

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –
DOUTORADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL

PATRIK GUSTAVO WIESEL

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE ECOLÓGICA DO ECOSISTEMA
FLORESTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDINHO, RS, BRASIL,
ASSOCIADA AO RISCO DE INVASÃO BIOLÓGICA PELA ESPÉCIE *Hovenia
dulcis* Thunb.: SUBSÍDIOS À GESTÃO AMBIENTAL SUSTENTÁVEL

Santa Cruz do Sul

2024

Patrik Gustavo Wiesel

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE ECOLÓGICA DO ECOSISTEMA
FLORESTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDINHO, RS, BRASIL,
ASSOCIADA AO RISCO DE INVASÃO BIOLÓGICA PELA ESPÉCIE *Hovenia
dulcis* Thunb.: SUBSÍDIOS À GESTÃO AMBIENTAL SUSTENTÁVEL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental - Doutorado, Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), como requisito parcial para o título de Doutor em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lobo Alcayaga.

Coorientador: Prof. Dr. Andreas Köhler.

Santa Cruz do Sul

2024

“Para ser um bom observador é preciso ser um bom teórico”

Charles Darwin

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus orientadores, professores Dr. Eduardo LOBO Alcayaga e Dr. Andreas Köhler, por todo o suporte, paciência e ensinamentos ao longo deste processo. Sem as suas orientações, eu não teria chegado até aqui. Agradeço também aos demais professores do programa de pós-graduação, em especial à Coordenadora Prof. Dra. Rosana de Cassia de Souza Schneider, pelos seus valiosos insights e contribuições para este trabalho.

Um agradecimento especial a minha família, que sempre me apoiou em todas as decisões e me incentivou a buscar a formação acadêmica. Agradeço a minha mãe Ana Maria Junkherr por todo o suporte e incentivo durante este processo. Da mesma forma, agradeço a minha namorada e melhor amiga Betina Mariela Barreto por todo o apoio, incentivo e compreensão.

Aos meus grandes amigos Marcos Schroeder, Bruno Deprá, Michele Junkherr, Ana Claudia Schuh e Gustavo Colares pelas conversas motivadoras, momentos de descontração, apoio mútuo e trabalho em equipe, que tornaram possível a realização deste projeto.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a minha formação acadêmica e para a realização deste trabalho. Não teria sido possível sem a ajuda de cada um de vocês.

Como disse o escritor e empresário americano Max De Pree “Não podemos nos tornar o que queremos ser permanecendo o que somos”. Agradeço a todos que me ajudaram a superar os desafios deste caminho, incluindo professores, amigos, colegas e familiares, por tornarem possível a realização deste sonho. Muito obrigado!

RESUMO

A Vulnerabilidade Ecológica (VE) caracteriza-se como uma avaliação crítica da capacidade dos ecossistemas de resistir a perturbações e mudanças causadas por fatores antrópicos ou naturais. Compreender e avaliar a VE é fundamental para implementar medidas eficazes de conservação e gestão ambiental, promovendo a sustentabilidade dos ecossistemas e mitigando os impactos negativos. A disseminação de plantas exóticas invasoras é um fator de grande relevância para a VE. Quando introduzidas em um novo ambiente, causam danos ao ecossistema local, competindo com espécies nativas por luz, água e nutrientes, o que pode levar ao declínio das populações nativas e à perda de biodiversidade. Neste contexto, esta pesquisa teve como objetivo desenvolver um Índice de Vulnerabilidade Ecológica do ecossistema florestal da Bacia Hidrográfica do Rio Pardinho, RS, Brasil, associado ao risco de invasão biológica pela espécie *Hovenia dulcis* (uva-do-japão), visando fornecer subsídios para a gestão ambiental de bacias hidrográficas. A pesquisa teve início com o desenvolvimento de uma revisão sistemática da literatura para identificar os diferentes métodos de avaliação de VE, e os principais impactos das plantas invasoras no ecossistema. Posteriormente, foi utilizada uma combinação de metodologias, empregando o uso de imagens RGB obtidas por Drone e a construção de ortomosaicos retificados para validar as imagens obtidas do satélite CBERS-4A, e processadas no software QGIS para confirmar a identificação da espécie invasora *H. dulcis* na área de floresta urbana do Cinturão Verde (CV) no Município de Santa Cruz do Sul. Além disso, foi realizado um estudo da comunidade arbórea do CV, onde foram dispostas 72 parcelas amostrais aleatórias de 100 m² cada. Os resultados indicaram que a comunidade vegetal do CV apresentou elevada riqueza de espécies, 108 taxa, distribuídas em 39 famílias botânicas. Em relação à estrutura da comunidade, os índices calculados de Shannon (H') = 3,65 e Uniformidade de Pielou (J') = 78%, demonstram que a comunidade vegetal possui uma elevada diversidade de espécies, expressa através da riqueza de espécies e uma distribuição homogênea das abundâncias relativas, favorecendo a conservação da biodiversidade. *H. dulcis* destaca-se como a espécie exótica invasora com maior número de indivíduos amostrados (146), sendo a espécie dentro da comunidade com maior Densidade Relativa - DeR (9,14) e a segunda maior em Frequência Relativa - FeR (5,10%), Índice de Valor de Cobertura - IVC (8,85%) e Índice de Valor de Importância - IVI (7,60%). Quanto ao processamento das imagens de satélite, os resultados indicaram que *H. dulcis* ocupa 86,44 hectares da área florestal, estando bem distribuída e corroborando os dados fitossociológicos obtidos em campo. Esses resultados demonstraram alta precisão na metodologia de detecção da planta invasora, e sugerem a necessidade urgente de medidas de controle e erradicação. Finalmente, elaborou-se um mapa de Vulnerabilidade Ecológica da vegetação arbórea das áreas de proteção permanente do Pardinho à invasão da espécie *H. dulcis*. Assim, para criar o mapa de uso e ocupação pela invasora, foram utilizadas imagens multiespectrais de 8 x 8 m pixels em conjunto com as imagens pancromáticas 2 x 2 do satélite CBERS-4A. Também foram utilizados dados geoespaciais de solo, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e Declividade, que foram combinados através da Análise Hierárquica dos dados. Esses dados foram comparados com resultados baseados no estudo fitossociológico. Os resultados demonstram que a metodologia foi eficiente em detectar a espécie invasora e na criação de um mapa temático do risco de invasão. Os dados de campo confirmam e demonstram a presença e ocupação da invasora *H. dulcis* no ecossistema ribeirinho da Bacia Hidrográfica do Rio Pardinho, e destacam a importância de medidas urgentes de monitoramento e controle desta espécie, que apresentou o segundo maior IVI (9,24%), a segunda maior Densidade Absoluta - DeA (272,5 in. ha⁻¹), e o segundo maior DeR (9,846%), dentro da comunidade arbórea. Este trabalho fornece uma metodologia aplicável a outros remanescentes de Mata Atlântica que apresentam este grave problema ambiental.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, Vulnerabilidade Ecológica, biodiversidade, estrutura da comunidade, plantas exóticas invasoras, Bacia Hidrográfica do Rio Pardinho, RS, Brasil.

ABSTRACT

Ecological Vulnerability Index of the forest ecosystem of the Pardinho River Hydrographic Basin, RS, Brazil, associated with the risk of biological invasion by the species *Hovenia dulcis* Thunb.; subsidies for sustainable environmental management

Ecological Vulnerability (EV) is characterized as a critical assessment of the ability of ecosystems to resist disturbances and changes caused by anthropic or natural factors. Understanding and evaluating EV is fundamental to implementing effective conservation and environmental management measures, promoting the sustainability of ecosystems and mitigating negative impacts. The spread of invasive exotic plants is a factor of great relevance to EV. When introduced into a new environment, they cause damage to the local ecosystem, competing with native species for light, water and nutrients, which can lead to the decline of native populations and loss of biodiversity. In this context, this research aimed to develop an Ecological Vulnerability Index of the forest ecosystem of the Pardinho River Hydrographic Basin, RS, Brazil, associated with the risk of biological invasion by the species *Hovenia dulcis* (Japanese raisin tree), aiming to provide subsidies for river basin management. The research began with the development of a systematic literature review to identify the different EV assessment methods, and the main impacts of invasive plants on the ecosystem. Subsequently, a combination of methodologies was used, employing the use of RGB images obtained by Drone and the construction of rectified orthomosaics to validate the images obtained from the CBERS-4A satellite, and processed in the QGIS software to confirm the identification of the invasive species *H. dulcis* in the urban forest area of the Green Belt (GB) in the Municipality of Santa Cruz do Sul. Furthermore, a study of the GB tree community was carried out, where 72 random sample plots of 100 m² each were arranged. The results indicated that the GB plant community presented a high species richness, 108 taxa, distributed in 39 botanical families. Regarding the community structure, the calculated indices of Shannon (H') = 3.65 and Pielou Evenness (J') = 78%, demonstrate that the plant community has a high species diversity, expressed through species richness and a homogeneous distribution of relative abundances, favoring biodiversity conservation. *H. dulcis* highlights as the invasive alien species with the highest number of individuals sampled (146), being the species within the community with the highest Relative Density - DeR (9.14) and the second highest in Relative Frequency - FeR (5.10%), Coverage Value Index - CVI (8.85%) and Importance Value Index - IVI (7.60%). Regarding the processing of satellite images, the results indicated that *H. dulcis* occupies 86.44 hectares of the forest area, being well distributed and corroborating the phytosociological data obtained in the field. These results demonstrated high accuracy in the methodology for detecting invasive plants and suggest the urgent need for control and eradication measures. Finally, an Ecological Vulnerability map of the arboreal vegetation in the Pardinho permanent protection areas to the invasion of the species *H. dulcis* was prepared. Thus, to create the map of use and occupation by the invader, multispectral images of 8 x 8 m pixels were used together with the 2 x 2 panchromatic images from the CBERS-4A satellite. Geospatial soil data, the Normalized Difference Vegetation Index and Slope were also used, which were combined through Hierarchical Analysis of the data. These data were compared with results based on the phytosociological study. The results demonstrate that the methodology was efficient in detecting the invasive species and creating a thematic invasion risk map. Field data confirm and demonstrate the presence and occupation of the invasive *H. dulcis* in the riverside ecosystem of the Pardinho River Basin, and highlight the importance of urgent monitoring and control measures for this species, which presented the second highest IVI (9.24%), and also the second highest Absolute Density - DeA (272.5 in. ha⁻¹), and the second highest DeR (9.846%) within the tree community. This work provides a methodology applicable to other Atlantic Forest remnants that present this serious environmental problem.

Keywords: Climate change, Ecological Vulnerability, Biodiversity, Community structure, Invasive exotic plants, Rio Pardinho Basin, RS, Brazil.

LISTA DE FIGURAS GERAL

Figura 1. Invasora <i>Hovenia dulcis</i> em áreas florestais da bacia hidrográfica do Pardinho. A. Indivíduo com altura superior a 20 metros; B. Fruto jovem; C. Fruto maduro; D. presença da invasora durante o período decíduo, no inverno	21
Figura 2. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo e Pardinho no Estado do Rio Grande do Sul	27
Figura 3. Mapa de classificação quanto ao clima do Brasil, RS e das bacias hidrográficas do Pardo e Pardinho, seguindo a classificação de Köeppen-Geiger	27
Figura 4. Mapa destacando as áreas prioritárias para conservação da Mata Atlântica conforme Portaria nº 463 de 18 de dezembro de 2018, do Ministério do Meio Ambiente em relação a BHRP e BHRPO	30
Figura 5. Localização do Bioma Mata Atlântica dentro do território brasileiro (INPE - Limite do Bioma Mata Atlântica - Shapefile, 2023)	31
Figura 6. Distribuição das diferentes fitofisionomias da Mata Atlântica presente no estado do Rio Grande do Sul (SOS Mata Atlântica, 2018)	33
Figura 7. Área de Mata Atlântica de domínio da Floresta Estacional Decidual, denominado Cinturão Verde no município de Santa Cruz do Sul, em processo de regeneração. A. Fotografia histórica (1972) com vista parcial do CV demonstrando uso agropecuário. B. Vista parcial do CV (2023) em estado médio de regeneração	34
Figura 8. Área de Mata Atlântica de domínio da floresta estacional decidual, denominado cinturão verde no município de Santa Cruz do Sul, em processo de regeneração. A. Fotografia histórica (1990) em estado médio de regeneração. B. Vista parcial em estado avançado de regeneração	34
Figura 9. Vista aérea parcial do CV, comparativo entre 1970 e 2023	35
Figura 10. Fluxograma representativo do desenvolvimento da tese	42
Figura 11. Exemplificação da metodologia empregada na coleta de dados dos artigos dois e três da tese	43

LISTA DE FIGURAS ARTIGO 1

Figure 1: Mapping showing the main terms obtained for the period 2013–2022, referring to the keywords “ecological vulnerability” and “index”, in three databases (Scopus, Web of Science, and Science Direct)	49
Figure 2. Bibliometric mapping with emphasis on the term “Climate Change”	53
Figure 3. Bibliometric mapping obtained using the terms “biodiversity”, “invasive alien species”, and “ecological vulnerability”, highlighting the most relevant terms found in the “biodiversity” analysis	56

LISTA DE FIGURAS ARTIGO 2

- Figure 1.** Location Map of the municipality of Santa Cruz do Sul and the Cinturão Verde 76
- Figure 2. A.** Coloration of the invader *H. dulcis* in the hygrophytic phase, standing out from native vegetation, forming extensive clusters; **B.** Coloration of the invader in the hygrophytic phase with the presence of isolated individuals; **C.** Late hygrophytic phase with little difference in coloration compared to native species; **D.** Invader in the senescence (dormancy) phase during the winter period 78
- Figure 3.** Representation of the methodology applied in obtaining the CBERS4-A satellite image, generating the high-resolution 2-m panchromatic image, and classification 79
- Figure 4.** Analysis – Accuracy assessment results 87
- Figure 5.** Map of the study area CV classification using the Dzetsaka Classification Tool plugin and the Gaussian Mixture Model method. Points were confirmed using georeferenced orthomosaics obtained with a drone 88

LISTA DE FIGURAS ARTIGO 3

- Figura 1.** Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pardinho, dentro do estado do Rio Grande do Sul, e a distribuição das parcelas fitossociológicas ao longo das APPs do Rio Pardinho 104
- Figura 2.** Uso e ocupação do Solo considerando buffer de 50m a partir do eixo central do Rio Pardinho 107
- Figura 3. A.** Mapa de uso e ocupação do solo nas áreas de APP do Pardinho buffer 100 m; **B.** Mapa apresentando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) das APPs do Pardinho; **C.** Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Pardinho; **D.** Mapa de Solos da Bacia do Pardinho 107
- Figura 4.** Distribuição da invasora nas 40 parcelas amostrais onde 1 é a parcela mais próxima a nascente e 40 é o ponto mais próximo ao exutório no Rio Pardo 111
- Figura 5.** Gráfico apresentando as 20 principais espécies fitossociológicas encontradas nas áreas de APP do Pardinho considerando IVI 112
- Figura 6. Áreas de APP do Rio Pardinho A.** Estrada vicinal com déficit significativo de vegetação; **B.** Presença marcante de *H. dulcis*; **C.** Presença de lavoura e déficit de vegetação; **D.** Presença de estrada vicinal e ausência de vegetação arbórea 113
- Figura 5.** Mapa de classificação de risco da espécie invasora nas áreas de APP do Rio Pardinho 116

LISTA DE TABELAS GERAL

Tabela 1. Lista das espécies arbóreas e arbustivas invasoras registradas para o Brasil e os respectivos estados com ocorrência, segundo banco de dados (Hórus, 2023) 18

LISTA DE TABELAS ARTIGO 2

Table 1. List of families and species found in the CV's tree community with their respective common names 80

Table 2. Phytosociological parameters calculated for the arboreal community of CV. Ni = Number of individuals of the species; AD = Absolute Density; RD = Relative Density; AF = Absolute Frequency; RF = Relative Frequency; ADo = Absolute Dominance; RDo = Relative Dominance; IVI = Importance Value Index; CVI = Coverage Value Index. DBH = Diameter at Breast Height; GHG = Height 84

LISTA DE TABELAS ARTIGO 3

Tabela 1. Listagem das espécies identificadas, bem como, os parâmetros fitossociológicos calculados 108

Tabela 2. Pesos atribuídos arbitrariamente para cada critério e os autovetores de ponderação alcançados 115

Tabela 3. Classes de risco à invasão pela *H. dulcis* nas áreas de APP do Pardinho e o percentual de cada classe 116

ABREVIATURAS

AC - Acre.

Af - Clima tropical chuvoso de floresta.

AL - Alagoas.

AM - Amazonas.

Am - Clima tropical de monção.

AP - Amapá.

APP - Área de Preservação Permanente.

APPs - Áreas de Preservação Permanentes.

As - Savana equatorial com verão seco.

Aw - Clima de savana.

BA - Bahia.

BH - Bacia Hidrográfica.

BHRP - Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.

BHRPO - Bacia Hidrográfica do Rio Pardinho.

BSh - Clima quente de estepe.

CE - Ceará.

Cfa - Úmido em todas as estações, verão quente.

Cfb - Úmido em todas as estações, verão moderadamente quente.

Cwa - Chuva de verão, verão quente.

Cwb - Chuva de verão, verão moderadamente quente.

DF - Distrito Federal.

ES - Espírito Santo.

GO - Goiás.

GPP - Do inglês “Gross Primary Production” - Produção Primária Bruta.

M - Metros.

MA - Maranhão.

MG - Minas Gerais.

MS - Mato Grosso do Sul.

MT - Mato Grosso.

NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

PA - Pará.

PB - Paraíba.

PE - Pernambuco.

PEIs - Plantas Exóticas Invasoras.

PI - Piauí.

PR - Paraná.

RJ - Rio de Janeiro.

RN - Rio Grande do Norte.

RO - Rondônia.

RR - Roraima.

RS - Rio Grande do Sul.

SC - Santa Catarina.

SE - Sergipe.

SP - São Paulo.

TO - Tocantins.

VE - Vulnerabilidade Ecológica.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 Ecologia de Espécies Invasoras e a <i>Hovenia dulcis</i>	16
3.2 Legislação e <i>Hovenia dulcis</i>	1
3.3 Gestão de Bacias Hidrográficas e a Bacia Hidrográfica do Rio Pardo e Pardinho	3
3.4 A Mata Atlântica.....	9
3.5 Bacias Hidrográficas e a Vulnerabilidade Ecológica.....	16
3.6 Monitoramento Ambiental e as Novas Tecnologias.....	18
4 METODOLOGIA GERAL	22
5. RESULTADOS	25
5.1 ARTIGO 1	25
Ecological Vulnerability and Biological Invasion Processes: A Bibliometric Analysis	25
Vulnerabilidade Ecológica e Processos de Invasão Biológica: Uma Análise Bibliométrica	26
5.2 ARTIGO 2	27
Detection of the invasive tree species <i>Hovenia dulcis</i> Thumb. (Rhamnaceae) in an urban remnant of Atlantic Forest through Remote Sensing techniques combined with RGB images obtained by an unmanned aerial vehicle (UAV)	Erro! Indicador não definido.
5.3 ARTIGO 3 (em preparação)	29
Avaliação da vulnerabilidade ecológica do ecossistema florestal da Bacia Hidrográfica do Rio Pardinho, RS, Brasil, associada ao risco de invasão biológica pela espécie <i>Hovenia dulcis</i> Thunb.	29
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
7 TRABALHOS FUTUROS	32
Livro Biodiversidade dos Vales	32
8 ATIVIDADES REALIZADAS DURANTE O MESTRADO/DOCTORADO	35

1 INTRODUÇÃO

A Vulnerabilidade Ecológica (VE) caracteriza-se como uma avaliação crítica da capacidade dos ecossistemas resistirem a perturbações e mudanças causadas por fatores antrópicos ou naturais. Essa avaliação é feita a partir de diversos fatores, como biodiversidade, uso e ocupação do solo, relevo, fragilidade do ecossistema, pressão antrópica e capacidade de recuperação (Beroya-Eitner, 2016, Lange; Sala; Vighi, 2010). A compreensão da VE é um importante critério para a tomada de decisões sobre a gestão de recursos naturais e para a implementação de projetos de conservação (He; Shen; Zhang, 2018), destacando que as áreas de maior vulnerabilidade devem ser priorizadas na implementação de políticas de proteção ambiental e na gestão dos recursos naturais (Gao *et al.*, 2020).

As áreas com elevada VE incluem ecossistemas frágeis, como o deserto (Abuzaid *et al.*, 2021), a tundra ártica (Léandri-Breton *et al.*, 2020); além de áreas com elevados índices de biodiversidade, como as florestas tropicais (Fremout *et al.*, 2020), zonas costeiras (Shi *et al.*, 2020; Silva; Pennino; Lopes, 2019) e as áreas de montanha (Guo; Zang; Luo, 2020). As atividades antrópicas, como a degradação do solo, exploração de recursos naturais e poluição, potencializam a vulnerabilidade desses ecossistemas. Desta forma, a conscientização e a tomada de medidas para mitigar a VE são essenciais para preservar a biodiversidade e garantir a sustentabilidade dos ecossistemas (Li *et al.*, 2021).

A propagação de Plantas Exóticas Invasoras (PEIs) é outro fator de grande relevância para a VE. Ao serem introduzidas em um novo ambiente, geram danos ao ecossistema local, competindo com as espécies nativas por luminosidade, água e nutrientes, o que pode levar ao declínio das populações nativas e à perda de biodiversidade (Mudereri; Abdel-Rahman; Dube, 2020; Mesacasa; Macagnan; Fiaschi, 2022). Além disso, as plantas invasoras podem alterar o equilíbrio ecológico, mudar os padrões de fluxo de nutrientes e afetar as interações entre as espécies (Cordero; Galvez; Fonttúrbel, 2023; Jarić; Heger; Monzon, 2019), tornando os ecossistemas ainda mais vulneráveis a perturbações. Especial atenção deve ser empregada as áreas de elevada VE, onde os ecossistemas já estão frágeis e sujeitos a pressões adicionais.

Para entender a relação entre VE e PEIs, utiliza-se uma combinação de abordagens, dentre elas: trabalhos de campo, laboratório e abordagem teórica, fornecendo informações abrangentes sobre a problemática. Estas abordagens podem ser baseadas em:

Análise de dados: consiste na coleta de dados sobre a distribuição e abundância de espécies invasoras e nativas em áreas de elevada VE, fornecendo informações da relação entre elas. Estes dados podem ser coletados por meio de levantamentos de campo, monitoramento de longo prazo e análise de dados históricos (Dyderski; Jagodziński, 2020). Para realização destas análises são utilizados dados de campo pertinentes ao estudo, bom como o entendimento da relação entre vulnerabilidade ecológica e as plantas exóticas invasoras, destacando os dados de presença e distribuição das invasoras e das espécies nativas, como a densidade e a cobertura, como apresentado em Fetter *et al.* (2020). Dados ecológicos, como as condições ambientais, incluindo solo, clima, luminosidade e umidade (Biasi *et al.*, 2020). Dados de interação, onde são apresentadas as interações entre as espécies invasoras e nativas, incluindo competição e simbiose (Chikowore *et al.*, 2021; Bueno Garcia, 2019). Dados demográficos, que demonstram a dinâmica populacional, incluindo taxas de crescimento, sobrevivência, reprodução e dispersão. Dados históricos, registrando a introdução e disseminação da invasora (Brancatelli *et al.*, 2022; Ojungas *et al.*, 2020).

Estudos de caso: Este tipo de pesquisa busca fornecer informações sobre como as plantas exóticas invasoras afetam a vulnerabilidade ecológica em vários ambientes. Esses estudos podem incluir experimentos controlados, análises de comunidade e monitoramento de longo prazo (D'Antonio; Florys, 2017; Forst *et al.*, 2019).

Modelagem: São empregados modelos matemáticos e computacionais que permitem simular a interação entre as PEIs e as espécies nativas, e desta forma tentar prever os efeitos dessas interações na VE (Silva *et al.*, 2023). Esta modelagem pode ser aplicada para entender as dinâmicas das populações, o equilíbrio ecológico, modelagem de simulação e modelos de dispersão. Este último vem sendo amplamente empregado na ecologia de invasão, uma vez que simula a dispersão de PEIs ao longo do tempo e do espaço. Eles podem ser usados para avaliar a probabilidade de introdução de PEIs em áreas de elevada VE, e para identificar áreas potenciais de controle (Ahmed; Atzberger; Zewdie, 2021; Behm; Ellers; Jesse, 2023; Briscoe Runquist *et al.*, 2019; Dinis *et al.*, 2020; Early *et al.*, 2022; Gómez-Undiano *et al.*, 2022; Moyano, Zamora-Nasca; Caplat, 2023; Zhang *et al.*, 2022).

Adicionalmente, a análise de risco pode ser utilizada para avaliar a probabilidade de PEIs causarem danos aos ecossistemas, além de identificar as áreas com maior índice de vulnerabilidade, utilizando, desta forma, a combinação da probabilidade com o

impacto que as áreas estão susceptíveis. Esta análise baseia-se fundamentalmente na identificação das plantas invasoras que podem ameaçar as áreas de maior fragilidade no ecossistema. Nesta avaliação são considerados fatores como a dispersão, a introdução humana e a interação com outras espécies, além da avaliação do impacto destas plantas sobre as espécies nativas e, conseqüentemente, sobre o equilíbrio ecológico (Campagnaro *et al.*, 2022; Dakhil *et al.*, 2021; Klein *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019). Estes estudos auxiliam na tomada de decisão informada por evidências sobre a gestão de espécies invasoras, incluindo prevenção, monitoramento e controle.

De modo geral, as abordagens supracitadas são ferramentas valiosas para entender a relação entre VE e PEIs. No entanto, cabe destacar que as modelagens são representações da realidade, e que sua validade está diretamente relacionada com a qualidade e quantidade de dados disponíveis. As análises de risco, por sua vez, utilizam os dados para avaliação das ameaças contribuindo na tomada de decisões e na elaboração de planos de manejo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um índice de Vulnerabilidade Ecológica da vegetação ciliar do Rio Pardinho, RS, Brasil, associado ao risco de invasão biológica pela *Hovenia dulcis* Thunb. (uva-do-japão), visando fornecer subsídios à gestão ambiental de bacias hidrográficas.

2.2 Objetivos Específicos

- Aplicar técnicas de cienciometria na investigação dos diferentes índices de vulnerabilidade ambiental existentes;
- Classificar a ocupação da vegetação ciliar ao longo do Rio Pardinho, enquadrando conforme a legislação ambiental vigente;
- Monitorar a dispersão da invasora *H. dulcis* (uva-do-japão) em áreas florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Pardinho, com o uso de veículo aéreo não tripulado (Drone);
- Avaliar o impacto da espécie invasora *H. dulcis* sobre a biodiversidade local;
- Reunir dados e informações relevantes sobre o panorama ambiental na área da Bacia Hidrográfica do Rio Pardinho;
- Desenvolver um índice de Vulnerabilidade Ecológica da vegetação ciliar do Rio Pardinho ao risco de invasão pela *H. dulcis*.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Ecologia de Espécies Invasoras e a *Hovenia dulcis*

As Plantas Exóticas Invasoras (PEIs) estão amplamente distribuídas e caracterizam-se pelos impactos negativos nos ecossistemas invadidos, incluindo a perda de biodiversidade (Jones; Niemiec, 2023; Matos *et al.*, 2023), alterações na dinâmica do solo (Reinhart; Callway, 2006; Zhang *et al.*, 2019; Zhang; Kotanen, 2023), mudanças nos padrões de fluxo de água (Yuguda *et al.*, 2022; Zhou *et al.*, 2022) de nutrientes (Teixeira *et al.*, 2020) e interferência na comunidade de espécies nativas (Iqbal *et al.*, 2020). Além disso, muitas espécies invasoras são capazes de modificar a dinâmica das queimadas, aumentando a frequência e a intensidade destes eventos (Banerjee *et al.*, 2023; Tomat-Kelly; Flory, 2022).

Dentre os fatores relevantes que englobam estas espécies, e dificultam seu controle e erradicação, estão o rápido crescimento vegetativo; produzindo rapidamente alterações na estrutura do dossel da floresta, maior aptidão na captura de recursos como luminosidade, nutrientes e água, alta capacidade de dispersão e colonização em novos habitats, o que lhes confere eximia capacidade competitiva e um maior acúmulo de biomassa do que as espécies nativas na competição mista (Zhao *et al.*, 2020). Além disso, estes fatores podem alterar as taxas de herbivoria das mudas e a dinâmica de nitrogênio do solo (Fang; Wang, 2020). Outra vantagem competitiva que muitas invasoras apresentam é a produção de compostos alelopáticos, que inibem o crescimento ou até mesmo a morte de outras plantas próximas (Kalisz *et al.*, 2021; Ribeiro *et al.*, 2019).

Adicionalmente, as invasoras podem contribuir para as mudanças climáticas, através de mecanismos como a liberação de grandes quantidades de gases de efeito estufa, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), decorrente da decomposição de matéria orgânica resultante da morte de plantas na competição (Oberle *et al.*, 2018). A presença de PEI's pode modificar, ainda, as condições climáticas locais, como a temperatura, umidade e vento, prejudicando a sobrevivência e a distribuição das espécies nativas (Solfiyeni *et al.*, 2022). Estas alterações nas taxas de transpiração da floresta, podem afetar a umidade do ar e do solo e, conseqüentemente, reduzir a disponibilidade de água na região. Algumas invasoras podem, ainda, mudar a reflexão da luz solar (albedo), o que pode afetar a temperatura e a radiação solar na superfície do solo

(Jäger *et al.*, 2009; Nuñez, *et al.*, 2022). Estas alterações no microclima podem acarretar severas implicações para a sobrevivência e a distribuição das espécies nativas, e para a dinâmica dos ecossistemas invadidos, e minar os esforços de combate as mudanças climáticas.

O papel da ecologia de invasão, neste sentido, é investigar e compreender os mecanismos de transporte, estabelecimento, colonização e propagação destas espécies na paisagem (Rai; Singh, 2020). As espécies invasoras apresentam a capacidade de afetar a dinâmica das comunidades, e as funções do ecossistema. No entanto, os mecanismos envolvidos neste processo e seus impactos ainda são pouco compreendidos e devem ser estudados localmente (Fang; Wang, 2020; Linders *et al.*, 2019). Ainda, segundo Fang & Wang (2020), dentre os inúmeros fatores envolvidos, o sucesso da invasão depende principalmente de três fatores: a capacidade de invasão inerente à espécie, a pressão dos propágulos e a vulnerabilidade do ecossistema a ser invadido. Rai (2015) destaca que a busca pelo mecanismo ecológico por trás do sucesso de espécies invasoras sobre espécies nativas é complexa, e pode envolver múltiplos fatores, como a capacidade competitiva aumentada, disponibilidade de nicho ecológico e falta de inimigos naturais, podendo, também, interagir sinergicamente com as mudanças no uso da terra, mudanças climáticas, aumento das concentrações de dióxido de carbono atmosférico e deposição de nitrogênio.

Quanto à ausência de inimigos naturais, Zenni *et al.*, (2016) apontam que a maioria das espécies de plantas identificadas como invasivas, possuem substancialmente menos patógenos virais e fúngicos nos habitats introduzidos, em comparação com seus habitats nativos, o que pode lhes conferir uma vantagem competitiva. Cabe destacar, no entanto, que a dispersão das PEIs está diretamente ligada com a relação ecológica de mutualismo, seja ela estabelecida com fungos como é o caso do *Pinus* spp. (Moyano *et al.*, 2020), insetos polinizadores (Mandal; Joshi, 2014) e avifauna (Voigt *et al.*, 2011). Segundo Moyano *et al.* (2020), acreditava-se que as espécies invasoras apresentavam uma menor dependência de mutualismos, uma vez que isso limitaria a sua disseminação em razão da disponibilidade de parceiros mutualísticos. No entanto, os estudos demonstraram uma razão inversa, onde uma maior dependência do mutualismo pode aumentar a capacidade de propagação.

No Brasil, diversas espécies de árvores exóticas foram introduzidas a partir da década de 1950, por iniciativas de governo para desenvolver a indústria florestal de

produção de papel, celulose, madeira e outros subprodutos, onde algumas dessas espécies se tornaram invasoras (tabela 1). Atualmente, são catalogadas 210 espécies do Reino Plantae, dentre elas, 84 espécies arbóreas ou arbustiva (Hórus, 2023). A nível mundial as plantas terrestres representam 32% das 100 principais espécies invasoras (Luque *et al.*, 2014).

Atualmente são catalogadas 31 espécies invasoras arbóreas para o estado do RS, dentre elas, *Hovenia dulcis* é considerada uma das principais espécies invasora na Mata Atlântica (Fig. 1) (Zenni; Sá Dechoum; Ziller, 2016), e em toda a América do Sul (Padilha; Loregian; Budke, 2015). Essa planta originária da Ásia é conhecida popularmente como uva-do-japão, sendo caracterizada como uma espécie arbórea, decídua e zoocórica, naturalmente encontrada em florestas no Japão, Coreia e leste da China, em altitudes que variam de 165 a 2200 m (Hyun *et al.*, 2010).

Tabela 1. Lista das espécies arbóreas e arbustivas invasoras registradas para o Brasil e os respectivos estados com ocorrência, segundo banco de dados (Hórus, 2023).

FAMÍLIA		
ESPÉCIE	NOME COMUM	ESTADOS COM OCORRÊNCIAS
Anacardiaceae		
<i>Mangifera indica</i> L.	mangueira	AL; BH; CE; DF; MS; MG; PB; PR; PB; RJ; RN; SC; SP; SE; TO;
Araliaceae		
<i>Schefflera actinophylla</i> (Endl.) H.A.T.Harms	cheflera	RJ; SC;
<i>Schefflera arboricola</i> (Hayata) Kanehira	cheflera-pequena	PR; RJ; SC; SP;
<i>Tetrapanax papyrifer</i> (Hook.) K.Koch	árvore-do-papel-de-arroz	PR; SC; SP;
Arecaceae		
<i>Archontophoenix cunninghamiana</i> (H.Wendl.) H.Wendl. & Drude	palmeira-australiana	RS; SC; SP;
<i>Caryota urens</i> L.	palmeira-cariota	BH; DF; PE; RJ; SP;
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	coqueiro-de-dendê	AC; BH; ES; PB; PE; RJ, SE;
<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	açaí	BH; SP;
<i>Livistona chinensis</i> (Jacq.) R. Br. ex Mart.	palmeira-leque-da-china	ES; RJ; RS; SC; SP;
<i>Phoenix roebelenii</i> O'Brien	tamareira-anã	SP;
<i>Roystonea oleracea</i> (Jacq.) O.F. Cook	palmeira-real	AM; BH; RJ;
Bignoniaceae		

Continuação tabela 1.

FAMÍLIA		
ESPÉCIE	NOME COMUM	ESTADOS COM OCORRÊNCIAS
<i>Spathodea campanulata</i> P.Beauv.	tulipa-africana	BH; DF; PB; PR; PE; RJ; RN; RS; SP; SE;
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss ex. Kenth	ipê-de-jardim	AL; AM; BH; CE; DF; ES; GO; MA; MS; MG; PA; PB; PR;
Casuarinaceae		
<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	pinheiro-da-austrália	AL; BH; ES; MG; PB; PR; PI; RJ; RN; RS; SC; SP; SE;
Combretaceae		
<i>Terminalia catappa</i> L.	amendoeira	AL; AM; BH; ES; PB; PR; PE; RJ; SC; SP; SE;
Cupressaceae		
<i>Cupressus lusitanica</i> Miller.	cedro-de-portugal	MG; PR; SC;
Euphorbiaceae		
<i>Hevea brasiliensis</i> L.	seringueira	BH;
<i>Hura crepitans</i> L.	açacu	ES;
<i>Jatropha curcas</i> L.	pinhão-branco	BH; TO;
<i>Ricinus communis</i> L.	mamona	AL; BH; ES; MT; MS; MG; PB; PR; PE; PI; RJ; RN; RS; RO; SC; SP;
Fabaceae		
<i>Acacia angustissima</i> (Mill.) Kuntze	acácia	RJ;
<i>Acacia auriculiformis</i> A.Cunn. ex Benth.	acácia	AM; BH; ES; RJ;

Continuação tabela 1.

FAMÍLIA		
ESPÉCIE	NOME COMUM	ESTADOS COM OCORRÊNCIAS
<i>Acacia holosericea</i> George Don,	acácia	BH; ES;
<i>Acacia mangium</i> Willd.	acácia-australiana	AP; AM; BH; ES; MA; PE; PI; RJ, RR; SC;
<i>Acacia mearnsii</i> (De Wild)	acácia-negra	PB; PR; RS; SC; SP;
<i>Acacia podalyriifolia</i> George Don,	acácia-mimosa	BH; PR; SC; SP;
<i>Albizia lebbbeck</i> (L.) Benth.	carvoeiro	BH; RJ;
<i>Falcataria falcata</i> (L.) Greuter & R.Rankin	albizia	ES;
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	leucena	AL; AM; BH; CE; ES; MA; MS; MG; PA; PR; PE; PI; RJ; RN; RS; RO; RR; SP; SE;
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.	unha-de-gato	BH; CE; ES; MG; PB; RJ; RR; SC; SE;
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	cina-cina	AL; BH; MS; PB; PE; RN; RS; SP;
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	mata-fome	AL; BH; PB; RJ; SE;
<i>Prosopis juliflora</i> L.	algaroba	BH; CE; PB; PE; PI; RN; SE
<i>Prosopis pallida</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Kunth	algaroba	BH; CE; PB; PE; PI;
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	falsa-acácia	PR;
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F. Blake	guapuruvu	BH; DF; SP;
<i>Senna macranthera</i> (DC. ex Collad.) H.S.Irwin & Barneby	fedegoso	PR;
<i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Pers.	cambaí-amarelo	PB;

Continuação tabela 1.

FAMÍLIA		
ESPÉCIE	NOME COMUM	ESTADOS COM OCORRÊNCIAS
Lauraceae		
<i>Cinnamomum burmanni</i> (Nees & T.Nees) Blum	canela-da-indonésia	RS; SC;
<i>Cinnamomum verum</i> J.Presl	canela	RS; SC;
Magnoliaceae		
<i>Magnolia champaca</i> Linnaeus, Carl von	magnolia-amarela	PR; SC; SP;
Malvaceae		
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	castanha-do-brejo	BH; DF; PB; RJ;
<i>Thespesia populnea</i> (L.) Sol. ex Corrêa	tespésia	AL; BH; PB; RJ; SP; SE
Meliaceae		
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	nim	AC; AL; BH; CE; ES; MA; MT; PB; PE; PI; RN; RO; SE
<i>Melia azedarach</i> L.	cinamomo	AM; BH; MS; PR; RJ; RS, RO; SC; SP
<i>Swietenia macrophylla</i> King.	mogno	DF; PE
Moraceae		
<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	jaqueira	AM; BH; CE; DF; ES; PB; PR; PE; PI; RJ; RN; SC; SP; SE
<i>Ficus microcarpa</i> L.f.	figueira-da-índia	RJ;
<i>Morus alba</i> L.	amora-branca	AM; BH; PR; RJ; RS; SP

Continuação tabela 1.

FAMÍLIA		
ESPÉCIE	NOME COMUM	ESTADOS COM OCORRÊNCIAS
<i>Eucalyptus robusta</i> Sm.	eucalipto-do-brejo	MG; PR; RS; SP;
<i>Eucalyptus</i> sp.	eucalipto	AP; BH; DF; ES; MA; MS; MG; PA; PB; PR; PB; PI; RJ; RS; RO; SC; SP
<i>Psidium guajava</i> L.	goiabeira	AC; AM; BH; CE; DF; ES; MA; MS; MG; PB; PR; PB; RJ; RS; SC; SP; SE; TO;
<i>Syzygium aromaticum</i> (L.) Merr. & L.M.Perry	cravo-da-índia	BH;
<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	jambolão	AL; AM; BH; CE; DF; ES; MS; PB; PR; PE; PI; RJ; RS; RO; SC; SP; SE;
<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	jambeiro	BH; MS; MG; PR; RJ; SP; SE;
<i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merr. & L.M. Perry.	jambo-rosa	AM; BH; CE; ES; PB; RJ; SP; SE;
Oleaceae		
<i>Ligustrum japonicum</i> Thunb.	ligustro	PR; RS; SC;
<i>Ligustrum lucidum</i> W.T.Ait.	ligustro	BH; PR; RS; SC; SP;
<i>Ligustrum sinense</i> Lour.	ligustro	PR; RS; SC;
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	ligustro	PR;
Poaceae		
<i>Bambusa textilis</i> McClure.	bambu-de-jardim	SP;

Continuação tabela 1.

FAMÍLIA		
ESPÉCIE	NOME COMUM	ESTADOS COM OCORRÊNCIAS
<i>Grevillea banksii</i> R.Br.	grevílea-anã	BH; DF; ES; PR;
<i>Grevillea robusta</i> A.Cunn.,ex R.Br.	grevilha-robusta	ES; PR; SC; SP;
Pinaceae		
<i>Pinus caribaea</i> Morelet	pinheiro-americano	PA; PR; PE; RS; RO; SP;
<i>Pinus elliottii</i> Engelm.	pínus	ES; GO; MG; PR; RJ; RS; SC; SP;
<i>Pinus glabra</i> Walter	pínus	PR;
<i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore	pinheiro	PR;
<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltdl.	pinheiro acote	BH; DF; SP;
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	pínus	SP;
<i>Pinus sp.</i>	pínus	BH; ES; MT; MG; PR; RJ; RS; SC; SP; SE;
<i>Pinus taeda</i> L.	pinheiro-amarelo	PR; RJ; RS; RJ; RS; SC; SP;
Pittosporaceae		
<i>Pittosporum undulatum</i> Vent.	pau-incenso	PR; RS; SP;
Rhamnaceae		
<i>Hovenia dulcis</i> Thunb.	uva-do-japão	RS;
Rosaceae		

Continuação tabela 1.

FAMÍLIA			
ESPÉCIE	NOME COMUM	ESTADOS COM OCORRÊNCIAS	
<i>Citrus x limonia</i> Osbeck	limão-cravo	AM; BH; ES; PB; PR; PE; RJ; RS; SC; SP;	
<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	murta	BH; PR; PE; RJ; RS; SP;	
Salicaceae			
<i>Salix x rubens</i> Schrank	chorão	RS; SC;	
Sapotaceae			
<i>Mimusops balata</i> (Aubl.) C.F.Gaertn.	abricó-da-praia	RJ; SC;	
Solanaceae			
<i>Nicotiana glauca</i> Graham	charuteira	AL; BH; CE; PB; PE;	
Sterculiaceae			
<i>Sterculia foetida</i> L.	chichá	ES;	

Figura 1. Invasora *Hovenia dulcis* em áreas florestais da bacia hidrográfica do Pardinho. **A.** Indivíduo com altura superior a 20 metros destacando-se no dossel da floresta; **B.** Fruto jovem; **C.** Fruto maduro; **D.** presença da invasora durante o período decíduo, no inverno.



Destaca-se pelo seu porte alto, comportamento caducifólio, rápido crescimento, grande plasticidade e produção de compostos alelopáticos. Por ser uma espécie oportunista, *H. dulcis* pode gerar significativos efeitos sobre o funcionamento do ecossistema, modificando as características ambientais locais através da redução da riqueza e abundância das espécies vegetais nativas (Bellingham *et al.*, 2018).

Devido a sua alta produção de biomassa e por ser uma árvore caducifólia, a queda das folhas e dos pseudofrutos de *H. dulcis* podem liberar substâncias alopatóicas capazes de impedir o estabelecimento de outras plantas próximas a ela (Araldi, 2011). Outra característica da espécie, e que favorece a sua dispersão, é seu pseudofruto carnoso e adocicado, altamente atrativo para a fauna, sendo registrada na dieta de onívoros e frugívoros ocasionais da mastofauna nativa (Kuester *et al.*, 2022), e principalmente na dieta da avifauna (Lima, 2013). Estes fatores tornam a espécie altamente competitiva, afetando de forma substancial os ambientes invadidos.

Segundo Biasi *et al.* (2020), as folhas da *H. dulcis* apresentam uma decomposição mais acelerada do que as de espécies nativas, ocasionando, desta forma, uma redução nas taxas de esporulação fúngica e redução na beta-diversidade de hifomicetos aquáticos, interferindo na qualidade da água e na dinâmica do solo. Segundo Schmidt *et al.* (2020), *H. dulcis* tem a capacidade de alterar as condições ambientais locais, dificultando o estabelecimento de espécies nativas em regeneração, enquanto favorecem novas espécies invasoras. Segundo Lazzarin *et al.* (2015), a invasão de *H. dulcis* está relacionada com a fragmentação de áreas florestais. No entanto, Padilha *et al.* (2015) demonstraram que esta espécie pode invadir com sucesso fragmentos de floresta de copa fechada e sem perturbações antrópicas, destacando que a presença de árvores adultas na região leva a uma grande abundância de mudas e o sucesso na colonização.

Desta forma, torna-se imperiosa a necessidade de monitorar e controlar a propagação da *H. dulcis* em ecossistemas sensíveis, como a Mata Atlântica e outros hotspots de biodiversidade global, a fim de preservar a biodiversidade e manter a integridade desses ecossistemas. Segundo Bergamin *et al.* (2022), é necessário implementar medidas de gestão efetivas para a erradicação e a implantação de programas de monitoramento, para prevenir ou limitar o impacto desta invasora. Destacando, ainda, que esta deve ser uma pauta prioritária para todas as autoridades conservacionistas locais.

3.2 Legislação e a *Hovenia dulcis*

O Brasil tem registrado cada dia mais Espécies Exóticas Invasoras (EEI). Atualmente, são catalogadas aproximadamente 476 EEIs em território nacional, sendo 268 animais e 208 plantas e algas em diferentes estágios de invasão (BPBES, 2024). A

detecção precoce de EEIs é de extrema importância e requer a implementação de planos de prevenção e manejo que identifiquem os vetores e as vias de introdução e dispersão dessas espécies. Vetores são os meios físicos pelos quais propágulos ou indivíduos das espécies invasoras são transportados, enquanto as vias de dispersão são os caminhos pelos quais eles se espalham. Em geral, ambos estão associados a distúrbios e atividades humanas, pois as oportunidades de introdução e dispersão são maiores em áreas modificadas pela ação humana ou onde existem vias de acesso facilitadas, como estradas, trilhas e áreas de atividades produtivas (ICMBio, 2019).

Uma das primeiras ações do Estado do Rio Grande do Sul sobre este tema, foi reconhecer as espécies exóticas invasoras (Portaria Sema nº 79/2013), resultado de estudos realizados pelo Projeto RS Biodiversidade, onde foram identificados 128 táxons de diferentes grupos, dentre elas *H. dulcis*, reconhecendo-a como uma espécie invasora para a Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual. Dentre outras providências, determina a proibição da produção, doação e comercialização da espécie. O Art 8º destaca a proibição do uso em projetos e planos de recuperação, revegetação e restauração de áreas degradadas e de recomposição de Áreas de Preservação Permanente e Reservas Legais, assim como seu uso paisagístico ou para estabilização de taludes ao longo de rodovias e estradas de qualquer tipo. O Art 10º enfatiza que nas áreas e nos bens públicos estaduais nos quais for constatada a presença de espécies exóticas invasoras, a administração pública deverá adotar medidas que evitem a invasão biológica e possibilitem a substituição dessas espécies por espécies nativas.

Há exemplo de outros estados que estão inseridos no bioma Matam Atlântica, como é o caso de Santa Catarina, que publicaram legislações específicas para *H. dulcis*. A Portaria Nº 20/2020, do Instituto do Meio Ambiente do Estado de SC, publicou a presente norma com a finalidade de definir restrições e procedimentos de uso e controle uva-do-japão, enquadrada na Categoria 2 da Lista Oficial de Espécies Exóticas Invasoras no Estado.

No estado do Rio Grande do Sul, a resolução CONSEMA nº 007/2020, em seu Art. 1º, recomenda a necessidade da substituição da espécie *H. dulcis* (uva-do-japão) nos estabelecimentos de avicultura e de suinocultura, devido à ampla dispersão de suas sementes com capacidade de se reproduzir e de colonizar espontaneamente ambientes

naturais de espécies nativas, representando um risco para a conservação da biodiversidade local. Já o Art. 2º recomenda a elaboração de um plano de substituição e controle periódico com vistas à eliminação gradual de indivíduos ou populações de *H. dulcis*, até se atingir a sua erradicação por parte do empreendedor.

Já no município de Santa Cruz do Sul, a lei 9.090/2022, que alterou o Plano Diretor de Arborização, proíbe o plantio de *H. dulcis* nas calçadas do município. Esta restrição abrange outras invasoras como *Cinnamomum verum*, *Melia azedarach*, *Eucalyptus* spp., *Ligustrum* spp., e *Pinus* spp.

Por fim, a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) estabeleceu, em seu artigo 8.º, que cada país signatário deve impedir a introdução e controlar ou erradicar as espécies exóticas invasoras que ameaçam ecossistemas, habitats e espécies nativas (BRASIL, 2005). Neste certame, o Brasil assumiu duas metas internacionais relativas ao tema:

Meta de Aichi 9 - Até 2020, espécies exóticas invasoras e seus vetores terão sido identificadas e priorizadas, espécies prioritárias terão sido controladas ou erradicadas, e medidas de controle de vetores terão sido tomadas para impedir sua introdução e estabelecimento.

Meta 15.8 dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - Até 2020, implementar medidas para evitar a introdução e reduzir significativamente o impacto de espécies exóticas invasoras em ecossistemas terrestres e aquáticos, e controlar ou erradicar as espécies prioritárias.

3.3 Gestão de Bacias Hidrográficas e a Bacia Hidrográfica do Rio Pardo e Pardino

A bacia hidrográfica (BH) é um conceito de delimitação geográfica, determinado pela drenagem das águas pluviais, que fluem em direção a um sistema central de corpo d'água, como um rio ou lago (Albuquerque Azevedo; Barbosa, 2011). Do ponto de vista mundial, a gestão integrada de BH é uma estratégia importante para a gestão de recursos naturais (UNESCO, 2009). E, segundo Teodoro *et al.* (2007), este elemento de estudo vem ganhando destaque como uma unidade ecossistêmica, na área de planejamento ambiental. Ainda, Srivastava *et al.* (2022) destacam que o delineamento da bacia

hidrográfica e a avaliação do balanço hídrico do rio, são os passos mais significativos para a gestão sustentável dos recursos hídricos. Por sua vez, Wu *et al.* (2023) consideram que a identificação das áreas prioritárias de gestão nas BHs é o primeiro passo na configuração espacial para a implementação de melhores práticas de gestão, que podem afetar as reais decisões de gerenciamento, como planos de investimento, disposição das partes interessadas e metas ambientais.

As BHs formam ecossistemas naturais equilibrados, constantemente sujeitos as intervenções humanas. Segundo Zancanela *et al.* (2022), no Brasil, grande parte destas BH's encontram-se em situação de degradação ambiental, o que pode afetar severamente a vida humana e a biodiversidade. Diversos são os impactos das ações humanas, já estudados e relatados, como a degradação do solo, poluição, construção de barragens e fatores socioeconômicos que interferem e determinam a qualidade geral do ambiente (Yua *et al.*, 2019).

Segundo Wang *et al.* (2016), métodos avançados de coleta e análise de dados, e as preocupações ecológicas e socioeconômicas, podem remediar problemas sociais, a degradação ambiental e melhorar a qualidade de uma BH. No entanto, para que se tenha efetividade, é necessário que se produza uma base de dados satisfatória com informações precisas e constantemente atualizadas (Tanik *et al.*, 2020). O fato de se tratar de um sistema integrado e interligado de recursos hidrológicos e terrestres, exige que essas unidades sejam geridas de forma equitativa, a fim de manter a qualidade da água e garantir uma fonte equilibrada para os diversos usos como a agricultura, agropecuária, indústria, vida animal selvagem e consumo humano. Compreender como as ações humanas afetam o ecossistema e como protegê-lo é um importante passo para a preservação (Mello *et al.*, 2020).

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), regulamenta os princípios e normas para a gestão de recursos hídricos e adota as bacias hidrográficas como regiões naturais de abrangência, e como unidade de gestão e planejamento, atribuindo a responsabilidade do monitoramento ambiental aos órgãos fiscalizadores municipais e estaduais. No entanto, devido à dimensão das BH's, nem sempre se obtém um monitoramento e diagnóstico efetivo destas áreas. Ainda, segundo Carvalho (2020), devido as suas dimensões, as BHs estão constantemente sujeitas à conflitos e impactos diretos, provenientes da produção

social além dos seus divisores de água, trazendo, assim, implicações danosas aos seus elementos naturais bem como à população ali existente.

Goes Filho & Navegantes (2015) destacam que, no Brasil, muitas vezes os recursos fluviais foram utilizados como “limites naturais” na demarcação da linha divisória entre territórios, o que, segundo Fernandes *et al.* (2021), coloca a água como um elemento que divide territórios e gera conflitos, quando na verdade deveria ser vista como algo que os une, gerando uma relação de interdependência e integração entre sociedades.

A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP) localiza-se na região central do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 28°50' a 30°00' de latitude Sul e 52°15' a 53°00' de longitude Oeste; tem uma área de 3.658,34 km² e apresenta população estimada em 209.060 habitantes, abrangendo o território de municípios como Candelária, Rio Pardo, Santa Cruz do Sul, Vera Cruz e Venâncio Aires. Os principais cursos de água são o Rio Pardinho, Rio Pequeno, Arroio Andréas, Arroio Francisco Alves e o Rio Pardo (Figura 2) (SEMA, 2020).

Por sua vez, a Bacia Hidrográfica do Rio Pardinho (BHRPO), escopo desta pesquisa, é uma das contributivas da BHRP, abrangendo aproximadamente 29% de sua área total (1.088,7 km²), além de abrigar o município mais populoso da região, Santa Cruz do Sul, que tem como principal fonte hídrica o Rio Pardinho para o abastecimento urbano, irrigação de lavouras e dessedentação animal (Plano Municipal de Saneamento Básico de Santa Cruz do Sul, 2018).

Quanto à climatologia, as bacias BHRP e BHRPO são representadas por duas variedades do clima subtropical, o Cfa, que corresponde a umidade em todas as estações e verão quente, enquanto a tipologia Cfb e caracterizada por umidade em todas as estações e verão moderadamente quente, conforme a classificação Köeppen-Geiger (Fig. 3). Este é o sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizado em geografia, climatologia e ecologia (Durakovic, 2022).

Figura 2. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo e Pardinho no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

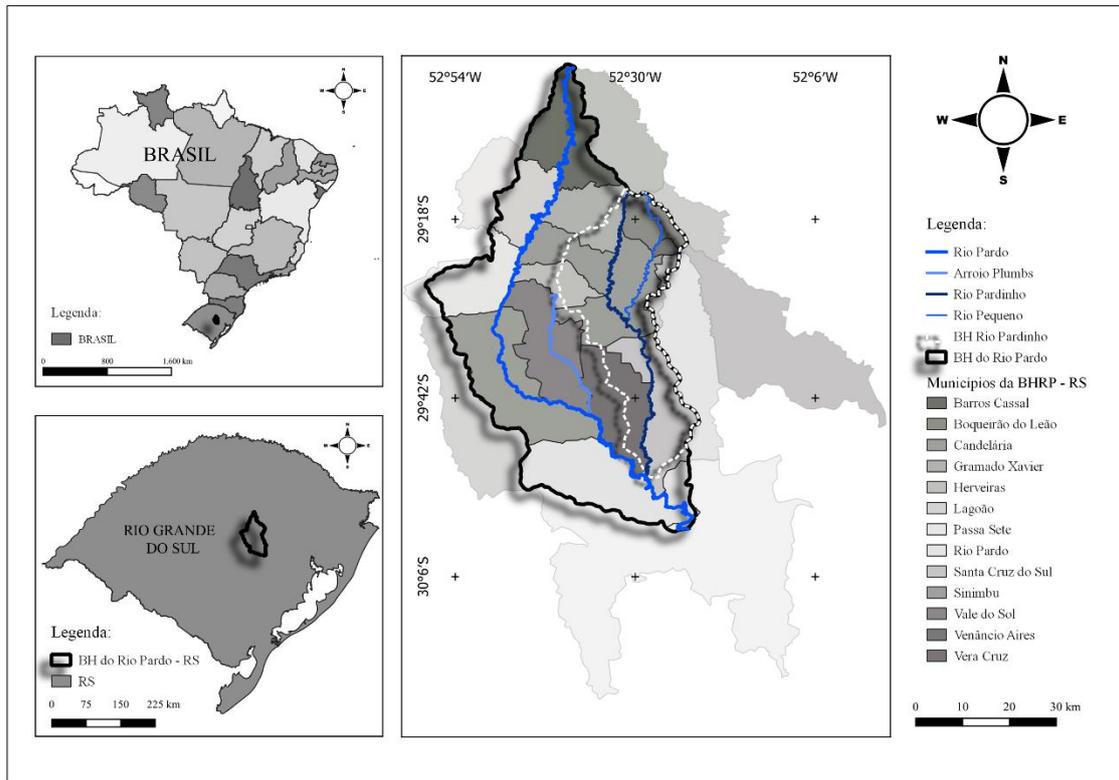
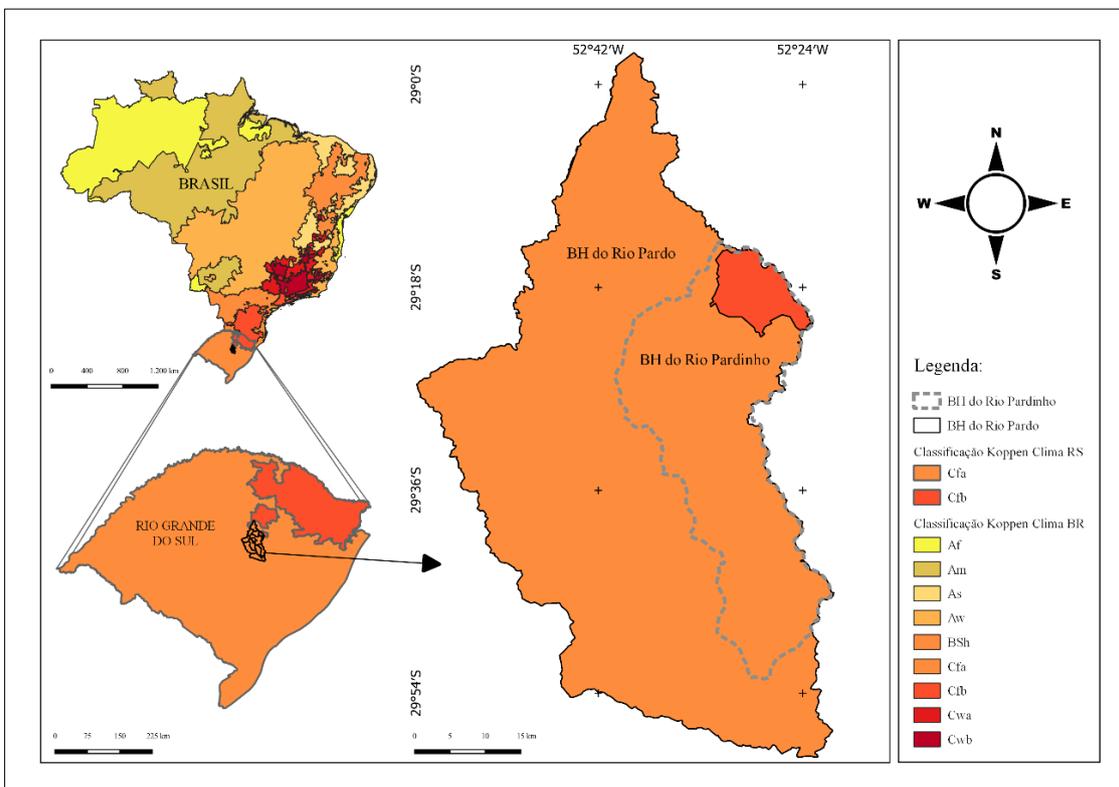


Figura 3. Mapa de classificação quanto ao clima do Brasil, Rio Grande do Sul e das Bacias Hidrográficas do Pardo e Pardinho, seguindo a classificação de Köppen-Geiger.



Legenda. Af - Clima tropical chuvoso de floresta; Am - Clima tropical de monção; As - Savana equatorial com verão seco; Aw - Clima de savana; BSh - Clima quente de estepe; Cfa - Úmido em todas as estações, verão quente; Cfb - Úmido em todas as estações, verão moderadamente quente; Cwa - Chuva de verão, verão quente; Cwb - Chuva de verão, verão moderadamente quente.

Tal classificação baseia-se no pressuposto de que a vegetação natural de cada grande região da Terra é essencialmente uma expressão do clima prevalente nela, desta forma, as fronteiras entre regiões climáticas são selecionadas para corresponder, tanto quanto possível, às áreas de predominância de cada tipo de vegetação, razão pela qual a distribuição global dos tipos climáticos e a distribuição dos biomas apresentam elevada correlação.

As bacias BHRP e BHRPO possuem atributos morfológicos, geológicos, geométricos e climáticos que favorecem o rápido escoamento das chuvas. Como consequência, são registrados grandes volumes de água logo após e durante as chuvas mais intensas, esgotando rapidamente a capacidade de armazenamento da bacia, sem permitir a adequada infiltração e retenção. Essas características naturais da Bacia são responsáveis por gerar altas vazões em curtos períodos, o que resulta em baixas descargas em períodos posteriores devido à capacidade limitada de regularização natural (REA, 2005).

Estes fenômenos são agravados devido aos diversos problemas ambientais recorrentes na área das bacias BHRP e BHRPO, como a intensa exploração agrícola, desmatamento das encostas declivosas que causam graves problemas de erosão, somados ao uso de agrotóxicos e a poluição hídrica gerada por efluentes de origem humana e animal (SEMA, 2020). Contudo, o principal problema de ordem ambiental diagnosticado durante estudos no ano de 2005, é a ocupação e remoção da vegetação ciliar, que apresenta um déficit de 62% ao longo dos rios e arroios estudados na área da BHRP, considerando apenas uma faixa de 30 m de largura em cada uma das margens dos rios e arroios estudados, que é o mínimo exigido pela lei (REA, 2005).

O Código Florestal vigente (Lei 12.651, de 25 de maio de 2012), estabelece normas gerais sobre a Proteção da Vegetação Nativa, incluindo Áreas de Preservação Permanente, de Reserva Legal e de Uso Restrito. O Art. 4º trata sobre Áreas de Preservação Permanente (APP), e determina as faixas marginais de qualquer curso d'água natural, perene e intermitente, desde a calha do leito regular, em largura mínima de:

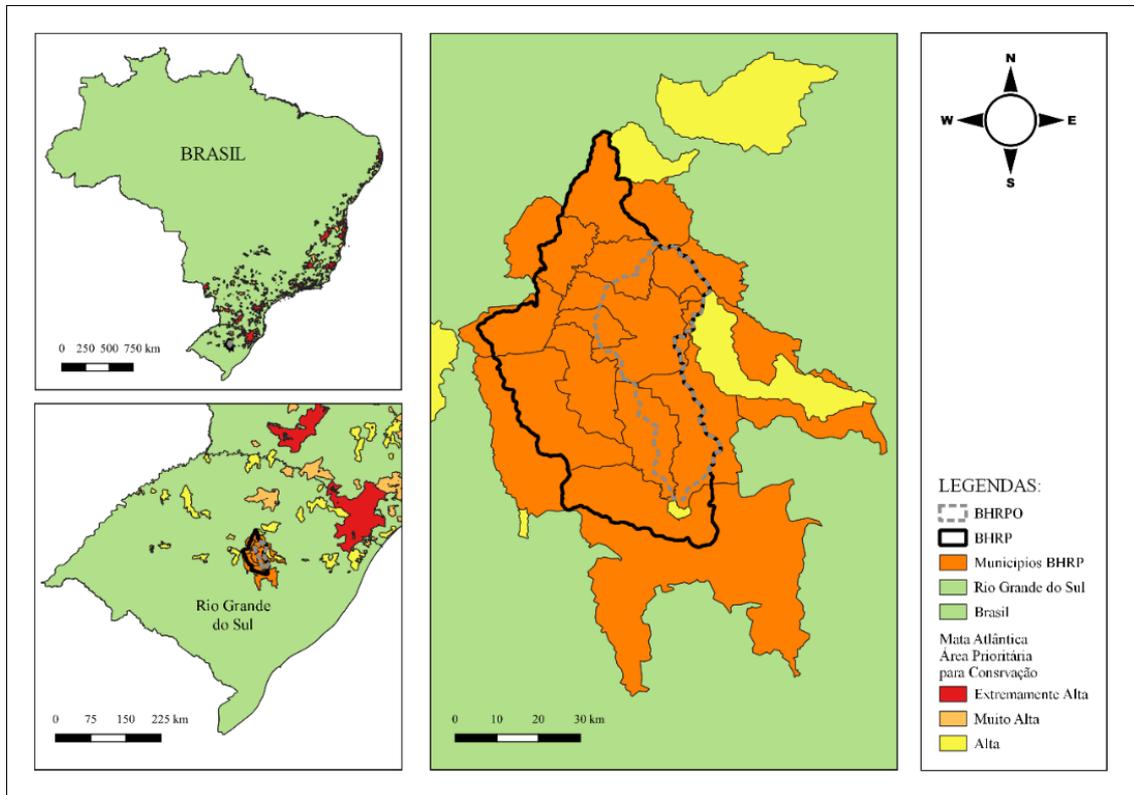
- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 m de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 metros de largura;
- d) 200

(duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 metros de largura; e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 m.

Apesar de representar uma pequena fração de área, a vegetação ciliar denota uma grande importância ecológica, exercendo função protetora no recurso natural biótico e abiótico (Dixon *et al.*, 2016). Segundo Brogna *et al.* (2018), o efeito local da vegetação ciliar é responsável por cerca de 30% da qualidade da água. No entanto, quando se considera o efeito regional, dentro da ecorregião, esse valor pode representar até 70%. Caracterizada por sua localização ao longo das margens dos cursos de água, desempenha um papel vital na manutenção das múltiplas funções do ecossistema fluvial. Esta vegetação é capaz de regular a temperatura da margem e da massa de água associada, controlar a erosão das margens, filtrar e reter nutrientes, além de manter a qualidade e o abastecimento da água e servir como habitat para a fauna local. Ademais, esta vegetação é capaz de fornecer recursos estéticos e recreativos para a sociedade humana, tornando-se ainda mais importante para o equilíbrio ambiental e a qualidade de vida das comunidades (Hubble; Docker; Rutherford, 2010). Apesar de sua importância, essa vegetação está constantemente exposta a intervenções, sejam elas de recuperação ou supressão, sendo necessário um monitoramento constante baseado em informações confiáveis, atualizadas e precisas (Huylbroeck *et al.*, 2020).

Além da supressão da vegetação ciliar, outro grave problema ambiental que se destaca na área da BHRP é a invasão biológica pela espécie *H. dulcis*. Segundo Fetter *et al.* (2020), através de monitoramento aéreo com avião de pequeno porte, determinaram que está invasora representava cerca de 20,9% da área do Cinturão Verde no Município de Santa Cruz do Sul. Os estudos apresentados por Melo *et al.* (2021), sobre a sub-bacia hidrográfica do arroio Andreas no Município de Vera Cruz, RS, demonstraram que *H. dulcis* está entre as espécies com maior índice de valor de importância (IVI) na comunidade de plantas em áreas de nascente em processo de recuperação. Os autores destacam, ainda, que a espécie está diretamente associada a distúrbios antrópicos e que a sua presença em áreas florestais é capaz de produzir mudanças profundas nas propriedades ecológicas. Estes dados ganham ainda mais relevância diante da Portaria nº 463 de 18 de dezembro de 2018, do Ministério do Meio Ambiente, que determina áreas prioritárias para a conservação nos diferentes biomas Brasileiros. Os municípios que formam a Bacia apresentam áreas de “Alta” importância para a conservação conforme figura 4.

Figura 4. Mapa destacando as áreas prioritárias para conservação da Mata Atlântica conforme Portaria nº 463 de 18 de dezembro de 2018, do Ministério do Meio Ambiente em relação a BHRP e BHRPO.



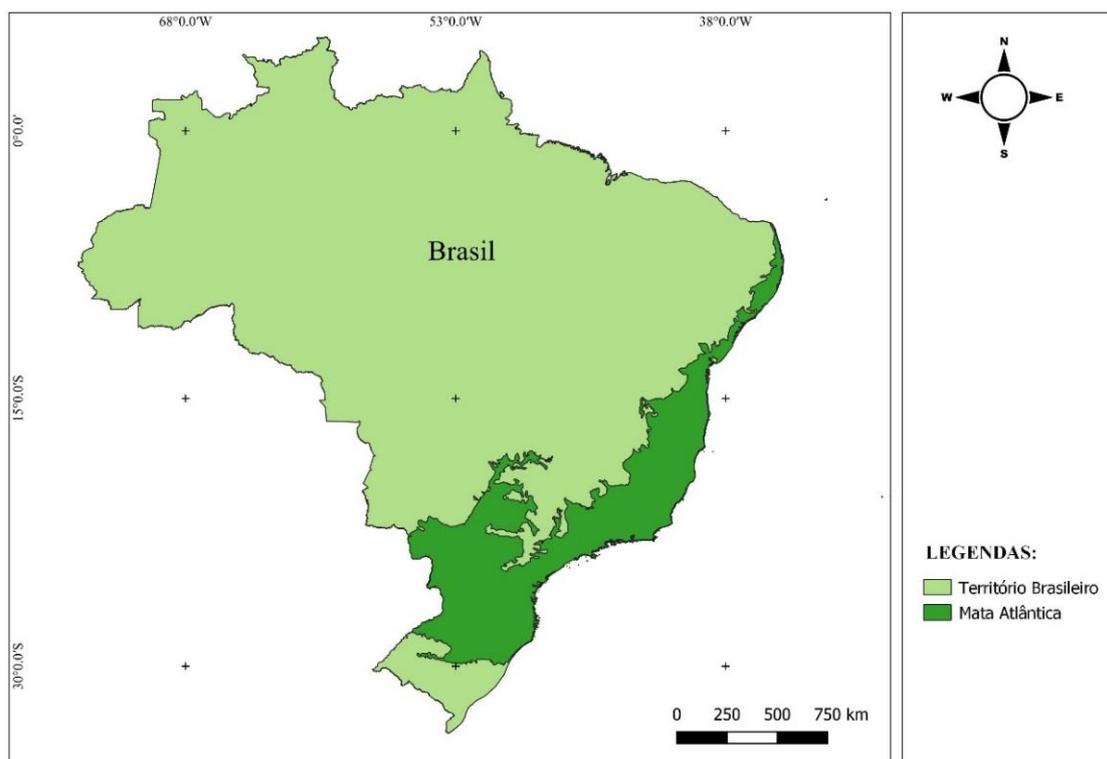
Neste contexto, a implementação de um banco de dados com informações precisas sobre a BHRPO, obtidos através de sensoriamento remoto, levantamentos de campo e imagens aéreas com auxílio de drone, devem contribuir para um melhor entendimento das condições ambientais e de sua gestão.

3.4 A Mata Atlântica

A Mata Atlântica representa 15% do território brasileiro, e originalmente formava vastas áreas de florestais com cerca de 1.296.446 km² (Fig. 5) (SOSMA, 2022). Está área, que naturalmente era constituída de florestas, hoje abriga cerca de 72% da população (150 milhões de pessoas) e concentra 80% do Produto Interno Bruto nacional (Martinelli, 2013). Em virtude dessa ocupação, atualmente restam somente 12,4% das florestas originais em distintos estágios de regeneração, onde, fragmentos maiores de 100 hectares, conhecidos como maciços florestais, que são os principais responsáveis por estocar carbono e apresentam maior interesse ecológico para a fauna e flora, representam apenas

8,5%. Além disso, estas áreas precisam fornecer serviços essenciais como abastecimento de água, regulação do clima, agricultura, pesca, energia elétrica e turismo (SOSMA, 2022).

Figura 5. Localização do Bioma Mata Atlântica dentro do território brasileiro (INPE - Limite do Bioma Mata Atlântica – *Shapefile*, 2023).



Segundo a Lei Federal nº 11.428/2006, a Mata Atlântica é considerada um patrimônio nacional, embasada também, pelo artigo 225 da Constituição Federal sendo reconhecida como o principal instrumento de manejo e conservação do Bioma, regulamentada também, pelo Decreto Federal nº. 6.660/2008.

Mesmo diante de sua importância, no período entre 2020 - 2021, a Mata Atlântica registrou uma perda de 21.642 hectares de florestas nativas. Este valor representa um acréscimo de 66% em relação ao período de 2019-2020 (13.053 hectares), e de 90% em relação ao período de 2017-2018, quando se registrou o menor valor de desflorestamento da série histórica (11.399 hectares) (SOSMA, 2021). Ainda, até outubro de 2022 o Sistema de Alertas de Desmatamento (SAD) registrou 6.378 novos eventos, totalizando 48.660 hectares. Neste período, somente no estado do Rio Grande do Sul foram 687

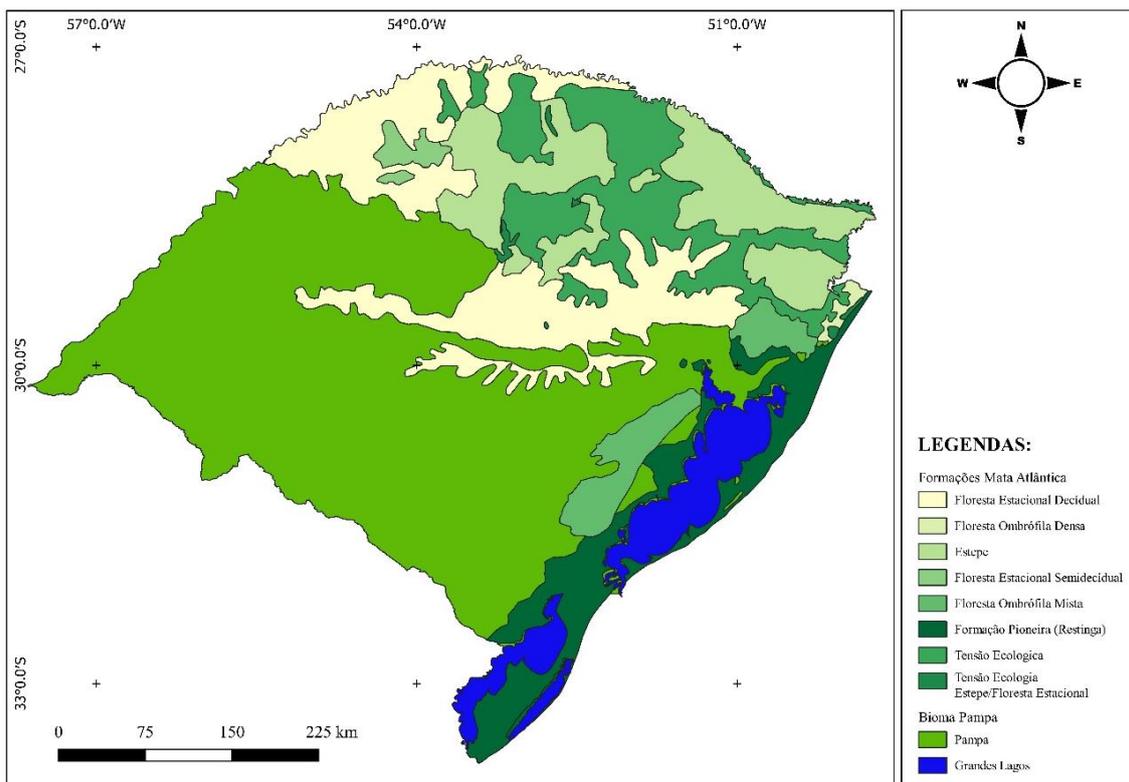
eventos e uma perda de 1.177 ha (SOSMA, 2022). Estes dados são alarmantes, uma vez que se referem a um bioma reconhecido como *hotspots* mundial, devido à sua alta biodiversidade e alta taxa de endemismo (Rezende *et al.*, 2018).

No Rio Grande do Sul, um dos 17 estados em que Mata Atlântica ocorre, pode ser encontrada uma ampla gama de ecossistemas, como a Floresta Ombrófila Densa, localizada na faixa costeira do litoral e nas encostas de Osório a Torres; a Floresta Ombrófila Mista e os Campos de Altitude na região do planalto, com seus capões característicos com a presença de Araucárias (*Araucaria angustifolia*) e pinheiro bravo (*Podocarpus lamberti*); as Florestas Estacionais Deciduais e Semideciduais, na encosta sul da Serra Geral e região do Alto Uruguai e a vegetação de restinga, presente na maior parte do litoral gaúcho, quase sempre acompanhada de dunas, lagoas e banhados (Fig. 6). No entanto, segundo os dados do ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL (2021), da formação original da Mata atlântica restam apenas 7,5% e com elevado grau de fragmentação.

Das alterações sofridas na formação florestal natural da Mata Atlântica, 99% se devem a atividades antrópicas e econômicas, com maiores percentuais para pastagens, agricultura, urbanização e silvicultura (De Arruda Ramos, 2022), destacando que estes fatores causam a fragmentação do ambiente e conseqüentemente a perda de biodiversidade, devida a sua alta demanda de uso e espaço, o que torna os remanescentes florestais restritos a pequenas faixas de terra (Tomadon *et al.*, 2019).

Quando estes remanescentes florestais ficam inseridos em uma matriz urbana ou periurbana, desempenham um papel fundamental na conservação da biodiversidade local e no fornecimento de serviços ecossistêmicos essenciais para a população (Zheng *et al.*, 2019). No entanto, com as constantes pressões a que estão submetidas acabam ainda mais degradadas e fragmentadas, resultando em uma alta homogeneidade e conseqüente perda de diversidade (Lechner *et al.*, 2020). Além disso, Magnago *et al.*, (2017) demonstraram que a fragmentação da floresta afeta as variáveis microclimáticas e edáficas, reduzindo conseqüentemente os estoques de carbono. Estes fatores associados com o aumento da velocidade do vento, redução da umidade do ar e elevação da temperatura, alteram a fisiologia das plantas e provocam o aumento da mortalidade, conseqüentemente produzindo novos impactos nos remanescentes florestais.

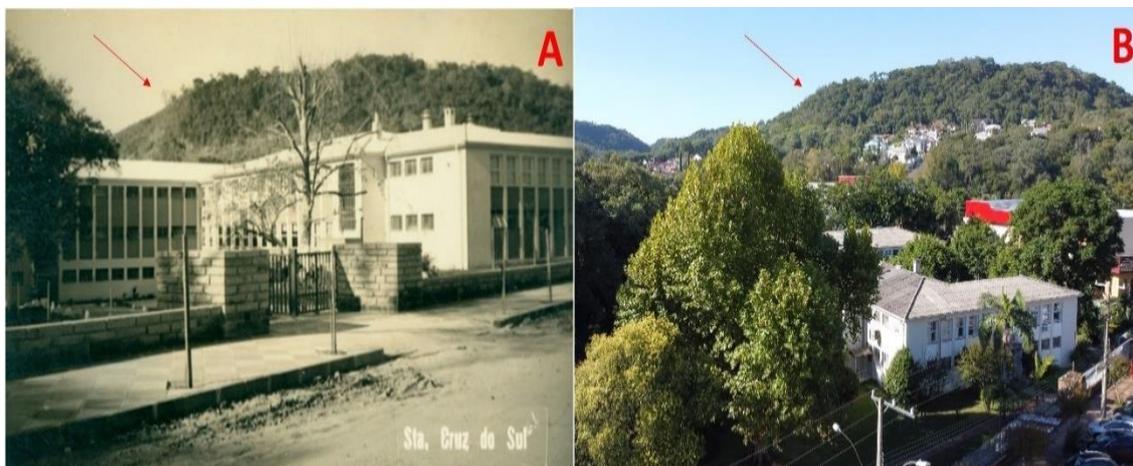
Figura 6. Distribuição das diferentes fitofisionomias da Mata Atlântica presente no estado do Rio Grande do Sul (SOS Mata Atlântica, 2018).



A Mata Atlântica classifica-se em duas classes, florestas primárias e florestas secundárias. A floresta primária, também conhecida como floresta clímax ou mata virgem, é aquela que permaneceu intocada das ações humanas, mantendo suas características originais de estrutura e diversidade de espécies. Nestas áreas a diversidade biológica é notável, com árvores altas e robustas, um equilíbrio entre espécies pioneiras, secundárias e climáticas, além de uma grande quantidade de plantas epífitas, como bromélias, orquídeas e cactos (Amorim; Sousa; Lourenço, 2019).

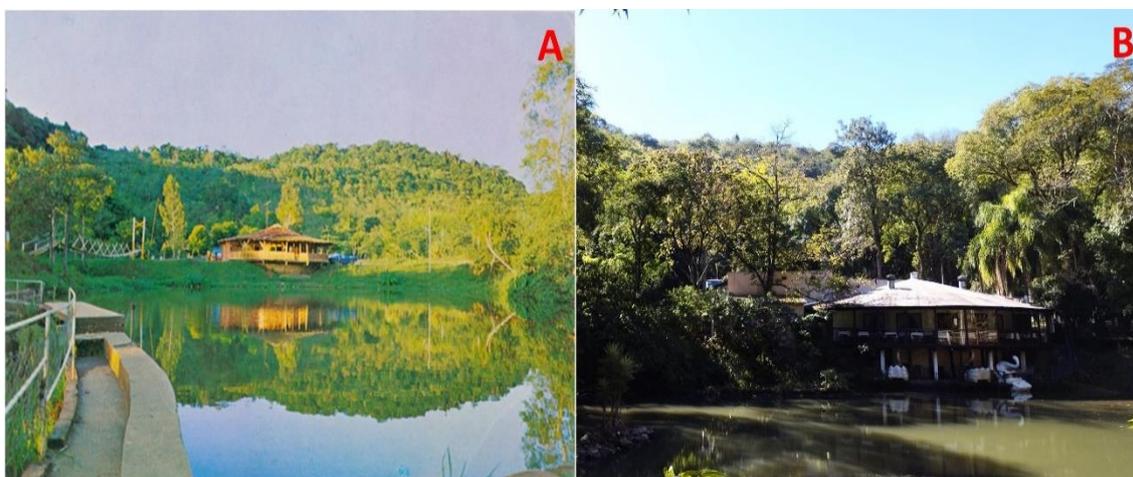
Ainda, segundo os mesmos autores, as florestas secundárias são áreas de vegetação resultantes de um processo natural de regeneração em áreas onde houve corte raso da floresta primária. Em muitos casos, essas terras foram temporariamente utilizadas para atividades agrícolas ou pastagem, e a floresta ressurgiu espontaneamente após o abandono dessas atividades (Figuras 7, 8 e 9). Além disso, florestas que foram muito descaracterizadas por exploração madeireira irracional, ou por causas naturais, também são consideradas secundárias, mesmo que nunca tenha ocorrido corte raso e que ainda existam árvores remanescentes da vegetação primária.

Figura 7. Área de Mata Atlântica de domínio da Floresta Estacional Decidual, denominado Cinturão Verde (CV) no município de Santa Cruz do Sul, em processo de regeneração. **A.** Fotografia histórica (1972) com vista parcial do CV demonstrando uso agropecuário. **B.** Vista parcial do CV (2023) em estado médio de regeneração.



Fonte: **A.** IBGE-CIDADES (2023); **B.** Do Autor (2023).

Figura 8. Área de Mata Atlântica de domínio da floresta estacional decidual, denominado Cinturão Verde no município de Santa Cruz do Sul, em processo de regeneração. **A.** Fotografia histórica (1990) em estado médio de regeneração. **B.** Vista parcial em estado avançado de regeneração.



Fonte: **A.** IBGE-CIDADES (2023); **B.** Do Autor (2023).

A grande maioria dos remanescentes de Mata Atlântica, ainda existentes nas pequenas e médias propriedades agrícolas, é composta por florestas secundárias em diferentes estágios de desenvolvimento. A floresta secundária em estágio inicial é a primeira a se formar após o abandono de uma área agrícola ou pastagem, sendo comum o surgimento de capoeira. Esse estágio inicial da sucessão ecológica geralmente dura até

seis anos, mas em casos de solo muito degradado ou escassez de sementes, pode durar até dez anos. Os estágios sucessionais das formações florestais que ocorrem no Rio Grande do Sul estão definidos na Resolução CONAMA n°. 33/1994. No entanto, essa resolução não discriminou entre as várias tipologias florestais, como a Floresta Ombrófila Densa, a Floresta Ombrófila Mista, a Floresta Estacional Decidual e a Floresta Estacional Semidecidual. Como resultado, sua precisão foi limitada em relação a certos parâmetros, particularmente aqueles relacionados à estrutura vertical e horizontal da floresta, bem como à composição de espécies (Vargas; Brack, 2021).

Figura 9. Vista aérea parcial do CV, comparativo entre 1970 e 2023 demonstrando a regeneração da floresta na área.



Esta fase de regeneração é caracterizada por uma significativa quantidade de espécies herbáceas, além da pouca presença de espécies de árvores e, neste caso, todas de hábito pioneiro. A vegetação sucessora com fisionomia herbácea/arbustiva, apresentando altura média da formação até três metros e diâmetro à altura do peito (DAP), menor ou igual a oito centímetros, podendo eventualmente apresentar dispersos na formação indivíduos de porte arbóreo; epífitas, quando presentes, são representadas principalmente por Líquens, Briófitas e Pteridófitas com baixa diversidade; trepadeiras, se presentes, são geralmente herbáceas; serapilheira, quando existente, forma uma camada fina, pouco decomposta; a diversidade biológica é variável, com poucas espécies arbóreas, podendo apresentar plântulas de espécies características de outros estágios e ausência de sub-bosque. A composição florística consiste em: *Andropogon bicornis* (rabo-de-burro); *Pteridium aquilinum* (samambaias); *Rapanea ferruginea* (capororoca); *Baccharis* spp.

(vassouras); entre outras espécies de arbustos e arvoretas (RESOLUÇÃO CONAMA nº 33 de 1994).

A floresta secundária em estágio médio é a formação subsequente à inicial, decorrente do processo de sucessão que se caracteriza pela transição entre a inicial e a formação florestal avançada. Neste estágio, a vegetação apresenta fisionomia de porte arbustivo/arbóreo cuja formação florestal apresenta altura de até oito metros e DAP de até 15 cm; cobertura arbórea variando de aberta a fechada com ocorrência eventual de indivíduos emergentes; epífitas ocorrendo em maior número de indivíduos em relação ao estágio inicial sendo mais intenso na Floresta Ombrófila; trepadeiras são geralmente lenhosas; serapilheira presente com espessura variável, conforme estação do ano e localização; diversidade biológica significativa; sub-bosque presente (RESOLUÇÃO CONAMA nº 33 de 1994).

Por último, a floresta secundária em estágio avançado de regeneração apresenta vegetação com fisionomia arbórea predominando sobre os demais estratos, formando um dossel fechado, uniforme, de grande amplitude diamétrica, com altura superior a oito metros e DAP médio, superior a 15 cm; presença de espécies emergentes, ocorrendo com diferentes graus de intensidade; copas superiores, horizontalmente amplas, sobre os estratos arbustivos e herbáceos; epífitas presentes com grande número de espécies, grande abundância, especialmente na Floresta Ombrófila; trepadeiras lenhosas; serapilheira abundante; grande diversidade biológica; sub-bosque, em geral menos expressivo do que no estágio médio algumas vezes as florestas neste estágio podem apresentar fisionomia semelhante a florestas primária (RESOLUÇÃO CONAMA nº 33 de 1994).

Os processos de restauração do ecossistema são lentos, onerosos e segundo Romanelli *et al.* (2022), podem apresentar uma lacuna de recuperação na ordem de 34% na estrutura e 22% para diversidade, quando comparadas a florestas primárias. Da mesma forma, Huang *et al.* (2019) observaram um efeito positivo da restauração ecológica na biodiversidade do ecossistema degradado, relatando, contudo, uma dificuldade em recuperar a biodiversidade ao nível observado no ecossistema natural, no entanto, destacaram que a recuperação vegetal teve efeitos positivos em outros grupos e na qualidade do solo.

3.5 Bacias Hidrográficas e a Vulnerabilidade Ecológica

No contexto das BHs, a vulnerabilidade dos ecossistemas é um tema cada vez mais estudado (Cai; Li; Liang, 2021), onde diversos indicadores são empregados para determinar a Vulnerabilidade Ecológica (VE); dentre eles a degradação do solo (Zhang *et al.*, 2022), poluição, modificação do curso de água, estresse hídrico, biodiversidade e mudanças climáticas (Gampe *et al.*, 2021).

A qualidade da água é um ótimo indicativo e pode ser mensurado usando diferentes parâmetros, como pH, condutividade elétrica, concentração de oxigênio dissolvido e presença de contaminantes que são aplicados em modelos de avaliação e índices de qualidade da água (Klamt *et al.*, 2019; Wiesel *et al.*, 2018). De maneira complementar, o uso de organismos bioindicadores, como as algas diatomáceas epilíticas, respondem rapidamente às alterações das condições ambientais, podendo, desta forma, ser utilizadas como organismos bioindicadores de poluição orgânica e eutrofização (Lobo *et al.*, 2016; Heinrich *et al.*, 2014).

Da mesma forma que a modificação dos cursos de água, a construção de barragens e reservatórios de água pode afetar a dinâmica natural dos recursos hídricos e a biodiversidade (Zhai *et al.*, 2007). Outro aspecto importante abordado refere-se ao uso excessivo de água por atividades humanas, e os impactos que podem ser produzidos nessas bacias, que incluem a redução ou interrupção dos fluxos ambientais, aumento da frequência de secas, diminuição da resiliência ecológica, ameaça à segurança hídrica, econômica e alimentar, expressa por meio da redução da disponibilidade de água doce e exacerbando as desigualdades econômicas já existentes (Huggins *et al.*, 2022).

As mudanças climáticas, como aumento da temperatura, alteração da precipitação e secas, são bastante estudadas, uma vez que atuam como multiplicadores das vulnerabilidades existentes, podendo afetar a qualidade da água e a biodiversidade em bacias hidrográficas (Sun; Liu; Sang, 2023). No entanto, embora esteja claro que as diferenças na exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa contribuem para a heterogeneidade na vulnerabilidade às mudanças climáticas, prever esses recursos em escalas macroecológicas continua sendo um desafio crítico (Kling *et al.*, 2020). Ainda, segundo os mesmos autores, a sensibilidade das variáveis climáticas exhibe padrões claros

entre os tipos de vegetação, dados multivariados de mudanças climáticas e revelam assinaturas de exposição altamente diversas entre locais.

Já, a biodiversidade pode ser avaliada através da identificação e contagem de diferentes espécies de plantas e animais na área da bacia hidrográfica. Esta informação pode ser coletada por meio de inventários de campo (p. ex., Melo *et al.*, 2021). Segundo Zheng *et al.* (2021), é imperioso que se desenvolva um novo índice de grau de vulnerabilidade ecológica baseado no “*Big Earth Data*” para avaliar a vulnerabilidade de áreas protegidas (APPs), que seja transparente, replicável e rápido. Desta forma, propuseram a utilização de dados de sensoriamento remoto, onde a exposição se deu através do coeficiente de precipitação, Índice de diferença de elevação topográfica e Índice de diferença de inclinação. Já, a sensibilidade foi estudada através do Índice de Intensidade de Interferência Humana, Índice de Umidade do Solo, Índice de Vitalidade do Ecossistema, determinado através de análise de NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - *Normalized Difference Vegetation Index* - do inglês), e adaptabilidade, através do Coeficiente de Área Protegida e o Índice de Desenvolvimento Nacional. Da mesma forma, Zhang *et al.* (2022) utilizaram dados referentes a produção primária bruta (GPP) e NDVI, usando os melhores valores de pixel disponíveis. Além disso, utilizaram dados sobre a precipitação mensal, temperatura e potencial de evapotranspiração. Usaram, ainda, o índice de estresse à seca com base na razão dos dados de precipitação e evapotranspiração.

Quanto ao solo, a principal análise utilizada refere-se à topografia e declividade (Rehman *et al.*, 2021). Ainda podem ser analisados dados sobre qualidade do solo como a profundidade, compactação, presença de matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes (Wang; Liu; Xiong, 2022), bem como umidade, temperatura da superfície do solo e Acúmulo de Diferença Normalizada e Índice de Solo (NDBSI) (Jiang *et al.*, 2023). Além de dados sobre deslizamento de terra e erosão, avaliados através da movimentação do solo e a perda de material em diferentes locais na área da bacia hidrográfica (Wu *et al.*, 2022). Ainda, são utilizados alguns índices de vegetação com base nas informações do solo, como o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo e Resistente à Atmosfera (SARVI), e o Índice de Vegetação Não Linear Modificado (MNLI) (Wu, 2014). Outro critério amplamente utilizado é a análise de uso e ocupação do solo, avaliando e identificando as diferentes atividades humanas na área da bacia hidrográfica, como agricultura, indústria e urbanização (Ofosu; Adjei; Odai, 2020; Zou *et al.*, 2021).

Quanto à vegetação ciliar, apesar de cobrir uma área relativamente pequena, é reconhecida como um componente central dos sistemas hidrológicos e das BH's. No entanto, devido as suas características dendríticas e extensa área, o monitoramento de campo torna-se caro e demorado. Assim, a utilização do sensoriamento remoto surge como uma oportunidade para contornar estes desafios (Pace *et al.*, 2022). Segundo Huylenbroeck *et al.* (2020), os estudos que buscam caracterizar a vegetação ribeirinha geralmente utilizam o sensoriamento remoto ou fotografias aéreas de resolução relativamente grosseira. Os autores destacam, ainda, que a resolução das imagens está ligada à extensão dos rios, resoluções excelentes raramente são aplicadas a rios com mais de 100 Km, especialmente ao mapear a composição de espécies. A utilização de imagens RGB/GS é uma abordagem tradicional e amplamente utilizada, tanto para imagens de satélite como fotografia aérea.

3.6 Monitoramento Ambiental e as Novas Tecnologias

O planeta vem passando por uma fase de rápida aceleração dos processos transformadores da biosfera, principalmente no que diz respeito ao clima, química dos oceanos e biodiversidade (Williams *et al.*, 2015). A constante expansão das atividades humanas sobre as áreas naturais compromete a integridade da biodiversidade, e resulta na perda de funções ambientais e dos benefícios que elas proporcionam (Dong; Hauschild, 2017). Com os corpos hídricos a situação não é diferente, sendo que a transformação acelerada exige um gerenciamento em escala espacial e temporal muito mais amplos do que antes (Piégay *et al.*, 2020).

O conceito de fotogrametria foi proposto pela *America Society of Photogrammetry* (ASP) (Slama, 1980), no qual definiu-se que se trata da arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente, através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes. A fotogrametria fornece métodos para obtenção de informações do segundo tipo e dados quantitativos. Como o próprio termo já indica, a fotogrametria pode ser definida como a "ciência da medição em fotos", e faz parte do campo do sensoriamento remoto (Rosenfeldt; Rosolem; Tiegs, 2019).

A utilização do sensoriamento remoto com a integração de técnicas SIG e PT provaram fornecer com sucesso dados espaciais e temporais. No monitoramento ambiental, esta técnica se popularizou no início dos anos 2000, no entanto, seu uso em estudos de vegetação ribeirinha, permanecem limitados e praticamente restrito a países desenvolvidos, dado seu alto custo de obtenção (Huylenbroeck *et al.*, 2020).

Os satélites são equipados com uma variedade de sensores embarcados e desenvolvidos para coletar dados sobre a superfície da Terra, espaço e outras aplicações científicas e comerciais. Dentre os principais tipos de sensores e suas aplicabilidades destacam-se os sensores Ópticos, Radar, Lidar, Micro-ondas e Infravermelho. Os sensores óticos dividem-se em Multiespectrais, Hiperespectrais e Pancromáticas. Cada um com as suas especificidades. As câmeras multiespectrais capturam imagens em várias bandas do espectro eletromagnético no comprimento do visível e próximo ao infravermelho. Tendo diversas aplicabilidades como a detecção de tempestades de poeira (Li *et al.*, 2021), detecção de águas superficiais e inundações (Albertini *et al.*, 2022), detecção na mudança em recifes de corais (Li *et al.*, 2020), detecção de alterações em áreas agrícolas (Wang *et al.*, 2021), fenologia de vegetação (Zeng *et al.*, 2020)

Os dados obtidos através dos satélites podem ser usados para avaliar a biodiversidade e a identificação habitats de diferentes maneiras, dentre elas, o mapeamento de cobertura vegetal, que inclui a identificação dos diferentes tipos de florestas, savanas, campos e outros tipos de vegetação (Agrillo *et al.*, 2021; Schübler *et al.*, 2020). Adicionalmente, estes dados podem fornecer estimativas da quantidade e diversidade de espécies de plantas na área. Com base nos bancos de dados e series temporais disponíveis, o sensoriamento remoto permite a detecção de mudanças na cobertura vegetal comparando imagens de diferentes épocas (Chughtai *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2022). Esta informação pode ser usada para identificar áreas de desmatamento, expansão de cultivos e outros tipos de mudanças na vegetação que afetam a biodiversidade. A análise de padrões de luz pode ser usada para estimar a atividade fotossintética e, conseqüentemente, a quantidade de biomassa e a densidade de espécies de plantas na área (Polykretis *et al.*, 2020; Lunetta *et al.*, 2022).

As imagens de satélites para o sensoriamento remoto podem ser obtidas por diversos sensores, sendo um deles, o Satélite CBERS 4A-WPM. Este pode ser definido como um satélite de sensoriamento remoto de média resolução equipado com uma carga

útil óptica operando no espectro visível com faixa de resolução de 2 a 60 metros. Segundo Inpe (2018), suas imagens podem ser utilizadas para diversas finalidades no monitoramento ambiental. Destacando-se o monitoramento de desmatamento e queimadas, controle de recursos hídricos e ocupação do solo.

Neste contexto, Adorno *et al.* (2023) utilizaram imagens do CBERS 4A-WPM, empregando uma metodologia híbrida que combinou a classificação baseada em objetos de uma imagem CBERS-4A WPM pan-sharpened (resolução espacial de 2 m) com a classificação baseada em pixels de dados de série temporal Sentinel-2 MSI (10 m). Ambas as abordagens usaram o algoritmo Random Forest para o mapeamento dos tipos de vegetação urbana. Demonstrando assim, que a metodologia empregada para o estudo da cobertura do solo urbano e baseada em mapas híbridos e dados abertos são eficazes para reduzir erros de classificação, permitindo monitoramento, planejamento e desenho mais precisos dos diferentes tipos de vegetação.

Análise de imagens com base geográfica (GEOBIA, do inglês: *Geographic Based Image Analysis*), trata-se de uma ferramenta de sensoriamento remoto usada para mapear e detectar mudanças na cobertura do solo. Essa disciplina evoluiu a partir de abordagens baseadas em pixels e melhorou significativamente o fluxo de trabalho do processamento de imagens, particularmente para classificação e detecção da cobertura do solo (Arvor *et al.*, 2013)

As imagens de satélite são frequentemente combinadas com outras fontes de dados, como levantamentos de campo para obter uma avaliação mais precisa da biodiversidade na área da bacia hidrográfica. Além disso, os dados de satélite são úteis porque permitem a avaliação da biodiversidade em grandes áreas, com rapidez e eficiência, o que é importante em regiões de difícil acesso ou para monitorar mudanças ao longo do tempo.

Com o surgimento de novas tecnologias criaram-se alternativas viáveis e eficientes para obtenção de dados com custos relativamente menores; dentre elas, o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT). Embora estes sistemas apresentem uma capacidade menor na obtenção de imagens em termos de cobertura espacial comparados com satélite, eles fornecem resoluções espaciais e temporais superiores, em comparação com as alternativas de satélite. Além disso, os custos operacionais são menores e estão associados com a aquisição inicial do equipamento (Manfreda *et al.*, 2018). Ainda,

segundo os mesmos autores, o uso de veículos aéreos não tripulados no sensoriamento remoto oferece uma nova e ampla gama de aplicações e procedimentos avançados que permitem o monitoramento de variáveis-chave, incluindo estado da vegetação, teor de umidade do solo e fluxo da corrente do corpo hídrico.

Na agricultura e na silvicultura, o uso de veículos aéreos não tripulados já é bastante disseminado e utilizado para estudos de monitoramento e diagnóstico, por ser uma ferramenta econômica e prontamente disponível para o levantamento de terras e culturas, com o objetivo de adquirir dados para análises adicionais e apoiar os processos de tomada de decisão e gerenciamento (Adão *et al.*, 2017). Dentre as funcionalidades estão o monitoramento da disponibilidade hídrica em vinhedos (Baluja *et al.*, 2012), monitoramento de culturas (Wal *et al.*, 2013) e quantificação de nitrogênio em produção de arroz (Zhu *et al.*, 2009).

Além da vantagem econômica, a utilização de drones para o sensoriamento remoto incluem outros benefícios como o controle flexível da resolução espacial e temporal, coleta de dados de alta intensidade e ausência de risco para as tripulações. Além disso, o contínuo desenvolvimento de novos drones e sensores estão tornando as aplicações de sensoriamento remoto mais atraentes, pois muitas delas não podem ser realizadas de forma barata através de aeronaves tripuladas ou satélite (Tang; Shao, 2015).

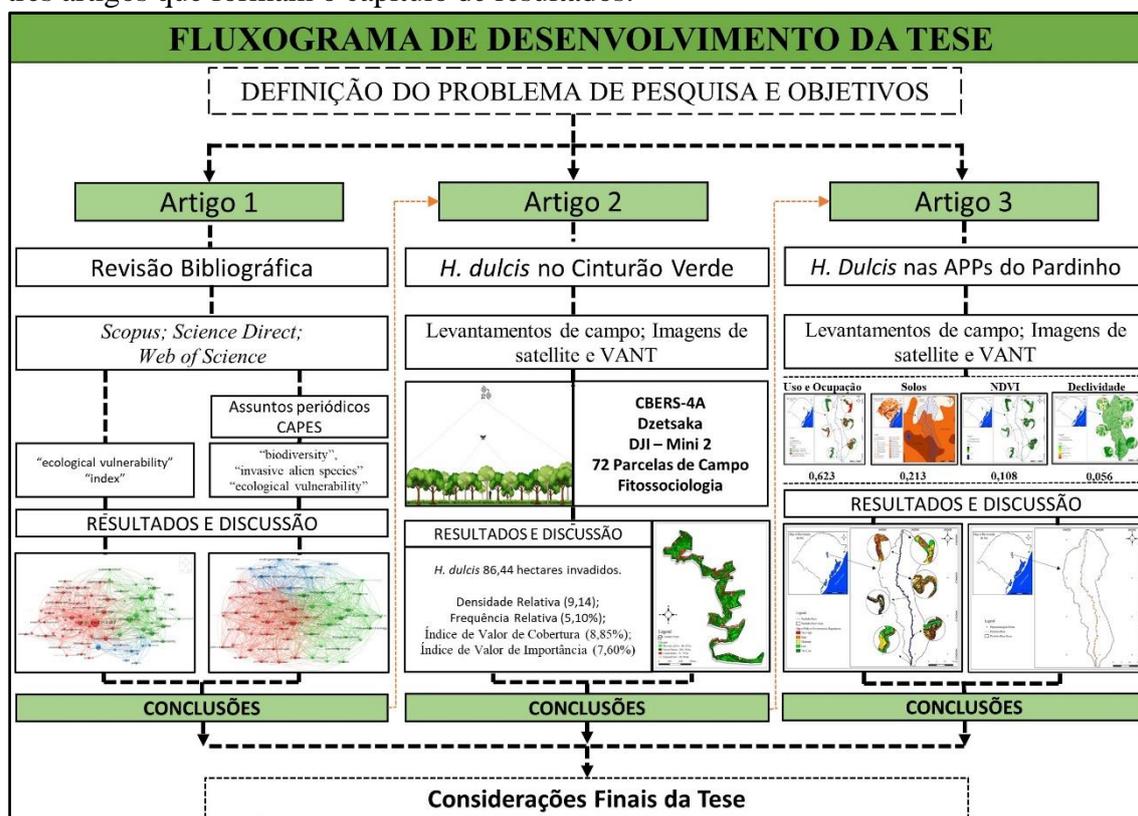
O uso de VANT no estudo ecológico têm um potencial substancial para revolucionar o estudo da dinâmica dos ecossistemas, através de novas oportunidades de detecção em escala de fenômenos ecológicos e obtenção de dados de uso e cobertura do solo, através de imagens de alta resolução que permitem o mapeamento e caracterização fina de habitats (Ventura *et al.*, 2017). Esses equipamentos possibilitam, ainda, a aplicação de novas abordagens no monitoramento da vegetação com o uso de imagens de alta resolução, permitindo uma classificação precisa da vegetação em nível de espécie, status da vegetação, infestações de espécies invasoras e estimativa de biomassa (Manfreda *et al.*, 2018; Huylenbroeck *et al.*, 2020).

4 METODOLOGIA GERAL

O desenvolvimento da presente tese foi estruturado considerando o desenvolvimento de três artigos (Fig. 10). O primeiro foi construído a partir uma revisão sistemática da literatura utilizando os principais bancos de dados científicos, *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct*, sendo que a compilação e análise dos dados foi feita utilizando o software *VOSviewer*.

Neste primeiro artigo, foram identificadas as lacunas nesta área do conhecimento e forneceu as bases para o desenvolvimento do estudo aplicado no artigo 2.

Figura 10. Fluxograma representativo do desenvolvimento da tese e a elaboração dos três artigos que formam o capítulo de resultados.

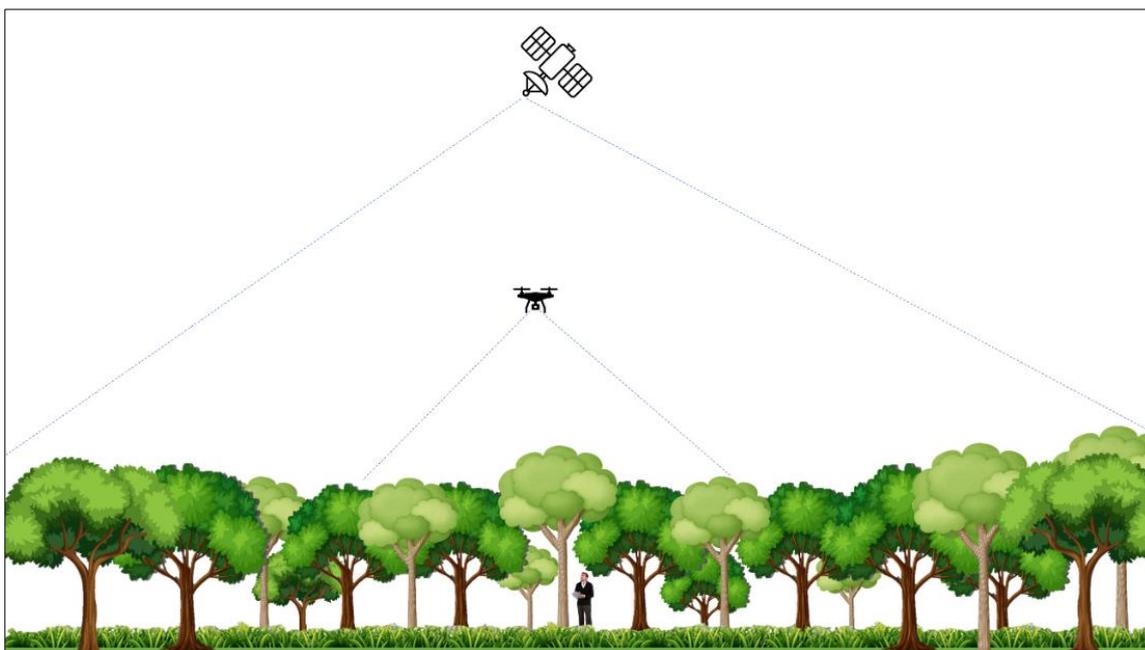


No artigo dois objetivou-se o estudo da comunidade arbórea do fragmento florestal urbano, e a detecção da invasora *H. dulcis* na área do Cinturão Verde, Município de Santa Cruz do Sul. A metodologia empregada baseou-se na literatura de Fetter *et al.* (2020), adaptada à realidade desta pesquisa, utilizando sobrevoos da área para obtenção das

imagens através do uso de veículo aéreo remotamente tripulado (VANT). A análise teve como base a variação da coloração das folhas da *H. dulcis* conforme a sazonalidade. Segundo Schmidt *et al.* (2020), essa é uma característica marcante da espécie, o que facilita sua identificação em áreas florestais.

Para a obtenção das imagens foi utilizado um Drone DJI Mini 2 equipado com câmera de 12 MP de 4K. Foram realizadas coletas de campo, amostragens aéreas através de Drone, e análise em macro escala através de imagens de satélite (Holden *et al.*, 2021; Malamiri *et al.*, 2021; Padró *et al.*, 2019), seguindo a metodologia representada na figura 11.

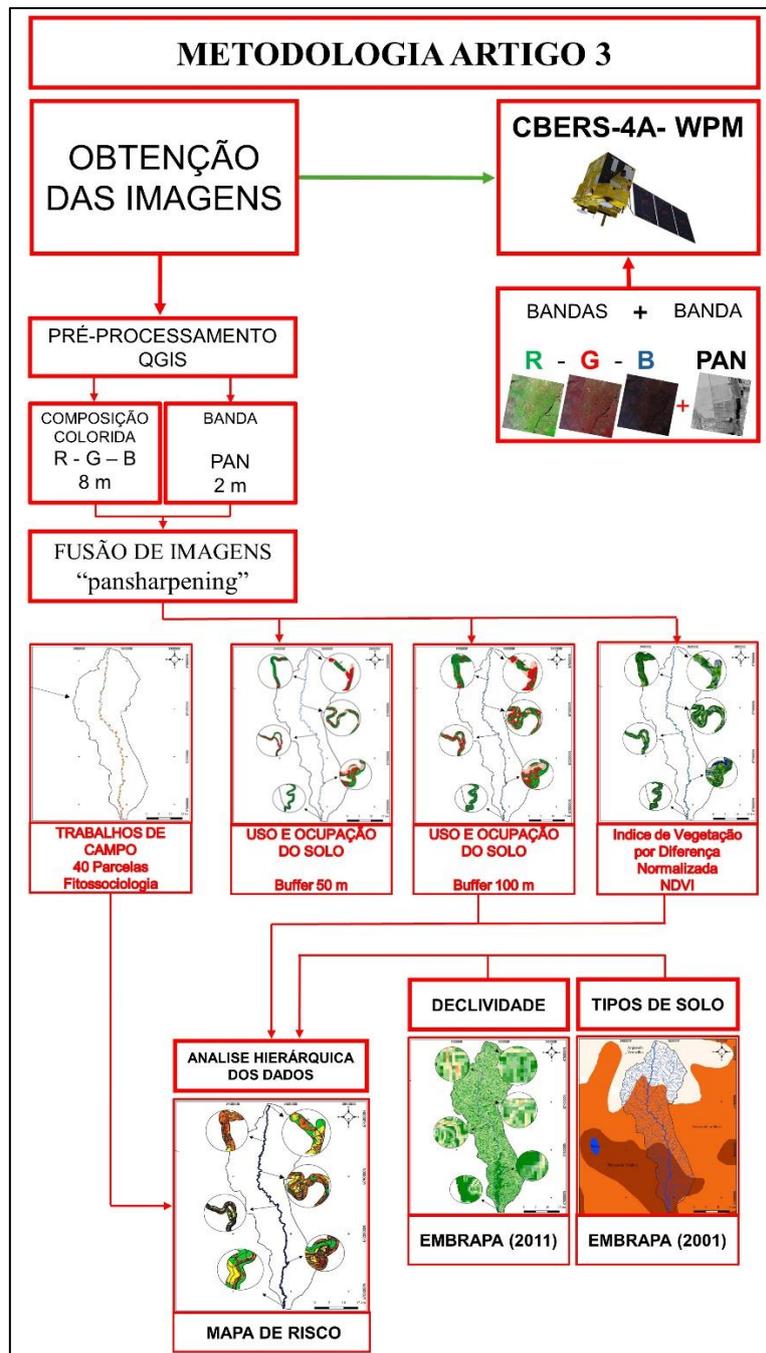
Figura 11. Exemplificação da metodologia empregada na coleta de dados dos artigos dois e três da tese, que consistiu em levantamentos de campo, obtenção de imagens com Drone e imagens do satélite CBERS-4^a-WPM.



Foram utilizadas imagens do Satélite CBERS-04A-WPM com resolução espacial multiespectrais (i.e., *Red, Green e Blue*) de 8 m que foram fusionadas com a banda Pancromática de 2 m (“*pansharpening*”) através do método *GramSchmidt* gerando uma imagem de alta resolução da BHRPO, utilizando o software QGis para a composição colorida multiespectral, fusão e posterior processamento e obtenção dos dados. As imagens utilizadas apresentaram um baixo índice de nuvens (menor 95%) e foram obtidas rigorosamente na fase de maior vigor vegetativo da invasora *H. dulcis* (fase higrófito de

alta transpiração, quando as plantas apresentam nova folhagem após o período de dormência), que ocorre normalmente entre os meses de setembro e novembro com a elevação das temperaturas medias. Nesse período, as folhas da invasora apresentam coloração verde clara, diferenciando-as das espécies nativas e facilitando seu reconhecimento cognitivo em imagens de alta resolução (Crisigiovanni et al., 2021).

Figura 12. Exemplificação da metodologia aplicada no artigo 3, com a obtenção de imagens e processamento.



5. RESULTADOS

5.1 ARTIGO 1

Aceito para publicação no periódico, Revista Observatorio de La Economía Latinoamericana (ISSN 1696-8352) Qualis CAPES A4.

Ecological Vulnerability and Biological Invasion Processes: A Bibliometric Analysis

Patrik Gustavo Wiesel, Marcos Henrique Schroeder, Bruno Deprá, Silmo Schüler,
Bianca Junkherr Salgueiro, Nilmar de Azevedo Melo, Andreas Köhler, Eduardo
Alcayaga Lobo

Abstract

Ecological vulnerability can be defined as a consequence of interactions among three factors: exposure, sensitivity, and adaptive capacity. In this study, a bibliographic review was carried out based on a bibliometric analysis with the objective of evaluating and interpreting EV in the most varied ecosystems, as well as identifying what has been studied in relation to EV and the invasion by exotic plants. Initially, the terms "ecological vulnerability" and "index" were searched in Scopus, Science Direct, and Web of Science databases. The articles found were analyzed using VOSviewer software, and a bibliometric map was created. Subsequently, the keywords "biodiversity", "invasive alien species", and "ecological vulnerability" were used due to the low number of articles found in the three databases initially consulted. Thus, the search was expanded to "Subject in CAPES journals", containing 455 hosted databases. The results indicated that vulnerability assessments have received wide attention in literature, and approaches are generally dedicated to understanding landscape changes primarily through exposure-sensitivity-resilience analysis and response. In addition, studies dedicated to the understanding of a single species, or ecological community, are of great relevance and deserve wide attention. The more heterogeneous the environment, the greater the opportunity for the establishment and maintenance of organisms. However, the intense exploration of landscapes has strongly compromised this capability. Invasive exotic plants additionally disturb the ecosystem, generating profound impacts that are not perceived in analyses of vegetation cover as they do not consider the species but rather the total area covered by vegetation.

Keywords: Ecological vulnerability, bibliometric analysis, climate changes, biodiversity, invasive exotic plants.

Vulnerabilidade Ecológica e Processos de Invasão Biológica: Uma Análise Bibliométrica

Resumo

A vulnerabilidade ecológica pode ser definida como consequência das interações entre três fatores: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. Neste estudo foi realizada uma revisão bibliográfica a partir de uma análise bibliométrica com o objetivo de avaliar e interpretar o VE nos mais variados ecossistemas, bem como identificar o que tem sido estudado em relação ao VE e à invasão por plantas exóticas. Inicialmente, foram pesquisados os termos “vulnerabilidade ecológica” e “índice” nas bases de dados *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science*. Os artigos encontrados foram analisados por meio do software VOSviewer e elaborado um mapa bibliométrico. Posteriormente, foram utilizadas as palavras-chave “biodiversidade”, “espécies exóticas invasoras” e “vulnerabilidade ecológica” devido ao baixo número de artigos encontrados nas três bases de dados inicialmente consultadas. Assim, a busca foi ampliada para “Assunto em periódicos CAPES”, contendo 455 bases de dados hospedadas. Os resultados indicaram que as avaliações de vulnerabilidade têm recebido grande atenção na literatura e que as abordagens são geralmente dedicadas à compreensão das mudanças na paisagem, principalmente através de análises e respostas de sensibilidade à exposição e resiliência. Além disso, estudos dedicados à compreensão de uma única espécie, ou comunidade ecológica, são de grande relevância e merecem ampla atenção. Quanto mais heterogêneo for o ambiente, maior será a oportunidade para o estabelecimento e manutenção de organismos. Contudo, a intensa exploração das paisagens comprometeu fortemente esta capacidade. Além disso, as plantas exóticas invasoras perturbam o ecossistema, gerando impactos profundos que não são percebidos nas análises da cobertura vegetal, pois não consideram as espécies, mas sim a área total coberta pela vegetação.

Palavras-chave: Vulnerabilidade ecológica, análise bibliométrica, mudanças climáticas, biodiversidade, plantas exóticas invasoras.

5.2 ARTIGO 2

(PUBLICADO - Environmental Monitoring and Assessment, Qualis CAPES A3).

Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-024-13501-5>

Integrating remote sensing and UAV imagery for detection of invasive *Hovenia dulcis* Thumb. (Rhamnaceae) in urban Atlantic Forest remnants

Patrik Gustavo Wiesel; Marcos Henrique Schroeder; Bruno Deprá; Bianca Junkherr Salgueiro; Betina Mariela Barreto; Eduardo Rodrigo Ramos de Santana; Andreas Köhler; Eduardo Alcayaga Lobo

ABSTRACT

The invasive species *Hovenia dulcis* is considered the main invasive species in the Atlantic Forest, capable of altering environmental conditions at a local scale and provoking profound changes in the composition of the plant community. Combining drone and satellite images can make forest monitoring more efficient, enabling a more targeted and effective response to contain the spread of invasive species. This research aimed to use high-resolution CBERS- 4A satellite combined with drone images to detect invasive trees in forested areas of the Atlantic Forest. An object-oriented, supervised automatic classification was performed using the DZetsaka Classification Tool and the Gaussian Mixture Model method. Additionally, georeferenced orthomosaics obtained by drones, totaling 150 ha, were used to confirm the identification of the invasive species. The entire forest area was surveyed to determine the tree community, where 72 random sample plots, each with a fixed area of 100 m², were established. The calculated indices, such as the Shannon index (H') = 3.65 and uniformity (J') = 78%, demonstrate that the plant community has a high diversity of species. However, the invasive *H. dulcis* had the highest number of sampled individuals (146), being the species with the highest relative density (9.14) within the community and the second highest in relative frequency (5.10%), coverage importance value (8.85%), and importance value index (7.60%). The methodology employed to identify the invasive species through satellite, and drone images allowed for rapid and precise data collection and quantification of the invasive species, covering an area of 86.44 ha of the forest fragment, which corroborates the field data.

Keywords: *H. dulcis*, Invasive species, CBERS4-A, Deciduous seasonal forest, Atlantic Forest, Phytosociology.

Integração de sensoriamento remoto e imagens de UAV para detecção de *Hovenia dulcis* Thumb invasora (Rhamnaceae) em remanescentes urbanos de Mata Atlântica

RESUMO

A espécie *Hovenia dulcis* é considerada a principal invasora na Mata Atlântica, sendo capaz de alterar as condições ambientais em escala local e provocar mudanças profundas na composição da comunidade vegetal. A combinação de imagens de drones e satélites pode tornar o monitoramento florestal mais eficiente, possibilitando uma resposta mais direcionada e eficaz para conter a disseminação de espécies invasoras. Esta pesquisa teve como objetivo utilizar imagens de alta resolução do satélite CBERS-4A combinadas com imagens de drones para detectar árvores invasoras em áreas florestadas da Mata Atlântica. Foi realizada uma classificação automática supervisionada e orientada a objetos, utilizando a ferramenta *Dzetsaka Classification Tool* e o método *Gaussian Mixture Model*. Além disso, ortomosaicos georreferenciados obtidos por drones, totalizando 150 ha, foram utilizados para confirmar a identificação da espécie invasora. Toda a área florestal foi analisada para determinar a comunidade arbórea, onde foram estabelecidas 72 parcelas amostrais aleatórias, cada uma com uma área fixa de 100 m². Os índices calculados, como o índice de Shannon (H') = 3,65 e a uniformidade (J') = 78%, demonstram que a comunidade vegetal apresenta uma alta diversidade de espécies. No entanto, a invasora *H. dulcis* teve o maior número de indivíduos amostrados (146), sendo a espécie com a maior densidade relativa (9,14) dentro da comunidade e a segunda maior em frequência relativa (5,10%), valor de importância de cobertura (8,85%) e índice de valor de importância (7,60%). A metodologia empregada para identificar a espécie invasora por meio de imagens de satélite e drones permitiu uma coleta de dados rápida e precisa, além da quantificação da espécie invasora, cobrindo uma área de 86,44 ha do fragmento florestal, o que corrobora os dados de campo.

Palavras-chave: *H. dulcis*, Espécies invasoras, CBERS4-A, Floresta Estacional Decidual, Mata Atlântica, Fitossociologia.

5.3 ARTIGO 3

Avaliação da vulnerabilidade ecológica do ecossistema florestal da Bacia Hidrográfica do Rio Pardinho, RS, Brasil, associada ao risco de invasão biológica pela espécie *Hovenia dulcis* Thunb.

Patrik Gustavo Wiesel, Bruno Deprá, Marcos Henrique Schroeder, Betina Mariela Barreto, Andreas Köhler, Eduardo Alcayaga Lobo

RESUMO

As formações ciliares são ecossistemas de transição entre o ecossistema terrestre e aquático, que oferecem habitat e serviços ecossistêmicos essenciais, e que estão particularmente vulneráveis às mudanças globais. Dentre elas destacam-se as ações relacionadas às atividades humanas de uso e ocupação da terra, transformação do habitat, desmatamento para agricultura e atividades de desenvolvimento, urbanização, represamento, pastoreio, mineração e introdução de espécies invasoras, cancelando a necessidade de desenvolver indicadores custo-efetivos que ajudem a identificar quais as combinações de fatores de stress que devem ser abordadas para reverter a degradação dos rios e da vegetação ciliar, garantindo a sustentabilidade a longo prazo destes ecossistemas. Neste contexto, a pesquisa objetivou desenvolver um índice de Vulnerabilidade Ecológica da vegetação ciliar do Rio Pardinho, RS, associada ao risco de invasão biológica pela espécie *Hovenia dulcis* (uva-do-japão). Utilizou-se uma abordagem integrada baseada na plataforma SIG, onde o parâmetro dados de Uso e Ocupação foi o critério de maior relevância, recebendo peso 0,623, seguido de Solo que recebeu peso 0,213; NDVI peso 0,108 e Declividade com peso 0,056. Posteriormente realizou-se a ponderação e combinação dos critérios, através de uma combinação linear ponderada. Desta forma, foi elaborado o mapa digital de níveis de risco ao processo de invasão biológica pela espécie *H. dulcis*, que foi classificado como: Muito alto; Alto; Moderado; Baixo e Muito baixo. Levantamentos de campo *in-loco* com a aplicação de 40 parcelas fitossociológicas de 100 m² cada, foram aplicadas para estudar a comunidade arbórea e utilizadas como testemunha da classificação de uso e ocupação. As classes de risco ficaram distribuídas em: Muito Alto (8,8%), Alto (18,7%), Moderado (20,0%), Baixo (28,1%) e Muito Baixo (24,4%). 27,5 % da área encontra-se em risco muito alto e alto demonstrando a fragilidade deste ecossistema à invasão por *H. dulcis*. Os trabalhos de campo demonstraram que a comunidade arbórea ribeirinha do Rio Pardinho apresentou uma diversidade de Shannon de $H' = 3,45$ e Uniformidade de Pielou de $J' = 0,78\%$, indicando que a comunidade possui uma riqueza moderadamente alta de espécies, que estão distribuídas de forma relativamente equitativa em termos de abundância. No entanto, a presença de 15 espécies exóticas na área, com grande destaque para a invasora *H. dulcis*, representa uma ameaça à integridade do ecossistema local. De fato, a espécie *H. dulcis* apresentou a segunda maior Densidade Absoluta - DeA (272,5 ind. ha⁻¹), a segunda maior Densidade Relativa - DeR (9,846%) e, conseqüentemente, o segundo maior Índice de Valor de Importância - IVI (9,239%). Aplicação da AHD demonstrou ser uma ferramenta eficiente na identificação das áreas prioritárias para a implantação e desenvolvimento de planos de controle e manejo da invasora *H. ducis* dentro das áreas de APP do Pardinho.

Palavras-chave: Análise Hierárquica; Mapa de Risco, *H. dulcis*, Serviços Ecossistêmicos; Rio Pardinho, RS.

Assessment of ecological vulnerability of the forest ecosystem of the Pardino River Hydrographic Basin, RS, Brazil, associated with the risk of biological invasion by the species *Hovenia dulcis* Thunb.

ABSTRACT

Riparian formations are transition ecosystems between terrestrial and aquatic ecosystems, that provide habitat and essential ecosystem services, and who are particularly vulnerable to global changes. Among them, actions related to human activities of land use and occupation stand out, habitat transformation, deforestation for agriculture and development activities, urbanization, damming, grazing, mining and introduction of invasive species, approving the need to develop cost-effective indicators that help identify which combinations of stress factors must be addressed to reverse the degradation of rivers and riparian vegetation, ensuring the long-term sustainability of these ecosystems. In this context, the research aimed to develop an Ecological Vulnerability index of the riparian vegetation of the Pardino River, RS, associated with the risk of biological invasion by the species *Hovenia dulcis* (Japanese-grape-tree). An integrated approach based on the GIS platform was used, where the Use and Occupation data parameter was the most relevant criterion, receiving weight 0.623, followed by Solo, which received a weight of 0.213; NDVI weight 0.108 and Slope weight 0.056. Subsequently, the criteria were weighed and combined, through a weighted linear combination. This way, a digital map of risk levels for the biological invasion process by the species *H. dulcis* was created, which was classified as: Very high; High; Moderate; Low and Very low. On-site field surveys with the application of 40 phytosociological plots of 100 m² each, were applied to study the tree community and used as a witness to the classification of use and occupation. The risk classes were distributed into: Very High (8.8%), High (18.7%), Moderate (20.0%), Low (28.1%) and Very Low (24.4%). 27.5% of the area is at very high risk, demonstrating the fragility of this ecosystem to invasion by *H. dulcis*. Fieldwork demonstrated that the riverine tree community of Rio Pardino presented a Shannon diversity of $H' = 3.45$ and a Pielou uniformity of $J' = 0.78\%$, indicating that the community has a moderately high richness of species, which are relatively evenly distributed in terms of abundance. However, the presence of 15 exotic species in the area, with great emphasis on the invasive *H. dulcis*, it represents a threat to the integrity of the local ecosystem. In fact, the species *H. dulcis* presented the second highest Absolute Density - DeA (272.5 ind. ha⁻¹), the second highest Relative Density - DeR (9.846%) and, consequently, the second highest Importance Value Index - IVI (9.239%). Application of AHD proved to be an efficient tool in identifying priority areas for the implementation and development of control and management plans for the invasive *H. dulcis* within the Pardino APP areas.

Keywords: Hierarchical Analysis; Risk Map, *H. dulcis*, Ecosystem Services; Rio Pardino, RS.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do desenvolvimento desta pesquisa, foi possível concluir que a invasão biológica pela invasora *Hovenia dulcis* representa uma séria ameaça ao ecossistema estudado. Os resultados obtidos demonstram claramente os impactos negativos dessa espécie invasora sobre a biodiversidade, a estrutura e o funcionamento do ecossistema. A rápida disseminação e o potencial de competição da *H. dulcis* com espécies nativas comprometem a estabilidade e a resiliência do ambiente, colocando em risco a saúde e a sustentabilidade do ecossistema. Diante dessas constatações, torna-se imperativo adotar medidas eficazes de controle e manejo para mitigar os efeitos danosos dessa invasão, visando preservar a integridade e a diversidade biológica do ecossistema estudado e, por conseguinte, garantir sua conservação e o fornecimento de serviços ecossistêmicos para as gerações futuras.

O desenvolvimento do mapa temático da Vulnerabilidade Ecológica da Vegetação da Bacia Hidrográfica do Rio Pardinho Associada ao Risco de Invasão Biológica é a primeira ferramenta desenvolvida para entender a magnitude da invasão e a identificação dos pontos mais críticos. Destacamos aqui, a importância de monitorar as populações de plantas invasoras, e avaliar continuamente sua distribuição e impacto sobre os ecossistemas para a criação de planos de controle e substituição desta nos ecossistemas invadidos.

A conscientização e educação da sociedade sobre as ameaças representadas por plantas invasoras, e a importância de prevenir sua introdução e propagação, são fundamentais para o sucesso das estratégias de gestão.

7 TRABALHOS FUTUROS

Livro Biodiversidade dos Vales

O Livro "Biodiversidade dos Vales, RS, Brasil: Conhecer para Preservar", está sendo elaborado por pesquisadores do Grupo de Pesquisa em Limnologia do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental (Mestrado e Doutorado) da Universidade de Santa Cruz do Sul (PPGTA/UNISC). O livro oferece uma visão abrangente das espécies de flora e fauna que ocorrem na região dos vales, com destaque para o Cinturão Verde, que corresponde a um fragmento florestal urbano com uma área de 465 hectares, na cidade de Santa Cruz do Sul, formando um extenso corredor de indiscutível importância ecológica e beleza cênica. Esta área abriga uma significativa biodiversidade de flora e fauna nativas da Mata Atlântica, caracterizando um dos mais expressivos serviços ecossistêmicos de suporte que o Cinturão Verde oferece à comunidade santa-cruzensense.

Através de uma abordagem detalhada, o livro impresso, capa dura e de alta qualidade, vai explorar as principais características e hábitos das espécies presentes nos vales, oferecendo um mergulho fascinante na diversidade biológica dessa região. Tanto a flora quanto a fauna são cuidadosamente descritas, permitindo aos leitores compreenderem a importância e o papel que cada espécie cumpre dentro deste magnífico ecossistema. Com um enfoque educativo, este livro é uma ferramenta essencial para estudantes, pesquisadores, profissionais da área ambiental e entusiastas da natureza, que desejem aprofundar seus conhecimentos sobre a biodiversidade dos vales e contribuir, desta forma, para a conservação desses ecossistemas. Somente se cuida, se preserva o que se conhece!

Cabe destacar que pretendemos difundir esta obra em todas as escolas de ensino fundamental e médio dos vales, públicas e privadas, gratuitamente, no intuito de levar à comunidade escolar a beleza das nossas espécies da flora e fauna, as fascinantes teias alimentares que constroem e, desta forma, mostrar aos nossos estudantes a grandeza do equilíbrio ecossistêmico local que sustentam, o nosso ecossistema, garantindo o fornecimento de serviços ambientais essenciais para atender as necessidades de bem-estar da população, das futuras gerações e o cuidado do Meio Ambiente. As informações apresentadas são baseadas em estudos científicos rigorosos, e são acompanhadas de fotografias impressionantes que retratam a beleza e a diversidade das espécies abordadas.

Além disso, a obra destaca a importância da conservação e preservação dos vales na sua totalidade, ressaltando a necessidade de ações sustentáveis e conscientes para garantir a proteção desses ambientes únicos. Com uma linguagem acessível e conteúdo rico, este livro se torna uma referência indispensável para aqueles que desejam compreender e valorizar a biodiversidade dos vales, e contribuir para um futuro ambientalmente saudável.

Ilustrações da obra:



RIO GRANDE DO SUL E A MATA ATLÂNTICA

A Mata Atlântica é reconhecida como uma das maiores florestas tropicais do planeta ocupando grande parte do território Brasileiro. É uma das florestas mais biodiversas do mundo, abrigando uma ampla variedade de espécies de animais e plantas, muitas das quais são endêmicas sendo, por isso, considerada um hotspot da biodiversidade mundial.

Infelizmente, a Mata Atlântica também é uma das florestas mais ameaçadas do mundo, vestindo atualmente apenas 12,4% de sua área original, isso é resultado de décadas de desmatamento para fins agrícolas, pecuários e urbanos. Além disso, a pesca excessiva e a poluição também contribuem para a degradação do ecossistema.

A fragmentação da floresta é outro grande problema. Áreas maiores de 100 hectares, conhecidos como maciços florestais, que são os principais responsáveis por estoque carbono e apresentam maior interesse ecológico para a conservação da fauna e flora, representam apenas 0,3%. Apesar da fragmentação, estas áreas precisam suprir serviços ecossistêmicos essenciais como abastecimento de água, regulação do clima, agricultura, pesca, energia elétrica e turismo.

Mesmo diante de sua importância ecológica e social a Mata Atlântica continua a registrar ano após ano perdas substanciais de florestas. O que é preocupante, em um ambiente já severamente fragmentado e que abriga altas taxas de biodiversidade e endemismo.

No estado do Rio Grande do Sul, um dos 17 estados em que Mata Atlântica ocorre naturalmente, podemos encontrar uma ampla gama de ecossistemas: a Floresta Ombrófila Densa, localizada na faixa costeira do litoral e nas encostas de Dóndeo a Torres; a Floresta Ombrófila Mista e os Campos de Altitude na região do planalto, com seus capões característicos com a presença de *Aracáridas* (*Arctostaphylos angustifolia* (Bertol.) Kuntze) e pinheiro bravo (*Podocarpus lamberti* Klotzsch); as Florestas Estacionais Deciduais e Semidecíduas, na encosta sul da Serra Geral e região do Alto Uruguai; e a vegetação de restinga, presente na maior parte do litoral gaúcho, quase sempre acompanhada de dunas, lagos e banhados. No entanto, da formação original restam apenas 7,9% e com elevado grau de fragmentação.

GLIBRIDIVOROS - URUBUS

Urubus não têm penas na cabeça e no pescoço, o que pode parecer estranho, mas na verdade é uma adaptação para a higiene.

Como eles se alimentam de carne em decomposição, o fato de não terem penas nessas áreas ajuda a evitar que restos de carne fiquem presos em suas penas.

Os urubus são conhecidos por serem aves muito sociais e muitas vezes podem ser vistos voando em grupos ou bandos.

São aves muito importantes para o ecossistema, pois ajudam a limpar a natureza, removendo animais mortos e prevenindo a propagação de doenças.

Os urubus são conhecidos como aves de rapina necrófagas, o que significa que eles se alimentam principalmente de carniça, como animais mortos e em decomposição.

O motivo de os urubus serem pretos é devido a uma adaptação evolutiva que lhes permite absorver melhor a luz solar, ajudando desta forma, a controlar bactérias que podem se alojar nas penas.

Além de mantê-los quentes e melhorar sua capacidade de voar por longos períodos de tempo.

CARNIVORA - CANIDAE
Canis lupus Linnaeus, 1758
graxim-do-mato

CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE:

É um bôzo menor que o Graxim-do-campo (*Lycalopex gymnocercus*) medindo até um metro. Apresenta pelagem cinza-azulada com pelo mais curto na base, e uma faixa de pelo preto sobre o dorso. Os membros são mais curtos, e as orelhas redondas por uma pelagem mais escura. Orelhas de tamanho mediano em relação a cabeça e ao dorso.

HÁBITOS DA ESPÉCIE:

Prefere as bordas de mata e ambientes mais abertos ao invés de matas mais densas. Porém pode ocorrer em ambientes com Lycalopex graxim-do-campo, utilizando preferencialmente as matas (de nome popular graxim-do-mato) enquanto o graxim-do-campo utiliza as áreas mais abertas de campo. Onças tem sua dieta baseada em pequenos roedores, invertebrados e frutas. São extremamente considerados predadores de animais domésticos e de gado e são considerados um perigo durante o dia, escondendo em tocas, fendas e ocos de árvores.

CARNIVORA - CANIDAE
Lycalopex gymnocercus (Fischer, 1814)
graxim-do-campo

CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE:

Também conhecido como Onça ou Pampa Fox é um bôzo maior que o Graxim-do-mato (*Canis lupus*) medindo até pouco mais de um metro. Coloração cinza-azulada, com patas longas e fiavelas redondas por pelo curto de coloração clara. Orelhas grandes em relação a cabeça e ao dorso.

HÁBITOS DA ESPÉCIE:

Utiliza preferencialmente as áreas mais abertas de campo. Onças tem sua dieta baseada em pequenos vertebrados, invertebrados e frutas. São extremamente considerados predadores de animais domésticos e de gado e são considerados um perigo durante o dia, escondendo em tocas, fendas e ocos de árvores.

<p>EUPHORBACEAE <i>Pachystroma longifolium</i> (Nees) L.M. Johnston. mata-olho</p> <p>CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE: Arvore perennifólia e lactescente (sucos leitoso se alguma parte for ferida), marcadamente flososa e ferecida na metade distal; estilingo 10 a 20 m de altura quando na floresta, porém quando subindo atinge 5 a 6 m de altura. A copa é arredondada e densa com 4 a 6 m de diâmetro. O tronco é cilíndrico e volumoso com casca fendilhada no sentido vertical e com coloração marrom escura. As folhas nascem no ápice dos ramos de forma espiralada e o limbo ou bordo foliar é simples, sub-espessos (semelhante à espátula) coriáceo (de consistência rija), centeadas e acucadas na margem, medindo 12 a 25 cm de comprimento por 2 a 30 cm de largura. As flores são dicotilas e emendadas e surgem em racemos (pedúnculo rachis terminal), as masculinas em número de 2 a 3 flores e as femininas em número de 1 a 3 flores. Os frutos são no tipo coco resistente (que se abre quando maduro) de 2,5 a 3,5 cm de diâmetro, estando as sementes fora longi. As sementes são angulosas e mediam 1 a 1,5 cm de comprimento por 0,8 a 1,4 cm de largura.</p> 	<p>ODONTOPHYRYNIDAE <i>Odontophrynus americanus</i> sapo-de-embaçada</p> <p>CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE: Espécie de tamanho médio, entre 4,1 e 5,3 cm. Corpo robusto com cabeça larga, focinho curto e pele granulosa. Coloração dorsal variando em diferentes tons de castanho, com manchas escuras irregulares e uma linha ventral clara que vai desde o focinho até a cauda. Labio superior intercalado por faixas escuras e largas. O ventre é acinzentado-estranhulado com grânulos claros. Garganta escura em machos. Apresentam callosidades de cor marrom nos pés que auxiliam na escavação.</p> <p>HÁBITOS DA ESPÉCIE: Espécie de tamanho médio, entre 4,1 e 5,3 cm. Corpo robusto com cabeça larga, focinho curto e pele granulosa. Coloração dorsal variando em diferentes tons de castanho, com manchas escuras irregulares e uma linha ventral clara que vai desde o focinho até a cauda. Labio superior intercalado por faixas escuras e largas. O ventre é acinzentado-estranhulado com grânulos claros. Garganta escura em machos. Apresentam callosidades de cor marrom nos pés que auxiliam na escavação.</p> 	<p>ELAPIDAE <i>Micurus altiventer</i> coral-verdadeira</p> <p>CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE: Espécie de tamanho médio, entre 4,1 e 5,3 cm. Corpo robusto com cabeça larga, focinho curto e pele granulosa. Coloração dorsal variando em diferentes tons de castanho, com manchas escuras irregulares e uma linha ventral clara que vai desde o focinho até a cauda. Labio superior intercalado por faixas escuras e largas. O ventre é acinzentado-estranhulado com grânulos claros. Garganta escura em machos. Apresentam callosidades de cor marrom nos pés que auxiliam na escavação.</p> <p>HÁBITOS DA ESPÉCIE: Espécie de tamanho médio, entre 4,1 e 5,3 cm. Corpo robusto com cabeça larga, focinho curto e pele granulosa. Coloração dorsal variando em diferentes tons de castanho, com manchas escuras irregulares e uma linha ventral clara que vai desde o focinho até a cauda. Labio superior intercalado por faixas escuras e largas. O ventre é acinzentado-estranhulado com grânulos claros. Garganta escura em machos. Apresentam callosidades de cor marrom nos pés que auxiliam na escavação.</p> 
<p>MALVACEAE <i>Culter speciosa</i> (A. DC.) Ravenna palmeira</p> <p>CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE: Apresenta tronco amolecido com coloração verde-acinzentada, cuja característica principal é a presença de espinhos nas partes mais jovens. Quando adulta, estas árvores podem medir até 30 metros de altura e o tronco até 100 cm de diâmetro. As folhas são digitadas, compostas por folíolos de comprimento variado entre 4 e 17 cm, com bases serrilhadas. As flores possuem o interior branco com pontuações vermelhas e mais escuras nas pétalas apresentando coloração rosa (podendo apresentar diversas tonalidades), reunidas em uma inflorescência tipo caxito no ponto terminal dos ramos. Os frutos são grandes, secos, de coloração verde amarelada e cobertos por longos pelos (barba) que isolam sua dispersão. A espécie é nativa da flora do Brasil, ocorre naturalmente nos biomas Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica.</p> 	<p>LEPTODACTYLIDAE <i>Leptodactylus gracilis</i> rã-listrada</p> <p>CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE: Espécie de tamanho médio com machos medindo entre 3,9 e 4,8 cm, e fêmeas entre 4,0 e 4,7 cm. O dorso tem coloração marrom-clara, amarelado esverdeado com diversas listras escuras e claras dispostas longitudinalmente. Geralmente com uma faixa ventral clara mais espessa que as demais. Patas traseiras com manchas circulares e listras finas e claras.</p> <p>HÁBITOS DA ESPÉCIE: Ocorre no sul do Brasil, Uruguai, Argentina, sul do Paraguai e sudoeste da Bolívia. Reproduzem-se na primavera e verão, em corpos d'água lentos, onde constroem o ninho de espuma flutuante entre a vegetação. Os machos vocalizam em tocos no solo em áreas alagadas, tanto durante o dia quanto à noite. O canto é similar a bolhas de ar estourando repetidamente.</p> 	<p>COLUMBIDAE <i>Siphon pulchellus</i> carambola</p> <p>CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE: Espécie de tamanho médio com machos medindo entre 3,9 e 4,8 cm, e fêmeas entre 4,0 e 4,7 cm. O dorso tem coloração marrom-clara, amarelado esverdeado com diversas listras escuras e claras dispostas longitudinalmente. Geralmente com uma faixa ventral clara mais espessa que as demais. Patas traseiras com manchas circulares e listras finas e claras.</p> <p>HÁBITOS DA ESPÉCIE: Ocorre no sul do Brasil, Uruguai, Argentina, sul do Paraguai e sudoeste da Bolívia. Reproduzem-se na primavera e verão, em corpos d'água lentos, onde constroem o ninho de espuma flutuante entre a vegetação. Os machos vocalizam em tocos no solo em áreas alagadas, tanto durante o dia quanto à noite. O canto é similar a bolhas de ar estourando repetidamente.</p> 

The current issue and full text archive of this journal is available on Emerald Insight at:
<https://www.emerald.com/insight/1477-7835.htm>

Urban afforestation and its ecosystem balance contribution: a bibliometric review

Review of
urban
afforestation

453

Patrik Gustavo Wiesel and Elias Dresch
*Environmental Technology, University of Santa Cruz do Sul,
Santa Cruz do Sul, Brazil*

Eduardo Rodrigo Ramos de Santana
*State Environmental Protection Foundation Henrique Luiz Roessler,
Santa Cruz do Sul, Brazil, and*

Eduardo Alcayaga Lobo
*Environmental Technology, University of Santa Cruz do Sul,
Santa Cruz do Sul, Brazil*

Received 21 July 2020
Revised 27 October 2020
18 January 2021
9 March 2021
Accepted 9 March 2021

Abstract

Purpose – Urbanization is characterized mainly by changes in land use and conversion of natural areas into built environments, as well as by a series of impacts, such as loss of biodiversity, which interfere with the proper functioning of ecological networks.

Design/methodology/approach – Thus, the authors apply a bibliometric analysis using the term “Urban Trees” in the “Web of Science” database, between 2009 and 2019, as a keyword to include all urban green structures and identify the main aspects of urban ecological relationships. They found 8,367 published articles.

Findings – This review identified the main countries and research institutions that operate in urban afforestation. In general, developing countries seek to understand the environmental benefits that urban afforestation can provide, demonstrating the importance of maintaining existing green areas in urban centers to promote the balance of the ecosystem. It depends directly on the flow of ecosystem services provided by green infrastructures in the city, contributing significantly to carbon sequestration, retention of particulate matter, mitigation of heat islands and reduction of surface runoff, directly favoring the health and well-being of the population. The authors conclude that the actions currently implemented in urban afforestation, especially to increase the richness and abundance of species, will be decisive for the future of urban centers and the construction of more sustainable and egalitarian cities.

Originality/value – This work sought to develop a bibliographic research based on information obtained by bibliometric analysis that has the ability to identify trends and volumes of scientific production in a given area of knowledge.

Keywords Urban afforestation, Ecosystem balance, Sustainable development, Biodiversity conservation, Bibliometric analysis

Paper type Literature review

1. Introduction

Ecological studies have provided evidence demonstrating that anthropogenic actions drastically modify terrestrial ecosystems, increasing the landscape’s heterogeneity and transforming its energy and matter cycles (Pooley, 2018; Seto *et al.*, 2012; Vitousek *et al.*, 1997). The development of cities has several adverse effects, such as interruption of ecological networks, inefficient use of space, entropy, reduced mobility and environmental degradation of green spaces, agricultural land and forests (Zhou and Wang, 2011)

Although urban formations represent only about 0.13% of the entire global territory, approximately 50% of its area is made up of impermeable constructed areas, such as roads

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.



Management of Environmental
Quality: An International Journal
Vol. 32 No. 3, 2021
pp. 453-469
© Emerald Publishing Limited
1477-7835
DOI 10.1108/MEQ-07-2020-0196



Contents lists available at ScienceDirect

Soil & Tillage Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/still

Development of a soil quality index to evaluate agricultural cropping systems in southern Brazil

Luis Fernando Marion^a, Robson Schneider^a, Maurício Roberto Cherubin^b, Gustavo Stolzenberg Colares^a, Patrik Gustavo Wiesel^a, Adilson Bem da Costa^a, Eduardo Alcayaga Lobo^{a,*},¹

^a Environmental Technological Program of the University of Santa Cruz do Sul (PPGTA/UNISC), Santa Cruz do Sul, RS, Brazil

^b Department of Soil Science, "Luiz de Queiroz" College of Agriculture, University of São Paulo (ESALQ/USP), Piracicaba, SP, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords:

Soil quality index
Native forest
Tillage system
No-till system
Sustainable soil management
State of Rio Grande do Sul, Brazil

ABSTRACT

Soil quality indexes (SQIs) are tools that can help farmers and decision-makers to adopt management protocols that preserve or even improve soil characteristics. In this context, this research aimed to compare six strategies for calculating a soil quality index with different degrees of complexity, to define the simplest, most effective, and low-cost technological tool for soil quality (SQ) assessment, aiming to contribute to soil sustainability management in agricultural production in Southern Brazil. Sample collection points (CPs) were established at three locations (CP1, CP2, and CP3) under three different land-use systems: native forest (NF), a tillage system (TS), and a no-till system (NTS). Characterization of the SQ was performed based on three datasets: a total dataset (TDS) with 30 indicators, a reduced dataset using multivariate Principal Component Analysis (RDG-PCA), with seven indicators, and a dataset based on Literature and Expert Opinions (LEO-DS) with five indicators, as well as two additional systems, including simple addition (SQI-1, SQI-3, and SQI-5) and weighted addition (SQI-2, SQI-4, and SQI-6). The results indicated that all SQIs efficiently detected soil quality changes in the different systems. Dataset reduction approaches to determine SQI values between different land uses confirmed that the simplest QS integration method (SQI-6) is just as effective as the more complex methods (SQI-1, SQI-2, SQI-3, SQI-4, and SQI-5). The results indicated that all SQIs efficiently detected soil quality changes in the different systems. Therefore, using SQI weighted with a reduced number of soil indicators (LEO-DS), such as pH, phosphorus (P), Rapid Diagnosis of Soil Structure (RDSS), Relative Soil Density (RD), and Total Organic Carbon (TOC), may be a potential protocol to support the implementation of an effective and low-cost technological tool for soil management in southern Brazil.

1. Introduction

Soil is a critical resource for agricultural production systems, and the maintenance of its quality is fundamental to sustaining food productivity and meeting the demands of the world population, which grows year after year (Hartfield, 2014). However, across the world, significant losses in the physical, chemical and biological qualities of soil are being reported, mainly influenced by land use and land management measures (Joko et al., 2017; Nehrani et al., 2020; Qiu et al., 2019).

In Brazil, the planted area in 2020 totaled 83.4 million hectares, 2.7% higher than the area cultivated in 2019, presenting a historical

record in grain production, which covers the group of cereals, legumes and oilseeds, with emphasis on the soybean crop (121.8 million tons) and corn (104.0 million tons) (IBGE, 2021). Despite these production records, losses in soil quality (SQ) are also reported in Brazil, mainly related to incorrect management, which can affect sustainability and future production (Lisboa et al., 2019; Luz et al., 2019).

SQ specifically refers to the capacity of the soil to fully fulfill its function as a substrate for plant growth (productivity) in the partition and regulation of water flow in the environment, acting as a buffer and satisfactorily integrating its biological, physical and chemical properties (Pierce et al., 2018). SQ not only affect productivity and mineral

* Correspondence to: Environmental Technological Program, University of Santa Cruz do Sul (UNISC), Avenue Independência, 2293, University district, Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil.

E-mail address: lobo@unisc.br (E.A. Lobo).

¹ 0000-0001-0167-0484

<https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105293>

Received 25 August 2021; Received in revised form 18 November 2021; Accepted 13 December 2021
0167-1987/© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

Review

Floating treatment wetlands: A review and bibliometric analysis



Gustavo S. Colares ^a, Naira Dell'Osbel ^a, Patrik G. Wiesel ^a, Gislayne A. Oliveira ^b, Pedro Henrique Z. Lemos ^c, Fagner P. da Silva ^a, Carlos A. Lutterbeck ^a, Lourdes T. Kist ^a, Ênio L. Machado ^{a,*}

^a Postgraduate Program in Environmental Technology, University of Santa Cruz do Sul (UNISC), Avenida Independência, 2293, Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul 96815-900, Brazil

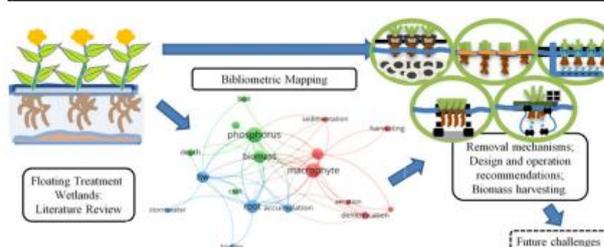
^b Postgraduate Program in Water Resources and Environmental Sanitation, Federal University of Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 91501-970 Porto Alegre, RS, Brazil

^c Industrial Chemistry Program, Chemistry Department, University of Santa Cruz do Sul, RS, Brazil

HIGHLIGHTS

- Floating treatment wetlands can treat wastewaters and stormwater.
- Bibliometric analysis were consistent to experiences found in literature.
- Verification of FTW design and operation parameters.
- Nutrients and pollutant removal mechanisms are not yet fully understood.
- Further investigations are necessary on combining FTW with other technologies.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:

Received 30 October 2019

Received in revised form 16 January 2020

Accepted 16 January 2020

Available online 17 January 2020

Editor: Yifeng Zhang

Keywords:

Bioremediation
Wastewater treatment
Floating islands
Eutrophication
Macrophytes
Phytoremediation

ABSTRACT

Floating treatment wetlands (FTWs) have attained tremendous popularity for water purification purposes. Through this phyto-technology, naturally occurring macrophytes are allowed to grow on the water surface on a buoyant raft or a rigid support, keeping the plant roots permanently in contact with the water and removing pollutants via several processes. The objective of this study was to review studies that have developed FTWs and to perform a bibliometric analysis using three keywords: "Floating", "Treatment" and "Wetlands". From bibliometric analysis using VOSviewer software and the Web of Science database, it was possible to verify the number of publications over the years and the countries and authors with the most published articles on these systems and other related terms. Subsequently, a review was performed on the main mechanisms of pollutant removal by FTWs as well as experiences and recommendations for major design and operating aspects for their application, such as water depth, hydraulic retention time (HRT), floating mat, water surface coverage, artificial aeration, plant selection and pruning or harvesting. It was verified that FTWs are a potential technology for treating several wastewater types and water remediation under different conditions. Even with the increasing number of publications in recent years, many design and operation aspects related to system performance still demand more research in order to better understand the relations between macrophytes and other pollutant removal mechanisms and to thereby improve the treatment efficiency of FTW systems.

© 2020 Elsevier B.V. All rights reserved.



Life cycle assessment of different scenarios for pigment production from an algal turf scrubber (ATS) system

Maiara P. de Souza¹ · Gustavo S. Colares¹ · Patrik G. Wiesel¹ · Tiele M. Rizzetti¹ · Michele Hoeltz¹ · Lisianne B. Benitez¹ · Ênio L. Machado¹ · Rosana C. S. Schneider¹

Received: 10 August 2022 / Revised: 3 November 2022 / Accepted: 5 November 2022
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2022

Abstract

The application of algal turf scrubber (ATS) systems for simultaneous bioremediation and biomass valorization can promote the mitigation of nitrogen, phosphorus, and organic contaminants in water bodies, helping reduce both the environmental impacts and the costs related to bioactive compound production. The present study performed a life cycle assessment (LCA) based on the production of pigments from the periphytic biomass at a pilot-scale ATS system (SISGEN register A256CC3). For the LCA, the functional unit was defined as 10 kg of pigments, and 10 years was considered the reference flow. The Ecoinvent 3 database and IMPACT 2002+ (V2.10) were used in SimaPro software (version 8.04) with data from the ATS system cultivation (construction and operation), drying, and pigment extraction. As a result, the damages and impacts of most categories were mainly related to the drying step, followed by extraction. However, even when considering a permanent demand for electricity (for the hydraulic pump), the operation of the ATS system presented fewer impacts in its construction and operation than traditional cultivation systems. Additionally, applying an ATS system to produce biomass for pigment extraction had low impacts on most categories, mainly due to water use from a catchment lake. New scenarios are proposed to minimize impacts, indicating that the ATS system with solar drying can be an interesting option to produce pigments from periphytic biomass simultaneously and promote polluted lake bioremediation.

Keywords Periphyton · Pilot scale · Environmental assessment · Bioproduct · Microalgae

1 Introduction

Pigment production has been continuously studied, especially from natural sources. In this context, periphyton can be a suitable alternative, considering that these communities (photoautotrophic algae and prokaryotes, heterotrophic and chemo-autotrophic organisms, fungi, protozoa, metazoans, and others) can be easily incorporated into bioreactors, resulting in efficient bioremediation systems, while producing compounds of commercial interest [1, 2]. Pigment production from microalgae and other microorganisms has recently increased due to high human consumption, mainly as nutritional supplements [3] and animal feed [4].

The commercialization of natural pigments (such as chlorophyll, β -carotene, lutein, and astaxanthin) derived from algae (unconventional options) or extracted from plants and flowers (conventional options) is of great value in applications in the dyeing industry and as food supplements. Production at larger scales is still restricted, as it requires a high volume of culture and demands a high-cost operation; however, dyes are expected to be still the main algae product on the world market [5, 6]. Chlorophyll is the main pigment obtained from numerous algae species, followed by carotenoids and phycobilin. These pigments have anti-oxidant, anti-cancer, anti-inflammatory, anti-obesity, and neuroprotective properties and have gained more notoriety in the biotechnology industries as food and cosmetic compound [3, 7].

Research on the economic and sustainable biomass production from microorganisms on a large scale is already being developed [8]. In Middle East, a potentially functional microalgae food supplement was studied with microalgae cultivation at a large scale [9]. Therefore, the pigment content in this biomass is important to the economic viability of large-scale cultivation.

✉ Rosana C. S. Schneider
rosana@unisc.br

¹ Environmental Technology Postgraduate Program,
Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul,
Rio Grande do Sul, Brazil

Research Article

Efficiency in the treatment of three livestock manures through a composting process with mechanized turning

Ari João Strapazzon^{1*}, Fernanda Aline Blatt Theves², Patrik Gustavo Wiesel³ and Eduardo Alcayaga Lobo⁴

¹Environmental Technology Graduate Program (PPGTA), University of Santa Cruz do Sul (UNISC), RS, Brazil

²University do Vale do Taquari (UNIVATES), Environmental consultant in Bioconsul - Environmental consulting and licensing, Brazil

³Environmental Technology Graduate Program (PPGTA), University of Santa Cruz do Sul (UNISC), RS, Brazil

⁴Environmental Technology Graduate Program (PPGTA), University of Santa Cruz do Sul (UNISC), RS, Brazil

Correspondence: ari@arroionet.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0018-4263>

Received: August 07, 2020; Accepted: October 03, 2020; Published: January 01, 2021

© Copyright: Strapazzon *et al.* (2021).



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the efficiency of the treatment of manure from three livestock production units (cattle, swine, and poultry), through composting with mechanized turning and incorporation of natural substrate (wood sawdust) in rural properties in the municipalities of Farroupilha, Relvado, and Caxias do Sul, State of Rio Grande do Sul, Brazil. The experimental design consisted of nine treatments, three for each type of manure. These were classified as: T1 (cattle manure plus wood sawdust), T2 (swine manure plus wood sawdust), and T3 (poultry manure plus wood sawdust). The process involved the daily turning of the windrows by a mechanized process and sampling was carried out in triplicate at 60, 120, and 180 days of composting, between the months of July 2018 and July 2019. After each sampling, samples were properly stored and sent to the Chemistry Laboratory of the University of Santa Cruz do Sul for analysis of the following variables: Calcium (Ca), Cation Exchange Capacity (CTC), Phosphorus (P), Magnesium (Mg), Nitrogen (N), pH, and Potassium (K). Temperature measurements were made on the spot every 15 days. At the end of the experiment, all treatments reached the standards of humidity, temperature, pH, and NPK, established in Normative Instruction No. 25/200 for organic fertilizers, from the Ministry of Agriculture and Livestock of Brazil. Thus, the results demonstrated the efficiency of the mechanized composting process for the treatment of bovine, swine, and poultry manure, producing a high-quality organic compost.

Keywords: Bovine manure, Swine manure, Poultry manure, Composting machine, Organic fertilizer.

Correct citation: Strapazzon, A.J., Theves, F.A.B., Wiesel, P.G., & Lobo, E. A. (2021).

Efficiency in the treatment of three livestock manures through a composting process with mechanized turning. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 4(1), 140-153.

DOI: <https://doi.org/10.3126/janr.v4i1.33247>

Inventário de mamíferos de médio e grande porte da região da Serra do Sudeste, Município de Encruzilhada do Sul, RS, Brasil

*Inventory of medium and large mammals from the Serra do Sudeste Region, Municipality of
Encruzilhada do Sul, RS, Brazil*

Paulo Francisco Kuester

Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC - Santa Cruz do Sul - Rio Grande do Sul - Brasil

Felipe Bortolotto Peters

Consultoria Ambiental - Área de Vida - Santa Cruz do Sul - Rio Grande do Sul - Brasil

Patrik Gustavo Wiesel

Eduardo A. Lobo

Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC - Santa Cruz do Sul - Rio Grande do Sul - Brasil

Resumo

A pesquisa teve por objetivo a realização de um estudo comparativo da riqueza da mastofauna de médio e grande porte na Região da Serra do Sudeste, RS. A coleta de dados ocorreu de julho de 2015 a agosto de 2016, empregando técnicas de amostragem direta (busca ativa por registros visuais e armadilhas fotográficas) e indireta (busca ativa por vestígios) em 1.751 hectares, contemplando três fitofisionomias distintas: campo, silvicultura e mata nativa. O esforço aplicado para busca ativa totalizou 432 horas/campo. As armadilhas fotográficas foram dispostas em 12 pontos de amostragem, totalizando 2010 armadilhas/noite. O esforço amostral possibilitou o registro de 18 espécies de mamíferos silvestres. Os resultados indicaram uma média do número de indivíduos por espécie na mata nativa de $10,7 \pm 11,7$ Ind., para silvicultura de $6,2 \pm 6,1$ Ind., e para o campo de $2 \pm 1,0$ Ind. *Leopardus wiedii* é a única espécie ameaçada em nível nacional, e também a nível estadual. As espécies *Tamandua tetradactyla*, *Puma yagouaroundi*, *Nasua nasua*, *Cuniculus paca* e *Dasyprocta azarae* estão ameaçadas apenas em âmbito estadual. Quatro espécies podem ser consideradas generalistas (*Dasyprocta novemcinctus*, *Cerdocyon thous*, *Lycalopex gymnocercus* e *Mazama gouazoubira*), pois tiveram uma frequência de ocorrência superior a 70% nos ambientes estudados, sendo que as demais 13 espécies são consideradas especialistas. Este trabalho evidenciou uma maior riqueza e abundância de registros de mamíferos silvestres de médio e grande porte em ambientes naturais, demonstrando a importância de manter os ambientes nativos protegidos contra qualquer forma de exploração comercial do uso da terra.

Abstract

The research aimed to realize a comparative study concerning the richness of the medium and large mastofauna found in the Serra do Sudeste Region, RS. Data collection took place from July 2015 to August 2016, employing direct sampling techniques (active search for visual records and photographic traps) and indirect (active search for traces) in 1,751 hectares, covering three different phytophysionomies: field, forestry and Native forest. The applied effort for active search totaled 432 hours/field. The photographic traps were arranged in 12 sampling points, totaling 2010 traps/night. The sampling effort allowed the registration of 18 species of wild mammals. The results indicated an average of the number of individuals per species in the native forest of 10.7 ± 11.7 Ind., for silviculture of 6.2 ± 6.1 Ind., and for the field of 2.0 ± 1.0 Ind. *Leopardus wiedii* is the only threatened species at the national level, and also at the state level. The species *Tamandua tetradactyla*, *Puma yagouaroundi*, *Nasua nasua*, *Cuniculus paca* and *Dasyprocta azarae* are threatened only at the state level. Four species can be considered generalists (*Dasyprocta novemcinctus*, *Cerdocyon thous*, *Lycalopex gymnocercus* and *Mazama gouazoubira*), as they had a frequency of occurrence greater than 70% and the other 13 species are considered specialists. This work evidenced a greater richness and abundance of records of wild mammals of medium and large size in natural environments, demonstrating the importance of keeping native environments protected against any form of commercial exploitation of land use.

Palavras-chave

Bioma Pampa. Escudo da Serra do Sudeste, RS. Inventário faunístico. Mamíferos de médio e grande porte.

Keywords

Pampa Biome. Escudo da Serra do Sudeste region, RS. Fauna inventory. Medium and large size mammal fauna.

Frugivorous diet and food availability of *Cerdocyon thous* and *Lycalopex gymnocercus* in the Serra do Sudeste Region, RS, Brazil

Dieta frugívora e disponibilidade alimentar de *Cerdocyon thous* e *Lycalopex gymnocercus* na região da Serra do Sudeste, RS, Brasil

Paulo Francisco Kuester
Patrik Gustavo Wiesel
Eduardo A. Lobo

Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC - Santa Cruz do Sul - Rio Grande do Sul - Brasil

Abstract

Foxes are common species in the Pampa Biome of the State of Rio Grande do Sul, Brazil, however, research on their diet and their role in seed dispersal are still very scarce. In this context, this research aimed to evaluate the seasonal diet of frugivores of crab-eating fox (*Cerdocyon thous* Linnaeus, 1706) and pampas-fox (*Lycalopex gymnocercus* G. Fischer, 1814) in the Pampa Biome. The study area with approximately 1,751 hectares is located in the Phytogeographic Region called Serra de Sudeste, Encruzilhada do Sul County, RS. Fox feces were collected over a year on standardized trails, and fecal samples were counted without distinguishing between the two species, considering the great visual similarity and eating habits. 53 fecal samples were analyzed between June 2015 and July 2016, and 12 plant species belonging to 10 botanical families were identified. The most common species found were Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*), Podocarpus (*Podocarpus lambertii*), Pixirica (*Miconia hiemalis*), Guabiroba-do-campo (*Campomanesia aurea*), Bananinha-do-mato (*Bromelia antiacantha*), Cocão (*Erythroxylum deciduum*) and Uva-do-japão (*Hovenia dulcis*). Both species of foxes have a frugivorous diet adapted to the availability of fruits in each season (fruiting), rather than preference for certain species of plants, clearly demonstrating the opportunistic habit of these two species, and highlighting their importance as dispersers of plant species and consequent maintenance of ecosystems.

Resumo

Os graxains são espécies comuns no Bioma Pampa do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Porém, as pesquisas sobre sua dieta e seu papel na dispersão de sementes ainda são muito escassas. Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a dieta sazonal frugívora do graxaim-do-mato (*Cerdocyon thous* Linnaeus, 1706) e graxaim-do-campo (*Lycalopex gymnocercus* G. Fischer, 1814) no Bioma Pampa. A área de estudo com aproximadamente 1.751 hectares está localizada na Região Fitogeográfica denominada Serra de Sudeste, Município de Encruzilhada do Sul, RS. Fezes das duas espécies de graxaim foram coletadas ao longo de um ano em trilhas padronizadas, e amostras fecais foram contadas sem distinção entre as duas espécies, considerando a grande semelhança visual e hábitos alimentares. 53 amostras fecais foram analisadas entre junho de 2015 e julho de 2016, e 12 espécies de plantas pertencentes a 10 famílias botânicas foram identificadas. As espécies mais comuns encontradas foram Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*), Podocarpus (*Podocarpus lambertii*), Pixirica (*Miconia hiemalis*), Guabiroba-do-campo (*Campomanesia aurea*), Bananinha-do-mato (*Bromelia antiacantha*), Cocão (*Erythroxylum deciduum*) e Uva-do-japão (*Hovenia dulcis*). Ambas as espécies de graxains possuem dieta frugívora adaptada à disponibilidade de frutos em cada estação (frutificação), ao invés da preferência por certas espécies de plantas, demonstrando claramente o hábito oportunista dessas duas espécies, e destacando sua importância como dispersores de espécies vegetais e consequente manutenção dos ecossistemas.

Keywords

Pampa Biome, RS, Crab-eating fox, Pampas-fox, frugivorous diet.

Palavras-chave

Bioma Pampa, RS, graxaim-do-mato, graxaim-do-campo, dieta frugívora.

IDENTIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS PARA EMPREGO DA UVA- DO-JAPÃO (*HOVENIA DULCIS* THUNB) EM PATENTES BRASILEIRAS

Isabel Grunevald^{1}, Patrik G. Wiesel¹, Liane Mahlmann Kipper¹,
Eduardo A. Lobo¹*

¹ Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

*E-mail: isabelgru@hotmail.com

REMANESCENTES FLORESTAIS URBANOS E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Marcos H. Schroeder^{1}, Patrik Gustavo Wiesel¹, Bruno Depra¹, Eduardo
Alcayaga Lobo¹*

¹ Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

*E-mail: schroedermarcoshenrique@gmail.com

ANÁLISE MULTI TEMPORAL DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO UTILIZANDO IMAGENS DOS SATÉLITES LANDSAT 5 E 8 PARA OS ANOS DE 1986 E 2023

*Bruno Deprá¹, Patrik Gustavo Wiesel¹, Marcos Henrique Schroeder¹,
Eduardo Alcayaga Lobo^{1*}*

1 Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PPGTA, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Av. Independência, 2293, 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil
*E-mail: brunodepra@unisc.br



II MOSTRA DE EXTENSÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA UNISC

— XXVII Seminário de Iniciação Científica —
— III Salão de Ensino e Extensão —
— II Mostra de Pós-Graduação – Stricto Sensu —
— Seminário de Iniciação Tecnológica —

OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) E O FUTURO QUE QUEREMOS

CERTIFICADO

UNISC
UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

Certificamos que o trabalho Estudo fitossociológico da floresta urbana do Cinturão Verde, Município de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil, de autoria de Gabriela Henckes Weber, Patrik Gustavo Wiesel, Eduardo Alexis Lobo Alcayaga e Marcos Henrique Schroeder, foi apresentado na II Mostra de Extensão, Ciência e Tecnologia da UNISC, realizado nos dias 25 a 29 de outubro de 2021.

Santa Cruz do Sul, 29 de Novembro de 2021.



Prof. Rolf Fredi Molz
Pró-Reitor Acadêmico



Código de controle do atestado: EAAE.A201.CC0B.C14B Para validar a autenticidade <https://online.unisc.br/validardocumento>



III Mostra de Extensão, Ciência e Tecnologia

XXVIII Seminário de Iniciação Científica
XIII Salão de Ensino e Extensão
III Mostra da Pós-Graduação Stricto Sensu
II Seminário de Inovação Tecnológica



CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho *Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para a identificação e quantificação da espécie invasora Hovenia dulcis Thunb. em florestas da Mata Atlântica*, de autoria de Gabriela Henckes Weber, Patrik Gustavo Wiesel, Eduardo A Lobo e Marcos Henrique Schroeder, foi apresentado na III Mostra de Extensão, Ciência e Tecnologia da UNISC, realizado nos dias 24 a 28 de outubro de 2022.

Santa Cruz do Sul, 21 de Novembro de 2022.



Prof. Rolf Fredi Molz
Pró-Reitor Acadêmico

Código de controle do atestado: CB30.3AEB.3D21.CE0A

Para validar a autenticidade <https://online.unisc.br/validardocumento>



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL
MESTRADO E DOUTORADO**

ATESTADO

Atestamos para os devidos fins que Patrik Gustavo Wiesel ministrou uma palestra na Escola EMEF. Duque de Caxias, cujo título é: "Década das nações unidas da restauração de ecossistemas".

Tempo de duração: 4 horas.

Santa Cruz do Sul, 11 de agosto de 2022.

**Profa. Dra. Rosana de Cassia de Souza Schneider
Coordenadora do PPGTA – Mestrado e Doutorado**

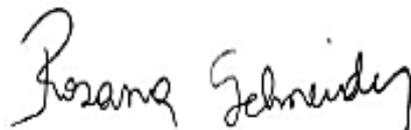
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL
MESTRADO E DOUTORADO**

ATESTADO

Atestamos para os devidos fins que **Patrik Gustavo Wiesel** ministrou uma palestra na escola EEEM. Alfredo José Kliemann, cujo título é: "Desafios e oportunidades na conservação e recuperação dos ecossistemas naturais." .

Tempo de duração: 4 horas.

Santa Cruz do Sul, 11 de agosto de 2022.



Profa. Dra. Rosana de Cassia de Souza Schneider
Coordenadora do PPGTA – Mestrado e Doutorado

COORDENAÇÃO DO CURSO DE BIOMEDICINA

ATESTADO

Atestamos que **Mari Angela Gaedke e Patrik Wiesel** atuaram como membros da banca do Trabalho de Curso de Biomedicina, intitulado **“AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DECORRENTES DE ATIVIDADES DESENVOLVIDAS POR LABORATÓRIOS DE ANÁLISES CLÍNICAS NA CIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL, RS, BRASIL, DURANTE A PANDEMIA DE CORONAVÍRUS”**, da acadêmica Maiara da Silva Soares, no dia 10 de dezembro, tendo como orientador o professor Eduardo Alexis Lobo Alcayaga.

Santa Cruz do Sul, 10 de dezembro de 2021



Ediberto de Oliveira Machado

Coordenador do Curso de Biomedicina

COORDENAÇÃO DO CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ATESTADO Nº 105/2024

Atestamos que o **Doutorando Patrik Gustavo Wiesel** participou da comissão examinadora do trabalho de conclusão de curso da acadêmica Gabriela Bertol intitulado “Estudo da Fauna do Campus da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), RS, Brasil, Utilizando Larvas da Mosca-Soldado-Negro *Hermetia Illucens* como Iscas para Armadilha Fotográfica” e apresentado no dia 08 de dezembro de 2023, às 18h, na Universidade de Santa Cruz do Sul/RS.

Santa Cruz do Sul, 06 de Fevereiro de 2024.



Prof.^a Marisa Terezinha Lopes Putzke
Coordenadora do Curso de Ciências
Biológicas.

COORDENAÇÃO DO CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ATESTADO Nº 108/2024

Atestamos que o **Doutorando Patrik Gustavo Wiesel** participou da comissão examinadora do trabalho de conclusão de curso da acadêmica Nathália de Matos Machado intitulado “Estudo das Causas Antrópicas que Determinam os Encalhes de Tartarugas Marinhas na Costa Sul do Brasil” e apresentado no dia 07 de dezembro de 2023, às 11h, na Universidade de Santa Cruzdo Sul/RS.

Santa Cruz do Sul, 06 de Fevereiro de 2024.



Prof.^a Marisa Terezinha Lopes Putzke
Coordenadora do Curso de Ciências
Biológicas.

COORDENAÇÃO DO CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ATESTADO Nº 05/2022

Atestamos que Me. Patrik Gustavo Wiesel participou da comissão examinadora do trabalho de conclusão de curso da acadêmica Daniele Martins Machado intitulado “ Levantamento Fitossociológico do Parque Municipal da Gruta, Santa Cruz do Sul, Rs ” e apresentado no dia 08 de julho de 2022, via videoconferência.

Santa Cruz do Sul, 05 de outubro de 2022.



Prof. Ms. Júlio Mateus de Melo Nascimento,
Coordenador da Comissão de Estágio.

**UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL - UNISC
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –
MESTRADO E DOUTORADO**

ATESTADO

Atesto, para os devidos fins, que o artigo "Uso de Drones no Monitoramento Ecológico", de autoria de Patrik Gustavo Wiesel, Marcos Henrique Schroeder, Elias Dresch, Gabriela Henckes Weber e Eduardo A. Lobo, foi apresentado no 2º SEMINÁRIO SUL DE INOVAÇÕES EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, evento promovido pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental - Mestrado e Doutorado, da Universidade de Santa Cruz do Sul.

Santa Cruz do Sul, 04 de abril de 2022.



Profa. Dra. Rosana de Cássia Souza Schneider
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Tecnologia Ambiental – Mestrado e Doutorado

**UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL - UNISC
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –
MESTRADO E DOUTORADO**

ATESTADO

Atesto, para os devidos fins, que Patrik Gustavo Wiesel participou, como apresentador de trabalho, do 2º SEMINÁRIO SUL DE INOVAÇÕES EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, evento promovido pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental - Mestrado e Doutorado, da Universidade de Santa Cruz do Sul.

Santa Cruz do Sul, 28 de março de 2022.



Profa. Dra. Rosana de Cássia Souza Schneider
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Tecnologia Ambiental – Mestrado e Doutorado

**UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL - UNISC
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –
MESTRADO E DOUTORADO**

ATESTADO

Atesto, para os devidos fins, que Patrik Gustavo Wiesel participou, como apresentador de trabalho, do 2º SEMINÁRIO SUL DE INOVAÇÕES EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, evento promovido pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental - Mestrado e Doutorado, da Universidade de Santa Cruz do Sul.

Santa Cruz do Sul, 28 de março de 2022.



Profa. Dra. Rosana de Cássia Souza Schneider
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Tecnologia Ambiental – Mestrado e Doutorado

Certificamos que

Patrik Gustavo Wiesel

participou como competidor do evento Hackad'água, organizado pelo projeto Living Vales em parceria com o SebraeX e realizado nos dias 06 e 07 de maio de 2023, com a carga horária de 24 horas de participação.


Leonel Tedesco
Coordenador do Living Vales

LIVING VALES

PATROCÍNIO



PHILIP MORRIS BRASIL



FINANCIAMENTO



NOVAS FAÇANHAS
NA INOVAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA

APOIO



COORDENAÇÃO DO CURSO DE BIOMEDICINA

ATESTADO

Atestamos que **Mari Angela Gaedke** e **Patrik Wiesel** atuaram como membros da banca do Trabalho de Curso de Biomedicina, intitulado **“AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DECORRENTES DE ATIVIDADES DESENVOLVIDAS POR LABORATÓRIOS DE ANÁLISES CLÍNICAS NA CIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL, RS, BRASIL, DURANTE A PANDEMIA DE CORONAVÍRUS”**, da acadêmica **Maiara da Silva Soares**, no dia 10 de dezembro, tendo como orientador o professor **Eduardo Alexis Lobo Alcayaga**.

Santa Cruz do Sul, 10 de dezembro de 2021



Ediberto de Oliveira Machado
Coordenador do Curso de Biomedicina



**UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL - UNISC
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –
MESTRADO E DOUTORADO**

ATESTADO

Atesto, para os devidos fins, que **Patrik Gustavo Wiesel** participou, como organizador e apresentador de trabalho, do 2º SEMINÁRIO SUL DE INOVAÇÕES EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, evento promovido pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental - Mestrado e Doutorado, da Universidade de Santa Cruz do Sul.

Santa Cruz do Sul, 04 de abril de 2023.

Profa. Dra. Rosana de Cássia Souza Schneider
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Tecnologia Ambiental – Mestrado e Doutorado



II MOSTRA DE EXTENSÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA UNISC

— XXVII Seminário de Iniciação Científica —
— XIII Salão de Ensino e Extensão —
— II Mostra de Pós-Graduação Stricto Sensu —
— Seminário de Inovação Tecnológica —

OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) E O FUTURO QUE QUEREMOS



CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho Estudo fitossociológico da floresta urbana do Cinturão Verde, Município de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil, de autoria de Gabriela Henckes Weber, Patrik Gustavo Wiesel, Eduardo Alexis Lobo Alcayaga e Marcos Henrique Schroeder, foi apresentado na II Mostra de Extensão, Ciência e Tecnologia da UNISC, realizado nos dias 25 a 29 de outubro de 2021.

Santa Cruz do Sul, 29 de Novembro de 2021.



Prof. Rolf Fredi Molz
Pró-Reitor Acadêmico

Código de controle do atestado: EAAE.A201.CC0B.C14B

Para validar a autenticidade <https://online.unisc.br/validardocumento>



III Mostra de Extensão, Ciência e Tecnologia

— XXVIII Seminário de Iniciação Científica —
— XIII Salão de Ensino e Extensão —
— III Mostra de Pós-Graduação Stricto Sensu —
— II Seminário de Inovação Tecnológica —



CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para a identificação e quantificação da espécie invasora *Hovenia dulcis* Thunb. em florestas da Mata Atlântica, de autoria de Gabriela Henckes Weber, Patrik Gustavo Wiesel, Eduardo A Lobo e Marcos Henrique Schroeder, foi apresentado na III Mostra de Extensão, Ciência e Tecnologia da UNISC, realizado nos dias 24 a 28 de outubro de 2022.

Santa Cruz do Sul, 21 de Novembro de 2022.



Prof. Rolf Fredi Molz
Pró-Reitor Acadêmico

Código de controle do atestado: CB30.3AEB.3D21.CE0A

Para validar a autenticidade <https://online.unisc.br/validardocumento>

CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho **ANÁLISE MULTITEMPORAL DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO UTILIZANDO IMAGENS DOS SATÉLITES LANDSAT 5 E 8 PARA OS ANOS DE 1986 E 2023**, de autoria de Bruno Deprá, Patrik Gustavo Wiesel, Marcos Henrique Schroeder e Eduardo Alcayaga Lobo, foi apresentado no 3º SEMINÁRIO SUL DE INOVAÇÕES EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, na Universidade de Santa Cruz do Sul, realizado nos dias 11 e 12 de Maio de 2023.

Santa Cruz do Sul, 22 de Maio de 2023.



Rolf Fredi Molz
Pró-Reitor Acadêmico



UNISC
UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

PRÓ-REITORIA ACADÊMICA

Código de controle do atestado: CA0B.2CA4.40BA.4E31 Para validar a autenticidade <https://online.unisc.br/validardocumento>

CERTIFICADO

Certificamos que **PATRIK GUSTAVO WIESEL** participou do 3º SEMINÁRIO SUL DE INOVAÇÕES EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, realizados no período de 11 a 12 de Maio de 2023, em Santa Cruz do Sul - RS, perfazendo um total de 13:00 horas.

Santa Cruz do Sul, 22 de Maio de 2023.



Rolf Fredi Molz
Pró-Reitor Acadêmico



UNISC
UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

PRÓ-REITORIA ACADÊMICA

Código de controle do atestado: E243.BB33.B24A.1CDA Para validar a autenticidade <https://online.unisc.br/validardocumento>

CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho IDENTIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS PARA EMPREGO DA UVA-DO-JAPÃO (HOVENIA DULCIS) EM PATENTES BRASILEIRAS, de autoria de Isabel Gruneval, Patrik Gustavo Wiesel, Liane Mahlmann Kipper e Eduardo Alcayaga Lobo, foi apresentado no 3º SEMINÁRIO SUL DE INOVAÇÕES EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, na Universidade de Santa Cruz do Sul, realizado nos dias 11 e 12 de Maio de 2023.

Santa Cruz do Sul, 22 de Maio de 2023.



Rolf Fredi Melz
Pró-Reitor Acadêmico



UNISC
UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

PRÓ-REITORIA ACADÊMICA

Código de controle do atestado: E340.D432.AB1C.0402 Para validar a autenticidade <https://online.unisc.br/validardocumento>

Palestra de Abertura da Semana do Meio Ambiente de Santa Cruz do Sul



ABERTURA

Semana do meio AMBIENTE
SANTA CRUZ DO SUL - 2023

PAINEL DE TROCAS
O Nosso Cinturão Verde e a Qualidade de Vida

Patrícia Assman

José Alberto Wenzel

Patrik Gustavo Wiesel

Inscrição Link da bio!

Palestras em escolas da Região





PODCAST
FUGA
PRA SALINHA



GAZETA

www.gaz.com.br

SANTA CRUZ DO SUL | ANO 80 | Nº 14 | R\$ 6,00 | SÁBADO E DOMINGO, 10 E 11 DE FEVEREIRO DE 2024

DO SUL **CONTA COMIGO**

Especialista em **Oncologia, Imunoterapia e Você**

O cuidado de sempre, agora em um **novo endereço**.

Rua Marechal Deodoro, 1060 - 3.º andar

AVANTTE
Oncologia Personalizada

☎ 3053 1616
@avantteoncologia



Responsável Técnico: Dr. Anderson Ferrari Loureiro / CRM 29103 / RQE 20227

TABACO

Desfecho da COP causa apreensão

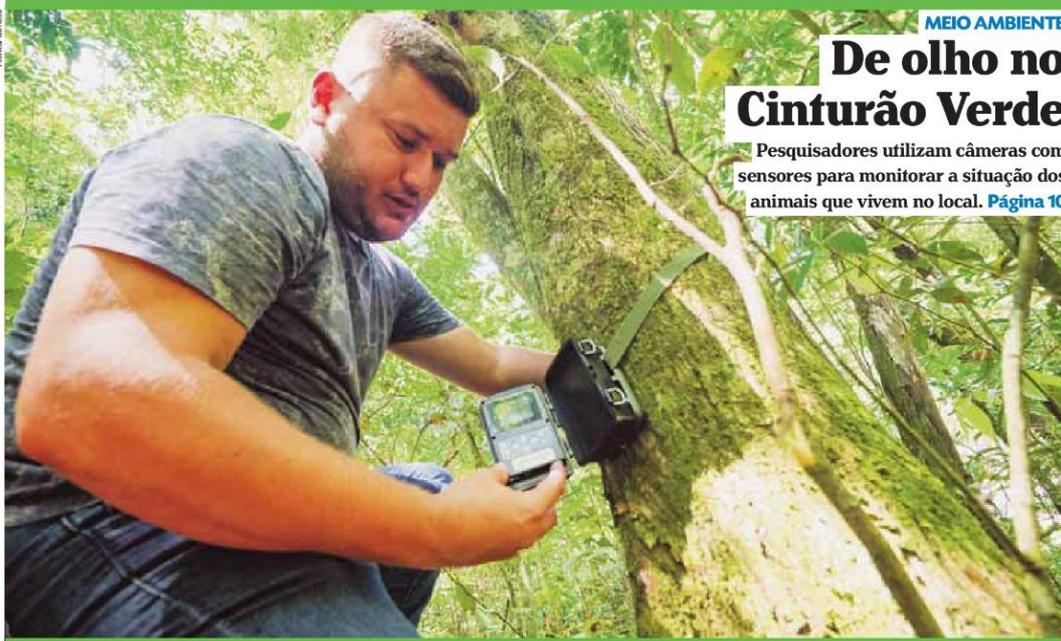
Dirigentes da cadeia produtiva que acompanham o evento no Panamá temem que o documento a ser apresentado e votado na plenária final, neste sábado, tenha mais restrições capazes de trazer impactos negativos sobre a produção e o comércio.

Página 5

MEIO AMBIENTE

De olho no Cinturão Verde

Pesquisadores utilizam câmeras com sensores para monitorar a situação dos animais que vivem no local. [Página 10](#)



Avançar de Rosa



Heloisa Corrêa
 Editora Multimídia
 heloisa@gaz.com.br

FORA DE PAUTA

Não vale a pena ler

Me comprometi a fazer este texto na última quarta-feira, porque tinha uma ótima ideia. Não anotei. Na quinta, quando decidi começar a escrever, a inspiração já havia sumido. Este texto, portanto, é sobre nada. Ou tudo. No título já tentei adverti-lo, caro leitor. Não continue pelas linhas seguintes se a expectativa estiver muito alta.

Os últimos meses têm sido assim, para falar a verdade, um pouco confusos. A virada de ano foi mera formalidade, porque a sensação que tenho é de que eu continuo em um 2023 infinito. Espero que as férias (que começam informalmente hoje e oficialmente na quarta-feira de cinzas) façam esse ciclo se fechar e 2024 começar, de fato.

Estou cansada. Quem conversou comigo recentemente já ouviu eu repetir essa frase, com certeza. Talvez seja por isso que eu nem me lembre sobre o que eu queria escrever. Mas eu prometi 3 mil caracteres, pelo menos. Ainda não passei dos mil e nem consegui decidir sobre o que vai ser este texto.

“Na verdade, o mundo é muito maior do que a bolha em que vivemos. Temos muito mais a viver e conquistar e explorar e descobrir e fracassar e aprender.”

anos, se não me engano, e precisei comprar papel higiênico pela primeira vez. Imaginem em que momento eu me dei conta disso... Antes, quando morava com meus pais, tal item nunca acabava. “E agora?”, pensei naquela hora delicada. Mas me virei e deu tudo certo, fiquem tranquilos.

E assim é em diversas situações da vida. Crescer (no sentido figurado), evoluir, demanda desafios inéditos, coisas que nunca experienciamos e somos obrigados a pensar em uma saída. Além do “e agora?”, frases como “como eu vim parar aqui?”, “o que eu faço?”, “socorro, Deus” são cada vez mais comuns. Não é fácil pra ninguém, mas anote duas dicas: abraço o desespero e entenda que ter que recomeçar não é sinônimo de fracasso.

Acho que quase nunca as coisas saem exatamente como esperamos. A frustração é a primeira a bater na porta. “Vai ficar tudo bem”, eles dizem. E eu sei disso, mas tenho o direito de sofrer. No final, sempre dá certo. A gente só demora um pouco para entender o que é o “certo”. É necessário algum esforço para tanto.

Aí você percebe que não é o final. Na verdade, o mundo é muito maior do que a bolha em que vivemos. Temos muito mais a viver e conquistar e explorar e descobrir e fracassar e aprender. Por muito tempo vivi pensando no que viria depois. Até hoje tenho um pouco de dificuldade em celebrar “onde já cheguei”. É perfeito? Definitivamente não. Mas fez quem eu sou e representa uma caminhada, uma construção incrível.

Deixando a hipocrisia de lado, confesso que não faria tudo igual. Mais que isso, a tranquilidade do aqui e agora não vai me fazer desistir da busca pelos lugares aonde ainda não cheguei, das minhas versões que ainda não conheci. Há muito por vir.

Foi isso que saiu em algumas poucas horas dedicadas a este texto, em meio à correria do dia a dia. Eu te falei, leitor, lá no título, que não valia a pena ler. Mas valeu a pena escrever.

GAZ

Leia as colunas do
 Fora de Pauta também
 em gaz.com.br

AMBIENTE

O que câmeras revelaram sobre a fauna no Cinturão

Instalação dos equipamentos foi realizada por grupo de alunos da Unisc que trabalha em pesquisa sobre a área

Lavigneia Witt
 lavigneia@gazetadosul.com.br

O corredor ecológico que margeia Santa Cruz do Sul, denominado de Cinturão Verde, está sendo monitorado por câmeras de um grupo de pesquisadores da Universidade de Santa Cruz do Sul (Unisc). A informação foi confirmada pelo doutorando em Tecnologia Ambiental Patrik Gustavo Wiesel, que junto de Bruno Deprá e do mestrando Marcos Henrique Schroeder, integra o grupo de pesquisa em Limnologia. Orientado pelo professor Eduardo Lobo, Schroeder é o principal pesquisador do projeto.

Em entrevista ao programa *Essência Interativa da Rádio Gazeta 107.9 FM*, Patrik disse que cinco câmeras com sensores de movimento foram distribuídas ao longo do Cinturão, buscando contemplar as áreas de maior interesse ecológico com influência antrópica. Porém, duas foram furtadas. “Esse é o problema de estudar ecologia den-



Patrik e Marcos Henrique integram o grupo que realiza pesquisa dentro do Cinturão Verde

tro de uma área urbana”, afirmou. Apesar do contratempo, o pesquisador disse que foi possível identificar 15 espécies de animais ameaçadas de extinção, entre elas paca, quati e bugio.

Além disso, os dispositivos flagram mamíferos, aves, répteis, filhotes e animais domésticos como gatos e cachorros. “Deixamos as câmeras nas árvores mais ou menos por um mês, depois retornamos para pegar”, explicou.

Patrik contou que o objetivo da pesquisa é identificar os vários grupos da fauna que ocorrem na área e as diferentes interações e comportamentos, além de entender como a

fauna está utilizando a uva-do-japão em sua dieta e os mecanismos de dispersão da invasora na área.

Segundo ele, o resultado foi positivo, já que foram encontrados animais saudáveis e que vivem em equilíbrio no ambiente. “Encontramos também algumas espécies que ainda não estavam registradas no município”, disse. O estudo também buscou entender como a fauna e a flora se comportam próximo das pessoas.

Patrik relatou um fato curioso: um dos equipamentos furtados estava em uma área remota do Cinturão. “Por isso, acreditamos que possa existir algo relacionado à caça.”

SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

O Cinturão Verde começa às margens da RSC-287 e se estende até o fim do Bairro Arroio Grande. A floresta urbana é formada por 155 espécies diferentes e 12 exóticas e tem ainda cerca de 300 espécies de animais, entre aves, mamíferos, répteis e anfíbios. Inclusive, na área, é possível encontrar árvores que frutificam nas diferentes estações do ano. Muitas pessoas desconhecem, mas o Cinturão oferece diversos serviços ecossistêmicos para Santa Cruz. Durante a entrevista com Ronaldo Falkenback, Patrik Gustavo Wiesel citou alguns deles.

O primeiro é a formação de um extenso corredor ecológico que possibilita o fluxo de fauna, sementes e plantas, que também auxiliam em sua manutenção. O estudo mostrou ainda que a floresta ajuda a reduzir a temperatura na cidade. Em caso de remoção do Cinturão, o aumento poderia ser de 2 a 4 graus no centro de Santa Cruz. “Ele funciona como um grande ar-condicionado que libera umidade na atmosfera, o que ajuda a manter a temperatura regulada”, explicou. Ademais, o corredor ecológico oferece um serviço paisagístico e de identidade ao município.



Marcos Schroeder enfile a câmera que reproduz as imagens dos animais em meio à floresta



Um dos equipamentos captou a imagem de um graxaim do mato no Cinturão Verde

Uva-do-japão avança e ameaça espécies no Cinturão Verde

Estudo mostra que a espécie invasora já toma conta de pelo menos 23% de toda a extensão da principal área verde de Santa Cruz

24 de outubro de 2023 15:20 | Atualizado em 24 de outubro de 2023 15:20

Por IURI FARDIN



Foto: Alencar da Rosa/Banco de Imagens



Cuidado com o Cinturão Verde é uma das prioridades

Um estudo feito por acadêmicos do programa de pós-graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Santa Cruz do Sul (Unisc) mostra que a uva-do-japão já toma conta de pelo menos 23% de toda a extensão do Cinturão Verde. A espécie exótica, nativa da Ásia, tem disseminação muito mais rápida do que as nativas da Mata Atlântica e já provoca o desaparecimento de algumas espécies.

Em entrevista à *Rádio Gazeta FM 107,9* na manhã dessa segunda-feira, 23, o doutorando responsável pelo trabalho, Patrik Gustavo Wiesel, detalhou alguns pontos. Segundo ele, a *Hovenia dulcis* (nome científico da planta) possui um comportamento invasor agressivo. Isto é, se dissemina rapidamente e provoca danos ao ecossistema onde está inserida. "Ela produz uma quantidade muito grande de sementes e, comparativamente, se reproduz muito mais rápido que a maioria das demais árvores do Cinturão Verde", explicou.

LEIA MAIS: [Impacto da uva-do-japão nas áreas florestais do Rio Pardinho é tema de estudo](#)

Disponível em: <https://www.gaz.com.br/uva-do-japao-avanca-e-ameaca-especies-no-cinturao-verde/>

CIÊNCIA

Impacto da uva-do-japão nas áreas florestais do Rio Pardinho é tema de estudo

A ideia da pesquisa surgiu a partir de observações de grupo de pesquisa da Unisc, onde foi verificada a rápida expansão da espécie invasora.

18 de outubro de 2023 15:47 | Atualizado em 18 de outubro de 2023 15:47

Por ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO DA UNISC



Dentro da programação da IV Mostra de Extensão, Ciência e Tecnologia da Universidade de Santa Cruz do Sul (Unisc), ocorrerá no dia 27 de outubro, às 19 horas, de forma virtual, a apresentação de nove trabalhos desenvolvidos por estudantes dos Programas de Pós-Graduação Stricto Sensu. A atividade integra a IV Mostra da Pós-Graduação Stricto Sensu, que tem como objetivo divulgar os Programas de Mestrado e Doutorado da instituição, por meio da apresentação de um trabalho indicado por cada programa.

Um dos estudos escolhidos tem como título *Vulnerabilidade ecológica do ecossistema florestal da bacia hidrográfica do Rio Pardinho, RS, Brasil, associada ao risco de invasão biológica pela Hovenia dulcis Thunb*, do doutorando em Tecnologia Ambiental pela Unisc, Patrik Gustavo Wiesel, com orientação do professor Eduardo Alexis Lobo Alcayaga.

LEIA TAMBÉM: [Feira de Ciências da Unisc reúne projetos de três regiões do Rio Grande do Sul](#)

Publicidade

PUBLICIDADE



Disponível em: <https://www.gaz.com.br/impacto-da-uva-do-japao-nas-areas-florestais-do-rio-pardinho-e-tema-de-estudo/>

Notícias

A Unisc

Ensino

Pesquisa

Extensão

Processo Seletivo

Inovação-Tecnounisc

Serviços Online

Serviços Comunitários

Cultura

Eventos / Certificados

Notícias

Doutorando em Tecnologia Ambiental pela Unisc estuda o impacto da uva-do-japão nas áreas florestais do Rio Pardinho

Publicado por: Bruna Lovato

Publicado em: 18/10/2023



As espécies exóticas invasoras são uma das principais impulsionadoras de mudanças na natureza, estando relacionadas com cerca de 60% das extinções de plantas e animais a nível mundial

Dentro da programação da IV Mostra de Extensão, Ciência e Tecnologia da Universidade de Santa Cruz do Sul (Unisc), ocorre no dia 27 de outubro, às 19 horas, de forma virtual, a apresentação de nove trabalhos desenvolvidos por estudantes dos Programas de Pós-Graduação Stricto Sensu. A atividade integra a IV Mostra da Pós-Graduação Stricto Sensu, que tem como objetivo divulgar os Programas de Mestrado e Doutorado da Instituição, por meio da apresentação de um trabalho indicado por cada programa.

Um dos estudos escolhidos tem como título “Vulnerabilidade ecológica do ecossistema florestal da bacia hidrográfica do rio pardinho, rs, brasil, associada ao risco de invasão biológica pela *Hovenia dulcis* Thunb”, do doutorando em Tecnologia Ambiental pela Unisc, Patrik Gustavo Wiesel, com orientação do professor Eduardo Alexis Lobo Alcayaga. Segundo ele, a ideia da pesquisa surgiu a partir de observações diretas e de dados coletados em campo pelo grupo de pesquisa em Limnologia da Unisc, onde foi verificada a rápida expansão da espécie invasora *Hovenia dulcis* (nome popular: uva-do-japão), nas áreas florestais da bacia hidrográfica.

Disponível em: <https://www.unisc.br/pt/noticias/doutorando-em-tecnologia-ambiental-pela-unisc-estuda-o-impacto-da-uva-do-japao-nas-areas-florestais-do-rio-pardinho>

E-book: Cinturão Verde – preservação e qualidade de vida



Disponível em:

<https://drive.google.com/file/d/1VMoN0txQsf84TkJRDubXshS4qBUCyS8C/view?usp=sharing>

VÍDEO: Rio Pardinho tem assoreamento detectado; entenda a situação

Queda de margem ocorreu entre Santa Cruz e Vera Cruz e foi descoberta por pesquisadores; saiba o que dizem as autoridades

5 de março de 2024 11:41 | Atualizado em 5 de março de 2024 11:41

Por LAVIGNEA WITT



A partir de um trabalho de campo, um grupo de pesquisadores da Universidade de Santa Cruz do Sul (Unisc) encontrou um problema de queda de margem e assoreamento no Rio Pardinho. A área, que fica entre Santa Cruz do Sul e Vera Cruz, estava sendo estudada e monitorada por Patrik Gustavo Wiesel, Bruno Deprá e Marcos Henrique Schroeder, integrantes do grupo de pesquisa em Limnologia, orientado pelo professor Eduardo Lobo.

Segundo Wiesel, a situação é pontual, mas pode ocorrer em outras áreas do Pardinho. “Esse problema é decorrente do déficit de vegetação da Área de Preservação Permanente (APP) do rio”, explica. Ele ressaltou que as vegetações estão drasticamente reduzidas em muitas áreas ao longo do rio. “Combinando esse fato com as chuvas volumosas que a região enfrentou, veio o problema”, acrescentou. Além disso, o ponto formou uma barragem e vem acumulando galhos e resíduos.

Disponível em: <https://www.gaz.com.br/video-rio-pardinho-tem-assoreamento-detectado-entenda-a-situacao/>

REFERÊNCIAS

- Abuzaid, A. S., AbdelRahman, M. A., Fadl, M. E., & Scopa, A. (2021). Land degradation vulnerability mapping in a newly-reclaimed desert oasis in a hyper-arid agro-ecosystem using AHP and geospatial techniques. *Agronomy*, 11(7), 1426.
- Adorno, B. V., Körting, T. S., & Amaral, S. (2023). Contribution of time-series data cubes to classify urban vegetation types by remote sensing. *Urban Forestry & Urban Greening*, 79, 127817.
- Agrillo, E., Filipponi, F., Pezzarossa, A., Casella, L., Smiraglia, D., Orasi, A., ... & Taramelli, A. (2021). Earth observation and biodiversity big data for forest habitat types classification and mapping. *Remote Sensing*, 13(7), 1231.
- Ahmed, N., Atzberger, C., & Zewdie, W. (2021). Species Distribution Modelling performance and its implication for Sentinel-2-based prediction of invasive *Prosopis juliflora* in lower Awash River basin, Ethiopia. *Ecological Processes*, 10(1), 1-16.
- Albertini, C., Gioia, A., Iacobellis, V., & Manfreda, S. (2022). Detection of surface water and floods with multispectral satellites. *Remote Sensing*, 14(23), 6005.
- Albuquerque Azevedo, H. A. M., & Barbosa, R. P. (2011). Gestão de recursos hídricos no Distrito Federal: uma análise da gestão dos Comitês de Bacias Hidrográficas. *Ateliê Geográfico*, 5(1), 162-182.
- Amorim, A. T., Sousa, J. A. P., & Lourenço, R. W. (2019). Indicador dos estágios de sucessão de fragmentos florestais do bioma Mata Atlântica. *Revista Brasileira de Cartografia*, 71(3), 756-780.
- Araldi, D. B. (2011). Interferência alelopática de extratos de *Hovenia dulcis* Thunb. na germinação e crescimento inicial de plântulas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan (Doctoral dissertation, Universidade Federal de Santa Maria).
- Banerjee, S., Das, A., Rahman, M., Bhowal, S., Das, D., & John, R. (2023). Grass fires and road structure influence plant invasions in a critical wildlife habitat in north-eastern India. *Environmental Conservation*, 1-9.
- Behm, J. E., Ellers, J., Jesse, W. A., Tran, T. J., & Helmus, M. R. (2023). Predicting and quantifying coexistence outcomes between resident and invading species using trait and abundance data. *bioRxiv*, 2023-01.
- Bellingham, P. J., Tanner, E. V., Martin, P. H., Healey, J. R., & Burge, O. R. (2018). Endemic trees in a tropical biodiversity hotspot imperilled by an invasive tree. *Biological Conservation*, 217, 47-53.
- Bergamin, R. S., Gama, M., Almerão, M., Hofmann, G. S., & Anastácio, P. M. (2022). Predicting current and future distribution of *Hovenia dulcis* Thunb. (Rhamnaceae) worldwide. *Biological Invasions*, 24(7), 2229-2243.
- Beroya-Eitner, M. A. (2016). Ecological vulnerability indicators. *Ecological indicators*, 60, 329-334.
- Biasi, C., Fontana, L. E., Restello, R. M., & Hepp, L. U. (2020). Effect of invasive *Hovenia dulcis* on microbial decomposition and diversity of hyphomycetes in Atlantic forest streams. *Fungal Ecology*, 44, 100890.

- Bueno Garcia, B. A. (2019). Competition for nitrogen between native woody seedlings and invasive plants under abiotic stress (Doctoral dissertation).
- Brancatelli, G. I., Amodeo, M. R., & Zalba, S. M. (2022). Demographic model for Aleppo pine invading Argentinean grasslands. *Ecological Modelling*, 473, 110143.
- Briscoe Runquist, R. D., Lake, T., Tiffin, P., & Moeller, D. A. (2019). Species distribution models throughout the invasion history of Palmer amaranth predict regions at risk of future invasion and reveal challenges with modeling rapidly shifting geographic ranges. *Scientific Reports*, 9(1), 1-12.
- Cai, X., Li, Z., & Liang, Y. (2021). Tempo-spatial changes of ecological vulnerability in the arid area based on ordered weighted average model. *Ecological Indicators*, 133, 108398.
- Campagnaro, T., Brundu, G., Burrascano, S., Celesti-Grapow, L., La Mantia, T., Sitzia, T., & Badalamenti, E. (2022). Tree invasions in Italian forests. *Forest Ecology and Management*, 521, 120382.
- Carvalho, A. T. F. (2020). Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, 1(42), 140-161.
- Chikowore, G., Steenhuisen, S. L., Mutamiswa, R., Martin, G. D., & Chidawanyika, F. (2021). Integration of invasive tree, black locust, into agro-ecological flower visitor networks induces competition for pollination services. *Arthropod-Plant Interactions*, 15(5), 787-796.
- Chughtai, A. H., Abbasi, H., & Karas, I. R. (2021). A review on change detection method and accuracy assessment for land use land cover. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22, 100482.
- Dakhil, M. A., El-Keblawy, A., El-Sheikh, M. A., Halmy, M. W. A., Ksiksi, T., & Hassan, W. A. (2021). Global invasion risk assessment of *Prosopis juliflora* at biome level: Does soil matter?. *Biology*, 10(3), 203.
- D'Antonio, C., & Flory, S. L. (2017). Long-term dynamics and impacts of plant invasions. *Journal of Ecology*, 105(6), 1459-1461.
- De Lange, H. J., Sala, S., Vighi, M., & Faber, J. H. (2010). Ecological vulnerability in risk assessment—A review and perspectives. *Science of the total environment*, 408(18), 3871-3879.
- Dinis, M., Vicente, J. R., César de Sá, N., López-Núñez, F. A., Marchante, E., & Marchante, H. (2020). Can niche dynamics and distribution modeling predict the success of invasive species management using biocontrol? Insights from *Acacia longifolia* in Portugal. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 576667.
- Durakovic, E. (2022). Predicting Climate Using Aerial Imagery. *Journal of Student Research*, 11(4).
- Dyderski, M. K., & Jagodziński, A. M. (2020). Impact of invasive tree species on natural regeneration species composition, diversity, and density. *Forests*, 11(4), 456.

- Early, R., Rwomushana, I., Chipabika, G., & Day, R. (2022). Comparing, evaluating and combining statistical species distribution models and CLIMEX to forecast the distributions of emerging crop pests. *Pest Management Science*, 78(2), 671-683.
- Fang, W., & Wang, X. (2020). A field experimental study on the impact of *Acer platanoides*, an urban tree invader, on forest ecosystem processes in North America. *Ecological processes*, 9, 1-15.
- Fernandes, F. D. M., Collares, G. L., & Corteletti, R. (2021). A água como elemento de integração transfronteiriça: o caso da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo. *Estudos Avançados*, 35, 59-77.
- Fetter, D., Dörr, D. S., Moraes, J. A. R., Putzke, J., & Lobo, E. A. (2020). Methodology proposed for photogrammetric monitoring of the exotic species *Hovenia dulcis* Thunb. in the Green Belt area surrounding the city of Santa Cruz do Sul, RS, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 1-8.
- Fremout, T., Thomas, E., Gaisberger, H., Van Meerbeek, K., Muenchow, J., Briers, S., ... & Muys, B. (2020). Mapping tree species vulnerability to multiple threats as a guide to restoration and conservation of tropical dry forests. *Global Change Biology*, 26(6), 3552-3568.
- Frost, C. M., Allen, W. J., Courchamp, F., Jeschke, J. M., Saul, W. C., & Wardle, D. A. (2019). Using network theory to understand and predict biological invasions. *Trends in ecology & evolution*, 34(9), 831-843.
- Gampe, D., Zscheischler, J., Reichstein, M., O'Sullivan, M., Smith, W. K., Sitch, S., & Buermann, W. (2021). Increasing impact of warm droughts on northern ecosystem productivity over recent decades. *Nature Climate Change*, 11(9), 772-779.
- Gao, J., Wang, Y., Zou, C., Xu, D., Lin, N., Wang, L., & Zhang, K. (2020). China's ecological conservation redline: A solution for future nature conservation. *Ambio*, 49, 1519-1529.
- Goes Filho, S. S., & Navegantes, B. (2015). *Diplomatas: um ensaio sobre a formação das fronteiras no Brasil*. Brasília: Funag.
- Gómez-Undiano, I., Musavi, F., Mushobozi, W. L., David, G. M., Day, R., Early, R., & Wilson, K. (2022). Predicting potential global and future distributions of the African armyworm (*Spodoptera exempta*) using species distribution models. *Scientific Reports*, 12(1), 16234.
- Guo, B., Zang, W., & Luo, W. (2020). Spatial-temporal shifts of ecological vulnerability of Karst Mountain ecosystem-impacts of global change and anthropogenic interference. *Science of the Total Environment*, 741, 140256.
- He, L., Shen, J., & Zhang, Y. (2018). Ecological vulnerability assessment for ecological conservation and environmental management. *Journal of environmental management*, 206, 1115-1125.
- Heinrich, C. G., Leal, V. L., Düpont, M. S. A., & Lobo, E. A. (2014). Epilithic diatoms in headwater areas of the hydrographical sub-basin of the Andreas Stream, RS, Brazil, and their relation with eutrophication processes. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 26, 347-355.

Holden, P. B., Rebelo, A. J., & New, M. G. (2021). Mapping invasive alien trees in water towers: A combined approach using satellite data fusion, drone technology and expert engagement. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 21, 100448.

Hórus (2023). Disponível em: <http://bd.institutohorus.org.br>. Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras. Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, Florianópolis – SC. Acesso em 12 de janeiro de 2023.

Huang, C., Zhou, Z., Peng, C., Teng, M., & Wang, P. (2019). How is biodiversity changing in response to ecological restoration in terrestrial ecosystems? A meta-analysis in China. *Science of the Total Environment*, 650, 1-9.

Hubble, T. C. T., Docker, B. B., & Rutherford, I. D. (2010). The role of riparian trees in maintaining riverbank stability: a review of Australian experience and practice. *Ecological Engineering*, 36(3), 292-304.

Huggins, X., Gleeson, T., Kummu, M., Zipper, S. C., Wada, Y., Troy, T. J., & Famiglietti, J. S. (2022, May). Vulnerable basins for global prioritisation: Hotspots for social and ecological impacts from freshwater stress and freshwater storage loss. In EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EGU22-10611).

Huylenbroeck, L., Laslier, M., Dufour, S., Georges, B., Lejeune, P., & Michez, A. (2020). Using remote sensing to characterize riparian vegetation: A review of available tools and perspectives for managers. *Journal of environmental management*, 267, 110652.

Iqbal, M. F., Liu, M. C., Iram, A., & Feng, Y. L. (2020). Effects of the invasive plant *Xanthium strumarium* on diversity of native plant species: A competitive analysis approach in North and Northeast China. *Plos one*, 15(11), e0228476.

Jarić, I., Heger, T., Monzon, F. C., Jeschke, J. M., Kowarik, I., McConkey, K. R., ... & Essl, F. (2019). Crypticity in biological invasions. *Trends in ecology & evolution*, 34(4), 291-302.

Jones, M. S., & Niemiec, R. M. (2023). Motivating relational organizing behavior for biodiversity conservation. *Conservation Science and Practice*, e12880.

Kalisz, S., Kivlin, S. N., & Bialic-Murphy, L. (2021). Allelopathy is pervasive in invasive plants. *Biological Invasions*, 23, 367-371.

Klamt, R. A., Lobo, E. A., Costa, A. B. D., & Delevati, D. M. (2019). Evaluation of water resource preservation areas in the Hydrographical Basin of Andreas Stream, RS, Brazil, using environmental monitoring programs. *Revista Ambiente & Água*, 14.

Klein, R. W., Koeser, A. K., Hauer, R. J., Hansen, G., & Escobedo, F. J. (2019). Risk assessment and risk perception of trees: A review of literature relating to arboriculture and urban forestry. *Arboric. Urban For*, 45(1), 26-38.

Kling, M. M., Auer, S. L., Comer, P. J., Ackerly, D. D., & Hamilton, H. (2020). Multiple axes of ecological vulnerability to climate change. *Global Change Biology*, 26(5), 2798-2813.

Kuester, P. F., Wiesel, P. G., & Lobo, E. (2022). Frugivorous diet and food availability of *Cerdocyon thous* and *Lycalopex gymnocercus* in the Serra do Sudeste Region, RS, Brazil.

- Lazzarin, L. C., Silva, A. C. D., Higuchi, P., Souza, K., Perin, J. E., & Cruz, A. P. (2015). Biological invasion by *Hovenia dulcis* Thunb. in forest fragments in upper-Uruguay region, Brazil. *Revista Árvore*, 39, 1007-1017.
- Léandri-Breton, D. J., & Bêty, J. (2020). Vulnerability to predation may affect species distribution: plovers with broader arctic breeding range nest in safer habitat. *Scientific Reports*, 10(1), 1-8.
- Li, Q., Shi, X., & Wu, Q. (2021). Effects of protection and restoration on reducing ecological vulnerability. *Science of The Total Environment*, 761, 143180.
- Li, J., Wong, M. S., Lee, K. H., Nichol, J., & Chan, P. W. (2021). Review of dust storm detection algorithms for multispectral satellite sensors. *Atmospheric Research*, 250, 105398.
- Li, J., Fabina, NS, Knapp, DE e Asner, GP (2020). A sensibilidade dos sensores multiespectrais de satélite às mudanças no habitat bentônico. *Sensoriamento Remoto*, 12 (3), 532.
- Lima, R. E. M. D. (2013). Dispersão de sementes de *Hovenia dulcis* Thunb. (Rhamnaceae) - uma espécie invasora em área de floresta estacional decidual.
- Linders, T. E. W., Schaffner, U., Eschen, R., Abebe, A., Choge, S. K., Nigatu, L., ... & Allan, E. (2019). Direct and indirect effects of invasive species: Biodiversity loss is a major mechanism by which an invasive tree affects ecosystem functioning. *Journal of Ecology*, 107(6), 2660-2672.
- Liu, C., Zhang, X., Wang, T., Chen, G., Zhu, K., Wang, Q., & Wang, J. (2022). Detection of vegetation coverage changes in the Yellow River Basin from 2003 to 2020. *Ecological Indicators*, 138, 108818.
- Lobo, E. A. Heinrich, C. G., Schuch, M., Dupont, A., Da Costa, A. B., Wetzel, C. E., Ector, L. (2016). Índice trófico de qualidade da água: guia ilustrado para sistemas lóticos subtropicais e temperados brasileiros. - Santa Cruz do Sul: EDUNISC.
- Lunetta, R. S., Knight, J. F., Ediriwickrema, J., Lyon, J. G., & Worthy, L. D. (2022). Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. In *Geospatial Information Handbook for Water Resources and Watershed Management, Volume II* (pp. 65-88). CRC Press.
- Luque, G. M., Bellard, C., Bertelsmeier, C., Bonnaud, E., Genovesi, P., Simberloff, D., & Courchamp, F. (2014). The 100th of the world's worst invasive alien species. *Biological Invasions*, 16(5), 981-985.
- Magnago, L. F. S., Magrach, A., Barlow, J., Schaefer, C. E. G. R., Laurance, W. F., Martins, S. V., & Edwards, D. P. (2017). Do fragment size and edge effects predict carbon stocks in trees and lianas in tropical forests?. *Functional Ecology*, 31(2), 542-552.
- Malamiri, H. R. G., Aliabad, F. A., Shojaei, S., Morad, M., & Band, S. S. (2021). A study on the use of UAV images to improve the separation accuracy of agricultural land areas. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 106079.
- Matos, F. A., Edwards, D. P., S. Magnago, L. F., Heringer, G., Viana Neri, A., Buttschardt, T., ... & A. Meira-Neto, J. A. (2023). Invasive alien acacias rapidly stock

carbon, but threaten biodiversity recovery in young second-growth forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 378(1867), 20210072.

Mello, K., Taniwaki, R. H., de Paula, F. R., Valente, R. A., Randhir, T. O., Macedo, D. R., Leal, C. G., Rodrigues, B. C., & Hughes, R. M. (2020). Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management*, 270, 110879.

Melo, N. A., Delevati, D. M., da Costa, A. B., & Lobo, E. A. (2021). The use of phytosociology to evaluate the efficiency of headwater preservation areas in the Andreas Stream Hydrographic Basin, RS, Brazil. *Ecological Indicators*, 129, 107904.

Moyano, J., Zamora-Nasca, L. B., Caplat, P., Díaz, P. G., Langdon, B., Lambin, X., ... & Nuñez, M. A. (2023). Predicting the impact of invasive trees from different measures of abundance. *Journal of Environmental Management*, 325, 116480.

Nuñez, M. A., Davis, K. T., Dimarco, R. D., Peltzer, D. A., Paritsis, J., Maxwell, B. D., & Pauchard, A. (2021). Should tree invasions be used in treeless ecosystems to mitigate climate change?. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 19(6), 334-341.

Oberle, B., Covey, K. R., Dunham, K. M., Hernandez, E. J., Walton, M. L., Young, D. F., & Zanne, A. E. (2018). Dissecting the effects of diameter on wood decay emphasizes the importance of cross-stem conductivity in *Fraxinus americana*. *Ecosystems*, 21, 85-97.

Ofosu, S. A., Adjei, K. A., & Odai, S. N. (2020). Ecological vulnerability of the Densu river Basin due to land use change and climate variability. *Cogent Engineering*, 7(1), 1735714.

Ojunga, S. O., Nyakinda, J. O., Okuto, E., & Mullah, J. A. (2020). Extensions of Lefkovich matrix for modeling invasive *Cestrum aurantiacum* population Dynamics.

Pace, G., Gutiérrez-Cánovas, C., Henriques, R., Carvalho-Santos, C., Cássio, F., & Pascoal, C. (2022). Remote sensing indicators to assess riparian vegetation and river ecosystem health. *Ecological Indicators*, 144, 109519.

Padilha, D. L., Loregian, A. C., & Budke, J. C. (2015). Forest fragmentation does not matter to invasions by *Hovenia dulcis*. *Biodiversity and Conservation*, 24, 2293-2304.

Padró, J. C., Muñoz, F. J., Planas, J., & Pons, X. (2019). Comparison of four UAV georeferencing methods for environmental monitoring purposes focusing on the combined use with airborne and satellite remote sensing platforms. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 75, 130-140.

Polykretis, C., Grillakis, M. G., & Alexakis, D. D. (2020). Exploring the impact of various spectral indices on land cover change detection using change vector analysis: A case study of Crete Island, Greece. *Remote Sensing*, 12(2), 319.

BPBES (2024). Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. Invasões biológicas geram um prejuízo anual de USD 2 a 3 bilhões à economia do país. Disponível em: <https://www.bpbes.net.br/invasoes-biologicas-geram-um-prejuizo-anual-de-usd-2-a-3-bilhoes-a-economia-do-pais/>

Rehman, S., Hasan, M. S. U., Rai, A. K., Avtar, R., & Sajjad, H. (2021). Assessing flood-induced ecological vulnerability and risk using GIS-based in situ measurements in Bhagirathi sub-basin, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-17.

- Reinhart, K. O., & Callaway, R. M. (2006). Soil biota and invasive plants. *New phytologist*, 170(3), 445-457.
- Romanelli, J. P., Meli, P., Santos, J. P. B., Jacob, I. N., Souza, L. R., Rodrigues, A. V., ... & Rodrigues, R. R. (2022). Biodiversity responses to restoration across the Brazilian Atlantic Forest. *Science of The Total Environment*, 821, 153403.
- Schmidt, A. D., Castellani, T. T., & de Sá Dechoum, M. (2020). Biotic and abiotic changes in subtropical seasonal deciduous forest associated with invasion by *Hovenia dulcis* Thunb. (Rhamnaceae). *Biological Invasions*, 22, 293-306.
- Shi, H., Lu, J., Zheng, W., Sun, J., Li, J., Guo, Z., ... & Ding, D. (2020). Evaluation system of coastal wetland ecological vulnerability under the synergetic influence of land and sea: A case study in the Yellow River Delta, China. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111735.
- Schüßler, D., Mantilla-Contreras, J., Stadtmann, R., Ratsimbazafy, J. H., & Radespiel, U. (2020). Identification of crucial stepping stone habitats for biodiversity conservation in northeastern Madagascar using remote sensing and comparative predictive modeling. *Biodiversity and Conservation*, 29, 2161-2184.
- Silva, M., Pennino, M., & Lopes, P. (2019). Social-ecological trends: managing the vulnerability of coastal fishing communities. *Ecology and Society*, 24(4).
- Slama, C. C. (1980). *Manual of Photogrammetry* (No. 526.982 S1129m Ej. 1 003672). America Society of Photogrammetry.
- Solfiyeni, S., Syamsuardi, S., Chairul, C., & Mukhtar, E. (2022). Impacts of invasive tree species *Bellucia pentamera* on plant diversity, microclimate and soil of secondary tropical forest in West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(6).
- SOS Mata Atlântica (2018). *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, Relatório Técnico*. Disponível em: https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Atlas-mata-atlantica_17-18.pdf.
- Srivastava, A., Singhal, A., & Jha, P. K. (2022). Geospatial technology for sustainable management of water resources. In *Ecological Significance of River Ecosystems* (pp. 105-132). Elsevier.
- Sun, Z., Liu, Y., & Sang, H. (2023). Spatial-Temporal Variation and Driving Factors of Ecological Vulnerability in Nansi Lake Basin, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2653.
- Teixeira, L. H., Yannelli, F. A., Ganade, G., & Kollmann, J. (2020). Functional diversity and invasive species influence soil fertility in experimental grasslands. *Plants*, 9(1), 53.
- Teodoro, V. L. I., Teixeira, D., Costa, D. J. L., & Fuller, B. B. (2007). O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista Brasileira Multidisciplinar-ReBraM*, 11(1), 137-156.
- Tomat-Kelly, G., & Flory, S. L. (2022). Research gaps limit understanding of invasion-fire cycles. *Biological Invasions*, 1-19.
- UNESCO (2009). *World Water Assessment Programme. "Introduction to the IWRM Guidelines at River Basin Level."* Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001850/185074e.pdf>. Acesso em 17 de junho de 2020.

- Wang, C. J., Li, Q. F., & Wan, J. Z. (2019). Potential invasive plant expansion in global ecoregions under climate change. *PeerJ*, 7, e6479.
- Wang, X., Liu, Z., Xiong, K., He, Q., Li, Y., & Li, K. (2022). Characteristics and controlling factors of soil dissolved organic matter in the rainy season after vegetation restoration in a karst drainage area, South China. *Catena*, 217, 106483.
- Wang, C., Chen, Q., Fan, H., Yao, C., Sun, X., Chan, J., & Deng, J. (2021). Evaluating satellite hyperspectral (Orbita) and multispectral (Landsat 8 and Sentinel-2) imagery for identifying cotton acreage. *International Journal of Remote Sensing*, 42(11), 4042-4063.
- Wiesel, P., Dresch, E., Santana, E., & Lobo, E. (2018). Avaliação da qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Arroio Preto, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. *Caderno de Pesquisa*, 30.
- Wu, W. (2014). The generalized difference vegetation index (GDVI) for dryland characterization. *Remote Sensing*, 6(2), 1211-1233.
- Wu, X., Zhu, C., Yu, J., Zhai, L., Zhang, H., Yang, K., & Hou, X. (2022). Ecological Vulnerability in the Red Soil Erosion Area of Changting under Continuous Ecological Restoration: Spatiotemporal Dynamic Evolution and Prediction. *Forests*, 13(12), 2136.
- Wu, T., Zhu, L. J., Shen, S., Zhu, A. X., Shi, M., & Qin, C. Z. (2023). Identification of watershed priority management areas based on landscape positions: An implementation using SWAT+. *Journal of Hydrology*, 619, 129281.
- Yuguda, T. K., Wu, Y., Leng, Z., Gao, G., Li, G., Dai, Z., ... & Du, D. (2022). Impact of *Spartina alterniflora* invasion on evapotranspiration water loss in *Phragmites australis* dominated coastal wetlands of east China. *Ecological Engineering*, 179, 106605.
- Zancanela, D. A. I., Ferreira, D. H. L., do Carmo, L. A. G., Silva, M. L. D., & Sugahara, C. R. (2022, July). Study of Sustainability Indicators for Environmental Management in Hydrographic Basins. In *Proceedings of the 7th Brazilian Technology Symposium (BTSym'21) Emerging Trends in Human Smart and Sustainable Future of Cities (Volume 1)* (pp. 44-55). Cham: Springer International Publishing.
- Zenni, R. D., de Sá Dechoum, M., & Ziller, S. R. (2016). Dez anos do informe brasileiro sobre espécies exóticas invasoras: avanços, lacunas e direções futuras. *Biotemas*, 29(1), 133-153.
- Zhai, H., Cui, B., Hu, B., Wei, G., & Liu, S. (2007). Regional ecosystem changes under different cascade hydropower dam construction scenarios in the LRGR. *Chinese Science Bulletin*, 52, 106-114.
- Zhang, F. X., Wang, C. J., & Wan, J. Z. (2022). Using Consensus Land Cover Data to Model Global Invasive Tree Species Distributions. *Plants*, 11(7), 981.
- Zhang, P., Li, B., Wu, J., & Hu, S. (2019). Invasive plants differentially affect soil biota through litter and rhizosphere pathways: a meta-analysis. *Ecology Letters*, 22(1), 200-210.
- Zhang, Q., Wang, G., Yuan, R., Singh, V. P., Wu, W., & Wang, D. (2022). Dynamic responses of ecological vulnerability to land cover shifts over the Yellow River Basin, China. *Ecological Indicators*, 144, 109554.

- Zhang, V. M., & Kotanen, P. M. (2023). Development of negative soil feedback by an invasive plant near the northern limit of its invaded range.
- Zhao, C. Y., Liu, Y. Y., Shi, X. P., & Wang, Y. J. (2020). Effects of soil nutrient variability and competitor identify on growth and co-existence among invasive alien and native clonal plants. *Environmental Pollution*, 261, 113894.
- Zheng, Y., Wang, S., Cao, Y., Shi, J., Qu, Y., Li, L., ... & Gong, P. (2021). Assessing the ecological vulnerability of protected areas by using Big Earth Data. *International Journal of Digital Earth*, 14(11), 1624-1637.
- Zeng, L., Wardlow, BD, Xiang, D., Hu, S. e Li, D. (2020). Uma revisão da extração de métricas fenológicas da vegetação usando dados de satélite multiespectrais de séries temporais. *Sensoriamento Remoto do Meio Ambiente* , 237 , 111511.
- Zhou, W., Xiang, S., Shi, Y., Xu, X., Lu, H., Ou, W., & Yang, J. (2022). Invasive Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Increases Methane Emissions from a Subtropical Lake in the Yangtze River in China. *Diversity*, 14(12), 1036.
- Zou, T., Chang, Y., Chen, P., & Liu, J. (2021). Spatial-temporal variations of ecological vulnerability in Jilin Province (China), 2000 to 2018. *Ecological Indicators*, 133, 108429.