nacional da Serra da Bocaina, está localizada em Ubatuba, no estado de São Paulo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas UCs Estação Ecológica dos Chauas (Iguape), Parque Estadual do Prelado (Iguape) e Parque Estadual Campina do Encantado (Pariquera-Açú) foram visitadas as estradas de acesso, as trilhas no interior das unidades e os bairros circunvizinhos

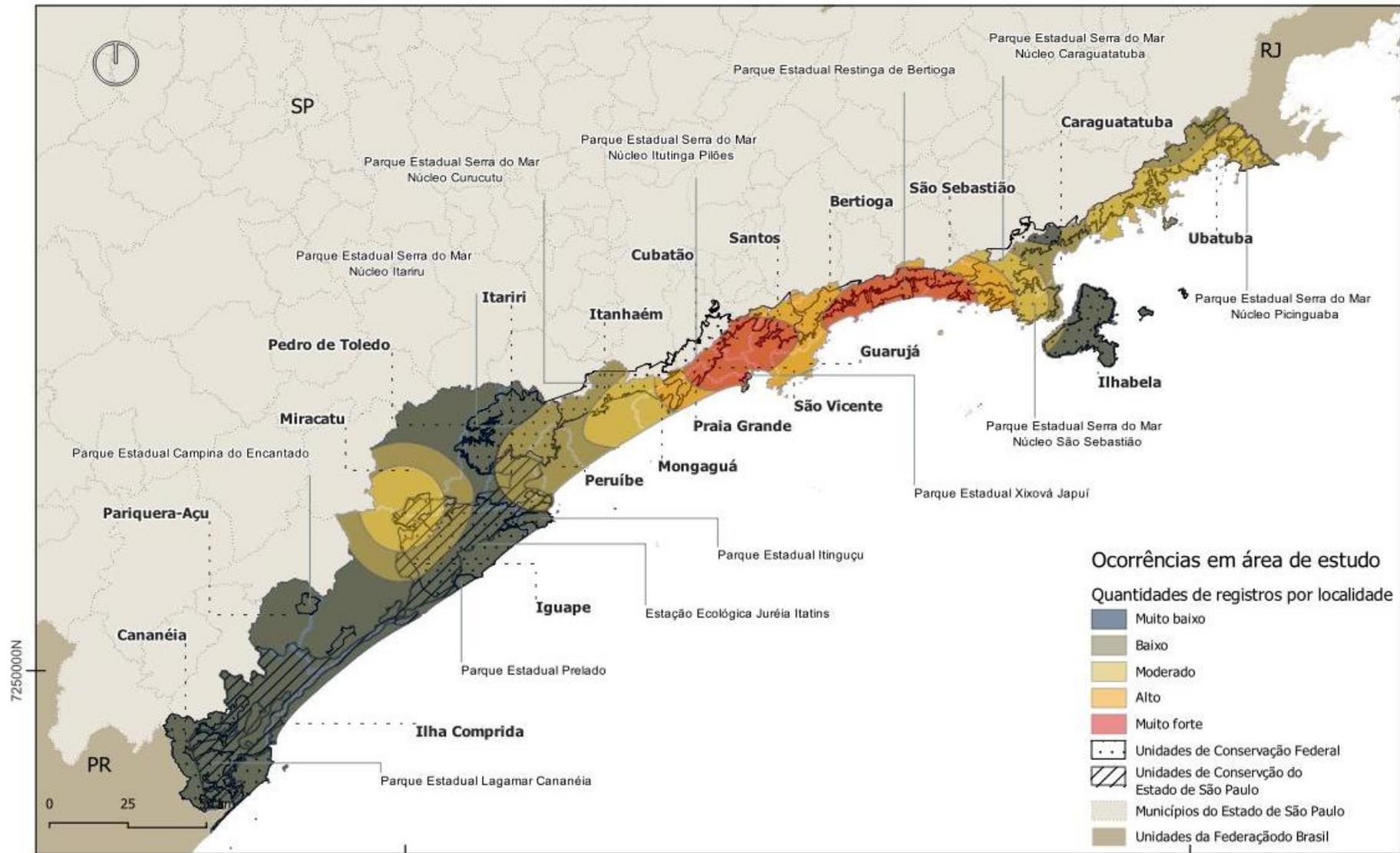
e não houve registros da espécie. Entretanto, nos municípios onde se localizam estas unidades foram registrados 6,88% do total de 35 anotações.

O Parque Estadual da Serra do Mar (PESM) – núcleo Picinguaba, teve os maiores registros por área ocupada pela espécie, em ambas as análises com área de amortecimento e sem área de amortecimento 44,65% e 26,92%, respectivamente. Contudo, os Parques Estaduais Restinga de Bertioga e Serra do Mar (núcleo Itutinga Pilões) concentraram o maior número de registros da espécie, 33 e 56 respectivamente. A consideração de áreas de amortecimento nesses parques ampliou consideravelmente o número de ocorrências, 102 e 98, respectivamente nas UCs.

O mapa de Kernel (Krigagen interpolação de dados e registros geolocalizado apresentou duas regiões (I e II) com distribuição muito forte de *B. lamium*. (I) A região da Ilha de São Vicente e seu entorno (Guarujá, Cubatão, Praia Grande, São Vicente e Santos) na RMBS foram efetuados maior número registros de ocorrências. (II) Outra região com nível muito forte, foi Bertioga e a parte sul do município de São Sebastião. É importante ressaltar que a área intermediária entre essas duas regiões tem sido identificada como um importante corredor ecológico, segundo Souza et al. (2007). No entanto, as ocorrências nessa área intermediária, pode afetar negativamente a biodiversidade nesta área, sugerindo a viabilidade de união das três áreas (região I e II e área intermediária) em um único bloco no nível muito forte (laranja) (Mapa 2).

A análise de interpolação espacial sugeriu uma expansão da distribuição da espécie nos municípios do sul da RMBS. Os resultados indicaram alta probabilidade de ocorrência em Praia Grande, probabilidade moderada em algumas áreas de Mongaguá e Itanhaém, e menor probabilidade em Peruíbe. A RVRLS, apresentou, na análise da interpolação de registros (mapa de Kernel), nível muito baixo de registros de ocorrências, todavia destacou-se nesta região, a área entre os limites dos municípios de Miracatu e Iguape (zonas rurais do Divisor e Itimirim) em nível moderado de registros de ocorrências. É importante ressaltar que ambas as zonas rurais apresentam uma rede de estradas não pavimentadas, margeando rios e áreas de cultivo de banana. Essas vias, que oferecem acesso à Estação Ecológica Juréia-Itatins, coincidem com diversos registros de *B. lamium*.

Na RMVPLN, o extremo norte do município de Ubatuba (núcleo Picinguaba) apresentou nível moderado para alto, em virtude do número de registros de ocorrências, enquanto o município de Caraguatatuba apresentou o nível baixo em grande parte de seu território, e nível muito baixo na encosta da Serra do Mar.



Mapa 2 - Mapa de calor (Kernel) da área de estudo da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth.

Fonte: Elaborado pelo autor no software QGIS – EPSG 31983, SIRGAS 2000, UTM 23S (coordenadas planadas em metros)

Durante a pesquisa de campo (primavera e verão), os registros de dados fenológicos de *B. lamium* apresentaram variações entre os municípios. De forma geral, observou-se que 13% dos indivíduos estavam em estágio vegetativo, 36% apresentavam flores, e 51% exibiam flores e frutos. No entanto, em São Sebastião, esse padrão divergiu, com 34% dos indivíduos em estágio vegetativo, 48% com flores, e apenas 19% com flores e frutos, durante o nosso período de estudo.

A altura média dos indivíduos foi de 82 cm, com registros superiores a 210 cm em Itanhaém, Guarujá, Santos e Ubatuba.

A maior parte das ocorrências (51%) concentrou-se em áreas de relevo plano e suavemente ondulado. Os demais 49% estavam em áreas de relevo forte ondulado e montanhoso.

As análises demonstraram que a RMBS possui a maior frota de veículos (carros de passeio, ônibus, caminhões, motos entre outros) na área de estudo, seguido pelas regiões do Vale do Paraíba - Litoral Norte e Vale do Ribeira – Litoral Sul.

Na RMVPLN, Caraguatatuba registrou a maior frota da região, contrapondo os registros de *B. lamium*, que foi o menor da região. São Sebastião e Ubatuba, têm 49% da frota da região, e foram registrados 99% da área (m²) com a espécie em seus limites municipais.

As cidades com a maior frota de veículos do litoral do estado de São Paulo, estão localizadas na RMBS (65,69%), com a seguinte porcentagem de frota de veículos por município: Cubatão (5%), Guarujá (12,6%), Praia Grande (13,6%), Santos (22,7%) e São Vicente (12,6%), enquanto foram registrados 25% das ocorrências nestas localidades. Vale destacar, que na RVRLS, foram registrados 11% das ocorrências, ocupando 12% da área de cobertura de *B. lamium* em nossa área de estudo, enquanto sua frota de veículos representou apenas 4% dentre as regiões do estudo (Tabela 5) e (Mapa 3).

Considerando que cada veículo, em média, pode transportar entre duas e quatro sementes aderidas a sua estrutura, e com base no levantamento da frota de veículos nos municípios estudados, estimamos um potencial de dispersão de sementes vegetais (incluindo *B. lamium*) por veículos que varia entre 2.480.072 e 4.960.144 sementes (milhões) (Pickering et al., 2013; Ansong et al., 2015; Hodgkinson et al., 1997; Lonsdale et al., 1994; Zwaenepoel et al., 2006), (Tabela 5). Na RMVPLN, o município de Caraguatatuba registrou o menor percentual (0,8%) dos registros de ocorrência na área de estudo, todavia, possui a maior frota de veículos. Nos

municípios de Iguape e Miracatu (RVRLS) foram registrados 75% das ocorrências e a frota equivale a 41% da região. Já na RMBS, os resultados de registros de ocorrências, foi de 57% de toda a área de estudo, enquanto a frota representa 79%. Vale destacar que Santos, São Vicente, Praia Grande e Cubatão, possuem a maior frota de veículos 87% da RMBS e 66,5% das três Regiões Metropolitanas visitadas (Mapa 3).

Tabela 5 - Frota de veículos por região e localidades, potencial de dispersão de duas e quatro sementes de espécies vegetais incluindo *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., com os percentuais em relação ao total da região e do total da frota de veículos automotores da área de estudo.

| | | Frota | Sementes 2 | Sementes 4 | % região | % geral |
|---------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| RMVPLN | | 205.925 | 411.850 | 823.700 | 100% | 17% |
| 1 | Caraguatatuba | 78.499 | 156.998 | 313.996 | 38% | 6,3% |
| 2 | Ilhabela | 25.803 | 51.606 | 103.212 | 13% | 2,1% |
| 3 | São Sebastião | 43.402 | 86.804 | 173.608 | 21% | 3,5% |
| 4 | Ubatuba | 58.221 | 116.442 | 232.884 | 28% | 4,7% |
| RVRLS | | 54.403 | 108.806 | 217.612 | 100% | 4% |
| 5 | Cananéia | 4.327 | 8.654 | 17.308 | 8% | 0,3% |
| 6 | Iguape | 12.142 | 24.284 | 48.568 | 22% | 1,0% |
| 7 | Ilha Comprida | 6.828 | 13.656 | 27.312 | 13% | 0,6% |
| 8 | Itariri | 5.445 | 10.890 | 21.780 | 10% | 0,4% |
| 9 | Miracatu | 10.403 | 20.806 | 41.612 | 19% | 0,8% |
| 10 | Pariquera-Açu | 10.933 | 21.866 | 43.732 | 20% | 0,9% |
| 11 | Pedro de Toledo | 4.325 | 8.650 | 17.300 | 8% | 0,3% |
| RMBS | | 979.708 | 1.959.416 | 3.918.832 | 100% | 79% |
| 12 | Bertioga | 31.166 | 62.332 | 124.664 | 3% | 2,5% |
| 13 | Cubatão | 61.809 | 123.618 | 247.236 | 6% | 5,0% |
| 14 | Guarujá | 156.204 | 312.408 | 624.816 | 16% | 12,6% |
| 15 | Itanhaém | 55.250 | 110.500 | 221.000 | 6% | 4,5% |
| 16 | Mongaguá | 27.083 | 54.166 | 108.332 | 3% | 2,2% |
| 17 | Peruíbe | 41.744 | 83.488 | 166.976 | 4% | 3,4% |
| 18 | Praia Grande | 168.764 | 337.528 | 675.056 | 17% | 13,6% |
| 19 | Santos | 281.536 | 563.072 | 1.126.144 | 29% | 22,7% |
| 20 | São Vicente | 156.152 | 312.304 | 624.608 | 16% | 12,6% |
| | | 1.240.036 | 2.480.072 | 4.960.144 | 100% | |

Fonte – DNIT 2023 – DER 2023 – FENABRAVE 2023/2024 – IBGE 2022

O estudo mostrou que, nas 23 vias da malha viária na área de estudo houve uma média de 874 mil veículos por dia (VMD), com potencial de distribuir mais de três milhões de sementes entre as localidades. Distribuídos em 14,48% na RMVPLN, com destaque para a rodovia Rio-Santos, 25,99% na RVRLS, destaque para Rodovia Regis Bittencourt – BR116 e 59,92% RMBS, com os maiores VMDs, na rodovia Anchieta, rodovia dos Imigrantes e rodovia Padre Manoel da Nóbrega.

Em relação à RM do Vale do Paraíba e Litoral Norte, nas Rodovias SP55 e BR101 ambas denominadas Rio Santos, foram registrados os maiores valores, 75,49% do VMD da região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, enquanto na mesma região foram registrados 50% das áreas com ocupação (m²) de *Brillantaisia lamium*.

Na Região do Vale do Ribeira e Litoral Sul, destacou-se a Rodovia Federal Regis Bittencourt (BR116), com 81,49% de todos os VMDs da região. Entretanto, na região, 93% da área (m²) dos registros ocorreram na Estrada Velha de Iguape, não pavimentada (Salto do Biguá e Vila São José em Miracatu) e na estrada rural Divisor/Itimirim (Iguape) também sem pavimentação; ambas acessam a Estação Ecológica da Juréia Itatins. Próximo à rodovia SP222, no trecho entre Miracatu (acesso BR116) e a cidade de Iguape, foram efetuados diversos registros de ocorrências de *B. lamium*. Nesta mesma área, 50% das ocorrências foram registradas nas bordas de rios e riachos e 24% em plantações de banana. No extremo sul do litoral de São Paulo, no distrito de Ariri, (Cananéia) foi registrado apenas uma ocorrência, com área de 2 m². Este pequeno distrito é atendido pela Estrada Colônia Santa Maria – Mandira (em seus mais de 40km de extensão) cruzando a UC Parque Estadual Lagamar de Cananéia. Nas proximidades da rodovia SP193 foram registrados ocorrências nos limites do município de Pariquera-Açú, em áreas rurais, com serviços de paisagismo e horticultura (para fins ornamentais) (Tabela 6).

A rodovia SP098 - Mogi Bertioga, teve o menor fluxo de VMD da RMBS 0,53%, cruzando a planície na cidade de Bertioga, sentido planalto, contorna o Parque Estadual Restinga de Bertioga e adentrando PESM, núcleo Bertioga. Nesta via, foram registrados 4,20% das ocorrências da Região Metropolitana da Baixada Santista. As Rodovias SP55 - Dr. Manoel H. do Rego - Rio Santos (trecho Bertioga e Guarujá), e SP55 - Conego Domenico Rangoni (trecho Guarujá – Cubatão), juntas tiveram 14,22% do fluxo de veículo médio por dia e foram registrados 12,38% da área (m²) ocupada pela *B. lamium* na RM Baixada Santista (Tabela 6).

Tabela 6 – Rodovias na RMBS, RVRLS e RMVPLN (numeração e respectivos nomes), o número do volume médio diário (VMD), e os números estimado de sementes dispersados pelos veículos de 02 sementes e 04 sementes da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth.

| Código e nome da Rodovia | VMD* | VMD | VMD |
|---------------------------------------------|----------------|------------------|------------------|
| | | x 2 sementes | x 4 sementes |
| RMVPLN ¹ | 126.700 | 253.400 | 506.800 |
| 055 Rod. Dr. Manoel H. do Rego - Rio Santos | 92.271 | 184.542 | 369.084 |
| 099 Rod. dos Tamoios | 17.442 | 34.884 | 69.768 |
| 101 Rod. Rio-Santos | 3.381 | 6.762 | 13.524 |
| 125 Rod. Oswaldo Cruz | 13.606 | 27.212 | 54.424 |
| RVRLS ² | 227.489 | 454.978 | 909.956 |
| 055 Rod. Padre Manoel da Nobrega | 14.729 | 29.458 | 58.916 |
| 101 Estrada Colônia Santa Maria - Mandira | --- | --- | --- |
| 116 Rod. Regis Bittencourt | 185.392 | 370.784 | 741.568 |
| 193 Rod. Prefeito Manoel de Lima | --- | --- | --- |
| 222 Rod. Ivo Zanella | 13.019 | 26.038 | 52.076 |
| 222 Rod. Jose Redis | 2.751 | 5.502 | 11.004 |
| 222 Rod. Prefeito Casimiro Teixeira | 1.198 | 2.396 | 4.792 |
| 226 Rod. Abilio Previdi | 2.696 | 5.392 | 10.784 |
| 226 Rod. Amantino Stievano | 7.704 | 15.408 | 30.816 |
| RMBS ³ | 520.804 | 1.041.608 | 2.083.216 |
| 050 Rod. Anchieta | 132.269 | 264.538 | 529.076 |
| 055 Rod. Conego Domenico Rangoni | 30.864 | 61.728 | 123.456 |
| 055 Rod. Dr. Manoel H. do Rego - Rio Santos | 43.195 | 86.390 | 172.780 |
| 055 Rod. Padre Manoel da Nobrega | 141.114 | 282.228 | 564.456 |
| 061 Rod. Ariovaldo de Almeida de Viana | --- | --- | --- |
| 098 Rod. Mogi-Bertioga | 2.789 | 5.578 | 11.156 |
| 148 Interligação Anchieta-Imigrantes | 21.434 | 42.868 | 85.736 |
| 160 Rod. dos Imigrantes | 149.139 | 298.278 | 596.556 |
| | 874.993 | 1.749.986 | 3.499.972 |

* VMD - Volume Médio Diário (veículos circulantes em rodovias e estradas pedagiadas e com controle de fluxo)

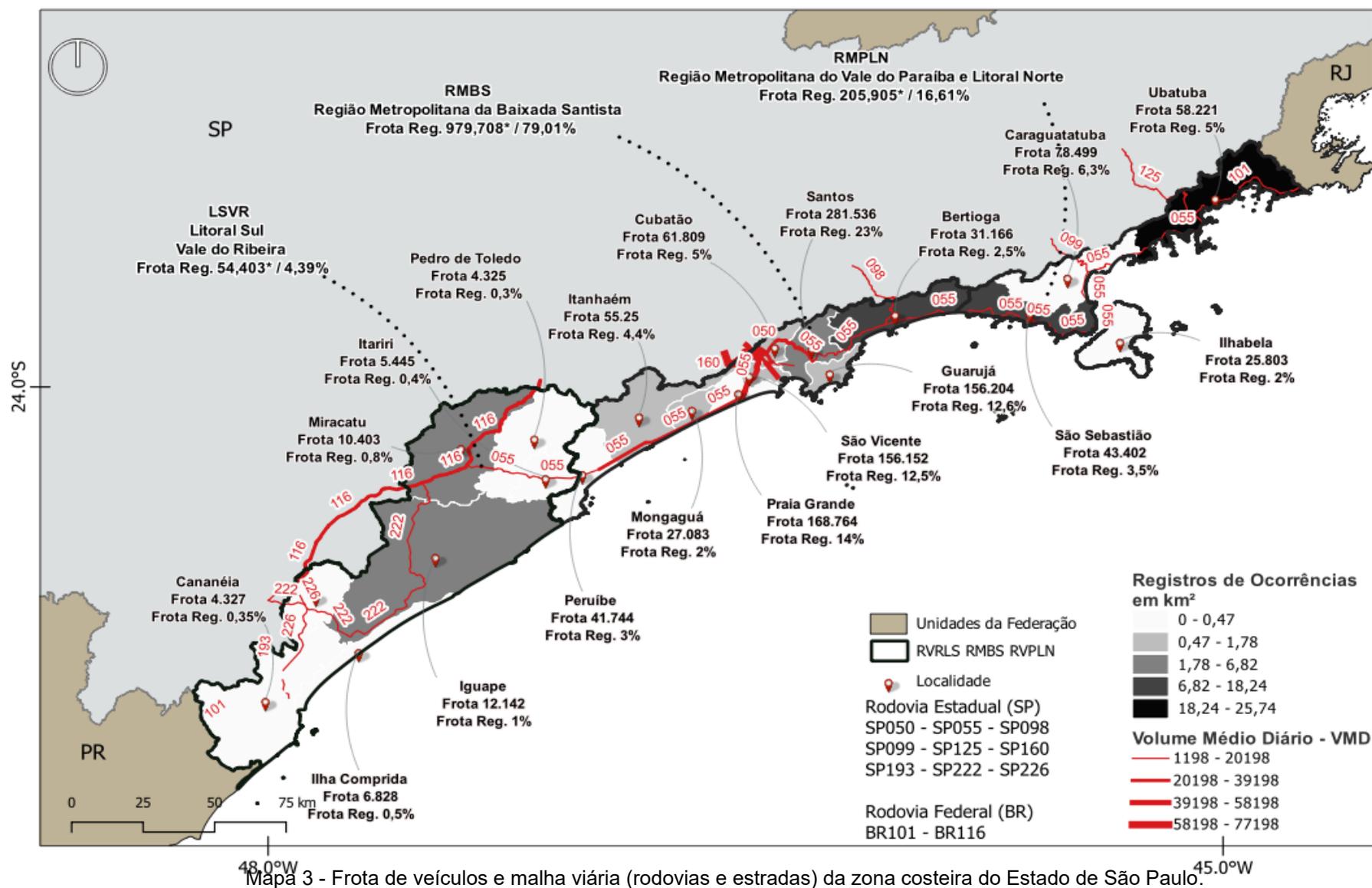
¹ - São Sebastião Caraguatatuba e Ubatuba.

² -Cananéia, Pariquera-Açú, Iguape, Miracatu, Pedro de Toledo e Itariri.

³ - Peruíbe, Itanhaém, Mongaguá, Praia Grande, São Vicente, Cubatão, Santos, Guarujá e Bertioga.

Fonte – DNIT 2023 - DER 2023 – FENABRAVE

2023/2024 – IBGE 2022



Ainda na Região Metropolitana da Baixada Santista, a rodovia SP055 – Rod. Padre Manoel da Nóbrega, entre Cubatão e Peruíbe, possui VMDs de 141 mil na região. Em seus mais de 70 km de extensão, passa por Cubatão, São Vicente, Praia Grande, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe, e foram registrados 57% dos registros de *B. lamium* da região, nestes municípios.

Entre 2006 e 2022, o crescimento da frota de veículos no estado de São Paulo, foi de 114%, saindo de 15 milhões para 32 milhões em 17 anos (IBGE, 2022). A região sudeste até 2023 tinha 53,3% da frota do Brasil em automóveis (carros de passeio), 46,6% comerciais leves, 22,3% caminhões, 18,1% ônibus e 13,7% motocicletas (FENABRAVE). A estimativa do número de veículos circulantes na área de estudo, considerando os dados da frota veicular até 2022 e a média diária nas rodovias, superou os dois milhões. A análise da série histórica dos últimos dez anos revelou uma taxa mediana de crescimento anual de 3,27%. Projetando um crescimento futuro da frota com base na mediana do crescimento histórico e na projeção do PIB a preços de mercado (1,7%), e utilizando o cálculo de aumento acumulado (incremento da frota), obteve-se uma estimativa de crescimento de 4,97% ao ano até 2040. O estudo projetou, ainda, um crescimento da frota veicular de 27,45% entre 2024 e 2028, atingindo 62,42% até 2033 e podendo chegar a 128,09% em 2040. Conforme Pickering et al., (2013), Ansong et al., (2015), Hodkinson et al., (1997), Lonsdale et al., (1994) e Zwaenepoel et al., (2006), a dispersão média de duas sementes viáveis de espécies vegetais com características comuns e similares a *Brillantaisia lamium* por veículo, foi projetado um aumento de aproximadamente 356% no número total de sementes desta espécie dispersas até 2040. Se considerarmos a dispersão de quatro sementes viáveis por veículo, esse aumento poderia chegar a 812%. (Tabela 7).

Tabela 7 – Projeções futura de dispersão por frota de veículos automotores e veículo médio por dia nas rodovias área de estudo de espécies vegetais incluindo *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth.

| Período/Projeção | Nº de veículos | 2 sementes | 4 sementes |
|-------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Atual | 2.115.029 | 4.230.058 | 8.460.116 |
| 2024 - 2028 | 2.695.518 | 5.391.037 | 10.782.074 |
| 2024 - 2033 | 3.435.329 | 6.870.657 | 13.741.315 |
| 2024 - 2040 | 4.824.193 | 9.648.386 | 19.296.772 |

Fonte - DNIT - DER - FENABRAVE - IBGE - ANFAVEA

* Os dados para veículos compreendem os veículos leves, passeio, ônibus, cargas, motocicletas e outros automotores; ** os dados/números leem-se 000.000 mil e 0.000.000 milhões de veículos

2.4 DISCUSSÃO

Nosso trabalho revelou uma ampla distribuição da espécie exótica *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., na zona costeira do Estado de São Paulo, com maior concentração nos municípios de Bertioga, São Sebastião, Ubatuba e Cubatão. A pesquisa evidenciou que a dispersão da espécie pode estar ligada à malha viária, com os veículos atuando como principais vetores de disseminação das sementes. As áreas próximas a rodovias e dentro de Unidades de Conservação registraram ocorrências, sugerindo um potencial invasor de *B. lamium*. Os resultados indicam que a espécie está em expansão, especialmente na região da Baixada Santista, e que a projeção para os próximos anos indica um possível aumento em sua distribuição.

Ao longo de 49 anos, foram registradas pouco mais de 100 registros de ocorrências de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., em todo o território brasileiro, e conforme Zenni e Ziller (2011) os registros de espécies exóticas, limitam-se à presença da espécie, não fornecendo informações sobre a distribuição espacial ou dinâmica populacional. Nosso estudo é pioneiro em efetuar os levantamentos da distribuição da espécie em todo o litoral do estado de São Paulo, com informações espaciais, fenologia entre outras variáveis bióticas e abióticas, para cada um dos 508 registros de ocorrências em nossa área de estudo, incluindo as UCs.

O estabelecimento de *B. lamium*, nos 17 municípios de nosso estudo, localizados no Bioma Mata Atlântica, pode estar relacionado com sua área de origem, que é o Bioma da Floresta Tropical Guine-Congolesa, tornando-a uma espécie Pantropical (Sidwell, 1998; Tripp; Mcdade, 2013). No Brasil, o Instituto Hórus (2024) a classifica como uma espécie exótica naturalizada, podendo tornar-se invasora.

A ampla distribuição de *B. lamium* nas regiões metropolitanas da Baixada Santista (RMBS), Vale do Ribeira (RVRL) e Vale do Paraíba (RMVPLN), ocupando uma área superior a 81.000 m², em nossos estudos reforçam as conclusões de Rejmánek e Simberloff (2017) de que espécies originárias de ambientes com alta biodiversidade, podem apresentar maior potencial invasivo quando houver Equivalência Ecológica. A exposição a diversas interações biológicas durante a evolução confere a essas espécies características que as tornam mais competitivas e adaptadas a explorar novos ambientes. É provável que este potencial invasivo esteja ocorrendo, principalmente nas zonas de amortecimento (500m) e no interior das

Unidades de Conservação, onde foram registradas 78% (397) das ocorrências. Além disso, as bordas florestais são mais suscetíveis à invasão por espécies exóticas, oriundas de áreas perturbadas, que podem adentrar a floresta, competindo com espécies nativas e alterando os processos ecológicos (Buss; Dabros; Higgins et al., 2024; Davidson; Goud; Franklin et al., 2020; Gignac; Dale, 2007; Neher; Asmussen; Lovell, 2013).

A concentração de 60% dos registros de *B. lamium* em áreas rurais da Região do Vale do Ribeira e Litoral Sul, principalmente em plantações de banana, sugere a rápida expansão da espécie, podendo impactar as terras agrícolas, reduzindo o potencial de produção das comunidades rurais (Huntley, 2023). Além disso, a espécie pode oferecer ameaça direta à biodiversidade local, inclusive em unidades de conservação, facilitada pela acessibilidade dessas áreas por meio de estradas e trilhas (Zenni, 2014). A proximidade de rios como Itimirim, Jacuguaçu e Bananal, e a fragilidade dos ecossistemas dessas unidades, as tornam altamente vulneráveis à invasão, especialmente considerando a capacidade de dispersão de espécies por meio da hidrocoria (Solari; Oorschot; Belletti et al., 2016).

A conservação da biodiversidade em áreas urbanas, como a Região Metropolitana da Baixada Santista, enfrenta desafios significativos. De acordo com Hobbs et al. (2014) a rápida urbanização cria paisagens complexas e dinâmicas, propícias à proliferação de espécies exóticas, especialmente em ambientes urbanos adversos (Riley; Herms; Gardiner, 2017). Os 289 eventos registrados na região evidenciam essa problemática, e com as mudanças climáticas, espera-se um aumento ainda maior nesses registros, em vista das preferências de condições edáficas da espécie.

A predominância de registros de *B. lamium* (89%) na RMBS e RMVPLN, pode estar relacionada ao crescimento acelerado da urbanização, do comércio e do transporte nas últimas cinco décadas, intensificando a crise das invasões biológicas (Hulme; Bacher; Kenis et al., 2008). De acordo com Essl; Lenzner; Bacher et al. (2020), espera-se que as dispersões de espécies exóticas continuem a aumentar nos próximos anos, intensificando os impactos econômicos já observados. Leroy et al. (2021) estimam que as perdas e o manejo de espécies exóticas invasoras em escala global entre 1970 e 2022 somaram 2,88 trilhões de dólares.

A ampla distribuição dos registros no litoral do estado de São Paulo sugere que as rodovias e estradas, associadas ao turismo e ao comércio, podem atuar como

corredores de dispersão, facilitando a introdução e propagação desses organismos ao longo do litoral paulista. A expansão da rede viária, associada ao aumento do fluxo de veículos, tem intensificado esse processo, com consequências negativas para a biodiversidade local (Seebens; Blackburn; Dyer et al., 2017).

O Mapa Bioma de 2022 revelou um crescimento exponencial das áreas urbanizadas em Bertioga (21 vezes), São Sebastião (4,5 vezes) e Ubatuba (5,2 vezes) desde 1985. O aumento na quantidade de residências e empreendimentos turísticos nesses locais, concomitante com a concentração de 51% dos registros de *Brillantaisia lamium* em nossa área de estudo, sugere que a urbanização e a construção civil e o turismo, têm facilitado a dispersão dessa espécie não nativa, por meio do transporte acidental de sementes (Pickering; Ansong, 2022).

O expressivo crescimento da frota de veículos, com um aumento superior a 4% ao ano nos últimos 17 anos, ultrapassando a marca de 1,2 milhão de veículos, em conjunto com a intensa utilização da malha rodoviária, que registra quase 1 milhão de veículos comerciais, leves, ônibus e caminhões diariamente, tem proporcionado condições ideais para a dispersão de plantas invasoras. As estradas atuam como corredores de dispersão, facilitando o transporte acidental de sementes e propágulos, contribuindo para a introdução e estabelecimento de espécies exóticas em novas áreas (Ansong, 2024; Hodkinson; Thompson, 1997).

As estradas não pavimentadas, especialmente em locais como a Praia da Fazenda (Ubatuba), o Quilombo Mandira e Ariri (Cananéia), a Estrada do Divisor (Iguape), a Estrada do Salto do Biguá e Vila São José (Miracatu), a Estrada do Acaraú (São Vicente) e a estrada de acesso à Aldeia Tekoã Yaka Tiim Porã (Itanhaém), podem ser importantes vias e vetores para os altos índices de dispersão de *B. lamium*, zonas de amortecimento. Conforme Buss; Dabros; Higgins et al. (2024), o tráfego de veículos nesses locais facilita a adesão de sementes aos pneus, contribuindo para a propagação dessa espécie invasora e a expansão de seu território, com potenciais impactos negativos nas áreas naturais circunvizinha, incluindo unidades de conservação.

As rodovias Dr. Manoel Hipólito do Rego (Rio-Santos) e Padre Manoel da Nóbrega, responsáveis por 69% dos registros de *B. lamium* em nossa amostra de 23 rodovias, atuam como possíveis vetores de dispersão, facilitando a expansão dessa espécie além de suas margens. A fragmentação dos habitats naturais causada por essas vias, combinada com o intenso fluxo de veículos, aproximadamente 300 mil

veículos por dia, cria condições propícias para a colonização e propagação da espécie em áreas adjacentes, como fragmentos florestais e áreas urbanas, com sérias consequências para a biodiversidade local (Ribeiro; Metzger; Martensen et al., 2009; Von Der Lippe; Kowarik, 2007).

É fundamental considerar a dinâmica espacial dos fragmentos causado pelas rodovias, no contexto da paisagem. A presença de uma espécie invasora em um novo fragmento, por exemplo, exige uma resposta rápida para evitar sua disseminação para áreas vizinhas (Hobbs; Higgs; Hall et al., 2014).

O estudo de Taylor; Brummer; Taper et al. (2012) demonstrou que veículos podem transportar sementes por longas distâncias (até 256 km), especialmente em condições secas. A retenção de sementes em veículos varia de acordo com o tipo de estrada (pavimentada ou não), condições climáticas (úmidas ou secas) e distância percorrida. Enquanto em condições secas a maioria das sementes é retida por centenas de quilômetros, em condições úmidas a perda é mais rápida, principalmente em estradas pavimentadas. Através da análise dos nossos dados, observou-se que a maior distância de dispersão de *B. lamium* entre as ocorrências em nossa área de estudo, ocorreu no distrito de Ariri, a 87 km de Pariqueira Açú. No entanto, a maioria dos registros com longas distâncias situou-se em um raio de aproximadamente 50 km do ponto de origem. Por isso o aumento do número de estradas e a capacidade dos veículos de transportar sementes representam uma ameaça significativa à biodiversidade em escalas local e global (Lonsdale; Lane, 1994; Taylor; Brummer; Taper et al., 2012; Von Der Lippe; Kowarik, 2007; Zwaenepoel; Roovers; Hermy, 2006)

Estudos anteriores de Ansong e Pickering (2013); Pickering e Ansong (2022) estimaram que, na Austrália, cerca de 50,8 milhões de sementes poderiam ser dispersadas diariamente pelas rodovias. Nossos resultados corroboram essa magnitude, projetando que, até 2040, a frota de veículos na nossa área de estudo tenha o potencial de dispersar aproximadamente 20 milhões de sementes por dia. Essa similaridade nos resultados indica que o transporte veicular é um fator determinante na dispersão de sementes em diferentes contextos geográficos.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A intensificação da globalização e as alterações no uso da terra têm impulsionado a disseminação de espécies exóticas invasoras, como a *Brillantaisia lamium*, que pode ser uma ameaça a biodiversidade da Mata Atlântica. A fragmentação dos habitats causada pela expansão da infraestrutura viária, em especial as rodovias, facilita a dispersão dessa espécie, tornando-a um desafio crescente para a conservação. A alta capacidade de dispersão de *B. lamium*, combinada com sua adaptabilidade a diferentes ambientes, permite a sua distribuição em novas áreas, incluindo unidades de conservação. A região da Serra do Mar, com sua rica biodiversidade e alta fragmentação, é particularmente vulnerável à invasão por essa espécie. É fundamental implementar medidas urgentes para controlar a dispersão de *B. lamium* dirimindo possíveis impactos dessa invasão e a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. M. D. D.; MOURA, M. A. L.; SANTOS, A. B. D.; CARNEIRO, R. G. *et al.* Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente e refletida acima e abaixo do dossel de floresta de Mata Atlântica em Coruripe, Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 29, n. 1, 2014-03.

ANSONG, M. Unintentional human-vectored dispersal contributes to the spread of high risk weed species. **Weed Research**, 64, n. 2, 2024.

ANSONG, M.; PICKERING, C. Are Weeds Hitchhiking a Ride on Your Car? A Systematic Review of Seed Dispersal on Cars. **PLoS ONE**, 8, n. 11, p. e80275, 2013-11-12 2013.

ANSONG, M.; PICKERING, C. What's a Weed? Knowledge, Attitude and Behaviour of Park Visitors about Weeds. **PLOS ONE**, 10, n. 8, p. e0135026, 2015-08-07 2015.

AZEVEDO, I. H. F.; BRAZ, D. M. Seed morphology of *Ruellia* L. (Acanthaceae) from the Southeastern Brazilian Atlantic rain forest: Taxonomic, phylogenetic, and ecological aspects. **Flora**, 240, p. 48-57, 2018/03/01/ 2018.

BEENTJE, H. J. ***Brillantaisia lamium*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017** : e.T185265A84260857. 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-1.RLTS.T185265A84260857.en>. Acesso em: 01 setembro 2024.

BELLARD, C.; CASSEY, P.; BLACKBURN, T. M. Alien species as a driver of recent extinctions. **Biology Letters**, 12, n. 2, p. 20150623, 2016.

BERGALLO, H. G.; SILVEIRA FILHO, T. B.; ZILLER, S. R. Primeira lista de referência de espécies exóticas invasoras no estado do Rio de Janeiro-Brasil: implicações para pesquisas, políticas e manejo. **Bioinvasiones**, 8, p. 3-18, 2021.

BLACKBURN, T. M.; LOCKWOOD, J. L.; CASSEY, P. The influence of numbers on invasion success. **Molecular Ecology**, 24, n. 9, p. 1942-1953, 2015/05/01 2015.

BUSS, J.; DABROS, A.; HIGGINS, K. L.; HAMMOND, H. E. J. *et al.* Comparison of edge effects from well pads and industrial roads on mixed upland boreal forest vegetation in Alberta. **Plant Ecology** 2024 225:4, 225, n. 4, 2024.

CBD - CONVENTION OF BIOLOGICAL DIVERSITY. Article 8. h. In-situ Conservation, 2020. Disponível em: <https://www.cbd.int/convention/articles/default.shtml?a=cbd-08>. Acesso em: 11 nov. 2023.

CBD - CONVENTION OF BIOLOGICAL DIVERSITY. Post-2020 Global Biodiversity Framework, 2022. Disponível em: <https://www.cbd.int/doc/c/409e/19ae/369752b245f05e88f760aeb3/wg2020-05-l-02-en.pdf>. Acesso em: 10 jun 2024.

DATAGEO. Sistema ambiental paulista. 2023. Disponível em: <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/> . Acessado em: 10 ago 2023.

DATAGEO. Sistema ambiental paulista. 2024. Disponível em: <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/>. Acessado em: 23 jan 2024.

DAVIDSON, S. J.; GOUD, E. M.; FRANKLIN, C.; NIELSEN, S. E. *et al.* Frontiers | Seismic Line Disturbance Alters Soil Physical and Chemical Properties Across Boreal Forest and Peatland Soils. **Frontiers in Earth Science**, 8, 2020.

DAWSON, W.; MOSER, D.; VAN KLEUNEN, M.; KREFT, H. *et al.* Global hotspots and correlates of alien species richness across taxonomic groups. **Nature Ecology & Evolution** 2017 1:7, 1, n. 7, 2017.

DECHOUM, M. S.; JUNQUEIRA, A. O. R.; ORSI, M. L.; XAVIER, R. O. *et al.* Capítulo 1: Introdução. In: Dechoum, M.S; Junqueira, A. O. R; Orsi, M.L. (Org.). **Relatório Temático sobre Espécies Exóticas Invasoras, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos.**, 1a.Ed. São Carlos: Editora Cubo, p. 6-48, 2024.

DIAGNE, C.; LEROY, B.; VAISSIÈRE, A.-C.; GOZLAN, R. E. *et al.* High and rising economic costs of biological invasions worldwide. **Nature**, 592, n. 7855, p. 571-576, 2021/04/01 2021.

ELLIS, E.; KLEIN GOLDEWIJK, K.; SIEBERT, S.; LIGHTMAN, D. *et al.* Anthropogenic Transformation of the Biomes, 1700 to 2000. **Global Ecology and Biogeography**, 19, p. 589-606, 08/31 2010.

FINCH, D.; BAILEY, W.; MCARTHUR, L.; NASITWITWI, M. Photosynthetically active radiation regimes in a southern African savanna environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, 122, n. 3-4, p. 229-238, 2004.

GIGNAC, L. D.; DALE, M. R. T. Effects of size, shape, and edge on vegetation in remnants of the upland boreal mixed-wood forest in agro-environments of Alberta, Canada. **Canadian Journal of Botany**, 85, n. 3, p. 273-284, 2007.

HOBBS, R. J.; HIGGS, E.; HALL, C. M.; BRIDGEWATER, P. *et al.* Managing the whole landscape: historical, hybrid, and novel ecosystems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, 12, n. 10, p. 557-564, 2014/12/01 2014.

HODKINSON, D. J.; THOMPSON, K. Plant Dispersal: The Role of Man. **Journal of Applied Ecology**, 34, n. 6, p. 1484-1496, 1997.

HULME, P. E.; BACHER, S.; KENIS, M.; KLOTZ, S. *et al.* Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. **Journal of Applied Ecology**, 45, n. 2, 2008.

HUNTLEY, B. J. The Guineo-Congolian Rain Forest Biome. *In: Ecology of Angola:* Springer International Publishing, 2023. p. 279-304.

INSTITUTO HÓRUS. Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras, 2023. Disponível em: <https://bd.institutohorus.org.br/>
Acesso em: 20 dez. 2023.

INSTITUTO HÓRUS. Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras, 2024. Disponível em: <https://bd.institutohorus.org.br/>. Acesso em: 10 fev 2024.

KAWAMOTO, M. T. **Análise de técnicas de distribuição espacial com padrões pontuais e aplicação a dados de acidentes de trânsito e a dados de dengue de Rio Claro - SP**. 2012. 69 f. Dissertação (mestrado) - Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

KOWARIK, I. Human Agency in Biological Invasions: Secondary Releases Foster Naturalisation and Population Expansion of Alien Plant Species. **Biological Invasions**, 5, n. 4, p. 293-312, 2003/12/01 2003.

LAURANCE, W. F.; CURRAN, T. J. Impacts of wind disturbance on fragmented tropical forests: A review and synthesis. **Austral Ecology**, 33, n. 4, 2008.

LESTER, R. N.; EZCURRA, C. Enzyme etching treatment as an aid in the study of seed surface sculpture in *Justicia* and *Ruellia* (Acanthaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, 105, n. 3, 1991.

LONSDALE, W. M.; LANE, A. M. Tourist vehicles as vectors of weed seeds in Kakadu National Park, Northern Australia. **Biological Conservation**, 69, n. 3, p. 277-283, 1994/01/01/ 1994.

NEES VON ESENBECK, C. G. **Acanthaceae**. In **A. de Candolle (Ed.)**, **Prodromus Systematis Naturalis Regni Vegetabilis**. Paris: 1847.

NEHER, D. A.; ASMUSSEN, D.; LOVELL, S. T. Roads in northern hardwood forests affect adjacent plant communities and soil chemistry in proportion to the maintained roadside area. **Science of The Total Environment**, 449, p. 320-327, 2013/04/01/ 2013.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2016. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em: 01 set 2024.

PICKERING, C.; ANSONG, M. Nature-based Tourists as Seed Dispersal Vectors. *In*, 2022. p. 7-13.

PIVELLO, V. R.; ROCHA, R. M.; VITULE, J. R. S.; BRAGA, R. R. *et al.* Capítulo 4: Impactos de espécies exóticas invasoras sobre as Contribuições da Natureza para as Pessoas (CNP), o Desenvolvimento Sustentável e a boa qualidade de vida. *In* n: Dechoum; M.S Junqueira; A. O. R. Orsi, M.L. (Org.). **Relatório Temático sobre Espécies Exóticas Invasoras, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos** . 1a. Ed. São Carlos: Editora Cubo, p. 133-184, 2024.

PIVELLO, V. R.; VIEIRA, M. V.; MATOS, D. M. S.; GROMBONE-GUARATINI, M. T. Thinking about super-dominant populations of native species – Examples from Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, 16, n. 2, p. 74-82, 2018/04/01/ 2018.

POTGIETER, L. J.; GAERTNER, M.; KUEFFER, C.; LARSON, B. M. H. *et al.* Alien plants as mediators of ecosystem services and disservices in urban systems: a global review. **Biological Invasions** 2017 **19:12**, 19, n. 12, 2017.

PYŠEK, P.; PERGL, J.; ESSL, F.; LENZNER, B. *et al.* Naturalized alien flora of the world. **Preslia**, 89, n. 3, p. 203-274, 2017.

REJMÁNEK, M.; SIMBERLOFF, D. Origin matters. **Environmental Conservation**, 44, n. 2, p. 97-99, 2017.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J. *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, 142, n. 6, p. 1141-1153, Jun 2009.

RILEY, C. B.; HERMS, D. A.; GARDINER, M. M. Exotic trees contribute to urban forest diversity and ecosystem services in inner-city Cleveland, OH. **Urban Forestry & Urban Greening**, 29, p. 367-376, 2018/01/01/ 2017.

SAUL, W.-C.; ROY, H. E.; BOOY, O.; CARNEVALI, L. *et al.* Assessing patterns in introduction pathways of alien species by linking major invasion data bases. **Journal of Applied Ecology**, 54, n. 2, p. 657-669, 2017/04/01 2017.

SCHMIDT, W. Plant dispersal by motor cars. **Vegetatio**, 80, n. 2, p. 147-152, 1 1989.

SEEBENS, H.; BLACKBURN, T. M.; DYER, E. E.; GENOVESI, P. *et al.* No saturation in the accumulation of alien species worldwide. **Nat Commun**, 8, p. 14435, 2017.

SHACKLETON, R. T.; RICHARDSON, D. M.; SHACKLETON, C. M.; BENNETT, B. *et al.* Explaining people's perceptions of invasive alien species: A conceptual framework. **Journal of Environmental Management**, 229, p. 10-26, 2019/01/01/ 2018.

SIDWELL, K. J. **A Revision of *Brillantaisia* P. Beauv. (Acantheceae)**. London: University of Oxford, 1998.

SOLARI, L.; OORSCHOT, M. V.; BELLETTI, B.; HENDRIKS, D. *et al.* Advances on Modelling Riparian Vegetation—Hydromorphology Interactions. **River Research and Applications**, 32, n. 2, 2016.

TAYLOR, K.; BRUMMER, T.; TAPER, M. L.; WING, A. *et al.* Human-mediated long-distance dispersal: an empirical evaluation of seed dispersal by vehicles. **Diversity and Distributions**, 18, n. 9, p. 942-951, 2012/09/01 2012.

TRIPP, E.; MCDADE, L. Time-Calibrated Phylogenies of Hummingbirds and Hummingbird-Pollinated Plants Reject a Hypothesis of Diffuse Co-Evolution. **Aliso**, 31, p. 89-103, 2013.

TRIPP, E. A.; MCDADE, L. A. A Rich Fossil Record Yields Calibrated Phylogeny for Acanthaceae (Lamiales) and Evidence for Marked Biases in Timing and Directionality of Intercontinental Disjunctions. **Systematic Biology**, 63, n. 5, 2014.

TURBELIN, A. J.; CUTHBERT, R. N.; ESSL, F.; HAUBROCK, P. J. *et al.* Biological invasions are as costly as natural hazards. **Perspectives in Ecology and Conservation**, 21, n. 2, p. 143-150, 2023/04/01/ 2023.

VAZ, A. S.; CASTRO-DÍEZ, P.; GODOY, O.; ALONSO, Á. *et al.* An indicator-based approach to analyse the effects of non-native tree species on multiple cultural ecosystem services. **Ecological Indicators**, 85, p. 48-56, 2018/02/01/ 2018.

VON DER LIPPE, M.; KOWARIK, I. Long-Distance Dispersal of Plants by Vehicles as a Driver of Plant Invasions. **Conservation Biology**, 21, n. 4, p. 986-996, 2007.

WESTERN, T. L. The sticky tale of seed coat mucilages: production, genetics, and role in seed germination and dispersal. **Seed Science Research**, 22, n. 1, p. 1-25, 2012.

WITT, A.; LUKE, Q. **Guide to the naturalized and invasive plants of Eastern Africa**. 2017. 0 p. (CABI Books, doi:10.1079/9781786392145.0000).

WITZTUM, A.; SCHULGASSER, K. THE MECHANICS OF SEED EXPULSION IN ACANTHACEAE. **Journal of Theoretical Biology**, 176, n. 4, 1995.

ZENNI, R. D. Analysis of introduction history of invasive plants in Brazil reveals patterns of association between biogeographical origin and reason for introduction. **Austral Ecology**, 39, n. 4, 2014.

ZENNI, R. D.; ZILLER, S. R. An overview of invasive plants in Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, 34, n. 3, 2011.

ZILLER, S. R.; DECHOUM, M. D. S. Plantas e vertebrados exóticos invasores em unidades de conservação no Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, 3, n. 2, 2013.

ZILLER, S. R.; DECHOUM, M. D. S.; SILVEIRA, R. A. D.; ROSA, H. M. D. *et al.* A priority-setting scheme for the management of invasive non-native species in protected areas. **NeoBiota**, 62, 2020.

ZILLER, S. R.; REASER, J. K.; NEVILLE, L. E. B., K. (EDS). *Espécies alienígenas invasoras em Sudamérica: informes nacionales & directorio de recursos.*, 2005, Ciudad del Cabo, Sudáfrica.

ZILLER, S. R.; ZALBA, S. M. Manejo adaptativo de especies exóticas invasoras: colocando a teoria em pratica. **Natureza & Conservacao**, 5, p. 16-22, 2007.

ZWAENEPOEL, A.; ROOVERS, P.; HERMY, M. Motor vehicles as vectors of plant species from road verges in a suburban environment. **Basic and Applied Ecology**, 7, n. 1, p. 83-93, 2006/01/02/ 2006.

CAPÍTULO 3 PRIMEIROS REGISTROS DE *BRILLANTAISIA LAMIUM* EM UM RIO COSTEIRO DE SÃO PAULO: INFLUÊNCIA DA HIDROGEOMORFOLOGIA E SALINIDADE NA DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE

RESUMO

O presente estudo investigou a distribuição de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., ao longo de um trecho do rio Itapanhaú (10km), em Bertioga-SP, com o objetivo de compreender a influência da hidrogeomorfologia e da salinidade na distribuição da espécie. Foram registrados 56 pontos de ocorrência durante estudo de campo, os quais foram relacionados a variáveis ambientais e espaciais. Os registros da espécie foram mais frequentes em áreas com menor salinidade e nas margens convexas – de deposição com ângulo acima de 90°, refletindo uma menor curvatura. A análise estatística confirmou uma correlação inversa entre a salinidade da água e a ocorrência da espécie, sugerindo um limite de tolerância à salinidade. A associação da *B. lamium* com curvas convexas mais abertas indica uma preferência por ambientes com menor energia da água e maior deposição de sedimentos. Este estudo é pioneiro ao analisar a relação entre *B. lamium* e a hidrogeomorfologia em rios brasileiros, contribuindo para o conhecimento sobre invasões biológicas em ambientes fluviais e subsidiando a elaboração de estratégias de conservação para o rio Itapanhaú.

Palavras-chaves: espécie exótica, hidrogeomorfologia, salinidade, rio Itapanhaú, dispersão

ABSTRACT

This study investigated the distribution of *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. along a 10km stretch of the Itapanhaú River in Bertioga, São Paulo, mapping occurrence records with the aim of understanding the influence of hydrogeomorphology and salinity on the occurrence of this species. Fifty-six occurrence points were recorded during the field study, which were related to environmental and spatial variables. Records of the species were more frequent in areas with lower salinity and on deposition margins – more open convex curvatures. Statistical analysis confirmed an inverse correlation between water salinity and the occurrence of the *B. lamium*, suggesting a tolerance limit to salinity. The association of the species with more open convex curves indicates a preference for environments with lower water energy and greater sediment deposition. This study is a pioneer in analyzing the relationship between *B. lamium* and hydrogeomorphology in Brazilian rivers, contributing to knowledge about biological invasions in river environments and supporting the development of conservation strategies for the Itapanhaú river.

Keywords: exotic specie, hydrogeomorphology, salinity, Itapanhaú River, dispersal

3.1 INTRODUÇÃO

As espécies exóticas invasoras emergem como uma das principais ameaças à biodiversidade global, equiparando-se as crises como as mudanças climáticas, alterações no uso e ocupação do solo e sobre-exploração de recursos (Díaz et al., 2019). Essa crescente pressão sobre os ecossistemas compromete a capacidade da natureza de fornecer serviços essenciais à humanidade, como a regulação do clima e a provisão de alimentos e água limpa, com impactos desproporcionais para os mais vulneráveis (ONU, 2016). Além disso, a escassez de dados sobre espécies invasoras e suas áreas de distribuição limita a eficácia das estratégias de conservação e ações de sensibilização da população (Ziller et al., 2020).

Ecossistemas fluviais são particularmente suscetíveis à invasão por espécies exóticas (CBD, 2020; IPBES, 2023). Apesar disso, a dinâmica de introdução, estabelecimento e dispersão dessas espécies em ambientes aquáticos ainda requer mais estudos (Tickner et al., 2020; Didier et al., 2023).

A água desempenha um papel fundamental na dispersão de sementes (hidrocoria), transportando-as e depositando-as em diversas áreas ao longo dos rios, o que contribui para a colonização e a manutenção de espécies exóticas invasoras (Solari et al., 2016). Ocorrendo em duas frentes, as espécies invasoras aumentam em número nos locais onde já estão presentes e, ao mesmo tempo, colonizam novas áreas, expandindo sua distribuição (Pyšek et al., 2020; Descombes et al., 2016).

A definição dos limites da zona ribeirinha é complexa e variável, dependendo da escala e dos processos em análise. De modo geral, essa zona representa a interface entre os ambientes aquático e terrestre, abrangendo o leito do rio, suas margens e a planície de inundação (Corenblit et al., 2009). Essa zona é crucial para a biodiversidade, onde interagem processos ecológicos, hidrológicos e geomorfológicos, moldando comunidades de plantas ribeirinhas, que por sua vez, podem influenciar a dinâmica fluvial, alterando o campo de fluxo turbulento e o perfil de velocidades da água (Solari et al., 2016).

A pesquisa e a conservação da biodiversidade de água doce têm sido pouco priorizada. A falta de atenção às interações entre as dinâmicas hidromorfológica e os processos de invasão biológica é um passo crítico que precisa ser superado (Koehnken et al., 2020; Maasri et al., 2022; Didier et al., 2023).

Rios meândricos, como o Itapanhaú em Bertioga (São Paulo, Brasil), são sistemas dinâmicos complexos, em constante mudança, impulsionados por processos de erosão (cisalhamento) e deposição de sedimentos, resultado da constante interação entre a água e as margens do rio (Nunes et al., 2021; Camporeale et al., 2005). A alternância entre fases de alongamento e encurtamento dos meandros, que caracteriza a dinâmica de longo prazo desses sistemas, é influenciada por diversas forças externas, devido à precipitação e influência do ciclo e regime de marés, mudanças climáticas e atividades humanas (Camporeale et al., 2005).

A hidromorfologia é importante na compreensão da distribuição e estabelecimento de espécies nativas e não nativas. Os meandros, ao moldar a paisagem fluvial, influenciam a distribuição da energia da água e, conseqüentemente, os processos de erosão e deposição. Nas margens côncavas, a maior velocidade da água erode o solo, enquanto nas convexas, a deposição de sedimentos cria áreas mais rasas e propícias à colonização por organismos (Descombes et al., 2016). Paradoxalmente, essas mesmas forças erosivas podem facilitar a disseminação de espécies invasoras através do transporte de seus propágulos (Raverot et al., 2017), evidenciando a interação processos geomorfológicos e biológicos em sistemas fluviais.

A vegetação é um componente-chave da dinâmica fluvial, fornecendo matéria orgânica e influenciando a morfologia dos rios. No entanto, a introdução de espécies exóticas pode alterar os ecossistemas fluviais (Tickner et al., 2020), modificando os habitats e os processos físicos do rio. Além disso, a entrada de material vegetal nos rios, influenciada por fatores climáticos e eventos extremos, pode ser alterada pela presença de espécies exóticas, intensificando as mudanças no sistema fluvial e afetando a estrutura e função desses ecossistemas (O'Briain et al., 2023). A dispersão balística das sementes de espécies do gênero *Brillantaisia*, é um exemplo de mecanismo que pode contribuir para a entrada episódica de grandes quantidades de material vegetal nos rios (Sidwell, 1998; Azevedo e Braz, 2018).

O rio Itapanhaú tem uma parte de seu curso em ambiente estuarino, ou seja, sofre a influência de água salgada, por estar ligado ao oceano. Nestes ambientes aquáticos ocorrem gradientes ambientais, principalmente de salinidade e inundação. Fatores abióticos podem ser limitantes para o crescimento da vegetação aquática e podem mediar a competição interespecífica (Wolanski, 2007; Nunes et al., 2021; Nunes e Camargo, 2023).

Considerando a crescente preocupação com a invasão de ecossistemas por espécies exóticas, este estudo investigou a distribuição de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., ao longo de um trecho do rio Itapanhaú (10km), em Bertioga-SP, com o objetivo de compreender a influência da hidrogeomorfologia e da salinidade na distribuição da espécie. Além disso, buscamos entender como fatores ambientais, como a salinidade e a dinâmica fluvial, influenciam a ocorrência e a abundância desta espécie exótica. Para alcançar esses objetivos, foram realizados levantamentos de campo para registro das ocorrências de *B. lamium* e coleta de dados fenológicos, visando correlacioná-los com as características hidrogeomorfológicas do rio. Nosso estudo contribui para a compreensão da dinâmica das dispersões de plantas exóticas e destaca a necessidade de monitoramento e manejo contínuos desta espécie em ambientes fluviais.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Área de Estudo

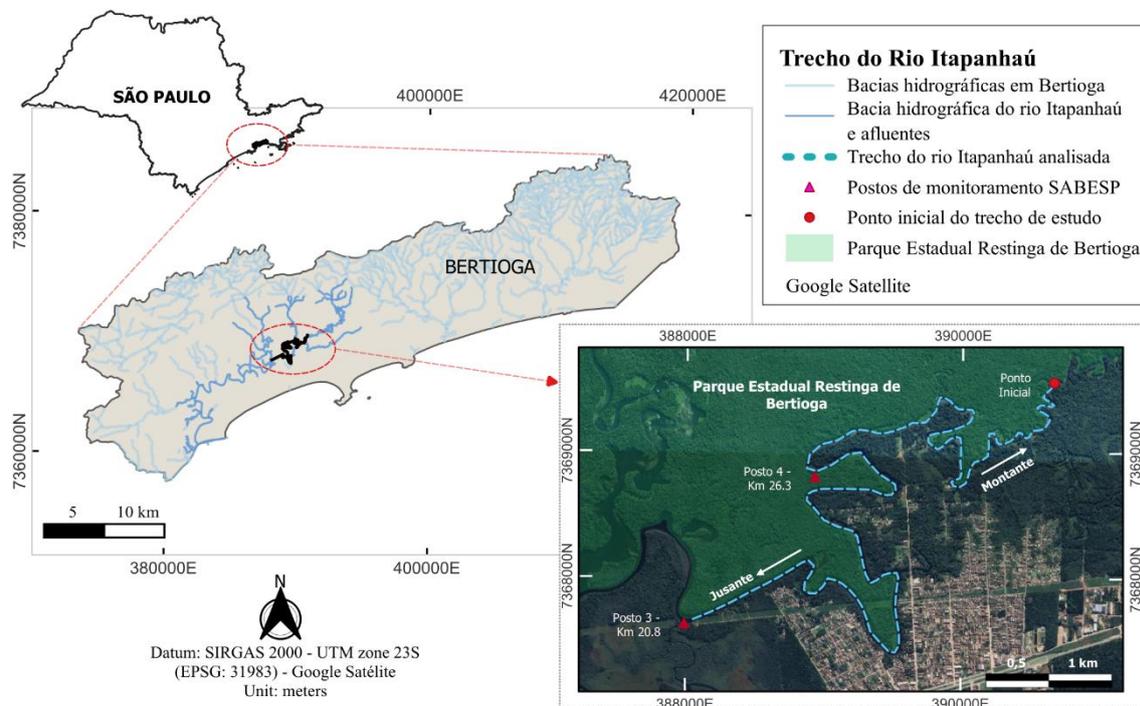
A bacia do rio Itapanhaú, com seus 395,86 km² de área de drenagem (considerando as sub-bacias Itapanhaú, Itatinga e Sertãozinho) (Mapa 1), é uma das mais importantes do litoral do Estado de São Paulo (Brasil) (SABESP, 2016). O rio Itapanhaú, originário da confluência do Sertãozinho e Guacá em Biritiba-Mirim, percorre 40 km, sendo classificado como Classe 1 até a cota 10 em Bertioga e Classe 2 a partir daí até sua foz. Após a descida da serra, o rio atravessa uma planície em Bertioga, seguindo paralelo à escarpa da serra e à linha da costa, caracterizada por relevo plano e baixa declividade, é constituída por planícies fluvio marinhas, costeiras e zonas intertidais (manguezais) (Labsid, 2016; SABESP, 2016; Santos e Torres, 2021; Nunes e Camargo, 2023). A salinidade da água no trecho estuarino varia de acordo com as marés, aumentando gradualmente em direção ao oceano (Crain et al., 2004). Dessa forma e com base nas características da salinidade (composição química da água dos estuários), o rio apresenta água salobra no estuário (Ingram, 1957; Tundisi e Tundisi, 2008).

Para este estudo, utilizamos dados de salinidade coletados nos Postos 3 (km 20,8) e 4 (km 26,3) do rio Itapanhaú, monitorados pela Sabesp entre 19/04/2023 e 22/05/2024. As médias diárias de salinidade nesses pontos foram obtidas do banco de dados da Sabesp (Mapa 1), e foram efetuadas a classificação em água doce ou oligohalina.

A vazão do rio Itapanhaú no trecho “montante Itatinga” (área de estudo) apresenta grande variabilidade, com média de 9,89 m³/s (mínima 5,21m³/s e máxima 16,60 m³/s). Os maiores volumes são registrados nos meses chuvosos (dezembro a fevereiro), podendo atingir até 46,6 m³/s em janeiro. Devido à sua localização, as várzeas são as áreas mais sujeitas a inundações (Labsid, 2016; SABESP, 2016; Santos e Torres, 2021; Nunes e Camargo, 2023).

A área de estudo selecionada do rio Itapanhaú, foi baseada em critérios que permitissem avaliar a distribuição da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., com foco em um trecho que abrangia tanto áreas preservadas (Parque Estadual Restinga de Bertioga) quanto áreas antropizadas. A pesquisa de campo foi realizada de novembro de 2023 a fevereiro de 2024, com quatro expedições (mensal) terrestre e fluviais. Na

expedição fluvial foram utilizadas embarcações de pequeno porte (facilitando aproximar-se da vegetação) com observações em ambas as margens (Mapa 1).



Mapa 1 – Localização e detalhes do trecho do Rio Itapanhaú e seus afluentes localizado em Bertioga (SP, Brasil).

3.2.2 Registros de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth.

O conjunto de dados sobre *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., foi baseado em registros de ocorrências efetuados em trecho do rio Itapanhaú, com distância de até 5 metros da margem (área com possível inundação em virude dos fluxos das marés). O trecho analisado, compreendeu 10 km a montante do posto de monitoramento 3, passando pelo posto de monitoramento 4. Foi possível efetuar o inventário em 80 pontos diferentes e com 106 registros fotográficos e geolocalizado no aplicativo Softwel - SW Maps – GIS & Data Collector. O conjunto de dados de campo foi associado com imagens aéreas do HCMGIS – Basemaps, Google Satélite Hybrid SRC EPSG 31983 – SIRGAS 2000 – UTM zone 23S (QGIS 3.36.3, 2024) e shapefile do município de Bertioga e do Parque Estadual Restinga de Bertioga (Datageo, 2023).

Durante os estudos de campo, foram anotadas os dados fenológicos da espécie, Folhas (1), Folhas e Flores (2) e Folhas, Flores e Frutos (3) (Figura 1),

relacionamos uma ordenação crescente de valores em relação ao status (1, 2 e 3). Também foram registrados a altura (h), em cada ocorrência da espécie. Em cada ponto de coleta, foram observadas as margens e registrado a presença de erosão, banco de areia e acessos (trilhas).

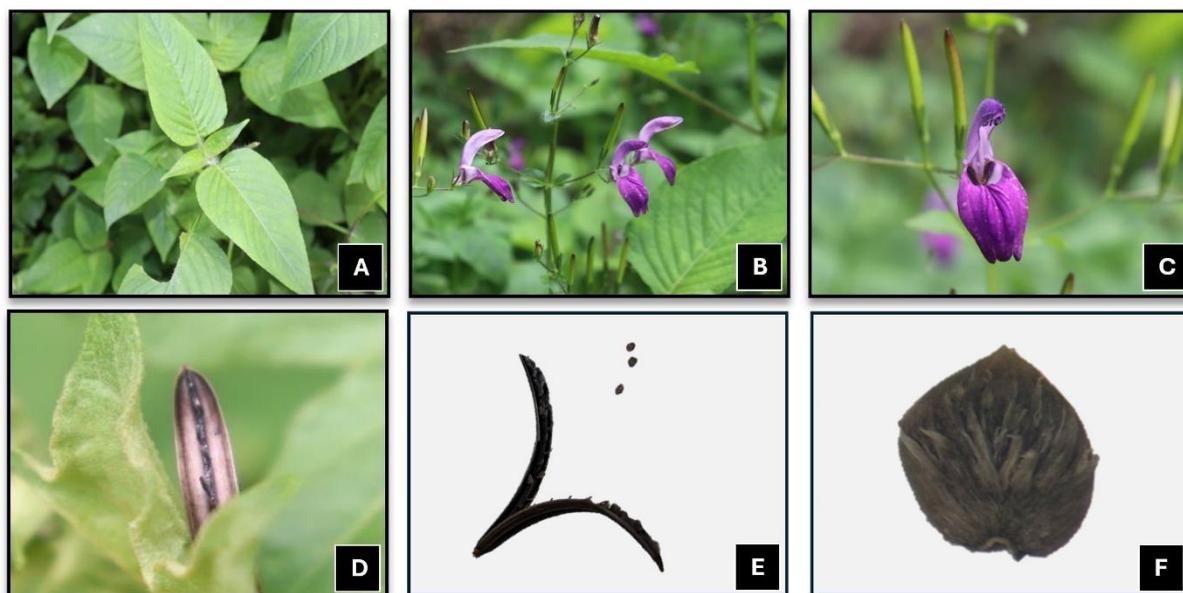


Figura 1 – Imagens da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., efetuadas em campo: (A) folhas simples e opostas, (B) folhas flores e frutos, (C) detalhe da floração, (D) segmento do fruto tipo capsular com retináculos após dispersão de sementes. Efetuados em laboratório: (E) fruto tipo cápsula com abertura aproximada de 45° (dispersão por balística) e (F) semente discoide com tricomas (pelos).

Fonte: imagens do autor

3.2.3 Morfologia do Rio

Para analisamos a curvatura do rio segundo Camporeale et al. (2005), utilizamos imagens de alta resolução do HCMGIS – Basemaps, Google Satélite Hybrid SRC EPSG 31983 – SIRGAS2000 – UTM zone 23S, no software QGIS (Quantum GIS sistema de Informação geográfica). Delimitamos um segmento de margem com até 30 metros de comprimento, perpendicular à direção do fluxo d'água. A partir de um ponto na margem (P1), traçamos uma linha perpendicular à margem, definindo os pontos P2 e P3 nas extremidades desse segmento. Em seguida, criamos um polígono conectando os pontos P1, P2 e P3. Utilizando o software QGIS, vetorizamos esse polígono e calculamos o ângulo interno formado pelos segmentos

P1P2 e P1P3. Se o ângulo for menor que 180° , a curvatura da margem é classificada como convexa; caso contrário, é classificada como côncava. Sobreposamos os registros a imagem, o que nos permitiu calcular as distâncias entre os eventos e a distância de cada evento em relação ao ponto inicial, além de verificar a concentração de registros em cada polígono e margem do rio. A dinâmica dos sedimentos, foi dividida em três categorias: margem de erosão ou cisalhamento - curvatura côncava (1), não meândrico (2) e margem de deposição – curvatura convexa (3). A ordenação foi elaborada conforme estudos de Didier et al. (2023), onde os locais com curvatura concava (margem de erosão) são as áreas com as menores probabilidades de registros de espécies e as áreas com curvatura convexa (margem de deposição) possuem maiores probabilidade para fixação (Figura 2).



Figura 2 – Polígono para análise e determinação da curvatura em barra aluvial ao longo do rio Itapanhaú (Bertioga, SP)

Fonte: Elaborado pelo autor. Imagens próprias

3.2.4 Análise de Dados

Análises estatísticas foram feitas para determinar se as margens de deposição e erosão, curvaturas, convexa e concava respectivamente, são propícias a presença da *Brillantaisia lamium*, na área de estudo (trecho) do rio Itapanhaú, bem como a

correlação dos gradientes de salinidade sobre o modelo. A distância de cada registro de ocorrência em relação ao ponto inicial (a montante) foi analisada. Foi utilizado o software, Jamovi project (2022), versão 2.3, R Core Team (2021) versão 4.1, para testar a normalidade dos dados através do teste Shapiro Wilk, e depois aplicamos os testes de Spearman para a correlação entre as variáveis: salinidade, distâncias dos registros de ocorrências, distância do ponto inicial (montante), altura (h) da espécie, dados fenológicos, dinâmica dos sedimentos na morfologia do rio - curvatura côncava (erosão e cisalhamento) e convexa (deposição).

3.3 RESULTADOS

Foram efetuados 56 registros de ocorrências de *Brillantaisia lamium*, ao longo de 10 km percorridos do Rio Itapanhaú. Entre o ponto inicial e o posto 4 de monitoramento (a jusante) foram registradas 42 ocorrências, sendo 57,14% na margem esquerda, com áreas urbanizadas e 42,86% na margem direita onde está localizada a unidade de conservação (PERB). Entre o posto 4 e o posto 3 (a jusante e término da área de estudo), registramos 14 ocorrências, com 100% dos registros na margem esquerda do rio Itapanhaú (Figura 3).

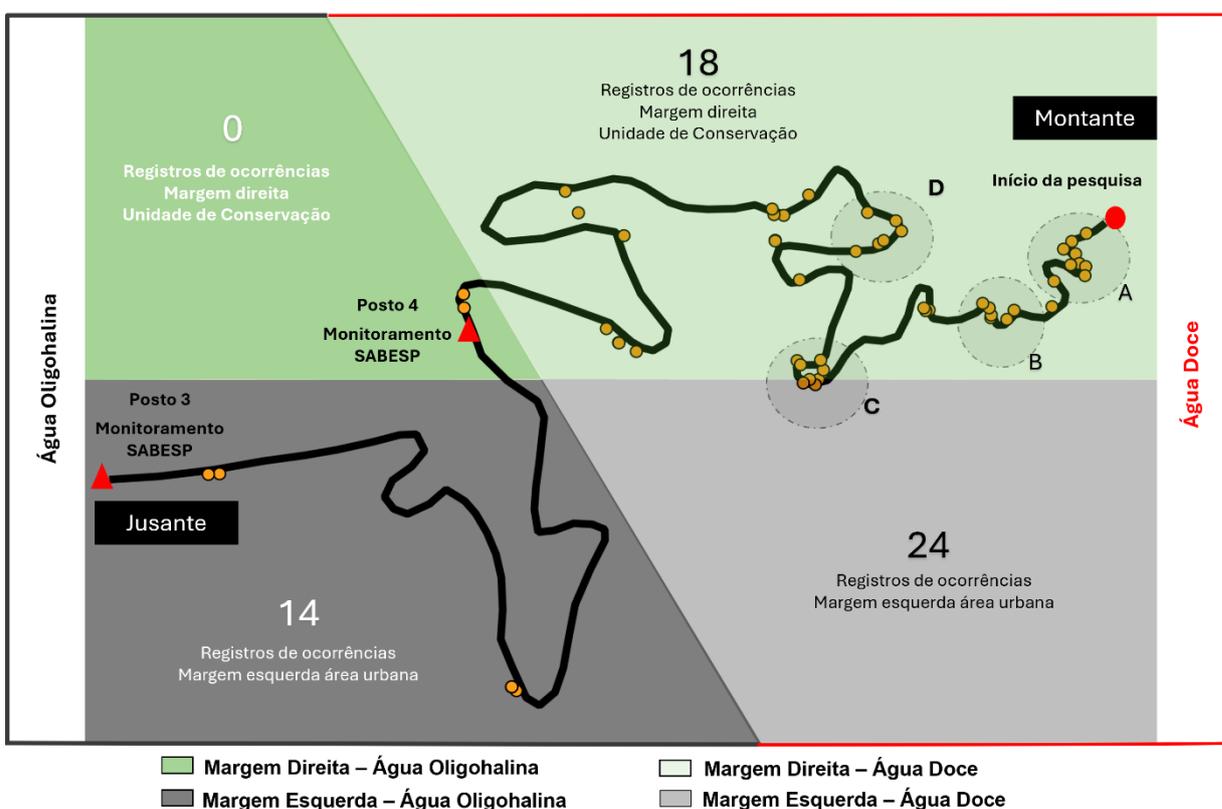


Figura 3 – Registros de ocorrências da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. em quadrantes – margem e salinidade. Áreas A, B, C E D, 44,64% dos registros de ocorrências da espécie em trecho do rio Itapanhaú (Bertioga, SP) .

A largura do rio Itapanhaú variou ao longo do seu curso, aproximadamente 21 metros no ponto inicial a 53 metros no término de nossa área de estudo (a jusante). Constatamos que os meandros são mais sinuosos nos primeiros 3.700 metros do percurso e possuem as suas margens mais bem preservadas da ação antrópica, enquanto as áreas mais a montante (acima do nosso ponto inicial) o acesso estava impedido em virtude de obstruções por material alóctone (árvores) e autóctone

(plantas aquáticas), somadas à redução da sua seção transversal (na data da visita de campo). O maior número de registros, 44,64% do total de ocorrências ao longo do rio, concentrando-se em quatro áreas (A, B, C e D) de destaque para as curvaturas com formação convexas e côncavas (Figura 3).

Nas margens do trecho do rio que foram analisadas, identificamos 41 curvaturas convexas- margem de deposição, com ângulos entre 52° (mais fechada) e 154° (mais aberta), mediana de 108° . De acordo com os resultados, 76% das margens convexas – de deposição tiveram ângulo acima de 90° , refletindo uma menor curvatura. Dentre as 41 margens com curvatura convexa, 39% apresentam registros de ocorrências de *Brillantaisia lamium*, representando 30 registros de ocorrências,

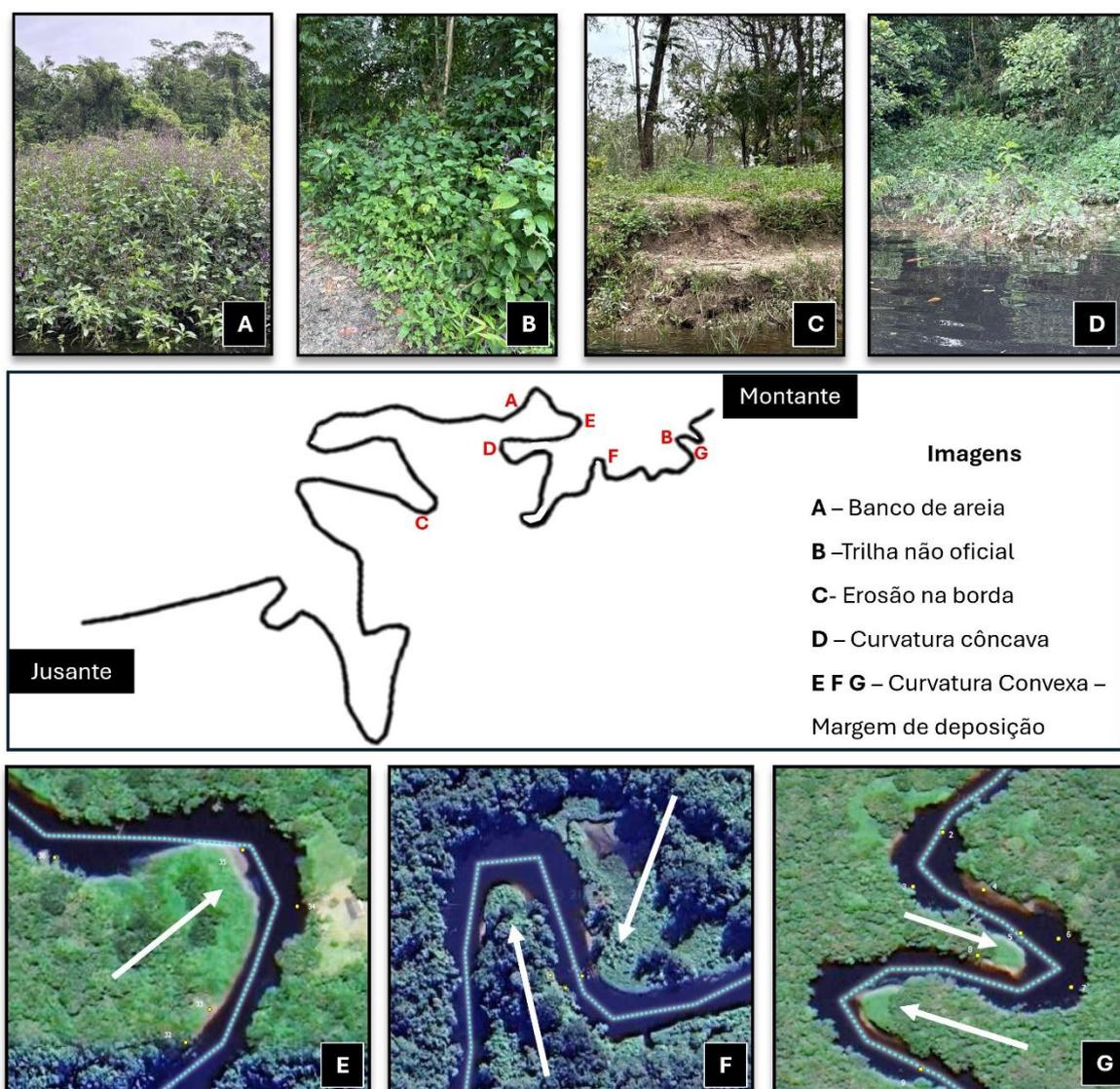


Figura 4 – Registros de ocorrências da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., (A, B, C E D. Imagens E, F e G destaque para as curvaturas do trecho do Rio Itapanhaú em Bertioga - SP, Brasil.

sendo 10 registros em margens com maior curvatura (mais fechada – Figura 4G), e 20 com menor curvatura (mais aberta – Figura 4E).

Analisando os registros com as características físicas e morfológicas do rio, os resultados apresentaram que 53,50% das ocorrências estavam na margem de deposição - curvatura convexa, 30,40% em margem de erosão - curvatura côncava e 16,1% em locais com canal não meândricos. Ao analisar as margens independentemente, observamos que 61% dos registros da margem direita e 50% da margem esquerda correspondiam a margens de deposição com curvatura convexa.

Os resultados apresentaram que 75% dos registros de ocorrências estavam localizados mais próximas do ponto inicial (a montante do posto 4), onde a salinidade da água do rio teve uma média de 0,1 ppt (água doce), enquanto 25% dos registros estavam concentrados mais a jusante na área de estudo, em áreas que a salinidade na água do rio foi de 0,42 ppt (água oligohalina). Embora, tenha havido registros de valores de 3,61 ppt em períodos de cheia das marés, o que é considerado água salobra (Ingram, 1957; CONAMA, 2005). Vale destacar, que os registros na margem esquerda, com maior salinidade, foram registrados em áreas mais elevadas (1 metro acima do nível da água) (Figura 5).

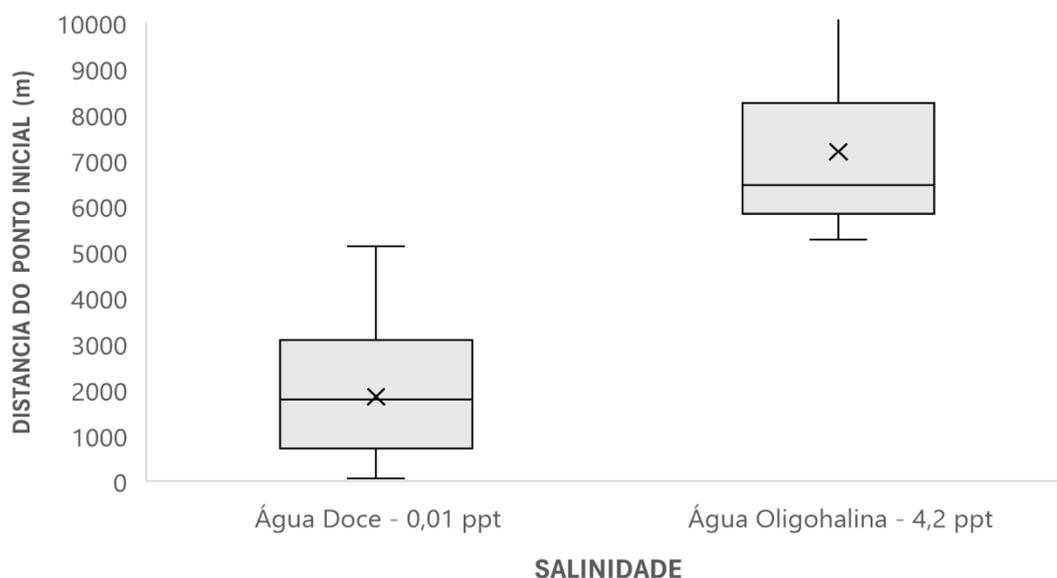


Figura 5 – Comparação da distribuição dos registros de ocorrência de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth), em distância (metros) do ponto inicial em relação as duas diferentes faixas de salinidade.

Fonte: Elaborado pelo autor

A margem esquerda apresentou 68% registros de *Brillantaisia lamium*, sendo 43% em áreas com salinidade média de 0,1 ppt (água doce) em áreas menos antropizadas (urbanização). A margem direita, abrangendo o Parque Estadual Restinga de Bertioga, concentrou 32,10% do total de ocorrências. Não foram registradas ocorrências em áreas da margem direita com salinidade média de 4,2 ppt (água oligohalina) (Figura 6).

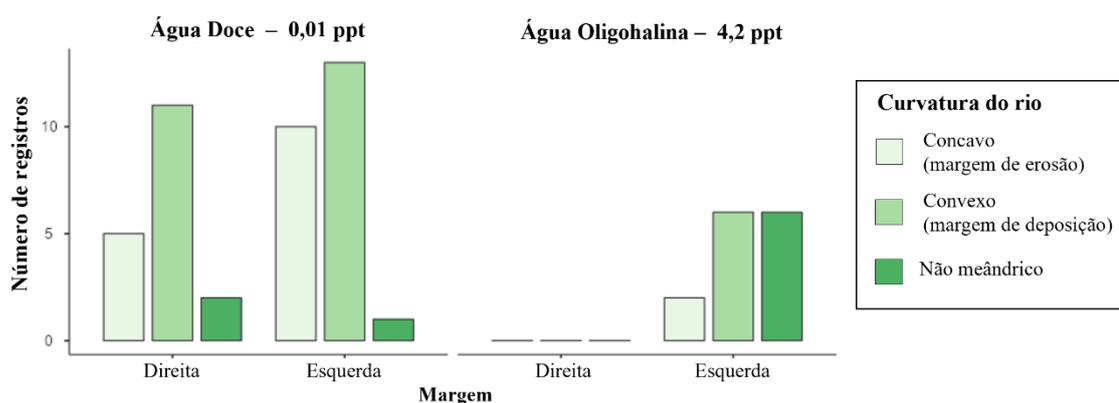


Figura 6 – Registros de ocorrências da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., por características físicas e morfológicas do rio Itapanhaú nas margens esquerda e direita pela média de salinidade
Fonte: Elaborado pelo autor

Em quase todas as ocorrências (99,9%), *Brillantaisia lamium* estava na fase fértil, com 43,3% dos indivíduos produzindo frutos e 56,6% com flores ou folhas.

Em nossa análise estatística como modelo Spearman, destacou-se com forte correlação entre Distância a montante do trecho x Salinidade média, onde $p < 0,001$, com coeficiente de $(r = 0,75)$, ou seja, os resultados mostram que aumentando a distância do ponto inicial aumenta a média da salinidade. A dinâmica dos sedimentos tem uma correlação moderada a forte entre as características físicas e morfológicas (curvatura concava – margem de erosão e ou convexa – margem de deposição), $p < 0,001$ e coeficiente $(r = 0,62)$. Já a fenologia teve uma correlação moderada, onde as alturas dos indivíduos das populações são maiores quando apresentam folhas flores e frutos, $p < 0,001$ e coeficiente $(r = 0,50)$.

3.4 DISCUSSÃO

Pioneiramente, realizamos um estudo que revelou uma distribuição de *Brillantaisia lamium* ao longo do rio Itapanhaú, em Bertioga, (SP, Brasil), com maior concentração de indivíduos em áreas de menor salinidade e margens de deposição – curvaturas convexas. Em linha com os estudos de Didier et al. (2023), nossos resultados reforçam a relevância da vegetação e dos processos hidrogeomorfológicos na compreensão e previsão de invasões por plantas exóticas, especialmente em ambientes fluviais.

Segundo Descombes et al. (2016) o sucesso da invasão biológica está ligado ao potencial invasivo. As características de *Brillantaisia lamium*, tais como, alta eficiência de dispersão (balística), formação de um banco de sementes (alto volume de sementes por fruto) e a possível capacidade de superar a competição com as espécies nativas através de crescimento rápido e alta capacidade de regeneração, indicam seu potencial de distribuição.

A cachoeira do Elefante, está localizada a montante (500 m) da formação do rio Itapanhaú. É a mais tradicional dentre as trilhas da região no Parque Estadual Serra do Mar – Núcleo Bertioga, aberto à visitação diariamente (Semil – Fundação Florestal, 2023). O acesso à trilha, que se inicia na rodovia Mogi-Bertioga, envolve a travessia do rio e pode contribuir para a dispersão da espécie exótica *Brillantaisia lamium*, cuja ocorrências nesta área foram registradas conforme analisado no capítulo 2. Segundo estudos em áreas de proteção de Pickering e Ansong (2022) o turismo, particularmente em regiões de alta biodiversidade, contribui significativamente para a dispersão antropogênica (de sementes por roupas) de espécies vegetais não nativas. Esse processo seleciona ativamente sementes menores de gramíneas e herbáceas. Em um contexto de crescente perturbação ambiental, incluindo as mudanças climáticas, essa atividade humana pode estar intensificando a homogeneização da flora global.

É importante destacar que, a dispersão da espécie estudada apresenta uma estratégia complexa, combinando mecanismos de balística (explosiva) e hidrocoria (Sidwell, 1998; Azevedo e Braz, 2018). A dispersão inicial, por balística, é fundamental para a dispersão local. A presença da espécie a montante dos registros efetuados no

rio Itapanhaú, juntamente com as características morfológicas das sementes, sugere que a hidrocoria pode ter atuado como um segundo mecanismo de dispersão, possibilitando a colonização de áreas mais distantes, corroborando as análises de Azevedo e Braz (2018), onde a morfologia das sementes, especialmente adaptada à dispersão pela água, destaca a hidrocoria, como segundo mecanismo fundamental para a colonização de novos habitats e a manutenção das populações dessas espécies.

A alta suscetibilidade dos ambientes fluviais a invasões biológicas, uma vez que atuam como corredores de dispersão e são influenciados por processos dinâmicos que ocorrem em bacias hidrográficas (O'Briain et al., 2023), pode ser evidenciada por nossos dados no trecho analisado. A concentração de 54% dos indivíduos em fase reprodutiva nas margens de deposição com curvatura convexa, corroboram estudos anteriores de Didier et al. (2023), em que sugere essas áreas como particularmente vulneráveis à colonização por espécies exóticas. A análise dos dados demonstra que 61% dos registros de *B. lamium* concentraram-se nas margens de deposição adjacentes ao Parque Estadual Restinga de Bertiooga. Esse achado reforça a preocupação crescente com a invasão de áreas protegidas por múltiplas espécies exóticas, um problema já evidenciado em estudos anteriores por Ziller et al (2020).

A vegetação e os sistemas fluviais estão em constante interação, influenciando mutuamente seus processos hidrodinâmicos, morfodinâmicos e hidrogeológicos (Sgarbi et al., 2011). A espécie *B. lamium* concentrou mais registros de ocorrências nas áreas A, B, C e D (Figura 4), onde a largura do rio é menor e a dinâmica dos meandros é mais intensa. Essa distribuição corrobora a hipótese de Camporeale et al. (2005) e sugere que a espécie está adaptada a ambientes com maior perturbação hidrogeomorfológicas. A relação positiva entre a ocorrência de *B. lamium* e a dinâmica fluvial indica que a espécie apresenta resistência e resiliência, conforme sugerido por Corenblit et al. (2009).

A maior frequência de *B. lamium* em margens de deposição com curvaturas convexas (53% dos registros), encontrada em nosso estudo, corrobora os resultados de Didier et al. (2023). Tudo indica, que isso ocorre porque, a deposição de sedimentos em curvas fluviais está diretamente relacionada à variação da profundidade e da tensão de cisalhamento (Hooke, 1975). O sedimento que entra na curva é transportado lateralmente e deposita-se no banco inferior, onde a

profundidade diminui gradualmente (Camporeale et al., 2005). Essa diminuição da profundidade é uma resposta à necessidade de gerar tensões de cisalhamento suficientes para mobilizar o sedimento ao longo da curva. A deposição ocorre nas regiões de menor tensão de cisalhamento, enquanto a erosão e o transporte ocorrem nas regiões de maior tensão, ou seja, nas curvaturas concavas (margens de erosão). Em contraste, a deposição é menos intensa no banco superior, onde as tensões de cisalhamento são geralmente menores (Hooke, 1975).

A partir dessas evidências, a morfologia das sementes de *Brillantaisia lamium*, adaptada à flutuação (Azevedo e Braz, 2018; Azevedo, 2017), facilita sua dispersão por cursos d'água e a colonização de novos habitats, margens de erosão e margens de deposição. Essa capacidade, aliada à sua competitividade, pode acelerar a sucessão biogeomorfológica e alterar a estrutura e a função das paisagens fluviais, especialmente em um contexto de mudanças climáticas. Os resultados apresentados por O'Briain et al. (2023) evidenciam a importância de considerar os impactos das espécies não nativas na dinâmica fluvial e na evolução das formas de relevo, especialmente devido a formação de agrupamentos e populações nas margens dos rios e bancos de areia.

Ao analisar a distribuição de *B. lamium*, nossos resultados podem complementar os estudos de Didier et al. (2023) ao identificar uma distribuição adicional no estabelecimento da espécie na dinâmica do rio. Enquanto Didier et al. (2023) destacaram a importância das áreas das margens de deposição, nossos dados sugerem uma possível associação entre a espécie *B. lamium* e as margens de erosão (curvaturas concavas), representando 30% das ocorrências. Essa descoberta, além dos achados de Didier et al. (2023), indica uma complexidade maior na dinâmica de invasão por espécies exóticas em ambientes fluviais, sugerindo que outros fatores, além da energia erosiva, podem influenciar a distribuição dessas espécies. Um desses fatores pode ser relacionado às adaptações particulares das sementes de Ruellieae, como os tricomas e mucilagens, que, segundo Azevedo e Braz (2018), podem ter influenciado a retenção do material (semente) transportado, na água em materiais orgânicos, sedimentos e animais, nesta área adversa.

A forte correlação entre a curvatura convexa e a dinâmica dos sedimentos, conforme definido por Baba et al. (2014), e quantificado em nosso estudo pelo Teste de Spearman ($r = 0,62$), com 53,57% das ocorrências associadas às margens de deposição, reforça a importância desses ambientes na distribuição da espécie,

expandindo assim os conhecimentos sobre os fatores que influenciam a ocorrência de espécies exóticas em sistemas fluviais.

A concentração da espécie nas partes mais próximas ao fluxo do rio, podem ser explicadas conforme Corenblit et al. (2009) provavelmente pela deposição das sementes, em obstáculos (troncos, raízes ou sedimentos), após as inundações, demonstrando que os processos de flutuação e sedimentação podem exercer influências determinante na formação e dinâmica dessas planícies inundáveis elevadas, moldando a paisagem e os ecossistemas associados.

O aumento da salinidade nos últimos 5 km da nossa aérea de estudo (entre o posto 3 e 4 de monitoramento), apresentou forte correlação Teste de Spearman ($r = 0,75$, $p < 0,001$) e parece influenciar a diminuição de registros de *Brillantaisia lamium*, as margens do rio Itapanhaú, condizendo com o cenário em que a salinidade pode ser um fator limitante (Sgarbi et al., 2011). Os gradientes ambientais de salinidade e inundação presentes nestes ambientes aquáticos exercem um controle significativo sobre o crescimento da vegetação, podendo modular as interações competitivas entre as espécies (Nunes e Camargo, 2023).

Foi constatado que, em múltiplas ocasiões, a salinidade apresentou valores consideravelmente superiores à média, aproximando-se de 5,0 ppt como resultado das variações de salinidade e do nível d'água induzidas pelo regime de marés (Nunes e Camargo, 2023). Estudos anteriores de Ingram (1957) e Barbour e Davis (1970) já haviam caracterizado a tolerância à salinidade como um fator determinante na distribuição de diversas espécies vegetais. Esses autores demonstraram que muitas plantas apresentam crescimento ótimo em condições de baixa salinidade e que o aumento da salinidade pode limitar significativamente seu desenvolvimento. A correlação entre a diminuição da salinidade e o aumento dos registros de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., sugere que apesar desta espécie estar ocupando ambientes costeiros, parece não ser tolerante à maiores níveis de salinidade. Essa relação também está em linha com os achados de Crain et al. (2004), que observaram uma mudança na composição das comunidades vegetais em resposta à redução da salinidade em rios costeiros. Vale destacar ainda, Em rios costeiros, como o Itapanhaú, com estuários influenciados pelas marés, o fluxo da água se inverte periodicamente. Isso significa que as sementes podem ser dispersas tanto rio abaixo quanto rio acima, conforme a variação das marés (Nunes e Camargo, 2023).

Os dados fenológicos da espécie, foram correlacionados moderadamente pelo Teste de Spearman ($r = 0,50$, $p < 0,001$) com o registro da altura dos indivíduos de *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., indicando que uma correspondência climática/ambiental moderada pode ter sido fundamental para o estabelecimento, sobrevivência e reprodução de espécies introduzidas (Pyšek et al., 2020). Vale ressaltar, que 99,02% dos registros dos indivíduos estavam com folhas e flores ou folhas, flores e frutos, variando na altura, entre 25 e 180 cm, média de 90 cm, sugerindo que, estavam em condições ideais para a produção e dispersão de sementes, garantindo a continuidade das populações.

A margem esquerda do rio Itapanhaú, concentrou 2/3 de todos os registros da espécie, e pudemos verificar que dentro deste montante um percentual estava se distribuindo sobre outras espécies, quatro registros foram identificados sobre formações como ilhas (bancos) de macrófitas, evidenciando que as sementes podem ter sido favorecidas na retenção pela densa vegetação aquática, processo este observado por Corenblit et al. (2009). Além disso, em certos pontos com presença de *Brillantaisia lamium*, foram registradas outras espécies, como *Ludwigia peruviana* (L.) H. Hara, *Polygonum punctatum* Elliot, *Pontederia rotundifolia* L.f., *Crinum americanum* L. e *Hedychium coronarium* J. Koenig (espécie exótica) podendo se tratar de interações positivas, ao ocorrer entre espécies exóticas e nativas, pode aumentar a suscetibilidade de um ecossistema a novas invasões (Daly et al., 2023; Aizen e Torres, 2024). Ainda na margem esquerda, a jusante da área de estudo, região entre os postos 3 e 4, caracterizada por maior salinidade, foram feitos 14 registros. Essas ocorrências estavam exclusivamente em áreas modificadas pela ação humana, iniciando-se na beira do rio e se expandindo por extensas áreas, correspondendo a 30% da área total mapeada.

Nossos estudos indicam que *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., está se estabelecendo em diversos ambientes ao longo do rio Itapanhaú, tanto em áreas de meandros (margens de erosão e deposição) quanto em trechos não meândricos. Seus frutos, com dispersão por balística (explosiva) e a quantidade potencial de sementes providas de tricomas e alta capacidade de absorção de água (higroscópica) (Azevedo e Braz et., 2018), pode estar interagindo de forma eficiente com os sedimentos, facilitando a dispersão e aumentando as chances de germinação em locais propícios, podendo juntamente com outras espécies favorecer um “colapso invasivo”, termo proposto por Simberloff e Holle (1999), reconhecendo explicitamente o papel da

facilitação na biologia de invasões, o fenômeno em que uma ou duas espécies exóticas interagem positivamente sobre outras, potencializando os impactos da invasão e acelerando a perda de biodiversidade.

O estabelecimento conjunto de *Hedychium coronarium* e *Brillantaisia lamium* em ambientes costeiros brasileiros pode desencadear um "colapso invasivo" (Simberloff e Holle, 1999). *Hedychium coronarium*, uma espécie exótica invasora de origem asiática, já é conhecida por seus impactos negativos sobre a flora nativa (Soares e Barreto, 2008). A presença de *B. lamium* nesse contexto pode potencializar os efeitos da invasão, criando um sinergismo que agrava a degradação ambiental. Ambas as espécies podem competir por recursos, alterar as condições do solo e modificar os regimes de distúrbio, resultando em uma perda de biodiversidade (Simberloff e Holle, 1999).

3.5 PERSPECTIVAS FUTURAS

As atividades antrópicas (urbanização, agricultura e turismo), em conjunto com as mudanças climáticas, podem estar agindo como vetores de homogeneização da flora, levando à padronização da composição de espécies em diferentes regiões do planeta (Pickering e Ansong, 2022), ameaçando especialmente os ecossistemas fluviais.

Esta pesquisa amplia nosso entendimento sobre a interação da naturalização da espécie *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth. no processo hidrogeomorfológicos dos rios, além de complementar possíveis lacunas em planos de manejo. No entanto, esta pesquisa apresenta novas análises das características físicas e morfológicas dos rios, bem como a distribuição da espécie.

Embora os impactos de introdução e invasão de espécies exóticas tenham sido recentemente destacados, ainda faltam pesquisas sobre a interação do gênero *Brillantaisia* e da tribo Ruellieae, nos processos hidrogeomorfológicos, flutuação das marés e águas subterrâneas, contribuindo na compreensão do estabelecimento da *Brillantaisia lamium* (Ness) Benth., em ambientes aquáticos.

REFERÊNCIAS

Aizen, M. A.; Torres, A., 2024. The Invasion Ecology of Mutualism. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, 55, n. Volume 55. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102622-031210>

Azevedo, I. H. F.; Braz, D. M., 2018. Seed morphology of *Ruellia* L. (Acanthaceae) from the Southeastern Brazilian Atlantic rain forest: Taxonomic, phylogenetic, and ecological aspects. *Flora*, 240, p. 48-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2017.12.011>

Baba, R. K.; Vaz, M. S. M. G.; Costa, J. D., 2014. Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29, n. 4. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130611>

Barbour, M. G; Davis, C. R., 1970. Salt tolerance of five California salt marsh plants. *The American Midland Naturalist*. v. 84, Nº 1, p. 262-265.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 2005. Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília

Camporeale, C.; Perona, P.; Porporato, A.; Ridolfi, L., 2005. On the long-term behavior of meandering rivers. *Water Resources Research*, 41, n. 12. <https://doi.org/10.1029/2005WR004109>

CBD - Convention of Biological Diversity, 2020. Article 8. h. In-situ Conservation. Disponível em: <https://www.cbd.int/convention/articles/default.shtml?a=cbd-08>. Acesso em: 11 nov. 2023.

CBD - Convention Of Biological Diversity, 2022. Post-2020 Global Biodiversity Framework. Disponível em: <https://www.cbd.int/doc/c/409e/19ae/369752b245f05e88f760aeb3/wg2020-05-l-02-en.pdf>. Acesso em: 10 jun 2024.

Corenblit, D.; Steiger, J.; Gurnell, A. M.; Tabacchi, E., 2009. Control of sediment dynamics by vegetation as a key function driving biogeomorphic succession within fluvial corridors. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, n. 13, p. 1790-1810. <https://doi.org/10.1002/esp.1876>

Crain, C. M.; Silliman, B. R.; Bertness, S. L.; Bertness, M. D., 2004. Physical and biotic drivers of plant distribution across estuarine salinity gradients. *Ecology* 85: 2539-2549. <http://dx.doi.org/10.1890/03-0745>

Daly, E.Z., Chabrierie, O., Massol, F., Facon, B., Hess, M.C.M., Tasiemski, A., Grandjean, F., Chauvat, M., Viard, F., Forey, E., Folcher, L., Buisson, E., Boivin, T., Baltora-Rosset, S., Ulmer, R., Gibert, P., Thiébaud, G., Pantel, J.H., Heger, T., Richardson, D.M. and Renault, D., 2023. A synthesis of biological invasion hypotheses associated with the introduction–naturalisation–invasion continuum. *Oikos*, 2023: e09645.

<https://doi.org/10.1111/oik.09645>

DATAGEO. Sistema ambiental paulista. 2023. Disponível em: <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/> . Acessado em: 10 ago 2023.

Descombes, P.; Petitpierre, B.; Morard, E.; Berthoud, M., 2016. Monitoring and distribution modelling of invasive species along riverine habitats at very high resolution. *Biological Invasions*, 18, n. 12, p. 3665-3679. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1257-4>

Díaz, S. A.; Settele, J. A.; Brondízio, E. A.; Ngo, H. T., 2019. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *LID - eaax3100* [pii] *LID - 10.1126/science.aax3100* [doi]. n. 1095-9203 (Electronic).

Didier, M.; Borgniet, L.; Bouteiller, C. L.; Evette, A., 2023. Hydrogeomorphological processes and plant invasion. What interactions in the case of Asian knotweeds along the Herault River (France)? *River Research and Applications*, 39, n. 8. <https://doi.org/10.1002/rra.4167>

São Paulo, 2023. Semil – Secretária do Meio Ambientel e Infraestutura e Logistica do EStdo de São Paulo. Fundação para Conservação e a Proteção Florestal do Estado de São Paulo, Paque Estadual da Serra do Mar Núcleo Bertioaga. Disponível em: <https://fflorestal.sp.gov.br/>. Acesso em: 21 nov 2023.

Hooke, R. L. B., 1975. Distribution of Sediment Transport and Shear Stress in a Meander Bend. *The Journal of Geology*, 83, n. 5, p. 543-565. <https://doi.org/10.1086/628140>

Ingram, M., 1957. Microorganisms resisting high concentrations of sugars and salts. In *Seventh Symposium of the Society for General Microbiology*, Cambridge Univ. Press, Cambridge. p. 90-133. 388 p.

IPBES (2023). Summary for Policymakers of the Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Roy, H. E.; Pauchard, A.; Stoett, P.; Renard Truong, T.; Bacher, S.; Galil, B. S.; Hulme, P. E.; Meyerson, L. A.; Nuñez, M. A.; Ordonez, A., Rahlao, S. J.; Schwindt, E., Seebens, H.;. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7430692>

Koehnken, L.; Rintoul, M. S.; Goichot, M.; Tickner, D.; Loftus, A. C.; Acreman, M. C., 2020. Impacts of riverine sand mining on freshwater ecosystems: A review of the scientific evidence and guidance for future research. *River Research and Applications*, 36, n. 3, p. 362-370. <https://doi.org/10.1002/rra.3586>

Labsid. Estudo da vazão na área de restinga do Rio Itapanhaú após captação para o Sistema Alto Tietê. Sabesp, São Paulo, 2016. Disponível em: http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/EIARIMAItapanhau/estudo_vazao_area_restringa_itapanhau.pdf. Acesso em: 06 set. 2024.

Maasri, A., Jähnig, S.C., Adamescu, M.C., Adrian, R., Baigun, C., Baird, D.J., 2022. A global agenda for advancing freshwater biodiversity research. *Ecology Letters*, 25, 255–263. Available from: <https://doi.org/10.1111/ele.13931>

Nunes, L. S. C., Saito, V. S., & Camargo, A. F. M., 2021. Local and regional drivers of macrophyte beta diversity in tropical coastal rivers. *Freshwater Science*, 40(1), 138–150. <https://doi.org/10.1086/713007>

Nunes, L.; Camargo, A., 2023. Distribuição espacial da vegetação aquática em regiões estuarinas: aspectos ecológicos nos estuários de São Paulo (Brasil). *Bioscience*, p. 159-173.

O'Briain, R.; Corenblit, D.; Gurnell, A., 2023. Interacting effects of climate change and invasions by alien plant species on the morphodynamics of temperate rivers. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 10, n. 5. <https://doi.org/10.1002/wat2.1649>

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. 2016. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em: 01 set 2024.

Pickering, C.; Ansong, M., 2022. Nature-based Tourists as Seed Dispersal Vectors. In, 2022. p. 7-13. <http://dx.doi.org/10.1079/9781800620544.0002>

Pyšek, P., Hulme, P. E., Bacher, S., Blackburn, T. M., Carlton, J. T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L. C., Genovesi, P., Jeschke, J. M., Kühn, I., Liebhold, A. M., Seebens, H., Simberloff, D., van Kleunen, M., Vilà, M., Wingfield, M. J. and Richardson, D. M., 2020. Scientists' warning on invasive alien species. – **Biological Reviews**, 95: 1511–1534. <https://doi.org/10.1111/brv.12627>

Raverot, B. L.; Piola, F.; Thiébaud, M.; Guillard, L., 2017. Water dispersal of the invasive complex *Fallopia*: The role of achene morphology. *Flora*, 234, p. 150-157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2017.07.009>

Santos, G. R; Torres, R. J., 2021. A transposição do rio Itapanhaú e o Parque Estadual Restinga de Bertioaga: impactos socioambientais e serviços ecossistêmicos hídricos. Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia Evento online. Anais do II CoBICET,

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Monitoramento do Médio e Baixo Itapanhaú. Disponível: <https://www.saisp.br/online/monitoramento-sabesp/>. Acesso em 22 mai 2024.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Obras de Aproveitamento da Bacia do Rio Itapanhaú para Abastecimento da RMSP. Processo IMPACTO 166/15. Estudo de Impacto Ambiental – EIA (2016). Disponível: https://www.sabesp.com.br/site/uploads/file/eiarimaitapanhau/relatorio_informacao_c_ompl_ric.pdf. Acesso em 10 mai 2024.

Sgarbi, L. F.; Bergamini, L. L.; Belo, R. M.; Cavalho, A. E., 2011. Gradiente de salinidade como determinante da variação na riqueza e composição de espécies vegetais em um estuário. *Ecologia da Mata Atlântica*, Universidade de São Paulo.

Sidwell, K. J., 1998. A Revision of *Brillantaisia* P. Beauv. (Acantheaceae). In: Blackmore, S.; Short, M. J. (Eds.), *The Bulletin of the Natural History Museum*. London, University of Oxford, p. 67-113.

Simberloff, D.; Von Holle, B., 1999. Positive Interactions of Nonindigenous Species: Invasional Meltdown? *Biological Invasions*. 1:1, 1, n. 1, 1999.

Soares, D. J., & Barreto, R. W., 2008. Fungal pathogens of the invasive riparian weed *Hedychium coronarium* from Brazil and their potential for biological control. *Fungal Diversity*, 28, 85–96. <http://dx.doi.org/10.1071/DN08034>

Solari, L.; Oorschot, M. V.; Belletti, B.; Hendriks, D., 2016. Advances on Modelling Riparian Vegetation—Hydromorphology Interactions. *River Research and Applications*, 32, n. 2. <https://doi.org/10.1002/rra.2910>

Tickner, D.; Opperman, J. J.; Abell, R.; Acreman, M., 2020. Bending the Curve of Global Freshwater Biodiversity Loss: An Emergency Recovery Plan. *BioScience*, 70, n. 4.

Tundisi, J. G; Tundisi, T. M., 2008. **Estuários e lagoas costeiras**. In: Tundisi, J. G; Tundisi, T. M. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, p. 381–416.

Wolanski, E., 2007 *Estuarine Ecohydrology*. Elsevier, Amsterdam, 168 p.

Ziller, S. R.; Dechoum, M. D. S.; Silveira, R. A. D.; Rosa, H. M. D. *et al.*, 2020. A priority-setting scheme for the management of invasive non-native species in protected areas. *NeoBiota*, 62. <https://doi.org/10.3897/neobiota.62.52633>

CONSIDERAÇÕES GERAIS

A pesquisa sobre a distribuição de *Brillantaisia lamium* revela uma complexa interação entre processos naturais e antrópicos na dinâmica de invasões biológicas. A espécie, originária da África, demonstrou uma notável capacidade de adaptação e dispersão global, facilitada por atividades humanas como o comércio e a alteração de habitats. No Brasil, a *B. lamium* representa uma ameaça crescente à biodiversidade da Mata Atlântica, especialmente em áreas fragmentadas como a Serra do Mar. A fragmentação dos habitats, combinada com a alta capacidade de dispersão da espécie, torna-a um desafio para a conservação. A intensificação da globalização e as mudanças climáticas têm acelerado o processo de homogeneização da flora, com a *B. lamium* atuando como um exemplo emblemático. A espécie apresenta interações complexas com os processos hidrogeomorfológicos de rios, podendo alterar a composição de espécies e os processos ecológicos em ecossistemas aquáticos. A compreensão dos padrões de distribuição da *B. lamium* e sua relação com os componentes do ecossistema é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de conservação da biodiversidade. É crucial integrar as listas de espécies exóticas invasoras com as listas de espécies ameaçadas para guiar as ações de conservação. Além disso, a identificação e o controle dos vetores e vias de introdução dessas espécies são essenciais para prevenir novas invasões e minimizar seus impactos.

REFERÊNCIAS GERAIS

ANSONG, M. Unintentional human-vectored dispersal contributes to the spread of high risk weed species. **Weed Research**, 64, n. 2, 2024.

BEENTJE, H. J. *Brillantaisia lamium*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2017** : e.T185265A84260857. 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-1.RLTS.T185265A84260857.en>. Acesso em: 01 setembro 2024.

BELLARD, C.; CASSEY, P.; BLACKBURN, T. M. Alien species as a driver of recent extinctions. **Biology Letters**, 12, n. 2, p. 20150623, 2016.

BLACKBURN, T. M.; LOCKWOOD, J. L.; CASSEY, P. The influence of numbers on invasion success. **Molecular Ecology**, 24, n. 9, p. 1942-1953, 2015/05/01 2015.

CBD - CONVENTION OF BIOLOGICAL DIVERSITY. Article 8. h. In-situ Conservation, 2020. Disponível em: <https://www.cbd.int/convention/articles/default.shtml?a=cbd-08>. Acesso em: 11 nov. 2023.

CBD - CONVENTION OF BIOLOGICAL DIVERSITY. Post-2020 Global Biodiversity Framework, 2022. Disponível em: <https://www.cbd.int/doc/c/409e/19ae/369752b245f05e88f760aeb3/wg2020-05-l-02-en.pdf>. Acesso em: 10 jun 2024.

DAWSON, W.; MOSER, D.; VAN KLEUNEN, M.; KREFT, H. *et al.* Global hotspots and correlates of alien species richness across taxonomic groups. **Nature Ecology & Evolution** 2017 1:7, 1, n. 7, 2017.

DIAGNE, C.; LEROY, B.; VAISSIÈRE, A.-C.; GOZLAN, R. E. *et al.* High and rising economic costs of biological invasions worldwide. **Nature**, 592, n. 7855, p. 571-576, 2021/04/01 2021.

INSTITUTO HÓRUS. Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras, 2023. Disponível em: <https://bd.institutohorus.org.br/>. Acesso em: 20 dez. 2023.

NEES VON ESENBECK, C. G. **Acanthaceae**. In A. de Candolle (Ed.), **Prodromus Systematis Naturalis Regni Vegetabilis**:. Paris: 1847.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2016. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em: 01 set 2024.

PYŠEK, P.; PERGL, J.; ESSL, F.; LENZNER, B. *et al.* Naturalized alien flora of the world. **Preslia**, 89, n. 3, p. 203-274, 2017.

SAUL, W.-C.; ROY, H. E.; BOOY, O.; CARNEVALI, L. *et al.* Assessing patterns in introduction pathways of alien species by linking major invasion data bases. **Journal of Applied Ecology**, 54, n. 2, p. 657-669, 2017/04/01 2017.

SHACKLETON, R. T.; RICHARDSON, D. M.; SHACKLETON, C. M.; BENNETT, B. *et al.* Explaining people's perceptions of invasive alien species: A conceptual framework. **Journal of Environmental Management**, 229, p. 10-26, 2019/01/01/ 2018.

SIDWELL, K. J. **A Revision of *Brillantaisia* P. Beauv. (Acantheceae)**. London: University of Oxford, 1998.

TRIPP, E. A.; MCDADE, L. A. A Rich Fossil Record Yields Calibrated Phylogeny for Acanthaceae (Lamiales) and Evidence for Marked Biases in Timing and Directionality of Intercontinental Disjunctions. **Systematic Biology**, 63, n. 5, 2014.

TURBELIN, A. J.; CUTHBERT, R. N.; ESSL, F.; HAUBROCK, P. J. *et al.* Biological invasions are as costly as natural hazards. **Perspectives in Ecology and Conservation**, 21, n. 2, p. 143-150, 2023/04/01/ 2023.

VAZ, A. S.; CASTRO-DÍEZ, P.; GODOY, O.; ALONSO, Á. *et al.* An indicator-based approach to analyse the effects of non-native tree species on multiple cultural ecosystem services. **Ecological Indicators**, 85, p. 48-56, 2018/02/01/ 2018.

WITT, A.; LUKE, Q. **Guide to the naturalized and invasive plants of Eastern Africa**. 2017. 0 p. (CABI Books, doi:10.1079/9781786392145.0000.

ZILLER, S. R.; ZALBA, S. M. Manejo adaptativo de especies exóticas invasoras: colocando a teoria em pratica. **Natureza & Conservacao**, 5, p. 16-22, 2007.