

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA EDUCAÇÃO - FAED
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO TERRITORIAL E
DESENVOLVIMENTO SOCIO AMBIENTAL - PPGPLAN

CARLA LUCIANE LIMA

CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS VANT PARA DISCRIMINAR A ESPÉCIE
“HOVENIA DULCIS” NO PARQUE ESTADUAL FRITZ PLAUMANN EM SANTA
CATARINA

FLORIANÓPOLIS

2022

CARLA LUCIANE LIMA

**CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS VANT PARA DISCRIMINAR A ESPÉCIE
“HOVENIA DULCIS” NO PARQUE ESTADUAL FRITZ PLAUMANN EM SANTA
CATARINA**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito para obtenção do título de doutora, área de concentração Análise e Gestão Ambiental.

Orientação: Prof^o. Dr^o. Francisco Henrique de Oliveira

Coorientação: Prof^o. Dr^o Marcos Benedito Shimalski

FLORIANÓPOLIS

2022

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do FAED/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Lima, Carla Luciane
CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS VANT PARA
DISCRIMINAR A ESPÉCIE ?HOVENIA DULCIS? NO PARQUE
ESTADUAL FRITZ PLAUMANN EM SANTA CATARINA /
Carla Luciane Lima. -- 2022.
179 p.

Orientador: Francisco Henrique de Oliveira
Coorientador: Marcos Benedito Shimalski
Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Humanas e da Educação, Programa de
Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento
Socioambiental, Florianópolis, 2022.

1. Espécie Exótica Invasora. 2. Sensoriamento Remoto. 3.
Unidade de Conservação. I. Oliveira, Francisco Henrique de. II.
Shimalski, Marcos Benedito. III. Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Humanas e da Educação, Programa de
Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento
Socioambiental. IV. Título.

CARLA LUCIANE LIMA

**DETECÇÃO REMOTA E ANÁLISE ESPACIAL DA DISTRIBUIÇÃO DE HOVENIA
DULCIS NO PARQUE ESTADUAL FRITZ PLAUMANN EM SANTA CATARINA**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento territorial e Desenvolvimento Socioambiental da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito para obtenção do título de doutora, área de concentração Análise e Gestão Ambiental.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

MEMBROS:

Prof. Dr. Carlos Antônio Oliveira Vieira

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof^a. Dr^a. María Silvia Pardi Lacruz

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Prof. Dr. Antônio Gonçalves de Oliveira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Prof^a. Dr^a. Vera Lúcia Nehls Dias

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Florianópolis, 23 de Junho de 2022.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que permitiu a realização de mais essa etapa na minha vida.

Ao meu companheiro Cosme, sempre parceiro neste reencontro carbônico da vida, meu grande incentivador, sempre disposto e sempre me fazendo ver o que de melhor a vida oferece.

À minha família por ser minha base, por todo apoio, amor e carinho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira e meu co-orientador Prof. Dr. Marcos Benedito Shimalski, por todo o suporte durante o Doutorado, repassando o conhecimento, tendo sempre a paciência e a sabedoria dos grandes mestres.

À minha amiga e colega de profissão Camile Sothe pelo incentivo, ensinamentos, pela grande parceria e apoio para realização dessa pesquisa.

Aos amigos e colegas da UDESC, em especial ao gaudério Felipe Alves, que nunca mediu esforços, sempre disposto e amigo e a Gabriela Oliveira pela realização do primeiro voo no Parque.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pela concessão da bolsa e aporte financeiro para a pesquisa.

À Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), que me acolheu desde a graduação até o doutorado, sempre oferecendo um ensino público e de qualidade.

E ao Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA) e a ECOPEF pelo apoio nos levantamentos de campo e realização dos voos no Parque Estadual Fritz Plaumann.

RESUMO

O meio natural vem passando ao longo do tempo por alterações resultantes de um modelo de desenvolvimento praticado pelo homem o qual tem gerado conflitos com a natureza. Nesse contexto, a disseminação de plantas exóticas invasoras causam impactos bióticos e abióticos e interferem na conservação da biodiversidade e carecem de estudos mais aprofundados. O objetivo desta pesquisa foi identificar remotamente a espécie arbórea exótica invasora *Hovenia dulcis* no Parque Estadual Fritz Plaumann, município de Concórdia – Santa Catarina, por meio de imagens de alta resolução espacial utilizando sensores RGB e multiespectral (contendo as bandas R, G, NIR, RedEdge e o índice NDVI), em períodos fenológicos distintos, com auxílio de Veículo Aéreo Não Tripulado. A classificação foi realizada com a aplicação dos algoritmos supervisionados *Nearest Neighbor* (NN) e *Maximum Likelihood Classification* (MLC) para o ortomosaico RGB obtido no período fenológico de frutificação e senescência de folhas no ano de 2019 e do algoritmo supervisionado *Random Forest* (RF) e do semi-supervisionado *One Class Support Vector Machine* (OCSVM) para os ortomosaicos multiespectrais obtidos em 2 períodos, sendo o primeiro de brotação, no ano de 2019 e o segundo de frutificação e senescência de folhas, no ano de 2021. Para a classificação o ortomosaico RGB, baseado na observação e reconhecimento a campo da área de estudo e com auxílio visual do próprio ortomosaico RGB, considerando sua alta resolução espacial, foram amostradas 7 classes (Estradas, Estruturas físicas, *Hovenia dulcis*, Vegetação arbórea, Vegetação herbácea/arbustiva, Sombra e Fundo) e extraídos 3 conjuntos de atributos. Já para ambos os ortomosaicos multiespectrais foram extraídos 10 conjuntos de atributos, sendo que para aplicação do RF, foram amostradas as mesmas classes do ortomosaico RGB, sendo excluída apenas a classe “fundo” (amostrando, portanto, 6 classes) e para o OCSVM apenas amostras da classe *Hovenia dulcis*. Os algoritmos que apresentaram acurácia mais elevada foram o NN, aplicado ao ortomosaico RGB, correspondente ao período fenológico de frutificação e senescência de folhas, com OA 97% e Kappa de 0,95, seguido do RF, aplicado ao ortomosaico multiespectral, correspondente ao período fenológico de frutificação e senescência de folhas, com OA 91% e Kappa de 0,89 e OCSVM, também aplicado ao ortomosaico multiespectral, correspondente ao período fenológico de frutificação e senescência de folhas, com OA 96% e Kappa de 0,83. No entanto, em função do algoritmo OCSVM requerer amostras de treinamento somente da classe de interesse, entende-se que ele pode ser o mais adequado para detecção remota da espécie *Hovenia dulcis*, desde que considerado o período fenológico de frutificação e senescência de folhas, em que a espécie

apresenta diferenciação de tonalidade se comparada às demais. Dessa forma, o uso do algoritmo OCSVM pode ser o mais adequado e viável, permitindo a redução de esforços de amostragem e de custos. A metodologia aplicada nesta pesquisa para detecção da espécie *Hovenia dulcis* pode se configurar como uma alternativa a ser utilizada por gestores ambientais de unidades de conservação, especialmente para o Parque Estadual Fritz Plaumann, que reconhecidamente possui um considerável grau de invasão da espécie.

Palavras-chave: Espécie Exótica Invasora. Sensoriamento Remoto. Unidade de Conservação.

ABSTRACT

The natural environment has been going through over time by changes resulting from a development model practiced by man that has generated conflicts with nature. In this context, the spread of invasive alien plants cause biotic and abiotic impacts and interfere in biodiversity conservation and lack further studies. The aim of this research was to remotely identify of the invasive alien species *Hovenia dulcis* in Fritz Plaumann State Park, municipality of Concórdia – Santa Catarina, through high-resolution spatial images using RGB and multispectral sensors (containing the bands R, G, NIR, RedEdge and the index NDVI) in distinct phenological periods, with the aid of Unmanned Aerial Vehicle. The classification was performed with the application of supervised algorithms *Nearest Neighbor* (NN) and *Maximum Likelihood Classification* (MLC) to RGB orthomosaic obtained in the phenological period of fruiting and senescence of leaves in the year of 2019 and the supervised algorithm *Random Forest* (RF) and the semi-supervised *One Class Support Vector Machine* (OCSVM) to multispectral orthomosaic obtained in two periods, the first of sprouting, in 2019 and the second of fruiting and senescence of leaves, in 2021. For the classification of the RGB orthomosaic, based on observation and field recognition of the study area and with visual aid of the RGB orthomosaic itself, considering its high spatial resolution, 7 classes were sampled (Roads, Physical Structures, *Hovenia dulcis*, Tree Vegetation, Herbaceous Vegetation/Shrub, Shadow and Background) and extracted 3 sets of attributes. For both multispectral orthomosaics, 10 sets of attributes were extracted, and for RF application, the same classes of the RGB orthomosaic were sampled, excluding only the "background" class (thus sampling 6 classes) and for the OCSVM only samples of the class *Hovenia dulcis*. The algorithms that presented the highest accuracy were NN, applied to the RGB orthomosaic, corresponding to the phenological period of fruiting and senescence of leaves with OA 97% and Kappa de 0,95, followed by RF, applied to multispectral orthomosaic, corresponding to the phenological period of fruiting and senescence of leaves with OA 91% and Kappa de 0,89 and OCSVM, also applied to multispectral orthomosaic, corresponding to the phenological period of fruiting and senescence of leaves with AO 96% and Kappa de 0,83. However, depending on the OCSVM algorithm requiring training samples only from the class of interest, it is understood that it may be the most suitable for remote detection of the species *Hovenia dulcis*, considered the phenological period of fruiting and senescence of leaves, in which the species presents tonal differentiation compared to the other ones. Thus, the use of the OCSVM algorithm may be the most appropriate and feasible,

reducing sampling and cost efforts. The methodology applied in this research to detect the species *Hovenia dulcis* can be configured as an alternative to be used by environmental managers of conservation units, especially for the Fritz Plaumann State Park, which admittedly has a considerable degree of invasion of the species.

Palavras-chave: Invasive Alien Species. Remote Sensing. Conservation Unit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica do Parque Estadual Fritz Plaumann.	33
Figura 2. Remanescente de Floresta Estacional Decidual no Parque Estadual Fritz Plaumann.	35
Figura 3. Mapa de vegetação e uso do solo do Parque Estadual Fritz Plaumann.	37
Figura 4. Zonas de concentração de espécies exóticas invasoras no Parque Estadual Fritz Plaumann.	39
Figura 5. Mapa de zoneamento do Parque Estadual Fritz Plaumann.	41
Figura 6. Relação de rotas considerando diferentes tipos de introdução.....	42
Figura 7. Demonstração das barreiras a serem superadas por espécies exóticas invasoras.	48
Figura 8. Indivíduo de <i>Hovenia dulcis</i> , com detalhe de ramo e floração.	52
Figura 9. Detalhe do fruto e do tronco de <i>Hovenia dulcis</i>	53
Figura 10. Plantio de <i>Hovenia dulcis</i> (ao fundo) para fins de sombreamento e quebra-vento.	56
Figura 11. Mapa de ocorrência de <i>Hovenia dulcis</i> em Santa Catarina.	59
Figura 12. Concentração de <i>Hovenia dulcis</i> (copas em tons mais claros, dentro do retângulo em vermelho) no Parque Estadual Fritz Plaumann.	61
Figura 13. Mudas de <i>Hovenia dulcis</i> crescendo em um formigueiro.	63
Figura 14. Reflectância de uma folha para cada comprimento de onda.	68
Figura 15. Fluxograma com as etapas de trabalho para detecção remota de <i>Hovenia dulcis</i>	90
Figura 16. Área piloto selecionada no Parque Estadual Fritz Plaumann.....	92
Figura 17. Modelo de Veículo Aéreo Não Tripulado DJI Phantom 4 Pro utilizado.	93
Figura 18. Ilustração da distribuição dos pontos de controle planejados.	94
Figura 19. Ponto base utilizado para o levantamento dos pontos de controle.....	95
Figura 20. Levantamento dos pontos de controle.....	96
Figura 21. VANT <i>SenseFly eBee Plus</i> utilizado no segundo e terceiro voo na área piloto.	97
Figura 22. Ortomosaico RGB da área piloto com destaque para presença de <i>Hovenia dulcis</i>	99
Figura 23. Ortomosaico da composição de bandas multiespectrais do segundo voo na área piloto (polígono na cor bege).....	100
Figura 24. Ortomosaico da composição de bandas multiespectrais do terceiro voo na área piloto (polígono na cor bege).....	101
Figura 25. Classificação da área piloto com classificador <i>Nearest Neighbor - NN</i>	107
Figura 26. Classificação da área piloto com classificador <i>Maximum Likelihood Classification - MLC</i>	109
Figura 27. Classificação da área piloto com classificador <i>Random Forest</i> , período fenológico de brotação de folhas, em Novembro de 2019.	112
Figura 28. Classificação da área piloto com classificador <i>Random Forest</i> , período fenológico de frutificação e senescência de folhas, em Março de 2021.	114
Figura 29. Classificação da área piloto com classificador <i>One Class Support Vector Machine</i> , período fenológico de brotação de folhas, em Novembro de 2019.	117
Figura 30. Classificação da área piloto com classificador <i>One Class Support Vector Machine</i> , período fenológico de frutificação e senescência de folhas, em Março de 2021.	119
Figura 31. Resultados da acurácia das classificações realizadas para os ortomosaicos RGB (2019) e multiespectrais (2019 e 2021).	122

Figura 32. Valores do índice <i>Kappa</i> e Exatidão Global para as classificações realizadas para os ortomosaicos RGB e multiespectrais.	123
Figura 33. Parâmetros de voo utilizados para o segundo e o terceiro voo, com o sensor multiespectral.	164
Figura 34. Detalhamento do processamento das imagens e dos parâmetros utilizados no primeiro voo, com sensor RGB.	165
Figura 35. Detalhamento do processamento das imagens e dos parâmetros utilizados no segundo voo, com sensor multiespectral.	171
Figura 36. Detalhamento do processamento das imagens e dos parâmetros utilizados no terceiro voo, com sensor multiespectral.	175

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação das principais pesquisas sobre <i>Hovenia Dulcis</i>	24
Tabela 2. Relação das principais pesquisas sobre sensoriamento remoto aplicado à detecção de espécies.	27
Tabela 3 – Unidades de Conservação com registro de ocorrência de <i>Hovenia dulcis</i> em Santa Catarina.....	60
Tabela 4. Parâmetros de voo e especificações da aeronave utilizada.....	93
Tabela 5. Parâmetros utilizados para processamento das imagens.	98
Tabela 6. Classificação do índice <i>Kappa</i>	105
Tabela 7. Matriz de confusão gerada a partir da classificação com o algoritmo NN.....	107
Tabela 8. Matriz de confusão gerada a partir da classificação com o algoritmo MLC.....	110
Tabela 9. Matriz de confusão gerada a partir da classificação com o algoritmo RF para ortomosaico multiespectral de 2019.....	113
Tabela 10. Matriz de confusão gerada a partir da classificação com o algoritmo RF para ortomosaico multiespectral de 2021.....	115
Tabela 11. Matriz de confusão gerada a partir da classificação com o algoritmo OCSVM para ortomosaico multiespectral de 2019.....	117
Tabela 12. Matriz de confusão gerada a partir da classificação com o algoritmo OCSVM para ortomosaico multiespectral de 2021.....	120
Tabela 13. Matriz de significância (Z estatístico) considerando todos os classificadores.	123

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Lista de espécies exóticas invasoras do Estado de Santa Catarina – Reino Plantae.	143
Quadro 2. Lista de ocorrência de <i>Hovenia dulcis</i> no Brasil.	146
Quadro 3. Registros de ocorrência de <i>Hovenia dulcis</i> em Santa de acordo com as bases de dados do I3N, IFFSC e publicações em periódicos científicos.	159

LISTA DE SIGLAS

ARIE – Área de Relevante Interesse Ecológico

BSVM – *Biased Support Vector Machine*

CART – *Classification and Regression Tree*

CDB – Convenção Internacional sobre Diversidade Biológica

CHM – *Canopy Height Model*

CNN – *Convolutional Neural Network*

COM – *Contrast*

CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina

COR – *Correlation*

DEM – *Digital Elevation Model*

DIS – *Dissimilarity*

DTM – *Digital Terrain Model*

ECOPEF – Equipe Cogestora do Parque Estadual Fritz Plaumann

ENT – *Entropy*

EVI – *Enhanced Vegetation Index*

FED – Floresta Estacional Decidua

FOM – Floresta Ombrófila Mista

GARP – *Genetic Algorithm for Rule-set Production*

GCP – *Ground Control Points*

GDVI – *Green Difference Vegetation Index*

GLCM – *Gray-level Co-occurrence Matrix*

GNDVI – *Green Normalized Difference Vegetation Index*

GNSS – *Global Navigation Satellite Systems*

GPS – *Global Positioning Systems*

GSD – *Ground Sampling Distance*

HOM – *Homogeneity*

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IMA – Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina

IUCN – União Internacional para Conservação da Natureza

K-NN – *K Nearest Neighbor*

LDA – Análise Linear Discriminante

Maxent – *Maximum Entropy*

MEAN – *Textural mean*

MLC – *Maximum Likelihood Classification*

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MNF – *Minimum Noise Fraction*

MTMF - *Mixture Tuned Matched Filtering*

NIR – *Near Infrared*

OA – *Overall Accuracy*

OBIA – *Object-based Image Analysis*

OCC – *One Class Classification*

OCRF – *One Class Random Forest*

OCSVM – *One Class Support Vector Machine*

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OSCIP – Organização da Sociedade Civil de Interesse Público

PEFP – Parque Estadual Fritz Plaumann

PPC – *Photogrammetric Point Cloud*

RBF-SVM – *Radial Basis Function Support Vector*

RF – *Random Forest*

RGB – Red, Green, Blue (bandas do espectroeletrômagnético)

RTK – *Real-Time Kinematic*

SAM – *Spectral Angle Mapper*

SGB – Sistema Geodésico Brasileiro

SM – *Angular Second Moment*

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

SVM – *Support Vector Machine*

SWIR – *Short Wave Infrared*

UAS – *Unmanned Aerial System*

UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*

UC – Unidade de Conservação

UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina

UFMS – Universidade Federal de Santa Maria

UHE – Usina Hidrelétrica

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

VAR – *Variance*

VNIR - *Visible-Near Infrared*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 JUSTIFICATIVA	20
1.2 OBJETIVOS	22
1.2.1 Objetivo Geral	22
1.2.2 Objetivos Específicos	22
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	22
1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	23
1.5 RELAÇÃO DO ESTADO DA ARTE	24
2. PARQUE ESTADUAL FRITZ PLAUMANN.....	32
3. ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS – HOVENIA DULCIS.....	42
3.1 BREVE HISTÓRICO LEGAL	43
3.2 ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS	47
3.3 A ESPÉCIE <i>HOVENIA DULCIS</i>	51
4. SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À DETECÇÃO DE ESPÉCIES	67
4.1 PRINCIPAIS PESQUISAS RELACIONADAS AO TEMA	72
4.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS PRINCIPAIS PESQUISAS RELACIONADAS AO TEMA	87
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	89
5.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS.....	91
5.2 PROCESSAMENTO DE IMAGENS	97
5.3 EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS E CLASSIFICAÇÃO DOS ORTOMOSAICOS	102
5.4 VALIDAÇÃO E ACURÁCIA DOS RESULTADOS	104
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	106
6.1 CLASSIFICAÇÃO ORTOMOSAICO RGB.....	106
6.2 CLASSIFICAÇÃO ORTOMOSAICOS MULTIESPECTRAIS	112
6.3 DISCUSSÃO	120
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	126
REFERÊNCIAS	129
ANEXOS E APÊNDICES.....	143

1. INTRODUÇÃO

É visível que o meio natural vem passando ao longo do tempo por alterações resultantes de um modelo de desenvolvimento praticado pelo homem. Os impactos dessas alterações, como a disseminação de espécies exóticas invasoras, carecem de pesquisa e debate, fundamentando dessa forma a revisão desse modelo. Nesse sentido, as áreas naturais protegidas, em especial as unidades de conservação (UCs) cumprem papel de extrema importância, sobretudo por propiciarem a proteção da biodiversidade e representarem um patrimônio de valor inestimável, com potencial para promover benefícios significativos ao bem-estar humano e ao desenvolvimento de forma racional e sustentada.

Porém, nem mesmo as UCs garantem a total integridade dos ambientes naturais. Prova disso é que atualmente a maior parte das unidades de conservação no Brasil possuem ocorrência de plantas exóticas invasoras (LEÃO *et al.*, 2011; SAMPAIO e SHIMIDT, 2013; HUMMEL, 2015, INSTITUTO HÓRUS, 2019).

Espécies exóticas, ou chamadas alóctones, são aquelas que possuem a capacidade de sobreviver em um ecossistema onde sua ocorrência não acontece de forma natural (LORENZI *et al.*, 2003). Quando é capaz de se dispersar e colonizar novos ambientes, tornam-se invasoras, apresentando vantagens competitivas em relação às demais, provocando alterações em processos ecológicos considerados essenciais e a supressão de espécies nativas, uma vez que apresenta dominância em relação às espécies locais (PARKER *et al.*, 1999; VALÉRY *et al.*, 2008; MALTA *et al.*, 2012).

Uma das espécies exóticas com alto potencial de invasão é a *Hovenia dulcis* Thunb, conhecida popularmente pelo nome de Uva-do-Japão ou Pé-de-Galinha, uma árvore pertencente à família Rhamnaceae, que atinge até 25 metros de altura, nativa da China, Japão e Coreia (CARVALHO, 1994). Essa espécie já invadiu os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia, tendo sido registrada em inúmeras UCs nesses estados (INSTITUTO HÓRUS, 2019).

O estabelecimento de exóticas invasoras causa impactos bióticos e abióticos e é considerado uma das maiores e mais crescentes ameaças à diversidade biológica global (WILLIAMSON, 1996; 1999; GLOBAL INVASIVE SPECIES PROGRAMME, 2001). A invasão pode estar diretamente relacionada, dentre outros aspectos, ao grau de perturbação do ecossistema (ZILLER, 2001). Considerável número de espécies exóticas invasoras presentes em UCs tem relação com o adensamento e proximidade das atividades antrópicas, urbanas e rurais, no entorno (MCKINNEY, 2002) ou mesmo devido a atividades dentro das UCs – antes ou depois da sua data de criação (SAMPAIO e SHIMIDT, 2013).

No Brasil, a remoção de espécies exóticas de áreas protegidas está prevista na Lei nº 9.985/2000, que trata do Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (BRASIL, 2000). Porém, em diversas UCs, em especial da região Sul do Brasil, não há dados consistentes sobre quais espécies estão invadindo, qual a extensão espacial da invasão e qual a relação com o ambiente, gerando lacunas de informações para subsidiar ações estratégicas de prevenção, controle e erradicação de espécies exóticas invasoras.

Parte desse déficit de dados se deve a grande extensão territorial das UCs, associada à topografia acidentada e difícil acesso em grande parte das áreas, dificultando a pesquisa e o monitoramento. Além disso, em muitos casos o aporte de recursos financeiros para unidades de conservação fica aquém da necessidade e não há equipe técnica e operacional suficientes para efetiva gestão nas unidades de conservação.

A motivação pessoal para o desenvolvimento desta pesquisa parte de minha formação em Engenharia Florestal e experiência adquirida na temática ambiental, e reside na preocupação com a lacuna existente relacionada ao diagnóstico e monitoramento da espécie *Hovenia dulcis*, uma vez que a espécie tem considerável potencial de invasão, bem como nas dificuldades enfrentadas pelos gestores de unidades de conservação quando considerada essa lacuna.

A proposição metodológica de pesquisa contempla o desenvolvimento de detecção remota de indivíduos de *Hovenia dulcis* por meio de classificação apoiada em técnicas de processamento digital de imagens e de inteligência artificial, considerando o período fenológico da planta, estabelecendo assim uma abordagem inédita por meio desse método, não havendo nenhum estudo dessa natureza para a espécie em questão. Além disso, o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado pode ser considerada uma boa ferramenta para esse fim, pois permite a aquisição de imagens com alta resolução espacial, proporcionando um alto nível de detalhes e flexibilidade de resolução temporal e espectral, com possibilidade de execução de missões de acordo com a necessidade.

Partindo dessa problemática e considerando o cenário atual relacionado à invasão de espécies exóticas em unidades de conservação e o potencial oferecido pelo sensoriamento remoto, como hipótese de pesquisa tem-se que é possível realizar a detecção remota da espécie arbórea exótica invasora *Hovenia dulcis* por meio de algoritmos, utilizando imagens adquiridas com veículo aéreo não tripulado. Para tanto, o que se propõe nesta pesquisa é responder a seguinte pergunta norteadora: qual ortomosaico apresentará o conjunto de atributos mais adequado e qual classificador resultará na maior acurácia para detecção da espécie invasora *Hovenia dulcis*?

1.1 JUSTIFICATIVA

As áreas naturais protegidas, em especial as unidades de conservação (UCs), cumprem papel de extrema importância, sobretudo por propiciarem a proteção da biodiversidade e representarem um patrimônio de valor inestimável, com potencial para promover benefícios significativos ao bem-estar humano e ao desenvolvimento de forma racional e sustentada. Porém, nem mesmo as UCs garantem a total integridade dos ambientes naturais. Prova disso é que atualmente a maior parte das unidades de conservação no Brasil possui ocorrência de plantas exóticas invasoras.

Unidades de conservação de proteção integral, como o Parque Estadual Fritz Plaumann, são áreas prioritárias para que sejam realizadas ações de identificação e avaliação de impacto de espécies exóticas invasoras e definição de medidas para prevenção, erradicação, controle e monitoramento, de acordo com a primeira Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras (BRASIL, 2009).

Para o entendimento do impacto da presença de espécies exóticas invasoras em unidades de conservação e a definição de estratégias de manejo efetivas, é necessário prioritariamente a detecção de áreas invadidas, mapeamento da extensão espacial da invasão e análise da ecologia e dinâmica dessas espécies (MACK *et al.*, 2000; RICHARDSON e REJMANEK, 2011).

Porém, se for considerado o déficit financeiro e de equipe técnica e operacional do Instituto de Meio Ambiente (IMA), órgão gestor das Ucs Estaduais de Santa Catarina – realidade enfrentada por grande parte das unidades de conservação no Brasil – torna-se difícil a realização dessas ações prioritárias. Dessa forma, parcerias e cooperações entre o meio científico e o IMA poderão gerar ganhos para todos os envolvidos.

Vale destacar que ações efetivas, principalmente quando se trata de espécies exóticas invasoras em unidades de conservação, estão relacionadas à disponibilidade constante de

informações. Tendo em vista a carência de informações científicas e a grande ameaça decorrente dessas espécies, a proposta de pesquisa científica em áreas legalmente protegidas com foco nesse tema reveste-se de grande importância.

As alterações provocadas por plantas exóticas invasoras, inclusive a espécie *Hovenia dulcis*, que vão desde a ciclagem de nutrientes, cadeias tróficas, distribuição de biomassa, densidade de espécies, até alterações no ciclo hidrológico e risco de incêndios ressaltam a importância da compreensão do status de invasão dessa espécie no Parque Estadual Fritz Plaumann, podendo também auxiliar na compreensão de sua abrangência espacial, bem como possíveis padrões de preferência de locais.

A análise e monitoramento de grandes extensões de áreas protegidas quando realizada da maneira padrão, com saídas de campo torna-se dispendioso e muitas vezes inviável. Nesse contexto, o sensoriamento remoto permite uma sistematização e análise dos padrões podendo alcançar bom índice de confiança, além de reduzir o tempo e os custos envolvidos com trabalhos de campo.

O fato de a obtenção de imagens dos objetos na superfície não se limitar apenas aos sensores de satélites orbitais contribui com a proposição dessa pesquisa. Atualmente a utilização de veículos aéreos não tripulados equipados com sensores remotos tem se firmado como uma opção de menor custo e melhor operação em relação às plataformas convencionais.

Da mesma forma, o aumento das resoluções dos sensores remotos e da capacidade computacional, além da redução do custo na aquisição de dados, viabiliza a identificação remota de espécies arbóreas, podendo ser uma alternativa confiável e eficaz às tradicionais metodologias de inventário de campo e sendo possível de ser aplicada no Parque Estadual Fritz Plaumann.

Nesse contexto, o desenvolvimento dessa pesquisa busca aplicar mecanismos inovadores de detecção da espécie exótica *Hovenia dulcis* no Parque Estadual Fritz Plaumann, e é de grande importância para alcançar a compreensão do processo da invasão e para descobrir padrões que levem a melhores instrumentos de prevenção e detecção precoce da espécie, inclusive podendo a metodologia ser aplicada futuramente em outras áreas protegidas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Frente ao processo de invasão de espécies exóticas em unidades de conservação e tendo em vista a possível perda de biodiversidade, o objetivo geral desta pesquisa é, por meio de imagens de alta resolução espacial, adquiridas com auxílio de Veículo Aéreo Não Tripulado e algoritmos de classificação, discriminar e classificar a espécie arbórea exótica invasora *Hovenia dulcis* em um setor do Parque Estadual Fritz Plaumann.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Investigar o potencial de imagens RGB e multiespectrais adquiridas por plataformas VANT, e comparar o desempenho de ambas para a detecção da espécie invasora *Hovenia dulcis* na área de estudo;
- b) Analisar qual o melhor conjunto de atributos para aplicação dos algoritmos de classificação de *H. dulcis*.
- c) Identificar qual algoritmo permitirá discriminar melhor a espécie, por meio da acurácia da classificação.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo um trata da introdução geral e apresenta também os objetivos e justificativa da pesquisa, seguido do segundo capítulo, no qual é descrita a área de estudo, contendo uma caracterização do Parque Estadual Fritz Plaumann, sua localização geográfica, o processo de formação e seu plano de manejo.

O terceiro capítulo aborda a revisão teórica sobre a problemática do trabalho, que envolve espécies exóticas invasoras, contendo um breve histórico legal, uma contextualização sobre espécies exóticas invasoras e áreas protegidas e uma revisão a respeito da espécie arbórea *Hovenia dulcis*: suas características ecológicas, sua atratividade, sua ocorrência espacial e a invasão de ambientes e estudos a respeito da espécie.

O quarto capítulo compreende o contexto teórico e a revisão do estado da arte a respeito do sensoriamento remoto aplicado à detecção de espécies. Já o quinto capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados, desde a obtenção das imagens, seu processamento, classificação dos ortomosaicos, até a validação e acurácia dos resultados.

O sexto capítulo trata dos resultados da classificação dos ortomosaicos e da detecção da *Hovenia dulcis* na área, bem como o entendimento e discussão relacionados ao tema. Por fim, no sétimo capítulo são abordadas as principais conclusões da pesquisa, bem como as recomendações finais do estudo.

1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O estudo enfrentou algumas limitações que dificultaram ou impediram o desenvolvimento pleno da pesquisa e principalmente o cumprimento dos prazos propostos. Em Santa Catarina, toda pesquisa a ser realizada em uma Unidade de Conservação necessita de uma autorização do órgão ambiental estadual. Diante disso, uma das primeiras medidas tomadas para o desenvolvimento da pesquisa foi a solicitação de tal autorização junto ao Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina – IMA, pois sem a autorização não seria possível o acesso à área e o levantamento dos dados de campo. O processo dentro do IMA é burocrático e a autorização foi emitida somente alguns meses depois de solicitada.

Outro fator enfrentado diz respeito às condições do tempo. A realização do voo exige que o tempo esteja totalmente favorável, sem precipitação e nebulosidade, sem vento e boa visibilidade. Porém, por algumas vezes, marcou-se a data para realização dos voos – que além de tudo deveria conciliar a disponibilidade da equipe de campo e a disponibilidade da equipe do Parque – e devido às condições sinóticas do tempo desfavoráveis foi necessário o cancelamento e reagendamento dos voos, o que também acabou atrasando o cronograma inicial.

Porém a maior dificuldade enfrentada durante a execução da pesquisa foi o atraso significativo na coleta das imagens multiespectrais. O terceiro voo na área de pesquisa no município de Concórdia/SC, programado para a segunda quinzena de março de 2020, não foi realizado devido à suspensão de todas as atividades não essenciais no Estado de Santa Catarina (DECRETO Nº 515, DE 17 DE MARÇO DE 2020) e como a pesquisa trata de uma espécie arbórea, o mesmo período fenológico (fase em que a árvore apresenta frutificação e senescência de folhas ao mesmo tempo) repetiu-se somente no ano de 2021, entre os meses de fevereiro e março. Desta forma, a pesquisa sofreu atrasos e a produção científica ficou prejudicada, tendo continuidade somente no decorrer de 2021 e nos primeiros meses de 2022.

1.5 RELAÇÃO DO ESTADO DA ARTE

Muitos estudos foram desenvolvidos a respeito da espécie exótica invasora *Hovenia dulcis*, relacionados à sua ecologia e uso, tanto a nível internacional e nacional, quanto a nível regional, inclusive no Parque Estadual Fritz Plaumann, onde se insere a área de pesquisa. A Tabela 1 apresenta as principais pesquisas utilizadas no referencial temático deste trabalho.

Tabela 1. Relação das principais pesquisas sobre *Hovenia Dulcis*.

Autores	Ano	País	Descrição
D. Cozzo	1960	Argentina	Publicação feita pela <i>Revista Forestal Argentina</i> a respeito dos Resultados de plantações florestais com <i>Hovenia dulcis</i> na região subtropical argentina e úmida de Misiones.
S. D. Richardson	1966	China	Florestas na China Comunista, descrição a respeito das áreas naturais, espécies e relação com a população na China.
M. Pio Corrêa	1978	Brasil	Dicionário de plantas úteis do Brasil e das plantas exóticas cultivadas, o qual trata da espécie <i>Hovenia dulcis</i> .
Gary Koller e John Alexander III	1979	China	Descrição detalhada da espécie <i>Hovenia dulcis</i> na China, seu uso, resistência e tamanho.
Ademir Roberto Ruschel, Eunice Sueli Nodari, Miguel Pedro Guerra, Rubens Onofre Nodari	2003	Brasil	Com base nas informações coletadas em 41 entrevistas feitas junto a madeireiros, ex-madeireiros e colonizadores, os pesquisadores determinaram quais as espécies potencialmente madeiráveis, o valor de uso e a valorização econômica das espécies madeiráveis para os remanescentes da Floresta Estacional Decidual na região do Alto-Uruguai – SC, desde o início da colonização daquela região.
Paulo Ernani Ramalho Carvalho	2004	Brasil	Ecologia, Silvicultura e Usos da Uva-do-Japão (<i>Hovenia dulcis</i>)
Mauro Valdir Schumacher, Eleandro José Brun, Vinícius Borges Illana, Stéfano Ilha Dissiuta e Tiago Leal Agne	2008	Brasil	Os pesquisadores estudaram um povoamento de <i>Hovenia dulcis</i> com 18 anos de idade, plantado em Santa Maria – Rio Grande do Sul, com o objetivo de estimar a biomassa produzida acima do solo e o seu respectivo teor e quantidade de nutrientes.
Eduardo Hermes Silva	2008	Brasil	Tese de doutorado que trata das transformações do território a partir dos processos de criação e planejamento do Parque Estadual Fritz Plaumann, onde se insere a área de pesquisa.
Allyne Mayumi Rodolfo, José Flávio Cândido Jr., Livia Godinho Temponi e Marina Zanin Gregorini	2008	Brasil	Os pesquisadores avaliaram a ocorrência de espécies invasoras encontradas em uma trilha de ecoturismo denominada trilha do Poço Preto no Parque Nacional do Iguaçu, com ocorrência de <i>Hovenia dulcis</i> .

Continua...

Continuação...

Autores	Ano	País	Descrição
Íris Cristina Bertolini, Márcia Soares da Silva, Cristiano Hossel, Adilson José Novachaelley, Ailton Medeiros, André Cousseau, Fernando Campanha Bechara, Eleandro José Brun e Álvaro Rodrigo Freddo	2009	Brasil	O estudo avaliou o grau de invasão por <i>Hovenia dulcis</i> em um fragmento de floresta estacional semidecidual no município de Dois Vizinhos.
Gerson Luiz Selle	2009	Brasil	Tese de doutorado que trata da densidade e índices de sítios para <i>Hovenia dulcis</i> na região central do Rio Grande do Sul.
Marlene Bampi, Milene Oliveira Pereira Bicudo, Paulo Sérgio Growoski Fontoura, Rosemary Hoffman Ribani	2010	Brasil	Os pesquisadores desenvolveram um estudo com o objetivo de determinar a composição centesimal do fruto, do extrato concentrado e da farinha, além da quantificação da frutose, glicose e sacarose no fruto da <i>Hovenia dulcis</i> .
Rafael Dudeque Zenni e Sílvia Renate Ziller	2011	Brasil	Informação sobre espécies exóticas invasoras no Brasil e os locais onde invadem, apresentando um resumo dos dados obtidos no banco de dados de espécies exóticas invasoras no Brasil
Bruna de Oliveira Boeni	2011	Brasil	Dissertação de mestrado que comparou os parâmetros fitossociológicos e avaliar a riqueza, estrutura e composição de espécies arbóreas em áreas de floresta secundária em regeneração com e sem a invasão por <i>Hovenia dulcis</i> na Reserva Biológica da Serra Geral, entre os municípios de Maquiné, Terra de Areia e Itati, Rio Grande do Sul.
Alexander Christian Vibrans, Lucia Sevegnani, André Luís de Gasper e Débora Vanessa Lingner	2012	Brasil	Dados publicados a respeito do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina - Diversidade e Conservação dos Remanescentes Florestais.
Yi Shen, Kerstin Lindemeyer, Claudia Gonzalez, Xuesi M. Shao, Igor Spigelman, Richard W. Olsen e Jing Liang	2012	Estados Unidos	O estudo publicado no <i>Journal of Neuroscience</i> , identificou um flavonoide que se extrai da <i>Hovenia dulcis</i> que pode ser empregado em casos de intoxicações etílicas, síndrome da abstinência além de ser utilizado também como anticelulítico na área de cosmética.
Carla Deonisia Hendges, Vanessa Barbisan Fortes e Michele de Sá Dechoum	2012	Brasil	Durante um levantamento populacional de <i>Sapajus nigritus</i> (macaco-prego) os pesquisadores observaram o consumo de pseudofrutos de <i>Hovenia dulcis</i> por essa espécie.
Ila Scholz	2013	Brasil	Monografia em que foi realizada a análise da influência de árvores exóticas invasoras em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista no Parque da Barreirinha em Curitiba – Paraná, onde há ocorrência de <i>Hovenia dulcis</i> .
Joema Carvalho, Antonio Marcos Ferreira, Mario Belão, Roberto Boçon	2013	Brasil	Os pesquisadores realizaram um censo de todos os indivíduos de espécies arbóreas exóticas invasoras nas rodovias BR 277, PR 407 e PR 508 no estado do Paraná, com presença de <i>Hovenia dulcis</i> .

Continua...

Continuação...

Autores	Ano	País	Descrição
Juliano Cordeiro, William Antonio Rodrigues, Leandro Paiola Albrecht, Fabio Henrique Krenchinski	2014	Brasil	O estudo analisou a contaminação biológica por plantas exóticas na Floresta Ombrófila Mista do Parque Municipal das Araucárias em Guarapuava – PR, com ocorrência de <i>Hovenia dulcis</i> .
Núbia Cristina Ilustre de Souza e Rage Weidner Maluf	2014	Brasil	Levantamento da flora arbórea exótica existente na ARIE Henrique Luís Roessler, situada no Município de Novo Hamburgo, como forma de verificar a possível interferência destas espécies sobre as nativas, na biodiversidade local e contribuir na elaboração de futuros planos de manejo.
Michele Sá Dechoum, Tania Castellani, Sérgio Martin Zalba, Marcel Rejmánek, N. Peroni, J. Y. Tamashiro	2014	Brasil	Os autores compararam áreas em três estágios sucessionais, com e sem indivíduos adultos de <i>Hovenia dulcis</i> , do ponto de vista de estrutura, diversidade e diversidade funcional das comunidades vegetais no Parque Estadual Fritz Plaumann.
Helayne Aparecida Maieves, Rosemary Hoffmann Ribani, Angela Maria Faustin de Jesus, Rossana Catie Bueno de Godoy	2015	Brasil	Comunicado técnico publicado pela Emprapa Florestas sobre o valor nutricional e aceitabilidade Uva-do-japão (<i>Hovenia dulcis</i>)
Jhonatan Luiz Fiorio, Diego Galvan, Pâmela Vanessa Dalposso, Mário Antônio Alves da Cunha, Wilma Aparecida Spinosa	2015	Brasil	Os pesquisadores testaram o potencial de utilização de frutos de <i>Hovenia dulcis</i> para produção de fermentado alcoólico
Luciane Cristina Lazzarin, Ana Carolina da Silva, Pedro Higuchi, Karine Souza, Jucelei Edson Perin e Aline Pereira Cruz	2015	Brasil	O estudo teve como objetivo caracterizar a composição florístico-estrutural do componente arbóreo de uma área contaminada por <i>Hovenia dulcis</i> , determinar a relação da distribuição da espécie invasora com o estágio sucessional e verificar a relação da presença da espécie invasora com padrões de diversidade.
Danira Letícia Padilha, Alexandre Copatti Loregian, Jean Carlos Budke	2015	Brasil	Os autores verificaram a relação entre a invasão de <i>Hovenia dulcis</i> em remanescentes florestais e a atual fragmentação do habitat na região Norte do Rio Grande do Sul.
Raquel Elise Müller de Lima, Michele de Sá Dechoum e Tânia Tarabini Castellani	2015	Brasil	Pesquisa realizada no Parque Estadual Fritz Plaumann com o objetivo de avaliar as interações entre <i>Hovenia dulcis</i> e animais frugívoros e as relações potenciais de dispersão na floresta estacional decidual.
Michele de Sá Dechoum	2015	Brasil	Tese de doutorado que trata da Invasão por <i>Hovenia dulcis</i> Thumb. (Rhamnaceae) nas florestas do rio Uruguai (SC): aspectos ecológicos e diretrizes para o manejo.
Michele de Sá Dechoum, Marcel Rejmánek, Tânia Tarabini Castellani e Sergio Martin Zalba	2015	Brasil	Os pesquisadores caracterizaram a chegada de propágulos de <i>Hovenia dulcis</i> em sítios não invadidos, além de avaliarem iniciativas de controle na redução na pressão de propágulos nesses sítios.

Continua...

Continuação...

Autores	Ano	País	Descrição
Michele de Sá Dechoum, Ricardo Zenni, Tânia Tarabini Castellani, Sergio Martin Zalba e Marcel Rejmánek	2015	Brasil	O estudo avaliou experimentalmente a germinação de sementes, a sobrevivência e o crescimento de plântulas de <i>Hovenia dulcis</i> em três estágios sucessionais da floresta.
Welington Kiffer de Freitas, Luis Mauro Sampaio Magalhães, Kurt Bourscheid, Rômulo Vinícius Luz	2016	Brasil	Os autores analisaram a estrutura horizontal do componente arbóreo de um fragmento florestal entre os municípios de Ipira e Piratuba – SC, onde há ocorrência de <i>Hovenia dulcis</i> .
Dionatan Gerber, Paula Helena Pereira O'Connor, Hiuller Vasconcellos Mendonça, Gilmar Poser Brizola, Álvaro Rodrigo Freddo e Fernando Campanhã Bechara	2018	Brasil	Pesquisa que avaliou o nível de invasão de <i>Hovenia dulcis</i> em uma área sob restauração ecológica e em área de fragmento de mata de araucária com floresta semidecidual estacional, ambas no município de Dois Vizinhos, Paraná.
Instituto Hórus de Conservação Ambiental	2019	Brasil	Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Da mesma forma, inúmeros estudos vêm sendo desenvolvidos a respeito do uso do sensoriamento remoto aplicado à detecção de espécies de plantas, tanto a nível internacional, quanto a nível nacional e regional. A Tabela 2 apresenta as principais pesquisas elencadas no estado da arte do tema.

Tabela 2. Relação das principais pesquisas sobre sensoriamento remoto aplicado à detecção de espécies.

Autores	Ano	País	Descrição
Kathleen Burke Dudek, Ralph Root, Raymond Kokaly, Gerald Anderson	2004	Estados unidos	O estudo utilizou métodos MTMF aplicados a dados hiperespectrais com resolução espacial moderada (20 m) para monitorar a espécie <i>Euphorbia esula</i> no Parque Nacional de Theodore Roosevelt, nos Estados Unidos.
Beatriz Ribeiro da Luz, James K. Crowley	2010	Estados Unidos	Os pesquisadores utilizaram imagens de infravermelho termal de alta resolução espacial e espectral (8,0–3,5 μm) do sensor SEBASS para analisar e mapear as características espectrais da copa das árvores no Arboreto do Estado da Virgínia, nos Estados Unidos.
Jean-Baptiste Féret e Gregory P. Asner	2012	Havaí	Com o objetivo de identificar e mapear indivíduos de nove espécies arbóreas nas florestas tropicais de terras baixas do Havaí, os autores compararam o desempenho de dois classificadores semi-supervisionados e um supervisionado.

Continua...

Continuação...

Autores	Ano	País	Descrição
Jana Müllerová, Jan Pergl, Petr Pysek	2013	República Tcheca	Foram utilizadas diferentes fontes de dados, resoluções espaciais e espectrais e técnicas de processamento de imagens com o objetivo de monitorar a espécie invasora <i>Heracleum mantegazzianum</i> , uma planta herbácea tóxica.
Abduwasit Ghulam, Ingrid Porton, Karen Freeman	2014	Madagascar	Os autores propuseram um algoritmo de árvore de decisão para caracterizar a extensão espacial e atributos espectrais das espécies invasoras <i>Guava</i> , <i>Madagascar cardamom</i> e <i>Molucca raspberry</i> em florestas tropicais úmidas, integrando conjunto de dados de sensores ativos e passivos.
Claire Baldeck e Gregory Asner	2014	África	O objetivo dos autores foi comparar o desempenho de dois métodos de classificação semi-supervisionados com um supervisionado binário para detectar espécies arbóreas e arbustivas na savana da África.
Claire Baldeck, Gregory Asner, Robin Martin, Christopher Anderson, David Knapp, James Kellner, Joseph Wright	2015	Panamá	Os autores identificaram três espécies arbóreas do dossel ao longo de uma diversidade de árvores e lianas na Ilha Barro Colorado, Panamá, usando dados de imagens aéreas hiperespectrais.
P. Dvořák, Jana Müllerová, Tomáš Bartaloš, Josef Brůna	2015	República Tcheca	Os pesquisadores examinaram as possibilidades de detecção de duas espécies invasoras de árvores e duas de ervas, utilizando imagens adquiridas por aeronaves não tripuladas.
Kunwar K. Singh, Amy J. Davis, Ross K. Meentemeyer	2015	Estados Unidos	Foram exploradas métricas derivadas de LiDAR sozinhas e integradas com dados espectrais do satélite IKONOS para detectar a distribuição espacial da planta de sub-bosque exótica <i>Ligustrum sinense</i> , um invasor que se espalha rapidamente na região de urbanização de Charlotte, Carolina do Norte, EUA.
Jonathan Lisein, Adrien Michez, Hugues Claessens, Philippe Lejeune	2015	Bélgica	Os autores abordaram a classificação de 5 categorias de espécies decíduas utilizando um conjunto de imagens multitemporais de alta resolução obtidas com um veículo aéreo não tripulado.
Matheus Pinheiro Ferreira, Maciel Zortea, Daniel Capella Zanotta, Yosio Edemir Shimabukuro, Carlos Roberto de Souza Filho	2015	Brasil	O estudo utilizou dados hiperespectrais aerotransportados para discriminação e mapeamento de espécies arbóreas em uma floresta na Reserva Santa Genebra, Estado de São Paulo.
Jomar Barbosa, Gregory Asner, Roberta Martin, Claire Baldeck, Flint Hughes e Tracy Johnson	2016	Havaí	Os pesquisadores testaram métodos de classificação semi-supervisionados, MTMF e BSVM, associados a duas abordagens (volumétrica e limiar) para detectar o grau de incidência da espécie invasora <i>Psidium cattleianum</i> em uma floresta tropical do Havaí.
Nerivaldo Afonso Santos e Elane Fiúza Borges	2017	Brasil	Os autores mapearam as áreas de ocorrência de algaroba (<i>Prosopis juliflora</i>), no Polo de Jeremoabo, na Bahia – Brasil, utilizando séries temporais de imagens do sensor MODIS.

Continua...

Continuação...

Autores	Ano	País	Descrição
Luiz Otávio Moras Filho, Evandro Orfanó Figueiredo, Marcos Antônio Isaac Júnior, Vanessa Cabral Costa de Barros, Marcos Cicarini Hott, Luís Antônio Coimbra Borges	2017	Brasil	O estudo avaliou a efetividade da classificação supervisionada utilizando uma imagem de RapidEye, em uma área de manejo florestal de floresta ombrófila densa no Acre – Brasil.
Jan Lehmann, Torsten Prinz, Silvia Ziller, Jan Thiele, Gustavo Heringer, João Meira-Neto e Tillmann Buttschardt	2017	Brasil	O objetivo do estudo foi a detecção remota da espécie <i>Acacia mangium</i> , arbusto exótico invasor em um ambiente de cerrado no Estado da Bahia – Brasil. Os autores utilizaram um Veículo Aéreo Não Tripulado de baixo custo e classificação por interpretação visual.
Xiang Liu, Huiyu Liu, Haibo Gong, Zhenshan Lin e Shicheng Lv	2017	China	Baseado em imagens de séries temporais LANDSAT, os pesquisadores aplicaram os classificadores semi-supervisionados <i>One-Class Classification</i> (OCC) e de <i>Maximum Entropy</i> (Maxent) e <i>Biased Support Vector Machine</i> (BSVM) para detectar a planta aquática invasora <i>Spartina alterniflora</i> na costa média de Jiangsu, no leste da China.
Jana Müllerová, Josef Bruna, Tomáš Bartaloš, Petr Dvořák, Michaela Vítková e Petr Pyšek	2017	República Tcheca	Os pesquisadores analisaram o melhor período fenológico para detecção de duas espécies herbáceas (<i>Heracleum mantegazzianum</i> e <i>Fallopia sp.</i>) com características fenológicas, estruturais e espectrais marcadamente diferentes, utilizando imagens adquiridas com veículo aéreo não tripulado e imagens PLEIADES.
Jana Müllerová, Tomáš Bartaloš, Josef Brůna, Petr Dvořák e Michaela Vítková	2017	República Tcheca	Os autores estudaram a espécie <i>Robinia pseudoaccacia</i> testando imagens de diferentes origens (WorldView-2, UAV), padrões espectrais (multiespectral, RGB + infravermelho próximo – NIR) e resolução espacial.
Antonio T. Monteiro, João Gonçalves, Rui F. Fernandes, Susana Alves, Bruno Marcos, Richard Lucas, Ana Cláudia Teodoro e João P. Honrado	2017	Portugal	O estudo avaliou o sucesso da invasão de árvores de <i>Acacia dealbata</i> no Parque Nacional da Peneda-Gerês, em Portugal, determinando os fatores ambientais associados a essa invasão utilizando imagem de satélite WorldView-2.
Flor Alvarez-Taboada, Claudio Paredes e Julia Julián-Pelaz	2017	Portugal	Identificar e quantificar as áreas cobertas pela planta invasora <i>Hakea sericea</i> por meio de imagens de alta resolução espacial obtidas de plataformas aéreas e orbitais (WorldView-2).
Haijian Liu, Changshan Wu	2018	Estados Unidos	Foram utilizados dados discretos de LiDAR de alta densidade para a delimitação individual de árvores e imagens hiperespectrais de espectrômetro de imagens aerotransportadas (AISA) para a extração de espectros em escala de copa, em uma área urbana na cidade de Milwaukee, estado de Wisconsin, Estados Unidos.
Rossana Gini, Giovanna Sona, Giulia Ronchetti, Daniele Passoni e Livio Pinto	2018	Itália	Os pesquisadores testaram o uso de imagens de veículo aéreo não tripulado de alta resolução para classificar espécies de árvores em um viveiro de plantas próximo à Vila de Cirimido, em Como.

Continua...

Continuação...

Autores	Ano	País	Descrição
Sakari Tuominen, Roope Näsi, Eija Honkavaara, Andras Balazs, Teemu Hakala, Niko Viljanen, Ilkka Pölönen, Heikki Saari e Harri Ojanen	2018	Finlândia	Os autores examinaram o reconhecimento de espécies arbóreas em um arboreto (26 espécies de árvores de 14 gêneros) localizado no município de Kouvola, no sudeste da Finlândia utilizando imagens de veículo aéreo não tripulado.
François-Marie Martin, Jana Müllerová, Laurent Borgniet, Fanny Dommanget, Vincent Breton e André Evette	2018	França	avaliaram o potencial de vários índices derivados de imagens adquiridas com veículo aéreo não tripulado e provenientes do satélite PLEAIDES para a detecção e mapeamento das espécies de arbusto invasor <i>Fallopia japonica</i> e <i>Fallopia bohemica</i> em duas paisagens diferentes no leste da França.
Rami Piironen, Fabian Ewald Fassnacht, Janne Heiskanen, Eduardo Maeda, Benjamin Mack, Petri Pellikka	2018	Kenia	O estudo utilizou espectroscopia de imagens aéreas e varredura a laser para mapear a ocorrência das espécies altamente invasivas <i>Acacia mearnsii</i> e <i>Eucalyptus spp.</i> nas Colinas de Taita, no Quênia, e vincular a ocorrência dessas espécies a variáveis ambientais selecionadas.
Nuno C. de Sá, Paula Castro, Sabrina Carvalho, Elizabete Marchante, Francisco A. López-Núñez e Hélia Marchante	2018	Portugal	Os pesquisadores testaram como veículos aéreos não tripulados podem ser usados para mapear o florescimento de <i>Acacia longifolia</i> , um arbusto exótico invasor na região da costa centro-norte, em Portugal.
Tarin Paz-Kagan, Micha Silver, Natalya Panov e Arnon Karnieli	2019	Israel	O estudo utilizou imagens hiperespectrais e WorldView-2 para identificar e mapear espécies invasoras <i>Acacia salicina</i> e <i>Acacia saligna</i> , e entender melhor os fatores que influenciam sua distribuição na planície costeira de Israel.
Aleksi Räsänen, Vladimir Elsakov e Tarmo Virtanen	2019	Rússia	Os autores analisaram áreas de turfa localizadas no noroeste da Rússia utilizando dados de imagens de satélite QuickBird e WorldView-3, comparando quatro classificadores diferentes.
Anastasiia Safonova, Siham Tabik, Domingo Alcaraz-Segura, Alexey Rubtsov, Yuriy Maglinets e Francisco Herrera	2019	Rússia	Foi realizado um estudo na Reserva Natural Estadual "Stolby", perto da cidade de Krasnoyarsk, na Rússia, com o objetivo de determinar o estágio de danos causados por um besouro (<i>Polygraphus proximus</i>) em árvores de Abetos (<i>Abies sibirica</i>) baseado na forma, textura e cor da copa das árvores utilizando imagens RGB de veículos aéreos não tripulados.
Zhaocong Wu, Min Ni, Zhongwen Hu, Junjie Wang, Qingquan Li, Guofeng Wu	2019	China	Com o objetivo de monitorar a trepadeira invasora <i>Mikania micrantha</i> na região montanhosa costeira em Shenzhen, os autores aplicaram um modelo de malha 3D de alta precisão e um <i>digital orthophoto map</i> derivado de múltiplas imagens obtidas com veículos aéreos não tripulados.
Uyen Nguyen, Edward Glenn, Thanh Duc Dang, Lien Pham	2019	Estados Unidos	Os pesquisadores utilizaram imagens aéreas hiperespectrais obtidas com veículo aéreo não tripulado com o objetivo de classificar a vegetação ao longo de corredores ribeirinhos estreitos e semi-áridos do Grand Canyon, no rio Colorado, Estados Unidos.

Continua...

Continuação...

Autores	Ano	País	Descrição
Teja Kattenborn, Javier Lopatin, Michael Förster, Andreas Christian Braun, Fabian Ewald Fassnacht	2019	Chile	O estudo avaliou o potencial de veículos aéreos não tripulados para aquisição de dados sobre a cobertura de espécies de três espécies invasoras lenhosas <i>Pinus radiata</i> , <i>Ulex europaeus</i> e <i>Acacia dealbata</i> ocorrendo no Chile e testaram o aumento de escala espacial para Sentinel-1 e Sentinel-2.
Siddhartha Khare, Hooman Latifi, Sergio Rossi e Sanjay Kumar Ghosh	2019	Índia	Os pesquisadores testaram o potencial de múltiplas imagens ópticas multiespectrais e estéreo de alta para quantificar a presença da herbácea invasora <i>Lantana camara</i> e prever sua distribuição larga escala espacial
Camile Sothe, Michele Dalponte, Cláudia Maria de Almeida, Marcos Benedito Schimalski, Carla Luciane Lima, Veraldo Liesenberg, Gabriela Takahashi Miyoshi e Antonio Maria Garcia Tommaselli	2019	Brasil	O estudo investigou o uso de imagens hiperespectrais adquiridas por VANT e nuvem de pontos fotogramétrica em 3D (PPC) para classificação de 12 espécies principais de árvores em um fragmento de floresta subtropical em Santa Catarina, no Sul do Brasil.
Camile Sothe, Cláudia Maria de Almeida, Marcos Benedito Schimalski, Veraldo Liesenberg, Carla Luciane Lima, Gabriela Takahashi Miyoshi, Antonio Maria Garcia Tommaselli	2019	Brasil	Os autores investigaram o desempenho de duas técnicas de classificação de apenas uma classe para detectar e classificar a espécie arbórea ameaçada de extinção <i>Araucaria angustifolia</i> em uma área de floresta subtropical em Santa Catarina, no Sul do Brasil, usando dados hiperespectrais adquiridos por um veículo aéreo não tripulado.
Diego Ricardo Medeiros de Lima, Vagner Alex Pesck, Ismael Konkol, Fernando Lufz Dlugosz, Afonso Figueiredo Filho, Carlos Henrique Boscardin Naujack e Tarik Cuchi	2019	Brasil	Os pesquisadores desenvolveram uma pesquisa no Município de Fernandes Pinheiro, Estado do Paraná, com o objetivo detectar a espécie exótica invasora <i>Hovenia dulcis</i> em remanescente florestal da Floresta Ombrófila Mista, utilizando diferentes níveis de segmentação e classificação em ortoimagem obtida por meio de veículo aéreo não tripulado.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

2. PARQUE ESTADUAL FRITZ PLAUMANN

A área de estudo está localizada no Parque Estadual Fritz Plaumann (PEFP). O PEPF é uma das dez Unidades de Conservação de proteção integral de Santa Catarina administradas pelo Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina – IMA. Inserido na região Oeste do Estado de Santa Catarina, no município de Concórdia, conta com uma área de 717 hectares e está situado na margem direita do Rio Uruguai, na Bacia Hidrográfica de mesmo nome.

O PEPF foi criado por meio do Decreto Estadual nº 797, de 24 de setembro de 2003 (SANTA CATARINA, 2003), como medida de compensação ambiental pelos impactos ambientais gerados pelo aproveitamento hidrelétrico da Usina Itá, localizada entre os municípios de Itá/SC e Aratiba/RS. o Parque ocupa duas glebas de terra que foram separadas com o enchimento do reservatório da UHE Itá. Uma destas áreas, portanto, é insular, enquanto a outra forma uma península compreendida entre as áreas alagadas dos rios Uruguai e dos Queimados (Figura 1).

A elaboração de estudos para criação da Unidade de Conservação teve início na década de 1990, pela ELETROSUL Centrais Elétricas S.A (empresa responsável pelo projeto da UHE Itá) e compreenderam o levantamento e mapeamento de remanescentes florestais estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul e das áreas afetadas pelo enchimento do reservatório da usina (IMA, 2014a).

Em 1994 estabeleceu-se a categoria da Unidade como Estação Ecológica formada por duas áreas, uma no Rio Grande do Sul e outra em Santa Catarina. Em 1996 ocorreu a separação das áreas e a do lado Catarinense foi renomeada “Estação Ecológica Barra do Queimados”. Porém a categoria de manejo escolhida não foi muito condizente com as características da área, bastante antropizada à época (HERMES-SILVA, 2008) e ao final de 2003, iniciou-se uma série de discussões com foco na recategorização mais adequada.

Como resultado destas discussões, a categoria Parque Estadual foi oficialmente proposta pelas instituições responsáveis, mostrando-se mais adequada com o objetivo de conservação da Floresta do Rio Uruguai (IMA, 2014a). Então, em setembro de 2003 foi criado o Parque Estadual Fritz Plaumann. O nome da Unidade de Conservação é uma homenagem ao entomólogo alemão Fritz Plaumann pelos trabalhos ambientais entomológicos desenvolvidos na região e com significativa contribuição para todo o Brasil.

Figura 1. Localização geográfica do Parque Estadual Fritz Plaumann.



Fonte: IMA (2014a).

Em 2005, foram concebidos três planos executivos para colocar a Unidade em funcionamento. Os Planos de Implantação, Incubação da Gestão e Operação, resultando na criação e estruturação de uma Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP) de base local e com foco específico de apoio à gestão da UC, denominada de Equipe Cogestora do Parque Estadual Fritz Plaumann (ECOPEF), a qual foio responsável pela gestão da área desde 2005 até final de 2020 (IMA, 2014a).

Em 2011, dada a necessidade de estabelecimento de novas diretrizes, metas e indicadores de planejamento para a Unidade, a Caipora Cooperativa para Conservação da Natureza aprovou na chamada 01/2011 do Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO/TFCA), o projeto “*Revisão do Plano de Manejo do Parque Estadual Fritz Plaumann e fortalecimento de seus mecanismos de gestão*” que iniciou em fevereiro de 2012 e que marcou um novo ciclo de funcionamento do Parque Estadual Fritz Plaumann (IMA, 2014a).

Como resultados, foram produzidos dois volumes técnicos. O Volume I, intitulado de “Plano Básico”, apresenta o escopo de informações e conhecimentos gerais e específicos que servem de base para o replanejamento da Unidade de Conservação e para consultas periódicas pelos gestores e colaboradores. Já o Volume II intitulado de “Encartes Temáticos”, apresenta o escopo de planejamento da Unidade de Conservação para os cinco anos seguintes da implementação. Em ambos os volumes percebe-se que houve uma ampla caracterização da UC, em especial do meio natural.

Conforme descrito pelo Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (2019), a fauna e flora do Parque Estadual Fritz Plaumann apresenta grande representatividade. Nos remanescentes de florestais do Parque e de seu entorno já foram registradas:

[...] 232 espécies de aves, 25 espécies de mamíferos de grande e médio porte e 35 espécies de répteis e anfíbios, muitos deles ameaçados de extinção, como o Gato-maracajá (*Leopardus wiedii*), o Veado (*Mazama nana*), e a Paca (*Cuniculus paca*). No grupo das aves, o Macuco (*Tinamus solitarius*), a Tietinga (*Cissopis leverianus*), o Pavó (*Pyroderus scutatus*) e o Anu-Coroca (*Crotophaga major*) apresentam algum grau de ameaça em sua conservação. Dentre o grupo dos anfíbios ameaçados, estão as pererecas *Boana curupi*, e a *Proceratophrys bigibbosa*, e dos répteis, as serpentes Jararaca-Pintada (*Bothrops diporus*) e Jararaca-da-Mata (*Bothrops jararaca*).

A área do Parque Estadual Fritz Plaumann pertence ao Bioma Mata Atlântica, inserida na fitofisionomia de Floresta Estacional Decidual – FED, assim chamada em função de seu estrato superior ser formado de macro e mesofanerófitos predominantemente caducifólios, com mais de 50% dos indivíduos despidos de folhagem no período desfavorável (IBGE, 2012).

A Floresta Estacional Decidual tem ampla ocorrência e se distribui de forma disjunta e fragmentada em uma área que recobre parte da América do Sul, da América Central e do Caribe (MURPHY e LUGO, 1986). Na zona tropical, é marcada pela ocorrência de uma estação chuvosa seguida de período seco e na zona subtropical, ao invés do período seco, o que marca a estacionalidade é a ocorrência de um inverno frio (temperaturas médias mensais menores ou iguais a 15° C, que determina repouso fisiológico e queda parcial da folhagem) (VELOSO e GÓES-FILHO, 1982; IBGE, 2012).

Em Santa Catarina a FED distribui-se ao longo das encostas do Rio Uruguai, adentrando pelos seus afluentes, inclusive na área do PEFP (Figura 2), onde estabelece contato com a Floresta Ombrófila Mista (FOM), formando regiões de ecótonos (KLEIN, 1978; GASPER *et al.*, 2013), em geral, a partir dos 600 m de altitude, em áreas com precipitação anual média de cerca de 1.800 mm (GASPER *et al.*, 2012; IBGE, 2012). Essas regiões apresentam como características principais um estrato emergente dominado pelo pinheiro-brasileiro (*Araucaria angustifolia*), enquanto os estratos inferiores são compostos por espécies da Floresta Estacional Decidual (KLEIN, 1978).

Figura 2. Remanescente de Floresta Estacional Decidual no Parque Estadual Fritz Plaumann.



Fonte: IMA (2019).

De acordo com Klein (1972), são conhecidas aproximadamente 178 espécies arbóreas na Floresta Estacional Decidua em Santa Catarina, sendo 91 arvoretas (4 a 15 m), 53 árvores (16 a 29 m) e 34 árvores altas (30 a 40 m). Predominantemente, a FED é constituída pelas espécies *Luehea divaricata* (açoita-cavalo) *Vitex megapotamica* (tarumã), *Inga vera* (ingá), *Ruprechtia laxiflora* (farinha-seca), *Sebastiania commersoniana* (branquilha), entre outros (IBGE, 2012).

O Parque Estadual Fritz Plaumann abriga, além das espécies citadas, exemplares significantes e que foram alvo de intensa exploração na região em função de seu potencial madeireiro: *Parapiptadenia rigida* (angico-vermelho), *Apuleia leiocarpa* (grápia), *Cordia trichotoma* (louro-pardo), *Pelthoporum dubium* (canafístula), *Cedrela fissilis* (cedro-rosa), *Nectandra lanceolata* (canela-amarela), *Nectandra megapotamica* (canela-preta), *Ocotea diospyrifolia* (canela-louro), *Ocotea odorífera* (canela-sassafrás) e *Araucaria angustifolia* (pinheiro-brasileiro), sendo estas duas últimas espécies ameaçadas de extinção e protegidas por lei (IMA, 2014a).

Conforme publicado por Vibrans *et al.* (2012b), atualmente em Santa Catarina restam cerca de 16,3% de área original de Floresta Estacional Decidua, sendo que grande parte dos fragmentos florestais remanescentes tem menos de 50 hectares, resultantes da degradação florestal intensa, movida pela exploração histórica de madeira e pela expansão da agricultura e pecuária. Dessa forma, o PEFP é a única Unidade de Conservação Catarinense com a função de proteger exclusivamente amostras da Floresta Estacional Decidua, uma das formações florestais mais ameaçadas do bioma Mata Atlântica.

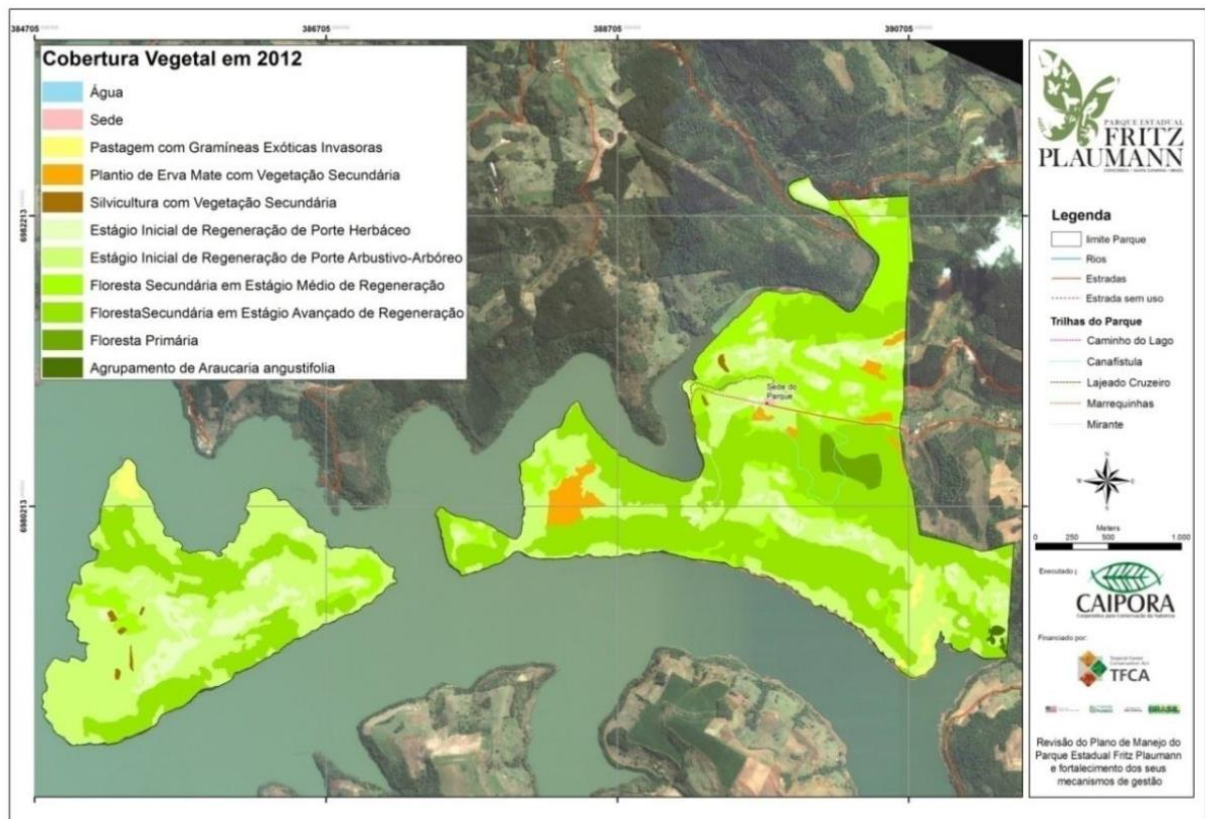
O planejamento geral do Parque Estadual Fritz Plaumann (IMA, 2014b), corrobora com essa função de proteção, uma vez que o objetivo de manejo é:

Contribuir para a conservação, valorização e regeneração dos remanescentes e atributos da Floresta do Rio Uruguai (Floresta Estacional Decidua), distribuídos no Parque e em seu entorno, através do envolvimento da sociedade em ações de proteção, educação e interpretação ambiental, pesquisa científica, ecoturismo, esportes de aventura, recreação em contato com a natureza e de desenvolvimento rural sustentável.

O Parque Estadual Fritz Plaumann, além de abrigar espécies chave da Floresta Estacional Decidual, protege importantes remanescentes florestais da região. Dos seus 717 hectares, 387,37 ha são cobertos por florestas naturais (em estágio médio e avançado de regeneração e uma pequena área com floresta primária), o que corresponde a 53,99% do total (IMA, 2014a). Com base no mapa de vegetação e uso do solo do Parque em 2012 (Figura 3), pode-se observar que:

[...] a maior concentração de florestas em estágio avançado de regeneração na parte norte, sul e central da gleba não insular da Unidade, destacando, nesta última parte, o núcleo de floresta primária. As áreas em estágio inicial e médio de regeneração, apesar de permearem as florestas mais desenvolvidas em toda a UC, são mais expressivas nos setores sul, norte e oeste insulares, ainda que existam de forma relevante na gleba não insular em partes dos setores norte e central. Por outra parte, áreas de silvicultura com espécies exóticas e vegetação secundária foram registradas nas duas glebas da Unidade, enquanto áreas com plantio de erva-mate e vegetação secundária associada ocorrem apenas na porção não insular. Destaca-se o agrupamento de *Araucaria angustifolia*, que é exclusivo do setor sul da gleba não insular, no qual, ainda que de forma isolada, podem ser observados indivíduos dessa espécie em ambas as glebas do Parque. Também nas duas porções existem áreas de pasto com dificuldade de regeneração, com uma área contínua maior no setor insular norte.

Figura 3. Mapa de vegetação e uso do solo do Parque Estadual Fritz Plaumann.



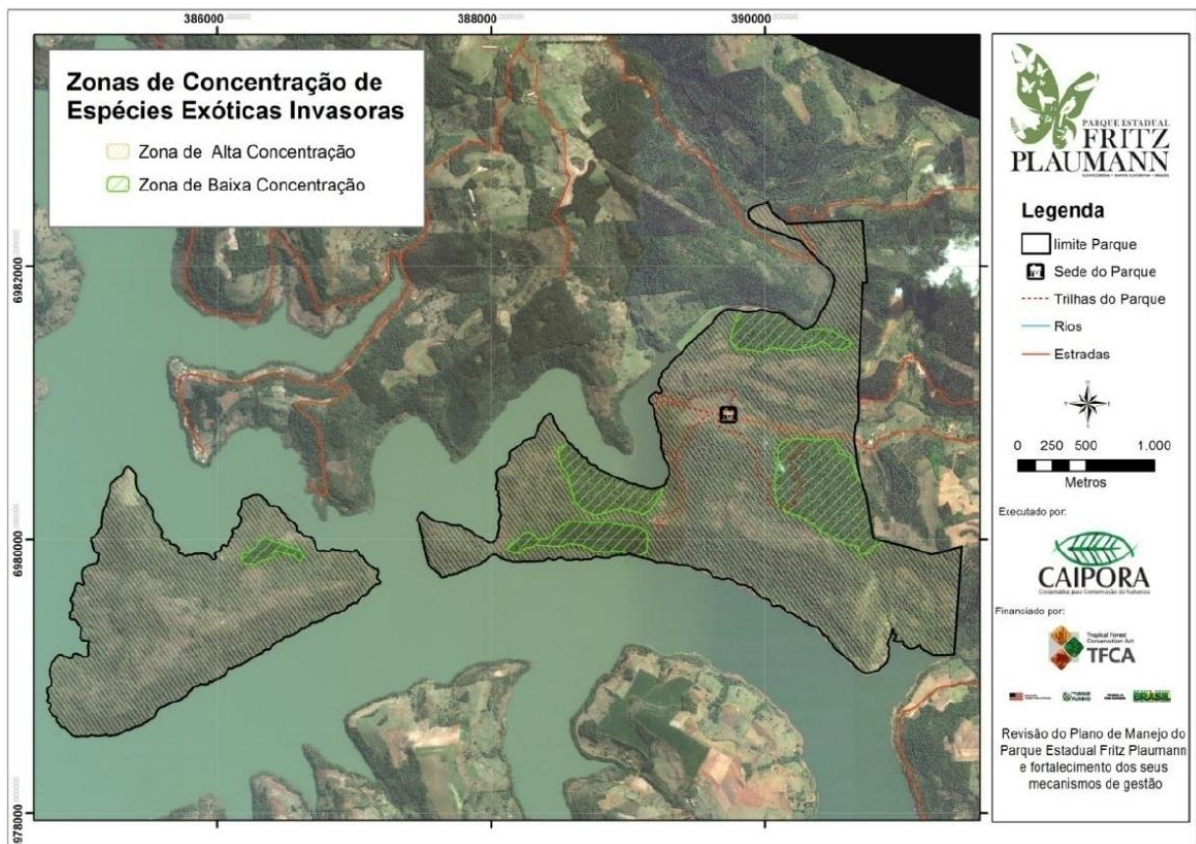
Fonte: IMA (2014a).

Embora esses números demonstrem que o Parque apresenta um bom índice de cobertura florestal natural, a matriz da paisagem dominada por usos agrícolas com florestas fragmentadas ainda persiste na região. A redução das florestas naturais e o processo de uso intenso do solo propiciou a proliferação de espécies exóticas invasoras devido à redução da competitividade por recursos naturais inerente às comunidades vegetais que formam a base dos ecossistemas florestais (IMA, 2014a).

Muitas destas espécies se beneficiaram dessa fragilidade e se estabeleceram juntamente com regeneração da floresta, tal como observado com a *Hovenia dulcis*, tanto na Unidade quanto nas áreas de entorno, sendo que, em muitos casos, comporta-se como espécie dominante dos estratos arbóreos superior e médio (IMA, 2014a).

De acordo com o diagnóstico contido no Plano Básico realizado em 2012, o qual serviu de base para o replanejamento da Unidade de Conservação, havia no Parque uma presença expressiva de espécies exóticas invasoras na UC (Figura 4), principalmente nas áreas em estágios inicial e médio de regeneração florestal. Foram registradas 46 espécies exóticas no Parque, as quais pertencem a 25 famílias botânicas. Destacam-se as famílias Poaceae, com 8 espécies, Rosaceae e Rutaceae, com 5 espécies cada. 12 espécies apresentaram alto risco de invasão, porém, dentre estas, *Hovenia dulcis* e *Psidium guajava* se destacam pelas populações numerosas e ampla distribuição espacial na Unidade. *Hovenia dulcis*, em especial, apresentou populações etariamente diversificadas, desde indivíduos jovens até adultos com cerca de 70 cm de diâmetro e 18 m de altura, configurando o dossel florestal (IMA, 2014a).

Figura 4. Zonas de concentração de espécies exóticas invasoras no Parque Estadual Fritz Plaumann.



Fonte: IMA (2014a).

A partir do diagnóstico e mapeamento do uso do solo, os Encartes Temáticos – documento que trata do escopo de planejamento da Unidade de Conservação – apresentaram o planejamento espacial do Parque Estadual Fritz Plaumann, com a delimitação e descrição das zonas de manejo do zoneamento.

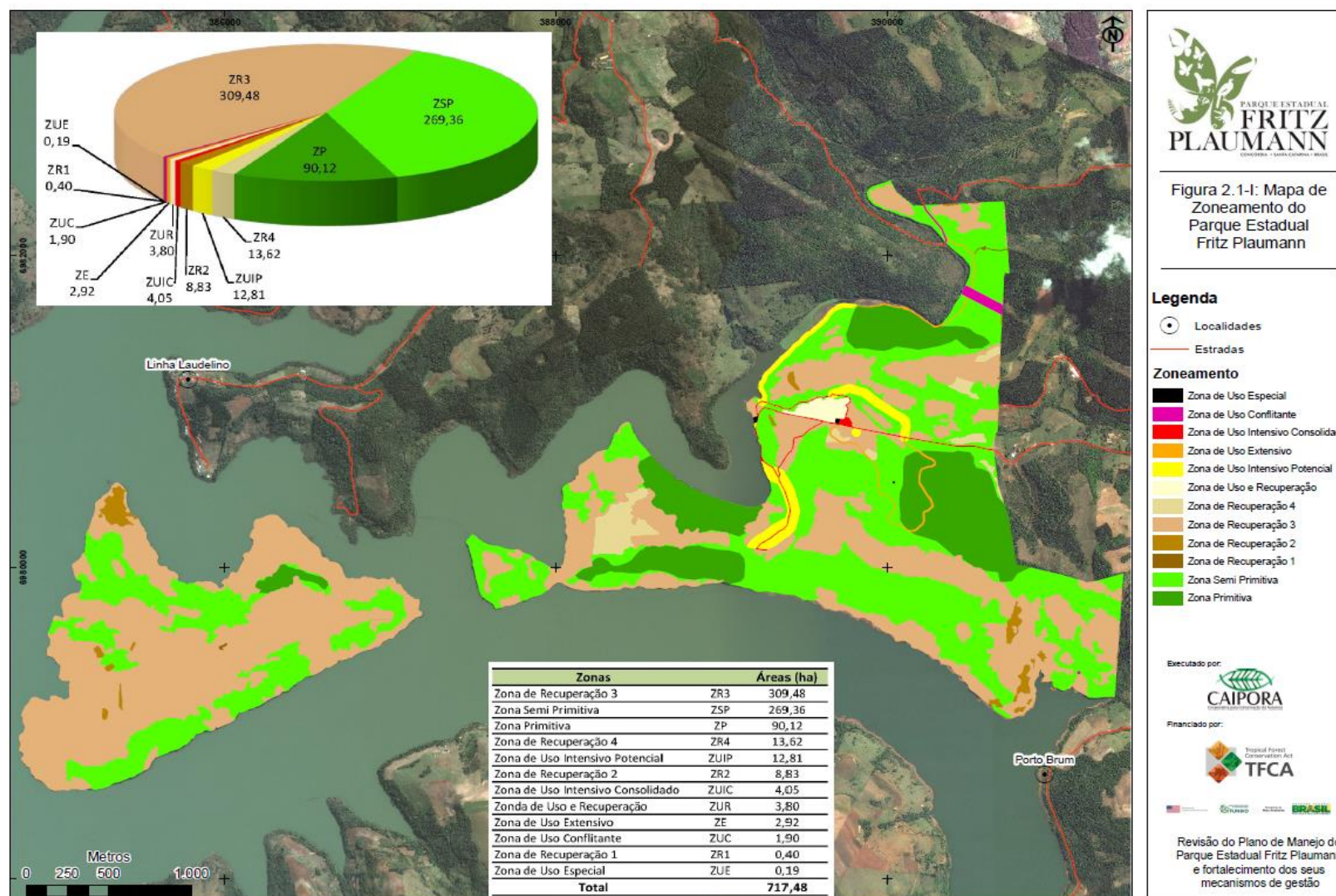
O zoneamento constitui uma ferramenta de ordenamento territorial a partir da segmentação da Unidade de Conservação em setores (zonas) que apresentem certa similaridade ou homogeneidade de características, sejam elas fragilidades ou vocações (IMA, 2014b). Foram definidas 12 zonas de manejo que estão espacializadas na Figura 5, sendo elas: Zona Primitiva, Zona Semiprimitiva, Zonas de Uso Intensivo Consolidado e de Uso Intensivo Potencial, Zona de Uso Extensivo, Zona de Uso Conflitante, Zona de Uso Especial e quatro Zonas de Recuperação.

Destaca-se que a presença de espécies exóticas invasoras foi utilizada como critério para definição das zonas de manejo. As quatro Zonas de Recuperação descrevem a elevada concentração de espécies exóticas invasoras, sendo que o que distingue e individualiza as diferentes zonas de recuperação são os estágios sucessionais ou de degradação do solo, o grau de contaminação por espécies exóticas invasoras e o requerimento de ações de manejo para a efetiva recuperação das áreas (IMA, 2014b).

Além disso, de acordo com o zoneamento do Parque Estadual Fritz Plaumann (IMA, 2014b), muitas outras zonas tem em sua descrição e/ou critérios o registro de espécies exóticas invasoras, sendo elas: a Zona de Uso e Recuperação, a qual permite o uso público da área, concomitantemente à sua recuperação; a Zona de uso Extensivo, que corresponde basicamente às trilhas do Parque; a Zona de Uso Intensivo, locais em que é permitido a instalação de infraestruturas, equipamentos e facilidades; a Zona Semiprimitiva, que consiste áreas que em embora tenham sofrido perturbações antrópicas, ainda apresentam poucos sinais dessas perturbações, contendo espécies da flora e da fauna ou fenômenos naturais expressivos e a Zona Primitiva, caracterizada por áreas florestais em condição primária e em estágio secundário avançado de regeneração, porém, com menor concentração de espécies exóticas invasoras do que na Zona Semiprimitiva, o que confere uma maior importância e diferentes ações de manejo e conservação.

Portanto, conforme constatado tanto no diagnóstico contido no Plano Básico quanto nos Encartes Temáticos de planejamento da Unidade de Conservação, há grande ocorrência de espécies exóticas invasoras no Parque Estadual Fritz Plaumann, em especial de *Hovenia dulcis*.

Figura 5. Mapa de zoneamento do Parque Estadual Fritz Plaumann.



Fonte: IMA (2014b).

3. ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS – HOVENIA DULCIS

A acelerada globalização, com forte desenvolvimento do turismo internacional e do livre comércio entre países e continentes, a facilitação do deslocamento e ampliação das vias de transporte, em especial no século XX, promoveu grandes aberturas nas barreiras naturais, como oceanos, rios, montanhas e desertos, o que, por consequência, favoreceu a introdução e dispersão de espécies em ecossistemas distintos de seu hábitat natural. Aliado às mudanças no uso da terra e às mudanças climáticas, esse deslocamento de espécies de um local para outro, muitas vezes causa consequências inesperadas e em alguns casos problemáticas.

Muitas vezes, espécies são movidas intencionalmente para novos locais para atender a interesses sociais ou econômicos, ou então são transportadas para novos ambientes inadvertidamente e o resultado traz consequências negativas significativas. Shine (2008) fornece uma visão geral das atividades que resultam em introduções intencionais e acidentais, conforme demonstrado na relação abaixo (Figura 6).

Figura 6. Relação de rotas considerando diferentes tipos de introdução.

Introduções intencionais		Introduções acidentais
Introduções diretas no ambiente	Introduções em Cativeiro/Detenção	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agricultura ▪ Silvicultura ▪ Melhoramento de solos ▪ Horticultura (ornamentais, estoque de viveiro, plantas domésticas, etc.) ▪ Conservação ▪ Soltura de peixe ▪ Caça e pesca ▪ Soltura de mamíferos em ilhas como fonte alimentar ▪ Controle biológico ▪ Comércio assistencial ▪ Tráfico ▪ Estética ▪ Medicinal ▪ Religiosa 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jardins botânicos e particulares ▪ Zoológicos ▪ Animais de criação ▪ Criação de abelhas ▪ Aquacultura ▪ Comércio de animais de estimação ▪ Comércio de aquário e lago de horticultura ▪ Pesquisa 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Navios/aeronaves/veículos/trens, etc. ▪ Água de lastro ▪ Encrustação de casco ▪ Carga marítima ▪ Embalhagem marítimas ▪ Bagagem/equipamento pessoal ▪ Produtos agrícolas ▪ Contaminantes de semente ▪ Solo, brita, areia, etc. ▪ Madeira ▪ Material de embalagem ▪ Equipamento, maquinário, veículos sujos – incluindo militar ▪ Caroneiros– incluindo parasitas e doenças – associados às introduções por aquacultura, flores cortadas, e introdução pelo comércio de viveiros

Fonte: SHINE (2008).

O tipo de introdução chamado de intencional é quando o ser humano introduz de forma proposital espécies aos novos locais por razões alimentícias, sociais ou econômicas. Muitas espécies têm sido transportadas acidentalmente pelo mundo como consequência de atividades humanas como comércio, viagens e transporte. Estas são chamadas de introduções acidentais (SHINE, 2008).

Por outro lado, nem todas as espécies exóticas podem ser consideradas problemáticas. A maioria das plantas de cultivo agrícola foram introduzidas intencionalmente, assim como muitas das espécies utilizadas como controle biológico de pragas, as quais permitiram grandes economias no que se refere a perda de colheitas e principalmente a necessidade de uso de pesticidas. No entanto, há que se ter muito cuidado com a introdução de espécies exóticas, uma vez que a maioria das espécies exóticas que se tornaram invasoras foram introduzidas deliberadamente.

A disseminação de espécies exóticas invasoras está criando desafios complexos que ameaçam tanto as riquezas biológicas naturais do planeta, quanto o bem-estar de seus cidadãos. Embora o problema exija a definição de estratégias e ações a nível global, é necessário também pensar e agir em escalas menores, buscando resolver os problemas em contextos regionais, garantindo a aplicabilidade e efetividade das soluções. É importante identificar as mudanças causadas por espécies exóticas invasoras e o quanto essas alterações são prejudiciais aos ecossistemas e à biodiversidade, podendo inclusive apresentar riscos à saúde, à economia ou a outros aspectos do bem-estar humano.

Neste capítulo é abordada a problemática envolvendo espécies exóticas invasoras, o entendimento do conceito e histórico relacionado ao tema, a ocorrência de espécies exóticas invasoras em áreas protegidas e por fim, a caracterização da espécie alvo da pesquisa, *Hovenia dulcis*, suas principais características, usos, benefícios e sua atratividade e estudos realizados a respeito da espécie.

3.1 BREVE HISTÓRICO LEGAL

No início da década de 1980, o Comitê Científico para Problemas Ambientais (SCOPE – *Scientific Committee on Problems of the Environment*), incentivou em diferentes partes do mundo, iniciativas que auxiliassem na compreensão das invasões biológicas (ZENNI *et al*, 2016). Em função desse incentivo do Comitê Científico, foram alcançados bons resultados, havendo então um aumento do conhecimento sobre os impactos de espécies exóticas invasoras.

A preocupação com as invasões biológicas se consolidou com a Convenção Internacional sobre Diversidade Biológica (CDB), no ano de 1992, no Rio de Janeiro. O Artigo 8h da CDB diz que os governos signatários devem "impedir que se introduzam, controlar ou erradicar espécies exóticas que ameacem os ecossistemas, habitats ou espécies".

Uma das Decisões das Partes da CDB que se refere a espécies exóticas invasoras é a Decisão V/8. Nela se solicita às Partes a adoção das diretrizes para a prevenção, introdução e mitigação de impactos de espécies exóticas invasoras. Além disso, solicita-se a elaboração de estratégias nacionais e planos de implementação, além do desenvolvimento de medidas para a educação, o treinamento e a informação pública sobre distintos aspectos do tema, incluindo os riscos de espécies exóticas invasoras (ICMBio, 2018).

Além da Decisão V/8, a Decisão V/23 reconhece que espécies exóticas invasoras constituem uma das principais ameaças à diversidade biológica e indica as diretrizes para a prevenção, introdução e mitigação de impactos de espécies exóticas invasoras que ameaçam ecossistemas, habitats ou espécies, além de incluir recomendações para a elaboração de estratégias nacionais e planos de implementação (ICMBio, 2018).

A partir da Convenção Internacional sobre Diversidade Biológica, alguns esforços se destacaram visando atender seus objetivos, como, por exemplo, o Programa Global de Espécies Invasoras (GISP – *The Global Invasive Species Programme*) desenvolvido originalmente em janeiro de 1996 e estabelecido em 1997, criado para tratar das ameaças globais causadas por espécies exóticas invasoras e para fornecer apoio à implementação do Artigo 8-h da Convenção sobre Diversidade Biológica (MCNEELY *et al.*, 2001). O GISP procura melhorar a base científica para a tomada de decisões sobre espécies invasoras, desenvolver capacidades para empregar sistemas de alerta precoce e avaliação rápida e resposta, além de desenvolver melhores métodos de avaliação de risco e reduzir o custo econômico de métodos de controle (MCNEELY *et al.*, 2001).

No Brasil, o texto da Convenção sobre Diversidade Biológica, ratificado por quase 170 países, foi legalizado com o Decreto Legislativo nº 2, em 05 de junho de 1992 e promulgado pelo Decreto Presidencial nº 2.519 em 16 de março de 1998.

Mais recentemente, como resultado da Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas – ONU, foi criada a Agenda 2030, um documento que trata de um plano de ação para erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir que as pessoas alcancem a paz e a prosperidade, e que contém 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), além de 169 metas a serem atingidas (ONU, 2015; ICMBio, 2018).

O ODS nº 15 da Agenda 2030 trata de proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade (ONU, 2015). A meta 15.8, relacionada ao ODS 15 determina que até 2020, deve-se 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 (ONU, 2015).

Voltando ao contexto nacional, considerando a falta de conhecimento sobre invasões biológicas no Brasil, o Ministério do Meio Ambiente abriu, em 2004, um edital para a elaboração de um Informe Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras, com os objetivos de coleta, sistematização e divulgação de informações sobre espécies exóticas invasoras no Brasil. (ZENNI *et al.*, 2016). Houve uma compilação de dados sobre espécies exóticas invasoras, além de uma avaliação sobre a estrutura existente no país para a prevenção e o controle de invasões biológicas.

Os resultados levaram o Ministério do Meio Ambiente e instituições parceiras a organizar o primeiro Simpósio Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras, realizada em Brasília em dezembro de 2005 (ZENNI *et al.*, 2016; DECHOUM *et al.*, 2018). O simpósio foi um marco nacional sobre o tema relacionado às espécies exóticas invasoras (ZENNI *et al.*, 2016).

Em 2009 foi instituída a primeira Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras, por meio da Resolução CONABIO nº 05, de 21 de outubro de 2009. Porém, visando alavancar a sua implementação, o MMA, em conjunto com o IBAMA e ICMBio, elaborou uma proposta de revisão da Estratégia Nacional, que resultou na sua aprovação por meio da Resolução CONABIO nº 07, de 29 de maio de 2018. A Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras de 2018 tem como objetivo orientar a implementação de medidas para evitar a introdução e a dispersão e reduzir significativamente o impacto de espécies exóticas invasoras sobre a biodiversidade brasileira e serviços ecossistêmicos, controlar ou erradicar espécies exóticas invasoras (BRASIL, 2018).

A Estratégia Nacional revisada representa um importante instrumento para a implementação do artigo 8 h da Convenção sobre Diversidade Biológica no Brasil e uma efetiva ferramenta que o país dispõe para a consecução das determinações das Decisões V/8, VI/23, das Conferências das Partes, da CDB (BRASIL, 2018).

Ainda no ano de 2018, o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade publicou Guia de Orientação para o Manejo de Espécies Exóticas Invasoras em Unidades de Conservação Federais, com o objetivo de suprir uma lacuna de informação e orientação para uma das ameaças mais significativas à diversidade biológica, abordando medidas de prevenção, detecção precoce e resposta rápida, além de indicações para o manejo de espécies exóticas invasoras de diversos grupos biológicos em ambientes terrestres, de águas continentais e marinhos (ICMBio, 2018).

No Estado de Santa Catarina, a primeira lista de espécies exóticas invasoras foi publicada de acordo com a Resolução CONSEMA nº 08, de 14 de setembro de 2012. A Resolução teve por objetivo criar referência sobre espécies problemáticas, alertar sobre a necessidade de contenção daquelas utilizadas para fins de produção, indicar a substituição para uso paisagístico, em ruas, parques e praças, alertar o público sobre cuidados e prevenir o uso equivocado das mesmas para evitar impactos ambientais.

A lista oficial de espécies exóticas invasoras publicada pela Resolução CONSEMA 08/2012, ordenou as espécies por categorias de risco ou ameaça à biodiversidade. De acordo com o Art. 3º da resolução, as espécies exóticas invasoras foram enquadradas nas seguintes categorias:

- I – Categoria 1: espécies que não têm permitida a posse, o domínio, o transporte, o comércio, a aquisição, a soltura, a translocação, a propagação, o cultivo, a criação e a doação sob qualquer forma, bem como, a instalação de novos cultivos e criações;
- II – Categoria 2: espécies cujo manejo, criação ou cultivo são permitidos sob condições controladas, estando sujeitas a normas e condições específicas para o comércio, a aquisição, o transporte, o cultivo, a distribuição, a propagação e a posse, estabelecidas no Programa Estadual de Espécies Exóticas Invasoras. As espécies da fauna enquadradas nesta categoria têm proibida sua soltura.

As espécies inseridas na Categoria 1 são aquelas que causam mais prejuízos do que geram benefícios e que, de modo geral, não apresentam valor de mercado significativo a ponto de justificar o uso. Já as espécies enquadradas na Categoria 2, de alguma forma fazem parte de sistemas de produção e, desde que respeitada as restrições e a regulamentação definida em normas específicas para cada espécie, tem o uso permitido.

Portanto, a inclusão de espécies na lista não quer dizer que necessariamente a espécie se torne totalmente proibida, mas sim alerta para necessidade de se seguir regras com o objetivo de evitar que essas espécies causem problemas e danos ambientais.

3.2 ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS

O ponto biológico chave para definição de espécie exótica, conforme explica Shine (2008) é quando o organismo em questão chega de outro local e não é parte da flora ou fauna do ecossistema recipiente. Muitos termos podem ser usados para transmitir este conceito, como: espécies não-nativas ou não indígenas, introduzidas, exóticas, ferais, estrangeiras, ou espécies daninhas.

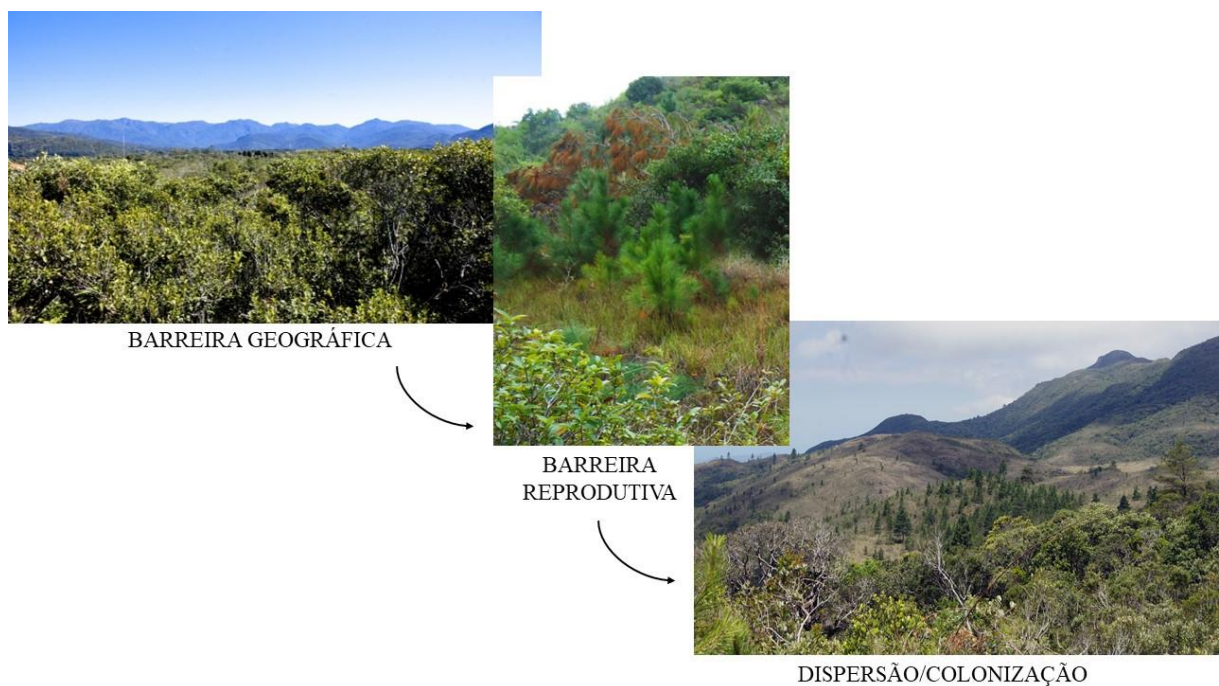
De acordo com a União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN, 2000) entende-se por espécie exótica a espécie, subespécie ou o táxon inferior que ocorre fora da sua área natural (passada ou presente) e de dispersão potencial (por exemplo fora da área que ocupa naturalmente ou não poderia ocupar sem introdução ou cuidado humano direto ou indireto) e inclui qualquer parte, gameta ou propágulo daquela espécie que possa sobreviver e se reproduzir. Da mesma forma, os Princípios Guias adotados na Convenção de Diversidade Biológica definem espécie exótica como uma ‘espécie, sub-espécie ou táxon menor, introduzida fora de sua distribuição natural, incluindo qualquer parte desta espécie que possam sobreviver e subsequentemente reproduzir’ (CDB Princípios Guias, 2002; SHINE, 2008).

A definição de espécie exótica invasora proposta pelos Princípios Guias da CDB é uma espécie cuja introdução e/ou dispersão ameaça a diversidade biológica (CDB Princípios Guias, 2002). Já de acordo com a União Internacional para Conservação da Natureza – IUCN, uma espécie exótica invasora é uma espécie exótica que se torna estabelecida em ecossistemas ou habitats naturais ou semi-naturais, sendo um agente de mudança e ameaça a diversidade biológica nativa (IUCN 2000).

De maneira similar, Lorenzi *et al.* (2003), afirmam que espécies exóticas são aquelas que possuem a capacidade de sobreviver em um ecossistema onde sua ocorrência não acontece de forma natural, chegando em uma nova área por meio da ação humana, seja ela intencional ou acidental de maneira direta ou indireta (PYSEK *et al.*, 2004; RICHARDSON *et al.*, 2000a).

Para que uma espécie passe a ser considerada exótica invasora, ela precisa vencer três barreiras (Figura 7): a primeira, geográfica, é superada quando a espécie transpõe seu limite geográfico de ocorrência, com ou sem suporte de ação humana. Uma vez introduzida, é necessário superar os fatores bióticos e abióticos limitantes à sobrevivência e à reprodução, formando populações autorregenerativas locais. Essa é a segunda barreira. A terceira barreira, da invasão propriamente dita, se refere a capacidade de dispersão para áreas distantes de onde foi introduzida. Uma vez que a espécie encontre meios de se propagar em ambientes naturais, passa a ser considerada exótica invasora (RICHARDSON *et al.*, 2000b; LORENZI *et al.*, 2003; ZILLER e ZALBA, 2007; DECHOUM, 2015a), apresentando vantagens competitivas em relação às demais, provocando alterações em processos ecológicos considerados essenciais e a supressão de espécies nativas, uma vez que apresenta dominância em relação às espécies locais (PARKER *et al.*, 1999; VALÉRY *et al.*, 2008; MALTA *et al.*, 2012).

Figura 7. Demonstração das barreiras a serem superadas por espécies exóticas invasoras.



Fonte adaptado pela autora, IMA (2019).

Richardson *et al.* (2000b) sugeriram um critério para se definir se uma espécie introduzida pode ser chamada de invasora. Se a espécie, a partir do ponto de introdução, apresentar uma taxa de disseminação de mais 100 metros ao longo de 50 anos (para espécies que se reproduzem por sementes) pode ser denominada invasora.

O estabelecimento de exóticas invasoras causa impactos bióticos e abióticos que interferem na conservação da biodiversidade e está diretamente relacionado, dentre outros aspectos, ao grau de perturbação do ecossistema (ZILLER, 2001). Considerável número de espécies exóticas invasoras presentes em UCs tem relação com o adensamento e proximidade das atividades antrópicas, urbanas e rurais, no entorno (MCKINNEY, 2002) ou mesmo com atividades dentro das UCs – antes ou depois da sua data de criação (SAMPAIO e SCHMIDT, 2013).

Plantas exóticas invasoras tendem a produzir alterações em propriedades ecológicas essenciais como ciclagem de nutrientes, cadeias tróficas, estrutura, dominância, distribuição e funções de espécies num dado ecossistema, acúmulo de serrapilheira e de biomassa e processos evolutivos, alterações na frequência e intensidade de incêndios (ZILLER, 2001; BROOKS *et al.*, 2004; PYSEK *et al.*, 2012). Em fases avançadas do processo de invasão, sem que haja esforços de controle, as alterações causadas por espécies invasoras podem modificar irreversivelmente os ecossistemas e extinguir localmente espécies nativas (MASON e FRENCH, 2008). Hoje em dia, praticamente todos os ecossistemas têm ocorrência de espécies exóticas entre suas comunidades (VAN KLEUNEN *et al.*, 2015).

Atualmente, há 191 espécies de plantas exóticas reconhecidas como estabelecidas com potencial invasor ou invasoras no Brasil (INSTITUTO HÓRUS, 2019). No Estado de Santa Catarina, a primeira lista de espécies exóticas invasoras, de acordo com a Resolução CONSEMA nº 08, de 14 de setembro de 2012, indicava a existência de 48 espécies de plantas exóticas invasoras no Estado (ANEXO I).

O Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental e o Programa de Espécies Exóticas Invasoras para a América do Sul da The Nature Conservancy mantém uma base de dados nacional que integra a rede I3N, Rede Temática de Espécies Invasoras da IABIN (Rede Inter-Americana de Informação sobre Biodiversidade). A Base de dados inclui apenas espécies exóticas invasoras que já se encontram presentes no país. As espécies registradas encontram-se sempre relacionadas a pelo menos uma ocorrência geográfica no Brasil. De acordo com essa base de dados, em 2019 (até o mês de julho) há registro de 84 espécies de plantas consideradas exóticas invasoras para o Estado de Santa Catarina. A existência de uma lista oficial de espécies exóticas invasoras é fundamental para criar referência sobre os problemas existentes e serve como base para processos de regulamentação de uso e licenciamento (INSTITUTO HÓRUS, 2019).

Ao comparar-se o número de espécies de plantas exóticas invasoras apresentado pela Resolução Consema 08, no ano de 2012 com o número de registros da Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras em 2019, percebe-se que houve um aumento significativo de 36 espécies, ou seja, um aumento de 75% em sete anos. Das 84 espécies de plantas exóticas invasoras registradas na Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras, 79 delas têm ocorrência em áreas protegidas, demonstrando a fragilidade desses ambientes.

Alguns ambientes são aparentemente mais suscetíveis à invasão do que outros, sendo que quanto maior o grau de perturbação de um ecossistema natural, maior o potencial de dispersão e estabelecimento de exóticas (ZILLER, 2001). Partindo desse pressuposto, áreas com alta diversidade biológica e elevado grau de conservação seriam mais estáveis e resistentes à invasão por espécies exóticas (IVES e CARPENTER, 2007; JESCHKE, 2014).

Porém, o conjunto de espécies exóticas introduzidas em uma determinada região é decorrente de fatores históricos ligados ao tipo, à intensidade e à frequência de atividades humanas (KUEFFER, 2013), o que sugere que até mesmo áreas protegidas por lei são suscetíveis a esse processo.

As áreas protegidas são conceituadas pela IUCN como “uma área de terra e/ou mar especialmente dedicada à proteção e manutenção da diversidade biológica e de seus recursos naturais e culturais associados e manejada através de instrumentos legais ou outros meios efetivos” (IUCN, 1994). No Brasil, no ano de 2000, com a aprovação da Lei nº 9.985, instituiu-se o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (BRASIL, 2000), o qual estabeleceu critérios e normas para criação, implantação e gestão de áreas protegidas na forma de unidades de conservação. Embora esteja previsto no SNUC a remoção de espécies exóticas das áreas protegidas, ainda há pouco conhecimento acerca da ameaça dessas espécies.

De acordo com o *The Global Invasive Species Programme* (GISP, 2007) unidades de conservação no mundo inteiro têm sofrido seriamente as consequências das invasões biológicas. Ainda que uma UC esteja protegida de ameaças antrópicas diretas, seus ecossistemas podem ser seriamente alterados pela invasão de espécies exóticas caso não sejam implementadas ações de detecção e de manejo destas espécies e dos ecossistemas que elas invadem (SAMPAIO e SCHMIDT, 2013).

Estas espécies têm alta capacidade de dispersão e colonização e segundo Mckinney (2002) adentram as UCs devido ao adensamento e proximidade das atividades antrópicas, urbanas e rurais, no entorno ou mesmo devido a atividades dentro das UCs – antes ou depois da criação das Unidades. No Brasil, grande parte das unidades de conservação, em todos os biomas, têm registro de espécies exóticas invasoras, porém a maior parte dos registros são em áreas de Mata Atlântica (ZENNI e ZILLER, 2011; SAMPAIO e SCHMIDT, 2013). Este bioma consiste no mais impactado e degradado quando comparado aos demais, pois abrange as maiores concentrações urbanas e populacionais do país.

Assim como as concentrações urbanas, a área rural sofre ampla pressão antrópica, sendo grande parte através de sistemas de produção agrícola e pastoril de larga escala, mas também, embora em menor intensidade, devido a conversão do uso do solo em pequenas propriedades, gerando, por consequência, a fragmentação de habitats. A fragmentação e perda de hábitat têm alterado drasticamente a disponibilidade de recursos, e a estrutura, dinâmica e composição de espécies em florestas neotropicais (LAURANCE *et al.*, 2000; DENSLOW e DEWALT, 2008), o que também tende a facilitar processos de invasão biológica.

A compreensão a respeito da ecologia das espécies invasoras é complexa, pois o tema envolve desde os mecanismos de entrada e dispersão destas espécies, passando pelas características biológicas que as tornam invasoras, relação entre as atividades humanas e sua disseminação, impactos socioeconômicos (positivos ou negativos) que causam, até os aspectos legais e técnicas de manejo. Dessa forma, o estudo detalhado a respeito das espécies se reveste de importância para que seja possível o planejamento e gestão adequada das áreas invadidas.

3.3 A ESPÉCIE *HOVENIA DULCIS*

De acordo com a Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras, atualmente há 191 espécies de plantas exóticas reconhecidas como estabelecidas com potencial invasor ou invasoras no Brasil (INSTITUTO HÓRUS, 2019), sendo *Hovenia dulcis* uma das espécies invasoras mais relevantes nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, na Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária) e na Floresta Estacional Semidecidual (ZENNI e ZILLER, 2011). Em geral, a espécie compõe o segundo estrato e clareiras de florestas seletivamente exploradas, margens de rodovias e terrenos baldios (INSTITUTO HÓRUS, 2019).

Hovenia dulcis é uma espécie arbórea caducifólia (Figura 8), pertencente à família Rhamnaceae, com até 25 metros de altura (CARVALHO, 1994), nativa da China, Japão e Coreia, ocorrendo em seu local de origem entre as latitudes 25° e 41° Norte e as longitudes 100° e 142° Leste, sendo que na China, é componente ocasional do estrato intermediário de florestas decíduas de carvalho, em clima subtropical e em clima temperado quente e úmido, nas Províncias situadas nas Regiões Centro-Sul e Centro-Oeste (Hopei, Honan, Shantung, Chekiang, Hupeh, Hunan, Szechuan, Yunnan, Kweichow, Kwangtung e Fukienem), em altitudes entre 165 e 1350 m, com precipitação em torno de 850 a 2.000 mm e temperatura média anual de 7° a 17°C (RICHARDSON, 1966; KOLLER e ALEXANDER, 1979; INSTITUTO HÓRUS, 2019). No Brasil, encontra-se nos tipos climáticos Cfa, Cfb e Cwa (climas subtropicais) (CARVALHO, 1994).

Figura 8. Indivíduo de *Hovenia dulcis*, com detalhe de ramo e floração.



Fonte: LORENZI *et.al.* (2003).

Sua copa é globosa e ampla e sua casca lisa, levemente fissurada, pardo-escura a cinza-escura. Folhas simples, alternas, curto-pecioladas, ovadas, acuminadas, glabras na parte superior e ligeiramente pubescentes na parte inferior. Flores hermafroditas, pequenas, branco-esverdeadas a creme, numerosas. Polinizada principalmente por abelhas.

Seu fruto é uma pequena cápsula globosa seca com 2 a 4 sementes, preso a um pedúnculo carnoso cor de canela com sabor doce e agradável. Apresenta sementes de 3 a 5mm, arredondadas, alaranjadas ou avermelhadas quando recém colhidas e marrons a pretas após oxidação. Floresce de agosto a fevereiro no sul do Brasil, com frutificação entre março e outubro. Já a queda de folhas, no sul do Brasil, ocorre de abril até o final de agosto (CARVALHO, 1994; DECHOUM, 2015a; INSTITUTO HÓRUS, 2019).

Hovenia dulcis é classificada como espécie pioneira, de crescimento rápido e sua fase reprodutiva tem início entre o 3º e 4º ano de idade, apresentando regeneração natural intensa por sementes (CARVALHO, 1994; DECHOUM, 2015a). A sua dispersão é zoocórica (aves e pequenos animais). A espécie apresenta grande plasticidade, crescendo em solos compactos, rasos e pedregosos, desde arenosos até argilosos (CARVALHO, 1994).

A dispersão ocorre por seus frutos (Figura 9), que apresentam forma de cápsulas globosas secas, presos a um pedúnculo cor de marrom, o qual se torna espessado e carnoso ao madurar (e por isso é considerado um pseudofruto), com sabor doce e agradável (CARVALHO, 1994), consumido inclusive por seres humanos. Este pedúnculo é rico em carboidratos e em especial em sacarose, o que aumenta o interesse da fauna dispersora, que, atraída pela polpa carnosa, acaba comendo também as sementes e, ao se deslocarem entre ambientes, dispersam a espécie a distâncias maiores.

Figura 9. Detalhe do fruto e do tronco de *Hovenia dulcis*.



Fonte: LORENZI *et.al.* (2003).

De maneira geral, as pessoas apreciam a planta e não a enxergam como uma ameaça aos ambientes naturais. Por apresentar tolerância a geadas e multiplicidade de usos, esta espécie tornou-se importante para a região Sul do Brasil. Além de espécie frutífera, pode ser utilizada como quebra-vento, sombra em pastagens e áreas de cultivo, além de apresentar bom uso como madeira (CARVALHO, 1994; SCHUMACHER *et al.*, 2008).

O uso da madeira de *Hovenia dulcis* é amplo. Segundo Carvalho (1994), pode ser utilizada na construção civil, obras de marcenaria, carpintaria, forro, vigas, caibros, tábuas, assoalho, moirões, tornearia fina, sendo usada na fabricação de móveis, molduras, artesanato, objetos de adorno e laminados e para energia, pois a lenha é considerada de boa qualidade.

Schumacher *et al.* (2008) estudaram um povoamento de *Hovenia dulcis* com 18 anos de idade, plantado na Fepagro Florestas, em Santa Maria – Rio Grande do Sul, com o objetivo de estimar a biomassa produzida acima do solo e o seu respectivo teor e quantidade de nutrientes. Os autores concluíram que o acúmulo de biomassa ocorre prioritariamente na madeira, sendo a fração que mais acumula nutrientes também, seguindo-se galhos, cascas e folhas, indicando, portanto, ser uma espécie promissora para a produção de madeira de forma comercial.

O fruto da *Hovenia dulcis* é utilizado como alimento pela fauna silvestre e para complementar a alimentação de suínos e aves (CARVALHO, 1994). Porém, mais recentemente, o pedúnculo (ou pseudofruto), que é a parte comestível do fruto da espécie, vem sendo consumido fresco ou como ingrediente em produtos alimentícios, como sucos, vinhos, vinagres, doces e geleias ou em uso para fortificação nutricional de produtos de padaria, como fonte de fibra dietética (BAMPI *et al.*, 2010; FIORIO *et al.*, 2015). Há relatos que na China, o fruto já era consumido pela população no período pré-Confúcio (KOLLER e ALEXANDER, 1979).

Os frutos de *Hovenia dulcis* apresentam elevado teor de água, alta concentração de açúcares e fibras, com baixo conteúdo de lipídeos, aspectos que sugerem a possibilidade de aproveitamento na produção de diferentes produtos alimentícios (FIORIO *et al.*, 2015). Buono *et al.* (2008) investigaram a composição química dos compostos de reserva dos frutos de *Hovenia dulcis*, chegando à conclusão de que há uma grande quantidade e acúmulo de carboidratos na forma de amido.

Bampi *et al.* (2010) desenvolveram um estudo com o objetivo de determinar a composição centesimal do fruto, do extrato concentrado e da farinha, além da quantificação da frutose, glicose e sacarose no fruto da *Hovenia dulcis*. Os resultados indicaram que teor de açúcares redutores representou a maior parcela dos açúcares totais da espécie, com proporções semelhantes entre glicose e frutose. Os elevados teores de fibra alimentar e açúcares encontrados no extrato concentrado e na farinha indicam que podem ser incluídos na dieta como alimento fonte de fibras ou na utilização para enriquecimento nutricional de produtos.

No Comunicado Técnico 361 da Embrapa Florestas, Maieves *et al.* (2015), apresentaram informações a respeito do valor nutricional e aceitabilidade dos frutos de *Hovenia dulcis*. Como resultados, os autores destacam que o fruto, quando maduro, pode ser considerado fonte de fibra alimentar, vitamina C (ácido ascórbico) e minerais: cálcio, magnésio ferro, zinco, manganês e cobre, sendo uma boa alternativa para melhorar a qualidade sensorial e nutricional na alimentação. Com o estudo foi possível verificar também que os frutos *in natura* tiveram maior aceitação que os desidratados, demonstrando o seu potencial de comercialização.

Fiorio *et al.* (2015), testaram o potencial de utilização de frutos de *Hovenia dulcis* para produção de fermentado alcoólico e chegaram à conclusão que a espécie apresenta teores de sólidos solúveis, açúcares e pH que podem ser favoráveis para o processo fermentativo, tornando possível a obtenção de teor de álcool no produto, sendo compatível com aqueles obtidos de matérias-primas utilizadas rotineiramente na produção de vinho. Os autores destacam ainda em seus resultados a possibilidade de produção de fermentado acético (vinagre).

Além do potencial alimentício, na China, a espécie é utilizada na medicina popular, como antifebril, laxativo, diurético e calmante estomacal, além de algumas propriedades antivirais e de auxiliar na diminuição dos efeitos do alcoolismo no corpo (KOLLER e ALEXANDER, 1979). No Brasil, a sua casca ajuda no combate às afecções intestinais e o pedúnculo é indicado para problemas de asma apresentando, ainda, propriedade diurética (CORRÊA, 1978; CARVALHO, 1994).

Uma pesquisa desenvolvida na Universidade da Califórnia (UCLA) por Shen *et al.* (2012) e publicada no *Journal of Neuroscience*, identificou um flavonoide que se extrai da *Hovenia dulcis* chamado dihidromiricetina, que pode ser empregado em casos de intoxicações etílicas (dependência de álcool) e síndrome da abstinência além de ser utilizado também como anticelulítico na área de cosmética.

Disseminada em toda a região Sul, a Uva-do-Japão, como a *Hovenia dulcis* é conhecida popularmente, adaptou-se bem ao clima e ao solo do Brasil (COZZO, 1960). A espécie foi introduzida no Brasil na segunda metade do século 20 e usada para produção de madeira, sombra em pastagens e áreas de cultivo, e como quebra vento. Em Santa Catarina, foi muito plantada a partir dos anos 80, com o crescimento da agroindústria, a qual incentivou o uso da espécie para sombrear granjas de porcos e aves no oeste catarinense (Figura 10), pois perde as folhas no inverno e então permite a incidência do sol sobre essas estruturas (CARVALHO, 1994; SELLE, 2009; SANTA CATARINA, 2016).

Figura 10. Plantio de *Hovenia dulcis* (ao fundo) para fins de sombreamento e quebra-vento.



Fonte: A autora (2019).

A partir de então, a *Hovenia dulcis* se dispersou na região por uma paisagem fragmentada, decorrente da atividade extrativista praticada pelos imigrantes visando à implantação da agricultura e da pecuária e ao uso e comércio da madeira (RUSCHEL *et al.*, 2003; HERMES-SILVA, 2008). De acordo com Lima *et al.* (2015), populações desta espécie invasora estão atualmente presentes no interior de fragmentos florestais em diferentes estágios sucessionais, o que indica a sua alta capacidade de invasão.

De acordo com dados do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina - IFFSC, *Hovenia dulcis* pode se dispersar além de suas áreas de cultivo, estabelecendo-se em bordas e clareiras de fragmentos florestais secundários, ocupando inclusive a posição mais importante no componente arbóreo-arbustivo (VIBRANS *et al.*, 2012a).

Porém, conforme demonstrado por Padilha *et al.* (2015) em um estudo na região Norte do Rio Grande do Sul, *Hovenia dulcis* pode invadir também ambientes mais fechados, de interior de floresta. Os pesquisadores verificaram a relação entre a invasão de *H. dulcis* em remanescentes florestais e a atual fragmentação do habitat e chegaram a conclusão que a ocorrência da espécie não está diretamente relacionada ao tamanho do remanescente, e que, portanto, mesmo fragmentos florestais maiores estão suscetíveis à invasão biológica.

Conforme a Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras (INSTITUTO HÓRUS, 2019), *Hovenia dulcis*, ao invadir áreas de floresta, compete por espaço, luz e nutrientes com espécies nativas, reduzindo a disponibilidades desses recursos. A espécie ocupa o estrato superior da floresta, tomando gradativamente o espaço das espécies características, como cedro, canelinas, canjerana, ipê, miguel-pintado e outras.

Hovenia dulcis atualmente consta na lista oficial de espécies exóticas invasoras dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Paraná, 2009; Santa Catarina, 2012; Rio Grande do Sul, 2013) e por ser tolerante à sombra na fase de plântula, tem potencial de invasão no interior de florestas que apresentam menor abertura de dossel e são mais bem conservadas (DECHOUM, 2015a). Embora a espécie apresente características agressivas de invasão, é enquadrada, de acordo com a Resolução CONSEMA 08/2012 na Categoria 2, o que significa que o manejo, criação ou cultivo são permitidos sob condições controladas, estando sujeitas a normas e condições específicas estabelecidas no Programa Estadual de Espécies Exóticas Invasoras.

Na Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras, mantida pelo Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, há 229 registros de invasão de *Hovenia dulcis* (ANEXO II), distribuídos pelos estados do Rio Grande do Sul (84), Santa Catarina (72), Paraná (62), São Paulo (8), Rio de Janeiro (1), Espírito Santo (1) e Bahia (1).

Ao se avaliar os 72 registros de ocorrência da espécie na Base de Dados para o Estado de Santa Catarina, é possível afirmar que esse número corresponde a 67 municípios (considerando que alguns municípios têm mais de um registro), distribuídos principalmente pela região Oeste do Estado (49 municípios) e Grande Florianópolis (10 municípios).

Santa Catarina dispõe ainda de outra importante base de dados, o Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina – IFFSC, publicado no ano de 2012, contendo os resultados dos levantamentos de dados sobre a diversidade de plantas vasculares, composição florística, estrutura e estado de conservação da cobertura florestal, diversidade genética de espécies ameaçadas de extinção e a importância socioeconômica e cultural dos recursos florestais do Estado (VIBRANS *et al.*, 2012a). Além das publicações dos resultados e análises, o IFFSC dispõe também de um Sistema de Gerenciamento de dados (SINFLO), acessado por meio de um site.

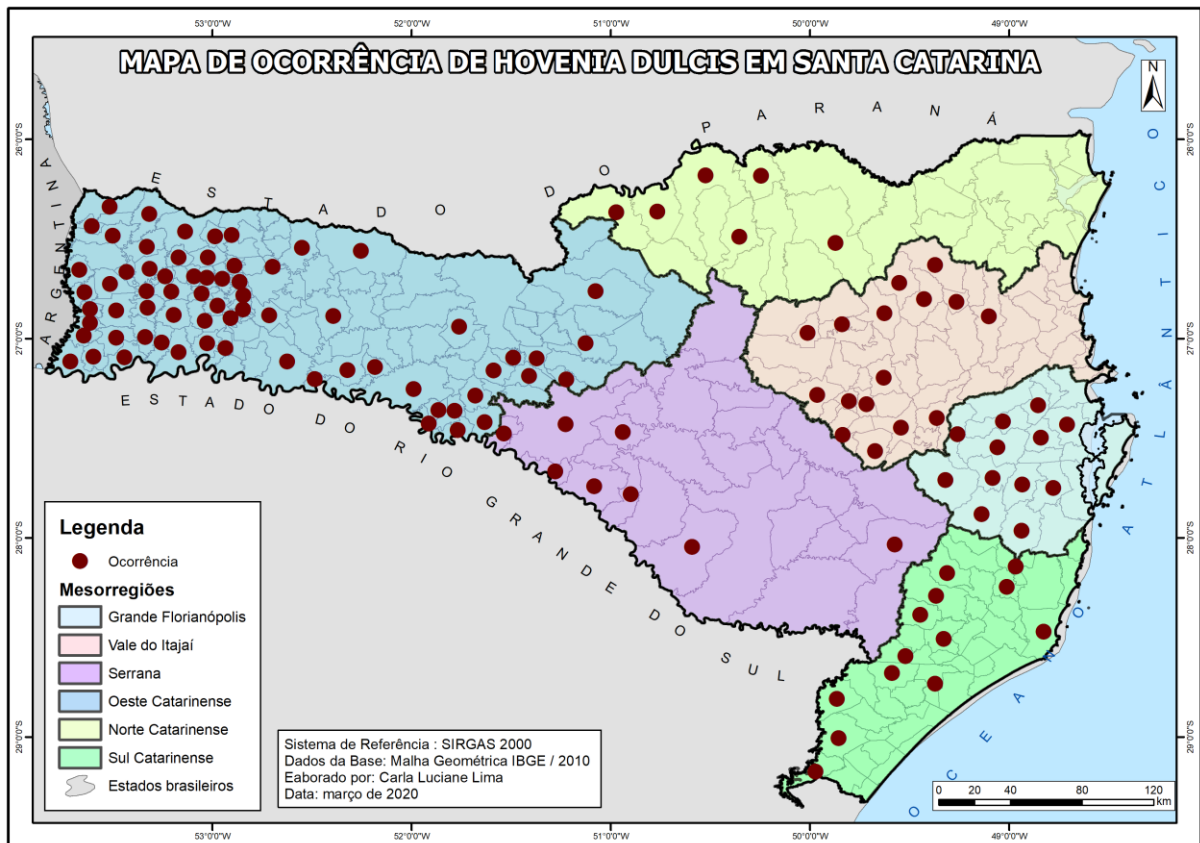
De acordo com as informações disponibilizadas pelo SINFLO – IFFSC, *Hovenia dulcis* foi registrada em 107 unidades amostrais, ocorrendo em todas as fitofisionomias de Santa Catarina: Floresta Estacional Decidual, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Decidual em contato com Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Mista em contato com Floresta Ombrófila Densa (SINFLO, 2020). Os 107 registros da espécie correspondem à ocorrência em 77 municípios (uma vez que muitos municípios possuem mais de uma unidade amostral), distribuídos principalmente pela região Oeste do Estado (37 municípios), Vale do Itajaí (13 municípios) e Sul (11 municípios).

De maneira complementar, ao se analisar as publicações em periódicos científicos, correspondendo a esforços de pesquisas específicas da espécie, *Hovenia dulcis* foi registrada em pelo menos 13 municípios. São 11 publicações relacionadas a ocorrência da espécie no Estado, entre os anos de 2012 e 2019 (HENDGES *et al.*, 2012; DECHOUM *et al.*, 2014; DAMBROWSKI, 2014; CARDOSO *et al.*, 2015; DECHOUM, 2015a; DECHOUM *et al.*, 2015b; DECHOUM *et al.*, 2015c; LAZZARIN *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2015; FREITAS *et al.*, 2016; SCHMIDT *et al.*, 2019).

De acordo com as publicações científicas, o maior número de municípios com registro de ocorrência de *H. dulcis* localizam-se no Oeste Catarinense (6 municípios), porém ocorrendo registro da espécie também nas regiões Serrana, do Vale do Itajaí (ambas com 3 municípios) e Sul Catarinense (1 município).

Compiladas todas as informações constantes nas bases de dados consultadas (Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras, Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina e publicações científicas) a espécie *Hovenia dulcis* tem ocorrência registrada em 124 municípios catarinenses (ANEXO III). No mapa representado na Figura 11 é possível perceber que a região com maior número de registros de ocorrências é a região do Oeste Catarinense, com 70 municípios, sendo que em 3 deles – Concórdia e Piratuba e São José do Cedro – há registros de *Hovenia dulcis* em todos as bases da dados consultadas. Porém, há um número considerável de ocorrências também nas regiões do Sul Catarinense (18 municípios), Vale do Itajaí (17 municípios) e Grande Florianópolis (11 municípios).

Figura 11. Mapa de ocorrência de *Hovenia dulcis* em Santa Catarina.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

É importante destacar também que a espécie *Hovenia dulcis* está presente em diversas áreas protegidas. Dos 229 registros da espécie na Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras, 65 são em Unidades de Conservação em nível federal, estadual e municipal, distribuídos em 42 Unidades diferentes (INSTITUTO HÓRUS, 2019).

O Estado de Santa Catarina possui 10 unidades de conservação de domínio estadual e 16 de domínio federal, totalizando 26 UCs. Além disso, o Estado conta ainda com 70 Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) federais, as quais embora compostas por áreas menores quando comparadas às demais UCs, assumem importante papel na conservação da biodiversidade e estabilidade do ecossistema.

De acordo com a Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras, de 2003 até o ano de 2019, a espécie *Hovenia dulcis* tem ocorrência registrada em 9 unidades de conservação no Estado de Santa Catarina, sendo que dessas 9 UCs invadidas, 2 são UCs de domínio federal, 4 UCs de domínio estadual e ainda 3 reservas particulares (Tabela 3), demonstrando a capacidade de invasão da espécie até mesmo em ambientes protegidos e mais bem conservados.

Tabela 3 – Unidades de Conservação com registro de ocorrência de *Hovenia dulcis* em Santa Catarina.

Id	Unidade de Conservação invadida	Domínio
1	Parque Estadual da Serra do Tabuleiro	Estadual
2	Parque Estadual das Araucárias	Estadual
3	Parque Estadual Fritz Plaumann	Estadual
4	Reserva Biológica do Sassafrás	Estadual
5	Parque Nacional da Serra Geral	Federal
6	Parque Nacional de Aparados da Serra	Federal
7	Reserva Particular do Patrimônio Natural Corredeiras do Rio Itajaí	Particular
8	Reserva Particular do Patrimônio Natural do Caraguatá	Particular
9	Reserva Particular do Patrimônio Natural Rio das Furnas	Particular

Fonte: Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras (I3N).

Constata-se, portanto, a ampla ocorrência da espécie *Hovenia dulcis* no Estado de Santa Catarina, uma vez que está presente em 124 dos 295 municípios, ou seja, 42% dos municípios do Estado já foram invadidos, bem como 23% das unidades de conservação administradas pela esfera federal e pela esfera estadual (6 de um total de 26 UCs). Uma das Unidades de Conservação mais afetadas pela invasão de *Hovenia dulcis* é o Parque Estadual Fritz Plaumann, no município de Concórdia, em Santa Catarina (Figura 12).

Figura 12. Concentração de *Hovenia dulcis* (copas em tons mais claros, dentro do retângulo em vermelho) no Parque Estadual Fritz Plaumann.



Fonte: A autora (2019).

Dechoum *et al.* desenvolveram importantes estudos no Parque Estadual Fritz Plaumann relacionados à *Hovenia dulcis* entre os anos de 2010 e 2015. No primeiro deles, os pesquisadores compararam áreas em três estágios sucessionais, com e sem indivíduos adultos de *H. dulcis*, do ponto de vista de estrutura, diversidade e diversidade funcional das comunidades vegetais. Como resultados destaca-se o fato de não terem sido observadas diferenças entre as comunidades vegetais invadidas e não invadidas por *H. dulcis* em todos os sucessionais estágios, e embora a densidade tenha sido baixa na maioria das parcelas, os resultados podem sugerir a capacidade da espécie em se adaptar e tolerar o sombreamento (DECHOUM *et al.*, 2014).

No segundo estudo, Dechoum *et al.* (2015b) caracterizaram a chegada de propágulos em sítios não invadidos, a partir da dispersão a curtas distâncias, além de avaliarem iniciativas de controle na redução na pressão de propágulos nesses sítios. Foi detectada uma limitação na dispersão de sementes de *H. dulcis* por aves a curtas distâncias e observada uma relação positiva entre o número de sementes e a área basal das árvores amostradas, que pode ser explicado se considerado que plantas maiores e mais desenvolvidas produzem mais sementes que plantas mais jovens e menores. Além disso, os autores afirmam que a eliminação de árvores de *H. dulcis* foi efetiva para reduzir a chegada de sementes em sítios não colonizados pela espécie.

Em seu terceiro estudo, Dechoum *et al.* (2015c) avaliaram experimentalmente a germinação de sementes, a sobrevivência e o crescimento de plântulas em três estágios sucessionais da floresta. *H. dulcis* pode germinar e se estabelecer ao longo de todos os estágios sucessionais da floresta por ser tolerante ao sombreamento. Embora as maiores taxas de germinação tenham sido registradas em vegetação fechada, a maior sobrevivência de plântulas ocorreu em ambientes semi-abertos. Como conclusão do estudo, os pesquisadores afirmam que estágios intermediários de sucessão florestal reúnem as condições mais favoráveis para o estabelecimento de *H. dulcis*, provavelmente tornando-os mais suscetíveis à invasão.

Outra importante pesquisa realizada no Parque Estadual Fritz Plaumann teve o objetivo de avaliar as interações entre *Hovenia dulcis* e animais frugívoros e as relações potenciais de dispersão na floresta estacional decidual. Lima *et al.* (2015) demonstraram que ao menos sete espécies de animais consomem seus frutos, sendo 4 mamíferos (*Cerdocyon thous*, *Dasyus novemcinctus*, *Guerlinguetus ingrami*, *Nasua nasua*), e três aves (*Penelope obscura*, *Pyroderus scutatus* e *Trogon surrucura*). Os mamíferos, de acordo com os autores, atuam como dispersores secundários, alimentando-se dos frutos caídos no chão. Já as aves atuam como dispersores primários, coletando a alimento diretamente nos galhos das árvores.

No mesmo estudo, os autores destacam a importância das formigas como agentes dispersores, uma vez que esses insetos foram registrados transportando sementes de *Hovenia dulcis* pelo chão da floresta e mudas da espécie estavam crescendo em um formigueiro (Figura 13). Desta forma, formigas também podem ser consideradas agentes dispersores secundários que contribuem para o sucesso no estabelecimento de exóticas invasoras (LIMA *et al.*, 2015).

Figura 13. Mudras de *Hovenia dulcis* crescendo em um formigueiro.



Fonte: LIMA *et. al.* (2015).

Também no Parque Estadual Fritz Plaumann, Hendges *et al.* (2012) durante um levantamento populacional de *Sapajus nigritus* (macaco-prego) observaram o consumo de pseudofrutos de *H. dulcis* por essa espécie. Os autores destacam que em áreas protegidas, comportamentos como este não podem ser negligenciados uma vez que o consumo observado pode facilitar o processo de invasão de uma espécie exótica com alto potencial de risco para a biodiversidade local.

Algumas plantas invasoras podem alterar as funções dos agentes dispersores, desregulando todo o equilíbrio do ecossistema, pois a partir do momento que passa a ocorrer a disponibilidade e abundância de frutos e sementes da espécie invasora no seu ambiente, os dispersores nativos poderão adotá-los como item alimentar essencial (HELENO *et. al.*, 2013; LIMA *et. al.*, 2015), o que pode dificultar ainda mais o controle de espécies exóticas invasoras. Aslan e Rejmánek (2012) descrevem que espécies exóticas que oferecem grande abundância de frutos, maior conteúdo energético ou acessibilidade, podem ter maior sucesso na competição por dispersores do que as plantas nativas.

Reforçando que a invasão de *Hovenia dulcis* não ocorre somente no Parque Estadual Fritz Plaumann, pode-se destacar o estudo de Freitas *et al.* (2016), entre os municípios de Ipira e Piratuba – SC. Ao analisar a estrutura horizontal do componente arbóreo de um fragmento florestal. Os autores afirmam que *H. dulcis* se destacou em meio as espécies nativas, indicando um processo inicial de contaminação biológica na área.

Da mesma forma, destaca-se a pesquisa realizada por Lazzarin *et al.* (2015) na área ciliar do reservatório da Usina Hidrelétrica de Machadinho, no Rio Uruguai, também no município de Piratuba – SC, com o objetivo de caracterizar a composição florístico-estrutural do componente arbóreo de uma área contaminada por *Hovenia dulcis*, determinar a relação da distribuição da espécie invasora com o estágio sucessional e verificar a relação da presença da espécie invasora com padrões de diversidade e de estruturação da comunidade. Como resultados, *H. dulcis* ocupou a sétima posição em valor de importância (4,04%), e o seu índice de invasão biológica não foi muito alto (0,47). *H. dulcis* associou-se com áreas em estágio sucessional inicial e intermediário, com menor diversidade de espécies arbóreas e ausência de estruturação da comunidade. Como conclusão, os autores afirmam que a invasão não ocorreu de forma espacialmente homogênea, sendo determinada pelas características ecológicas da comunidade residente.

No Estado do Paraná, Rodolfo *et al.* (2008) ao avaliarem a ocorrência de espécies invasoras encontradas em uma trilha de ecoturismo denominada trilha do Poço Preto no Parque Nacional do Iguaçu, encontraram um grande agrupamento de *Hovenia dulcis* e nas proximidades, pegadas de animais silvestres e frutos consumidos, o que pode indicar que essa área pode servir de polo dispersor da espécie.

Também no estado do Paraná, Bertolini *et al.* (2009) avaliaram o grau de invasão por *Hovenia dulcis* em um fragmento de floresta estacional semidecidual no município de Dois Vizinhos. Foi encontrado no estudo um número médio de 111 indivíduos adultos da espécie por hectare, enquanto que na regeneração natural o total foi de 911 plantas por ha. Embora o fragmento apresentasse vários estágios de sucessão, o estágio inicial foi o que apresentou a maior regeneração natural de *H. dulcis*, provavelmente explicado pelo fato de a espécie ser preferencialmente heliófita.

Já Scholz (2013) ao analisar a influência de árvores exóticas invasoras em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista no Parque da Barreirinha em Curitiba – Paraná, encontrou um aumento no número de indivíduos de *Hovenia dulcis* (83 em 2007 e 129 em 2013), a segunda mais representativa no fragmento e a que apresentou maior taxa de crescimento absoluto.

Outro estudo que demonstra o potencial invasor de *Hovenia dulcis* foi desenvolvido por Carvalho *et al.* (2014), que ao realizarem um censo de todos os indivíduos de espécies arbóreas exóticas invasoras nas rodovias BR 277, PR 407 e PR 508 no estado do Paraná, registraram a presença significativa de *H. dulcis* ao longo da rodovia BR-277.

Cordeiro *et al.* (2014), ao analisar a contaminação biológica por plantas exóticas na Floresta Ombrófila Mista do Parque Municipal das Araucárias em Guarapuava – PR, indicaram a *Hovenia dulcis* como uma das três espécies com maior risco para as plantas nativas, devido a sua presença no sub-bosque florestal, fazendo parte da estrutura horizontal e, com isso, da dinâmica da Floresta Ombrófila Mista do Parque.

Ainda no Paraná, Gerber *et al.* (2018) avaliaram o nível de invasão de *Hovenia dulcis* em uma área sob restauração ecológica e em área de fragmento de mata de araucária com floresta semidecidual estacional, ambas no município de Dois Vizinhos, Paraná. O potencial invasor de *H. dulcis* em áreas sob restauração ecológica e em fragmentos florestais foi alto, sendo que as áreas mais invadidas foram as em estágio inicial e médio de sucessão secundária. Os autores destacam ainda que locais com solos hidromórficos e especialmente aqueles onde há grupos pteridófitas, bromeliáceas e bambusoídes o desenvolvimento de indivíduos de *H. dulcis* foi dificultado.

No estado do Rio Grande do Sul, Souza e Maluf (2014) realizaram um levantamento da flora arbórea exótica existente na ARIE Henrique Luís Roessler, situada no Município de Novo Hamburgo, como forma de verificar a possível interferência destas espécies sobre as nativas, na biodiversidade local e contribuir na elaboração de futuros planos de manejo. Foram catalogadas 24 espécies exóticas, dentre elas *Hovenia dulcis*. Os autores afirmam que a contaminação biológica da unidade é de extrema relevância, sendo necessário a remoção manejo e monitoramento na área.

Em sua pesquisa de mestrado, Boeni (2011) procurou inicialmente comparar os parâmetros fitossociológicos e avaliar a riqueza, estrutura e composição de espécies arbóreas em áreas de floresta secundária em regeneração com e sem a invasão por *Hovenia dulcis* na Reserva Biológica da Serra Geral, entre os municípios de Maquiné, Terra de Areia e Itati. Como resultado, *H. dulcis* apresentou um dos maiores valores de densidade e área basal, demonstrando sua importância nas áreas onde ocorre. Já as variações florísticas encontradas são em maior parte determinadas pela diferença nas condições abióticas e no histórico de cada área e, secundariamente, pela presença de *H. dulcis*.

No mesmo estudo, Boeni (2011) testou os potenciais efeitos alelopáticos das folhas de *H. dulcis* sobre a germinação e crescimento de raiz e parte aérea de plântulas de *Casearia sylvestris*. Os resultados indicaram que os extratos aquosos de folhas de *H. dulcis* apresentaram efeito alelopático em sementes e plântulas de *C. sylvestris*, reduzindo a porcentagem de germinação. Além disso, houve efeito inibitório nas raízes, o que pode impedir o futuro estabelecimento dos regenerantes. Como conclusão, a autora destaca que a grande densidade de indivíduos de *H. dulcis* altera a composição de espécies na floresta em regeneração.

Considerando a revisão teórica apresentada neste capítulo 3, é possível afirmar que embora encontrados muitos benefícios relatados com o cultivo e produção de espécies exóticas, o potencial invasor deve ser avaliado de maneira prioritária, antes mesmo da introdução em novos locais, evitando assim o favorecimento do processo de invasão.

A espécie *Hovenia dulcis* tem um uso amplo, que vai desde cultivos visando a produção de madeira, até o aproveitamento de compostos químicos utilizados na área cosmética e da medicina. Mesmo com essa relevância e benefícios, a espécie tem grande potencial invasor, chegando a se sobrepor e dominar grandes extensões de áreas até então compostas apenas por espécies nativas.

Em Santa Catarina, o fato de ter registro de ocorrência em 42% dos municípios e em 23% das unidades de conservação indica que é imprescindível o desenvolvimento de estudos mais detalhados a respeito do comportamento de *H. dulcis*, visando a adoção de políticas públicas possam ser propostas, visando a prevenção, o controle e a erradicação, especialmente em áreas já invadidas.

4. SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À DETECÇÃO DE ESPÉCIES

O sensoriamento remoto consiste em se obter imagens da superfície terrestre, por meio da captação da energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2011). Envolve a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores a bordo de plataformas aerotransportadas ou orbitais (NOVO, 2008).

O sensoriamento remoto pode ser definido ainda como uma ciência de obtenção de dados dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico direto entre o sensor e o objeto (MENESES e ALMEIDA, 2012). Além dessas definições, o processamento, a análise e interpretação desses dados também fazem parte do sensoriamento remoto (JENSEN, 2009).

A energia utilizada pelo sensoriamento remoto é a radiação eletromagnética, que se propaga em forma de ondas eletromagnéticas (STEFFEN, 2000; FLORENZANO, 2011) e a sua distribuição está dividida em regiões ou bandas cujas denominações estão relacionadas com a forma com que as radiações podem ser produzidas ou detectadas (STEFFEN, 2000; FLORENZANO, 2011).

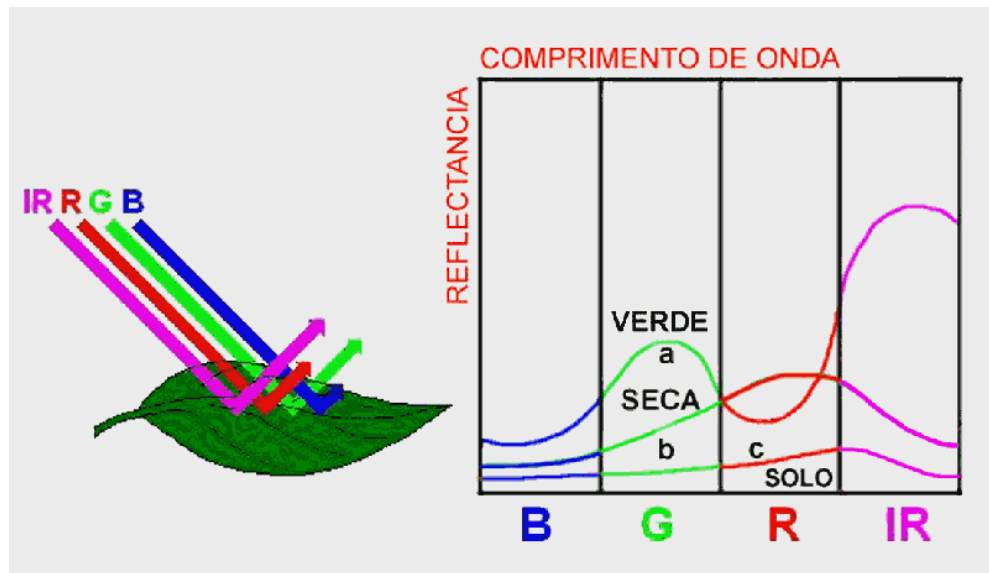
Ao contrário das abordagens tradicionais, os dados e técnicas de sensoriamento remoto podem ser aplicados em áreas geográficas extensas e remotas (HUANG E ASNER, 2009). Nesse contexto, o uso de veículos aéreos não tripulados (também chamados de RPAS, UAS, UAV) equipados com sensores remotos tem se firmado como uma ferramenta rápida e de menor custo para observação de fenômenos em áreas com essas características.

O sensoriamento remoto aliado a novas tecnologias é comprovadamente eficiente para estudos da vegetação (STICKSEL *et al.*, 2004). Nesse sentido, o sensoriamento remoto pode se configurar como uma das ferramentas mais promissoras e plausíveis para detecção e mapeamento de espécies de plantas exóticas invasoras (GÓMEZ-CASERO *et al.* 2010; DORIGO *et al.* 2012).

Porém, quando se pretende utilizar o sensoriamento remoto para obtenção de informações da cobertura vegetal de uma região, deve-se considerar a interação da energia solar com a vegetação. É possível medir a reflectância de um objeto para cada tipo de radiação que compõe o espectro eletromagnético e perceber que a reflectância de um mesmo objeto pode ser diferente para cada tipo de radiação que o atinge. A variação da reflectância de um objeto para cada comprimento de onda, é denominada assinatura espectral e depende das propriedades do objeto (STEFFEN, 2000).

De todos os elementos constituintes da vegetação, a folha constitui o principal deles quando se considera o processo de interação com a radiação eletromagnética. Esta interação não ocorre indistintamente ao longo de todo espectro eletromagnético, ocorre principalmente através dos pigmentos contidos nas folhas, como, por exemplo, a clorofila, que absorve bem a energia na faixa de comprimento de onda entre 0,45 e 0,67 μm (PONZONI *et al.*, 2012). Novo (2008) divide em três intervalos a curva do fator de reflectância de uma folha verde sadia: visível (0,4 μm - 0,72 μm), infravermelho próximo (0,72 μm – 1,1 μm) e infravermelho médio (1,1 μm – 3,2 μm).

Figura 14. Reflectância de uma folha para cada comprimento de onda.



Fonte: STEFFEN (2000).

Na região do visível (0,4 μm - 0,72 μm) os pigmentos existentes nas folhas são os responsáveis pela reflectância que ocorre mais na região do verde, produzida pela clorofila, que também é responsável pela absorção da radiação na região do vermelho e outros pigmentos responsáveis pela absorção na região do azul. Na região do infravermelho próximo (0,72 μm – 1,1 μm) ocorre grande reflectância e pouca absorção, devido ao grande espalhamento interno da radiação na folha em função de seus aspectos fisiológicos. Já na região do infravermelho médio (1,1 μm – 3,2 μm), a absorção está relacionada a presença de água nas folhas, uma vez que a água absorve consideravelmente a radiação incidente nessa região espectral (STEFFEN, 2000; PONZONI *et al.*, 2012).

Cada sensor apresenta distintas bandas que operam em diferentes faixas do espectro eletromagnético. O sensor mais simples e mais utilizado para captura de imagens possui apenas as 3 bandas do espectro visível (Red, Blue, Green – RGB). Existem ainda, sensores multiespectrais, os quais possuem além das bandas do espectro visível, as bandas do infravermelho (IR), e sensores hiperespectrais, que apresentam dezenas, até mesmo centenas de bandas do espectro eletromagnético (STEFFEN, 2000).

Estudos revelaram que plantas, sejam exóticas ou nativas, têm refletância espectral diferente dentro de diferentes regiões do espectro eletromagnético, atribuíveis a propriedades biofísicas (por exemplo, textura, dossel, estrutura e orientação das folhas) e bioquímicas (por exemplo, clorofila e teor de água) (ZHAO *et al.*, 2009; MATONGERA *et al.*, 2016).

Partindo desse pressuposto, é importante destacar que dentre as técnicas de processamento digital de imagens mais difundidas no mapeamento da vegetação, a classificação que utiliza algoritmos computacionais para a identificação automática de alvos baseada no reconhecimento de padrões espectrais de interesse sobre uma imagem (ANDRADE *et al.*, 2015), é a que mais se adequa ao objetivo proposto nesta pesquisa, maximizando a extração de informações através da simulação da fotointerpretação humana (FLORENZANO, 2002).

A classificação de imagens por meio de algoritmos visa o reconhecimento automático de padrões e de objetos, chamados também de alvos, em função de determinado critério de decisão, agrupando em classes os objetos que apresentam homogeneidade e similaridade em suas respostas espectrais (PONZONI *et al.*, 2012; FLORENZANO, 2011). O objetivo ao se utilizar técnicas de classificação é tornar o processo de mapeamento mais rápido e objetivo, além de poder ser repetido em situações similares, como por exemplo em outras áreas ou com outros alvos.

Os algoritmos responsáveis pela realização da classificação digital recebem o nome de “classificadores” e podem ser divididos em classificadores “pixel a pixel”, os quais utilizam apenas a informação espectral de cada pixel para definir regiões homogêneas e classificadores “por regiões”, que utilizam, além da informação espectral de cada pixel, a informação espacial que envolve a relação com seus vizinhos (PONZONI *et al.*, 2012).

Tanto a classificação pixel a pixel quanto a “por regiões” deve passar pela etapa chamada de treinamento. O treinamento consiste no reconhecimento das chamadas amostras das classes a serem mapeadas e pode ser pelo método supervisionado ou não supervisionado.

No método supervisionado, as classes são definidas a priori, quando o usuário dispõe de informações que permitem a identificação nas imagens da localização de todas as classes de interesse, assim amostras dos números digitais dos pixels em questão são extraídas e informadas ao algoritmo de classificação (PONZONI *et al.*, 2012; FLORENZANO, 2011).

Um classificador supervisionado precisa requer um conjunto de treinamento em que todas as classes na área de interesse devem ser definidas no conjunto de treinamento e de maneira suficientemente representativa. Se essa condição não for atendida, ou seja, se o conjunto de treinamento estiver incompleto, poderão ocorrer erros de classificação significativos, pois todos os pixels das classes desconhecidas serão mapeados para uma das classes conhecidas (CONGALTON e GREEN, 2009; MACK *et al.*, 2014).

Um dos classificadores mais tradicionais descritos na literatura é o *Maximum Likelihood Classification* – MLC. O MLC tem a abordagem baseada em pixels e calcula o vetor médio, a variância e a correlação para cada classe nos dados de treinamento e estima um conjunto de funções de probabilidade para todas as classes com base nos dados de treinamento para descrever a probabilidade relativa de que um determinado valor de pixel pertence a cada classe (CURRAN, 1985; RICHARDS, 1986).

Há também o algoritmo *Nearest Neighbor* – NN, o qual atribui um rótulo de classe ao padrão de entrada com base nos rótulos de classe representados pelos vizinhos mais próximos (KELLER *et al.*, 1985). O algoritmo NN está entre os mais simples de todos os algoritmos de aprendizado de máquina, em que um objeto é classificado pelo voto majoritário de seus vizinhos, com o objeto sendo atribuído à classe mais comum entre seus vizinhos mais próximos (TRIMBLE, 2019).

Outro importante classificador para método supervisionado é o *Random Forest* – RF, em que é criada uma combinação de preditores de árvores de decisão de modo que cada árvore depende dos valores de um vetor aleatório amostrado independentemente e com a mesma distribuição para todas (BREIMAN, 2001). Na árvore de decisão, em cada “nó” uma condição é verificada, e se atendida o fluxo segue por um ramo, caso contrário, por outro, sempre levando ao próximo nó, até a finalização da árvore.

Já no método não supervisionado, as classes não são predeterminadas, o algoritmo utilizado é que decide, com base em regras estatísticas, quais as classes a serem separadas e quais os pixels pertencentes a cada uma delas (FLORENZANO, 2011). Os pixels dentro de uma área de treinamento são submetidos a um algoritmo de agrupamento que determina o agrupamento do dado, sendo que esse algoritmo assume que cada grupo representa uma distribuição de probabilidade de uma classe (PONZONI *et al.*, 2012).

Existe ainda o método de classificação semi-supervisionado, em que os algoritmos requerem apenas dados de treinamento da classe de interesse (LIU *et al.*, 2003). Conforme descrito por Mack *et al.* (2014), enquanto um classificador supervisionado comum mapeia cada pixel para uma das classes conhecidas, no método semi-supervisionado os classificadores rejeitam a classificação de um pixel se ele não corresponder suficientemente a uma das classes conhecidas.

O método semi-supervisionado aumenta o desempenho de detecção e reduz a necessidade de coleta de dados de treinamento (BALDECK *et al.*, 2015), apresentando robustez em trabalhar com grande volume de dados, como as imagens adquiridas por VANT. Com esses algoritmos, o custo para a produção de mapas pode ser reduzido, particularmente, se o custo de aquisição de dados de referência for alto e o usuário estiver interessado em apenas uma ou poucas classes (MACK *et al.*, 2014).

Ao se utilizar métodos semi-supervisionados para a classificação de espécies arbóreas, pode-se construir modelos de classificação contendo a classe com a espécie de interesse do pesquisador e tratar todos os dados de treinamento das espécies remanescentes como “outras classes” (BALDECK *et al.*, 2015; BARBOSA *et al.*, 2016). Um dos algoritmos que emprega esse método é o *One Class SVM* – OCSVM (SCHOLKOPF *et al.*, 1999).

É possível ainda, trabalhar com a segmentação hierárquica do ortomosaico, em uma etapa anterior à classificação. A ideia da segmentação é homogeneizar as informações, levando em conta não apenas o *digital number* do pixel a ser classificado, mas também dos pixels ao seu redor procurando por similaridades estatísticas, agrupando estes conjuntos (PARANHOS FILHO, 2008), leva em conta informações adicional de forma e textura (ANTUNES *et al.*, 2003).

Portanto, na segmentação um dos objetivos é decompor espacialmente a complexidade, na qual segmentos resultantes (agrupados de acordo com alguns critérios de homogeneidade) podem maximizar a homogeneidade espectral entre segmentos enquanto minimiza a variabilidade espectral dentro de um segmento (PAL e PAL, 1993).

Um dos algoritmos de segmentação utilizados para aplicações envolvendo ambientes florestais é o *Multiresolution Segmentation*. Esse algoritmo mescla pixels ou objetos de imagem existentes com seus vizinhos, com base em critérios relativos de homogeneidade, composta por uma combinação de critérios espectrais e de forma (TRIMBLE, 2019).

O *Multiresolution Segmentation* baseia-se no algoritmo de crescimento de regiões proposto por Baatz e Schäpe (2000). Ele começa com pixels e aumenta progressivamente as regiões incluindo iterativamente pixels adjacentes até que um limite de expansão seja atendido. Este algoritmo tem três parâmetros principais: o peso da cor (e forma), o peso da compacidade (e suavidade) e o parâmetro de escala.

4.1 PRINCIPAIS PESQUISAS RELACIONADAS AO TEMA

A seguir é apresentada uma revisão do que se tem pesquisado a respeito da temática envolvendo processamento digital de imagens e classificações com algoritmos aplicado a reconhecimento de padrões de plantas. Inicialmente são descritas, em ordem cronológica, as pesquisas a nível internacional, seguida pelas pesquisas nacionais e por fim o que se tem desenvolvido a nível de região Sul do Brasil.

Traduzir o espectro do dossel para composição individual de espécies é uma tarefa desafiadora em florestas tropicais e subtropicais, principalmente devido a sua alta diversidade de espécies e dossel fechado. Neste sentido, diferentes metodologias e dados de sensoriamento remoto vêm sendo empregados para tentar superar o desafio de detectar remotamente e mapear espécies arbóreas de interesse nesses ambientes.

Os métodos de classificação foram desenvolvidos, visando, inicialmente, o mapeamento da cobertura e ocupação da terra e só recentemente vem sendo aplicado para mapeamento de espécies. Estudos a respeito da fragmentação de habitats, conversão e uso do solo e classificação da vegetação vem sendo desenvolvidos com o auxílio de sensoriamento remoto (MALLMANN 2015; PINTO, 2015; SILVA, 2015), bem como a identificação de espécies florestais (GHULAM *et al.*, 2014; BOLDO, 2015; BARBOSA *et al.*, 2016). Porém, são poucos os estudos com o uso de VANT para o mapeamento de espécies exóticas, especialmente espécies arbóreas em áreas protegidas, formando uma lacuna científica a respeito da aplicação dessa tecnologia.

Conforme afirmam Ustin e Gamon (2010), espécies comumente invasoras podem apresentar padrões ópticos distintos na paisagem, com diferenças espectrais das demais espécies de plantas nativas. A classificação pode ser realizada de forma visual, em que o fotointérprete extrai as feições de interesse sobre uma imagem, ou de forma automática ou semiautomática, com algoritmos especializados, maximizando a extração de informações através da simulação da fotointerpretação humana (FLORENZANO, 2002).

De maneira diferenciada, Luz e Crowley (2010) utilizaram imagens de infravermelho termal de alta resolução espacial e espectral do sensor SEBASS para analisar e mapear as características espectrais da copa das árvores no Arboreto do Estado da Virgínia, nos Estados Unidos. Cinquenta espécies de árvores foram analisadas, comparando-se as médias espectrais de pixels extraídos dos dados de emissividade do SEBASS com os espectros foliares medidos em laboratório de cada uma das espécies. Os pesquisadores consideraram os resultados satisfatórios, porém destacam que os melhores resultados foram obtidos de espécies com contraste espectral relativamente forte, folhas largas e planas e copas grandes e ressaltam a necessidade de estudos mais aprofundados para aumentar o desempenho desse tipo de classificação.

He *et al.* (2011) fizeram uma revisão de estudos que envolveram a utilidade de dados de sensoriamento remoto hiperespectral para a detecção, mapeamento e predição da propagação de espécies invasoras. Na revisão, incluíram tópicos como a relação entre a resolução espectral e espacial com a acurácia da classificação, os benefícios do uso de séries temporais para incorporar fenologia na distribuição das espécies de mapeamento e o potencial de propriedades bioquímicas e fisiológicas na reflectância hiperespectral para rastrear alterações nos ecossistemas causadas por invasões.

Féret e Asner (2012), com objetivo de identificar e mapear indivíduos de nove espécies arbóreas nas florestas tropicais de terras baixas do Havaí, compararam o desempenho de dois classificadores semi-supervisionados e um supervisionado, todos com base na estrutura do *Support Vector Machine* (SVM). Os métodos foram aplicados em imagens hiperespectrais e encontraram que um dos métodos de classificação semi-supervisionada foi superior ao método inteiramente supervisionado, com maior acurácia em oito das nove espécies estudadas.

Na República Tcheca, Müllerová *et al.* (2013) utilizaram diferentes fontes de dados, resoluções espaciais e espectrais e técnicas de processamento de imagens com o objetivo de monitorar a espécie invasora *Heracleum mantegazzianum*, uma planta herbácea tóxica. Foram analisadas imagens pancromáticas, multiespectrais e coloridas de alta resolução espacial – VHR (1947-2006, resolução de 0,5 metros) e do satélite RapidEye (2010, resolução de 5 metros) e aplicadas análise de imagem baseada em pixel (supervisionada e não supervisionada) e baseada em objetos. Os melhores resultados foram obtidos por meio de análise de imagem baseada em objeto de dados de VHR (*Kappa* de 0,8, acurácia do usuário de 84% e acurácia do produtor de 87%), obtidos durante a fase de floração da espécie, devido à cor branca distinta das inflorescências.

Também na República Tcheca, Dvořák *et al.* (2015) examinaram as possibilidades de detecção de duas espécies invasoras de árvores e duas de ervas, todas invasoras. Os autores utilizaram imagens adquiridas por aeronaves não tripuladas e aplicaram algoritmos de detecção semiautomáticos baseado em pixel, em objeto e híbrido (com segmentação de imagem seguida de análise de sub-objetos espectrais e espaciais). De acordo com os resultados preliminares, os autores encontraram uma boa precisão na detecção, sugerindo a continuidade da pesquisa para produzir resultados promissores na detecção das espécies estudadas.

Ainda na República Tcheca, porém no ano de 2017, Müllerová *et al.* (2017) analisaram o melhor período fenológico para detecção de duas espécies herbáceas (*Heracleum mantegazzianum* e *Fallopia sp.*) com características fenológicas, estruturais e espectrais marcadamente diferentes. Os pesquisadores utilizaram imagens RGB e RGB+NIR adquiridas com veículo aéreo não tripulado e imagens PLEIADES e para classificação aplicaram algoritmos baseados em pixel (*Maximum Likelihood Classification* – MLC, *Support Vector Machine* – SVM, *Random Forest* – RF) e objeto (segmentação *Multiresolution Segmentation* e *Contrast Split* e classificação *rule-based*, SVM e RF). Os resultados variaram consideravelmente de acordo com a fenologia e a resolução espectral, porém os melhores foram obtidos com imagens de VANT, quando a cor marrom avermelhada do estado de senescência de *Fallopia sp* estava destacada e *H. mantegazzianum* estava florida, com inflorescências brancas.

Os autores destacam que tanto os classificadores baseados em pixel quanto em objeto apresentaram bons resultados, desde que selecionados períodos com características fenológicas que possibilitem a diferenciação dos demais alvos. Além disso, o estudo afirma que o uso de VANT possibilita a aquisição flexível de imagens temporais, além de baixo custo e é, portanto, adequado para monitoramento de pequenas áreas, enquanto imagens de satélite são mais indicadas para áreas maiores.

Müllerová *et al.* (2017) ainda desenvolveram outro estudo na República Tcheca com a espécie *Robinia pseudoaccacia* testando imagens de diferentes origens (WorldView-2, VANT), padrões espectrais (multiespectral, RGB + infravermelho próximo – NIR) e resolução espacial. Para classificação foi explorada a abordagem baseada em pixels com aplicação dos algoritmos supervisionados *Maximum Likelihood Classification* – MLC e *Support Vector Machine* – SVM. Conforme demonstrado no estudo, as precisões obtidas na classificação de *R. pseudoaccacia* foram altas, com imagens obtidas com VANT fornecendo melhores resultados (até 92% de acurácia do produtor e 81% para acurácia de usuário) em comparação com as imagens WorldView-2 (até 61 de acurácia do produtor e 81% para acurácia de usuário). Os algoritmos MLC e SVM alcançaram precisões similarmente altas na maioria dos casos, porém o SVM parece ser menos propenso as distorções do ortomosaico. Os autores destacam que a geração de ortomosaicos combinando imagens RGB + NIR obtidas com plataforma VANT pode gerar bons resultados para a detecção de espécies exóticas invasoras.

Féret e Asner (2013) identificaram copas de espécies arbóreas em florestas tropicais do Havaí utilizando imagens hiperespectrais com métodos não-paramétricos (SVM, Redes Neurais Artificiais, k-vizinho mais próximo) e métodos paramétricos (análise discriminatória linear, quadrática e regularizada), comparando os métodos para uma variedade de valores de riqueza de espécies e tamanho de amostras de treinamento.

Ghulam *et al.* (2014) propuseram um algoritmo de árvore de decisão para caracterizar a extensão espacial e atributos espectrais das espécies invasoras *Guava*, *Madagascar cardamom* e *Molucca raspberry* em florestas tropicais úmidas, integrando conjunto de dados de sensores ativos e passivos. Com esta abordagem, as três espécies invasoras foram estimadas com Exatidão Global de 83,1%.

Baldeck e Asner (2014) compararam o desempenho de três métodos SVM para detectar espécies arbóreas e arbustivas na savana da África. O objetivo dos autores foi comparar o desempenho de dois métodos de classificação semi-supervisionados (OCSVM e BSVM) com um totalmente supervisionado (SVM binário). A maior contribuição do estudo dos autores foi que encontrar que o BSVM obteve resultados similares ao SVM binário.

Shing *et al.* (2015) exploraram métricas derivadas de LiDAR sozinhas e integradas com dados espectrais do satélite IKONOS para detectar a distribuição espacial da planta de sub-bosque exótica *Ligustrum sinense*, um invasor que se espalha rapidamente na região de urbanização de Charlotte, Carolina do Norte, EUA. Os autores aplicaram os classificadores de *random forest* e regressão logística. A classificação de RF das métricas de topografia derivadas de LiDAR produziu as estimativas de precisão de mapeamento mais altas (64,8%), superando os dados de IKONOS em 17,5% e a integração dos dados de LiDAR e IKONOS em 5,3%. Para os autores, há uma superioridade de métricas derivadas de LiDAR sobre dados espectrais.

Na Bélgica, Lisein *et al.* (2015) abordaram a classificação de 5 categorias de espécies decíduas utilizando um conjunto de imagens multitemporais de alta resolução obtidas com um veículo aéreo não tripulado. A aquisição de imagens foi programada para cobrir diferentes estados fenológicos, desde a brotação até a queda das folhas, com o objetivo de determinar qual a melhor data para aquisição. Aplicando o classificador supervisionado *Random Forest*, os pesquisadores chegaram à conclusão de que o melhor período fenológico foi o de queda de folhas, mas que o uso de conjuntos de dados multitemporais melhorou consideravelmente a Exatidão Global da classificação.

Baldeck *et al.* (2015) identificaram três espécies arbóreas do dossel ao longo de uma diversidade de árvores e lianas na Ilha Barro Colorado, Panamá, usando dados de imagens aéreas hiperespectrais. Primeiramente os autores compararam dois classificadores, SVM binário e BSVM. A partir desta comparação, eles determinaram que o BSVM foi mais preciso.

Dudek *et al.* (2004) usaram métodos MTMF aplicados a dados hiperespectrais com resolução espacial moderada (20 m) para monitorar a espécie *Euphorbia esula* L. no Parque Nacional de Theodore Roosevelt, nos Estados Unidos, obtendo acurácia do produtor entre 35% e 70%. MTMF é uma técnica híbrida que estima a semelhança entre os espectros dos pixels dados na imagem e o espectro de um membro puro do alvo ou classe de interesse (MITCHELL e GLENN, 2009).

Barbosa *et al.* (2016) ao testarem métodos de classificação semi-supervisionados, MTMF e BSVM, associados a duas abordagens (volumétrica e limiar) para detectar o grau de incidência da espécie invasora *Psidium cattleianum* em uma floresta tropical do Havaí, encontraram boa correlação entre os métodos e dados de campo.

Em um estudo desenvolvido na China, Liu *et al.* (2017), baseados em imagens de séries temporais LANDSAT, os pesquisadores aplicaram os classificadores semi-supervisionados *One-Class Classification* (OCC) e de *Maximum Entropy* (Maxent) e *Biased Support Vector Machine* (BSVM) para detectar a planta aquática invasora *Spartina alterniflora* na costa média de Jiangsu, no leste da China. Como resultados, os autores destacam que o tanto o modelo Maxent como o BSVM tiveram bom desempenho, porém o Maxent mostrou uma acurácia um pouco maior (Exatidão global de 90,88% e *Kappa* de 0,78). Além disso, o estudo ressalta que análise de séries temporais pode detectar melhor *S. alterniflora* do que a análise de uma única cena, sugerindo que a detecção baseada em períodos fenológicos pode gerar melhores resultados.

Monteiro *et al.* (2017) avaliaram o sucesso da invasão de árvores de *Acacia dealbata* no Parque Nacional da Peneda-Gerês, em Portugal, determinando os fatores ambientais associados a essa invasão. Foi realizada uma abordagem de escala hierárquica que combina modelos de distribuição de espécies (SDMs) e mapeamento baseado em imagem de satélite WorldView-2 de alta resolução. Para identificar as áreas invadidas, os pesquisadores realizaram uma classificação de *Object-based Image Analysis* (OBIA) envolvendo segmentação de imagens, composição de conjuntos de dados baseados em objetos e classificação de invasão aplicando *Random Forest*. De acordo com os autores, o mapa de invasão obtido a partir da classificação RF baseada em objetos pode ser considerado consistente com Exatidão Global de 91,3% e *Kappa* de 0,81 e a combinação de modelos de distribuição de espécies e mapeamento de áreas invadidas pode gerar subsídios importantes para tomada de decisão e controle da invasão.

Em Portugal Alvarez-Taboada *et al.* (2017) usaram imagens de alta resolução espacial obtidas de plataformas aéreas (VANT) e plataformas orbitais (WorldView-2), com o objetivo de identificar e quantificar as áreas cobertas pela planta invasora *Hakea sericea* seguindo uma abordagem de análise de imagem orientada a objeto (com aplicação de *Multiresolution segmentation* e do algoritmo *nearest neighbor*). Os resultados mostraram que ambos as imagens foram adequadas. A classificação com WorldView-2 alcançou acurácias de usuários e produtores superiores a 93% (Estimativa de *Kappa* de 0,95), enquanto que as classificações com as ortofotografias de obtidas com VANT obtiveram acurácias superiores a 75% (Estimativa de *Kappa* de 0,51). De acordo com os autores, os dados mais adequados consistiam em usar como entrada todas as bandas multiespectrais disponíveis para cada imagem.

De Sá *et al.* (2018) testaram como veículos aéreos não tripulados podem ser usados para mapear o florescimento de *Acacia longifolia*, um arbusto exótico invasor na região da costa centro-norte, em Portugal. O objetivo do estudo era monitorar o sucesso no estabelecimento de um agente de biocontrole (*Trichilogaster acaciaelongifoliae*), uma vespa australiana que diminui o florescimento de *A. longifolia*. As imagens foram adquiridas em diversas áreas e considerando dois estágios fenológicos, um no pico da floração e outro fora de pico. Para cada área de estudo, os mapas de presença/ausência de flor foram obtidos usando o algoritmo supervisionado *Random Forest*. O mapeamento de *A. longifolia* com flores apresentou resultados satisfatórios, com Exatidão Global maior que 0,96 e *Kappa* maior que 0,85. Conforme afirmam os autores, a alta precisão obtida com o mapeamento da floração de *A. longifolia* demonstra um grande potencial para detectar a futura diminuição do florescimento da espécie promovida pelo agente de biocontrole.

Liu e Wu (2018) utilizaram dados discretos de LiDAR de alta densidade para a delimitação individual de árvores e imagens hiperespectrais de espectrômetro de imagens aerotransportadas (AISA) para a extração de espectros em escala de copa, em uma área urbana na cidade de Milwaukee, estado de Wisconsin, Estados Unidos. Os pesquisadores combinaram um modelo LSMA restrito e algoritmo de média ponderada para extrair espectros em escala de copa e aplicaram uma abordagem *Support Vector Machine* (SVM) para classificação de espécies baseada em espectros representativos. De acordo com os resultados encontrados pelos autores, a abordagem de ponderação de pixel teve melhor desempenho (*Kappa* de 0,74) do que os métodos baseados em copas das árvores (*Kappa* de 0,58) e maioria em pixels (*Kappa* de 0,62) em termos de precisão de classificação. O estudo ressalta ainda que a combinação de dados LiDAR com informações espectrais, se mais aprofundada, poderá aumentar ainda mais o desempenho na classificação de espécies arbóreas.

Piironen *et al.* (2018) com o objetivo de mapear a ocorrência das espécies altamente invasivas *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus spp.* nas Colinas de Taita, no Quênia, e vincular a ocorrência dessas espécies a variáveis ambientais selecionadas, utilizaram espectroscopia de imagens aéreas e varredura a laser, com dois sensores (AisaEAGLE e Optech ALTM 3100) para coletar os dados IS e ALS. Os autores aplicaram um classificador de máquina de vetores de suporte com viés de uma classe (*Biased Support Vector Machine* – BSVM), pois ele precisa de dados de treinamento rotulados apenas para as classes positivas (*A. mearnsii* e *Eucalyptus spp.*), além de introduzirem uma nova abordagem para parametrizar e configurar o nível de limite simultaneamente para o classificador BSVM. Os resultados mostraram que o classificador BSVM é adequado para o mapeamento das espécies estudadas (nível F1 da copa de 0,76 para *Eucalyptus spp.* e 0,78 para *A. mearnsii*) e que, segundo os autores, o método de seleção de parametrização/limiar introduzido teve melhor desempenho do que outras abordagens comumente usadas. O estudo indica que os mapas criados poderiam servir como subsídio para gerar diretrizes para tomada de decisão de medidas de controle dos problemas que essas espécies vêm causando no Kenia.

Na Itália, Gini *et al.* (2018) testaram o uso de imagens de veículo aéreo não tripulado de alta resolução para classificar espécies de árvores em um viveiro de plantas próximo à Vila de Cirimido, em Como. Diferentes combinações de imagens multiespectrais, dados multi-temporais e medidas de textura foram empregadas visando melhorar a classificação. O algoritmo supervisionado *Maximum Likelihood Classification* – MLC foi aplicado para a classificação das espécies a partir de combinações de bandas originais e derivadas e a Análise de Componentes Principais - PCA foi conduzida para entender a correlação entre as bandas. Os pesquisadores destacam o uso de características de textura, uma vez que produziu um aumento significativo da Exatidão Global, cujos valores mudam de 58% para até 87% (*Kappa* de 0,54 para até 0,85) dependendo da redução de componentes. Segundo os autores, a melhoria dada pela introdução de medidas de textura é destacada mesmo em termos de acurácia do usuário e do produtor. Para fins de classificação, a inclusão da textura pode compensar as dificuldades de realizar pesquisas multi-temporais.

Tuominen *et al.* (2018) examinaram o reconhecimento de espécies arbóreas em um arboreto (26 espécies de árvores de 14 gêneros) localizado no município de Kouvola, no sudeste da Finlândia. Foram utilizadas imagens hiperespectrais de sensores de câmera infravermelho visível (VNIR) e infravermelho de onda curta (SWIR) em combinação com um modelo de superfície de dossel fotogramétrico 3D baseado em imagens estéreo de câmera RGB, obtidos por meio de veículos aéreos não tripulados. Dois classificadores foram aplicados, o *K Nearest Neighbor* (K-NN), combinado com um algoritmo genético e o *Random Forest*. Os resultados indicaram que a combinação dos recursos VNIR, SWIR e 3D teve melhor desempenho (a proporção de árvores classificadas corretamente foi de 0,823 para espécies arbóreas e 0,869 para gêneros de árvores, com *Kappa* de 0,808 e 0,844, respectivamente) do que os conjuntos de dados individualmente e que dos classificadores, o método *K-NN* usado em combinação com um algoritmo genético para seleção de características forneceu um classificador robusto para a tarefa de reconhecimento de espécies arbóreas e superou o classificador *Random Forest*. Os pesquisadores sugerem que em estudos posteriores sejam utilizados dados multi-temporais para melhorar o desempenho da classificação.

Martini *et al.* (2018) avaliaram o potencial de vários índices derivados de imagens adquiridas com veículo aéreo não tripulado e provenientes do satélite PLEAIDES para a detecção e mapeamento das espécies de arbusto invasor *Fallopia japonica* e *Fallopia bohemica* em duas paisagens diferentes em áreas localizadas na várzea de dois grandes rios do leste da França. Foi aplicado o algoritmo *Random Forest* para classificação das espécies e para diminuir erros de omissão foi aplicado limites simples de “*buffer*” ao redor dos arbustos. Os resultados apontaram que índices espectrais multi-data e de altura do dossel (CHM) melhoraram consistentemente os resultados de classificação de ambos os conjuntos de dados, embora os dados provenientes de VANT tenham apresentado precisão de detecção mais alta quando comparada aos dados derivados do satélite PLEAIDES. Além disso, o uso dos limites de “*buffer*” aumentou a precisão das classificações (tanto PLEAIDES quanto VANT), com acurácia do produtor superiores a 90%. Os autores destacam que o método mais apropriado dependerá do contexto da paisagem e da escala espacial da área invadida.

Nguyen *et al.* (2019) realizaram uma análise hiperespectral com imagens aéreas obtidas com veículo aéreo não tripulado, por meio de abordagem de imagem baseada em objetos (OBIA), aplicando *Multiresolution segmentation* e o algoritmo *Random Forest* com o objetivo de classificar a vegetação ao longo de corredores ribeirinhos estreitos e semi-áridos do Grand Canyon, no rio Colorado, Estados Unidos. Ao analisar dados hiperespectrais e de campo com *Random Forest*, os autores inferem que as faixas de banda de 642 a 682 nm e 750 a 870 nm foram as mais úteis para a classificação da vegetação. Como resultado, as bandas vermelhas e infravermelhas próximas foram utilizadas com dados auxiliares para classificação de espécies, resultando em uma Exatidão Global de classificação de 94,8% com um coeficiente de *Kappa* de 0,93. O estudo aponta que o uso de veículos aéreos não tripulados pode ajudar a entender a mudança nos padrões de vegetação ao longo do tempo, sendo importante na elaboração de estratégias de conservação.

Paz-Kagan *et al.* (2019) desenvolveram um estudo com o objetivo de identificar e mapear espécies invasoras *Acacia salicina* e *Acacia saligna*, para entender melhor os fatores chave que influenciam sua distribuição na planície costeira de Israel. Dados hiperespectrais (AisaFENIX) em conjunto com mapas de distribuição de espécies de alta resolução espacial, foram usados para treinar as imagens multiespectrais (WorldView-2) a nível de espécie. Uma classificação com algoritmo baseado em pixel *Support Vector Machine* – SVM foi aplicada à imagem multiespectral, resultando em um mapa de distribuição das espécies da área potencialmente invadida com precisão satisfatória (*Kappa* de 0,89). Para compreender a influência de diferentes fatores ambientais e humanos no padrão de disseminação das espécies, foi aplicado o algoritmo *Random Forest*, o qual revelou que a alta densidade de ambas as espécies está mais relacionada à elevação, padrão de temperatura e distâncias de rios, povoados e estradas. Os pesquisadores ressaltam que a integração de dados de sensoriamento remoto com diferentes fontes de dados pode fornecer informações importantes para gerenciamento de esforços para prevenir a disseminação de espécies invasoras.

Räsänen *et al.* (2019) analisaram áreas de turfa localizadas no noroeste da Rússia utilizando dados de imagens de satélite QuickBird e WorldView-3. Os autores compararam quatro classificadores diferentes: *One-Class Support Vector Machine* (OC-SVM), *Binary Support Vector Machine* (BSVM), *Random Forest* e *Rotation Forest*, em um cenário binário totalmente supervisionado e com dados de treinamento positivos e não rotulados. De acordo com o estudo, houve variação notável no desempenho da classificação. O *F-score* da área de turfa variou entre 0,77 e 0,96 quando avaliado por dados de treinamento com validação cruzada e entre 0,22 e 0,57 quando avaliado por dados de testes independentes. No geral, o *Random Forest* foi o classificador mais robusto, mas todos os classificadores tiveram bom desempenho em algumas classificações. Os autores sugerem que sejam desenvolvidos mais estudos para aprimorar os métodos e melhorar os resultados.

Savanova *et al.* (2019) realizaram um estudo na Reserva Natural Estadual "Stolby", perto da cidade de Krasnoyarsk, na Rússia, com o objetivo de determinar o estágio de danos causados por um besouro (*Polygraphus proximus*) em árvores de Abetos (*Abies sibirica*) baseado na forma, textura e cor da copa das árvores utilizando imagens RGB de veículos aéreos não tripulados. A pesquisa foi desenvolvida em dois estágios, sendo que no primeiro os pesquisadores criaram uma estratégia de detecção que encontra as regiões da imagem obtida com VANT de entrada com maior probabilidade de conter uma copa. Na segunda etapa, aplicaram uma nova arquitetura de *convolutional neural network* (CNN) que prevê o estágio de dano da árvore de Abeto em cada região candidata. Os resultados indicam que o modelo CNN proposto com aumento de dados distingue corretamente a cor, a forma e a textura de cada uma das quatro classes de dano estudadas (com *F1_score* 92,75%, 89,86%, 89,66% e 88,89 respectivamente). Os autores concluem que os resultados apresentados são de grande interesse, tanto para fins científicos como práticos, uma vez que o reconhecimento de danos em Abetos é uma tarefa difícil, devido ao fato de que o dossel da floresta é muito denso e diversificado.

Na China, com o objetivo de monitorar a trepadeira invasora *Mikania micrantha* na região montanhosa costeira em Shenzhen, Wu *et al.* (2019) estudo em que aplicaram um modelo de malha 3D de alta precisão e um *digital orthophoto map* (DOM) derivado de múltiplas imagens obtidas com veículos aéreos não tripulados. Para obter a distribuição bidimensional da planta invasora, as características GLCM (*Gray-level Co-occurrence Matrix*) das imagens foram analisadas e combinadas com características espectrais e para obter uma distribuição 3-dimensional mais precisa da planta invasora foi realizada uma combinação da distribuição 2-dimensional da planta invasora e do modelo de malha 3D. Os algoritmos *Classification and Regression Tree* (CART) e *K Nearest Neighbor* (K-NN) foram usados para classificar imagens. Os autores afirmam que embora a imagem RGB do VANT tenha informações espectrais limitadas, a baixa altitude torna a resolução espacial muito alta, o que pode efetivamente aumentar a eficácia da textura no mapeamento de plantas invasoras e alcançar uma Exatidão Global de 93,25%.

Na Índia, Khare *et al.* (2019) realizaram um estudo com o objetivo de testar o potencial de múltiplas imagens ópticas multiespectrais e estéreo (VHRSI) de alta resolução (VHR) em resoluções espaciais de 1,5 e 5m para quantificar a presença da herbácea invasora *Lantana camara* e prever sua distribuição em larga escala espacial usando análise de cobertura fracionária de média resolução. Os autores classificaram os dados oriundos das imagens dos satélites SPOT-6 e RapidEye e usaram as saídas como dados de treinamento para prever a cobertura fracional de *L. camara* com base na refletância espectral de imagens LANDSAT-8 de maior extensão espacial, por meio de uma abordagem com *Random Forest*. Os resultados mostraram uma clara discriminação do sub-bosque de *L. camara*, com Exatidão Global de 87,38% (para o SPOT-6) e 85,27% (para o RapidEye) com o uso de informações modelo digital de superfície (DSM) derivadas de VHRSI adicionais. Para as imagens LANDSAT-8, os resultados sugeriram um aumento na precisão preditiva da espécie invasora dentro das áreas florestais, juntamente com o aumento da resolução espacial.

Katterborn *et al.* (2019) avaliaram o potencial de veículos aéreos não tripulados para aquisição de dados de referência semi-automática sobre a cobertura de espécies de três espécies invasoras lenhosas *Pinus radiata*, *Ulex europaeus* e *Acacia dealbata* ocorrendo no Chile e testaram o aumento de escala da cobertura estimada de espécies para a escala espacial de Sentinel-1 e Sentinel-2. Os pesquisadores realizaram uma amostragem visual dos respectivos dosséis em ortomosaicos de VANT e as extrapolações espaciais subsequentes usando o classificador semi-supervisionado *Maximum Entropy* (Maxent) com preditores espectrais (RGB, hiperespectrais), texturais (2D) e estruturais de copa (3D) derivados da fotogrametria baseada em VANT. Esses mapas baseados em VANT foram usados para treinar modelos de *Random Forest* com dados multitemporais Sentinel-1 e Sentinel-2 para mapear a cobertura das espécies invasoras em grandes escalas espaciais. Os resultados mostraram que o mapeamento semiautomático baseado em VANT das três espécies invasoras apresentou boa precisão. Dependendo da combinação do preditor, a correlação foi de 0,70, 0,77 e 0,90 para *Pinus radiata*, *Ulex europaeus* e *Acacia dealbata*, respectivamente. O aumento das estimativas baseadas em VANT para a escala de satélites, mostrou que os dados do Sentinel-2 (multiespectral) foram mais importantes do que os dados do Sentinel-1. Os autores concluem, portanto, que as aquisições de dados de referência baseadas em VANT são uma alternativa promissora aos levantamentos de campo tradicionais.

Trazendo o estado da arte para um recorte de contexto nacional, alguns estudos foram desenvolvidos visando o mapeamento de espécies por meio de sensoriamento remoto, técnicas computacionais e inteligência artificial.

Ferreira *et al.* (2015) avaliaram as técnicas de Análise Linear Discriminante (LDA), *Radial Basis Function Support Vector* (RBF-SVM) e *Random Forest* (RF) para discriminação e mapeamento de espécies arbóreas em uma floresta na Reserva Santa Genebra, Estado de São Paulo, utilizando dados hiperespectrais aerotransportados. Os autores destacam que a Análise Discriminante Linear (LDA) obteve os melhores resultados de exatidão média ao nível de pixel. No entanto, o método *Radial Basis Function Support Vector Machines* (RBF-SVM) obteve melhores resultados para geração de um mapa de espécies.

Santos e Borges (2017), mapearam as áreas de ocorrência de algaroba (*Prosopis juliflora*), no Polo de Jeremoabo-BA, por meio do algoritmo de classificação *Spectral Angle Mapper* (SAM), utilizando as curvas espectrais-temporais do *Enhanced Vegetation Index* (EVI), do sensor orbital MODIS. A Exatidão Global neste estudo foi de 78%.

Filho *et al.* (2017) avaliaram a efetividade da classificação supervisionada pela técnica de *Maximum Likelihood Classification* (MLC) em uma área de manejo florestal de floresta ombrófila densa, utilizando uma imagem de RapidEye. Os pesquisadores não obtiveram bons resultados, tanto a técnica de MLC quanto a resolução espacial da imagem utilizada não foram adequadas para classificação supervisionada de vegetação nativa, com Exatidão Global de 5,53%.

Lehmann *et al.* (2017) atingiram Exatidão Global de mais de 80% na detecção remota da espécie *Acacia mangium*, arbusto exótico invasor em um ambiente de cerrado no Estado da Bahia. Os autores utilizaram um Veículo Aéreo Não Tripulado de baixo custo, montado pela própria equipe e realizaram a classificação dos indivíduos da espécie por meio de interpretação visual na imagem. De maneira complementar, aplicaram os índices de vegetação *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI) e *Green Difference Vegetation Index* (GDVI) para procurar indivíduos que não haviam sido previamente identificados.

Sothe *et al.* (2019) investigaram o desempenho de duas técnicas de classificação de apenas uma classe (*One Class Support Vector Machine* - *OCSVM* e *One Class Random Forest* - *OCRF*) baseadas em algoritmos de aprendizado de máquina para detectar e classificar a espécie arbórea ameaçada de extinção *Araucaria angustifolia* em uma área de floresta subtropical em Santa Catarina, no Sul do Brasil, usando dados hiperespectrais adquiridos por um veículo aéreo não tripulado. Os autores testaram, além das 25 bandas espectrais, dois outros conjuntos de dados: um compreendendo os cinco primeiros componentes do MNF e o outro compreendendo os cinco primeiros PCA. Ambos os algoritmos e todos os conjuntos de dados alcançaram bons resultados, com o *F-score* variando de 0,81 para o conjunto de dados OCRF com as 25 bandas, para 1 para o OCSVM associado ao conjunto de dados da PCA. Como conclusão, o estudo aponta que a principal vantagem dos métodos de apenas uma classe sobre os métodos multiclasse é que eles precisam apenas de amostras de treinamento da classe de interesse. Isso facilita sua aplicação em florestas com alta diversidade de espécies, reduzindo custos e esforços exigidos para a coleta de amostras de treinamento de muitas espécies.

Na mesma área de floresta subtropical em Santa Catarina, no Sul do Brasil, Sothe *et al.* (2019) investigaram o uso de imagens hiperespectrais adquiridas por VANT e nuvem de pontos fotogramétrica em 3D (PPC) para classificação de 12 espécies principais de árvores do fragmento. Diferentes conjuntos de dados contendo bandas hiperespectrais visíveis/infravermelhas próximas (VNIR), características de PPC, modelo de altura de dossel (CHM) e outros recursos extraídos de dados hiperespectrais (ie, textura, índices de vegetação-VI e fração mínima de ruído-MNF) foram testados usando um classificador de máquina de vetores de suporte (*Support Vector Machine* – SVM). Os resultados mostraram que o uso somente de bandas hiperespectrais de VNIR alcançou uma Exatidão Global (OA) de 57% (índice *Kappa* de 0,53). Adicionando recursos PPC, a Exatidão Global aumentou em 11% e quando apenas o CHM foi adicionado às bandas VNIR, o aumento foi de 4,2%. O melhor resultado foi obtido combinando bandas VNIR, características de PPC, CHM e VIs (OA de 72,4% e índice *Kappa* de 0,70).

Os autores destacam ainda que entre as características hiperespectrais, além de todas as bandas VNIR e as duas VIs (NDVI e PSSR), as quatro primeiras características da MNF e a média textural das bandas espectrais de 565 e 679 nm foram apontadas como mais importantes para discriminar as espécies arbóreas. Como conclusão o estudo afirma que o método SVM provou ser um bom classificador para a tarefa de reconhecimento de espécies de árvores, mesmo na presença de um alto número de classes e um pequeno conjunto de dados.

Lima *et al.* (2019) desenvolveram uma pesquisa em uma propriedade rural localizada no Município de Fernandes Pinheiro, Estado do Paraná, com o objetivo detectar a espécie exótica invasora *Hovenia dulcis* em remanescente florestal da Floresta Ombrófila Mista, utilizando diferentes níveis de segmentação e classificação em ortoimagem obtida por meio de veículo aéreo não tripulado. Os autores testaram três níveis de segmentação (100, 150 e 200) pelo algoritmo *Multiresolution Segmentation*, e realizaram a classificação pelo algoritmo *nearest neighbor*. As escalas mais adequadas para a detecção da espécie *Hovenia dulcis* foram os níveis 100 e 150 pois retrataram com maior acurácia as copas das árvores (94% e 93% e *Kappa* de 0,92 e 0,90, respectivamente). Como conclusão o estudo destaca que a capacidade do algoritmo *nearest neighbor*, visando a identificação de *Hovenia dulcis* foi aceitável, demonstrando ser uma ferramenta interessante em áreas de médias e grandes escalas, que necessitem da detecção desta espécie exótica invasora, permitindo a aplicação de um plano de manejo da mesma.

Além dos estudos citados, cabe destaque o estudo desenvolvido por Dambrowski (2014) na sua dissertação de mestrado. A pesquisadora testou procedimentos de modelagem de nicho potencial a partir de dados de ocorrência conhecida das espécies *Hovenia dulcis* e *Tithonia diversifolia*, utilizando os algoritmos GARP (*Genetic Algorithm for Rule-set Production*) e MaxEnt (*Maximum Entropy*), associados a conjuntos de variáveis ambientais, no intuito de desenvolver ferramentas ainda não utilizadas para prever áreas de risco de invasão dessas espécies no Estado de Santa Catarina. Embora o objetivo não tenha sido o de detectar as espécies, é um dos poucos estudos publicados abordando técnicas de inteligência artificial aplicadas à *Hovenia dulcis*. De acordo com a pesquisadora, a região Oeste de Santa Catarina, onde se insere o Parque Estadual Fritz Plaumann apresenta alto risco de invasão por *Hovenia dulcis*, reforçando a necessidade de pesquisa de detecção remota e análise espacial da espécie.

4.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS PRINCIPAIS PESQUISAS RELACIONADAS AO TEMA

Partindo da análise dos estudos encontrados e descritos sucintamente no sub-capítulo 4.1, é possível fazer algumas considerações. Com relação aos sensores utilizados, foram encontrados estudos com os mais variados usos, desde dados LiDAR, combinados ou não com informações espectrais, até imagens coletadas com VANT, sendo que todos obtiveram bons resultados, segundo os autores. Muitos estudos realizaram a classificação de espécies utilizando tanto imagens oriundas de sensores orbitais quanto imagens obtidas com veículo aéreo não tripulado, fazendo uma comparação entre os diferentes sensores com o objetivo de analisar qual apresenta melhor resultado. Vale destacar ainda a aquisição de imagens, em alguns estudos, em diferentes estágios fenológicos das espécies alvo e a diversidade de dados dos sensores, embora grande parte dos estudos tenham feito uso de dados hiper e multiespectrais, tanto orbitais quanto aéreos (obtidos com VANT).

Ao se analisar os métodos de classificação, grande parte das pesquisas aplicaram métodos baseado em pixel combinados com métodos baseados em objeto, obtendo dessa forma melhores resultados. Embora tenham sido encontrados diversos algoritmos, os mais utilizados foram o *Random Forest* (RF) e o *Support Vector Machine* (SVM), seguidos do *Biased Support Vector Machine* (BSVM), *Nearest Neighbor* (NN) e do *One Class Support Vector Machine* (OCSVM).

Considerando, portanto, os principais estudos relacionados ao tema da presente pesquisa, é possível afirmar que o uso de sensoriamento remoto para classificação de espécies de plantas está em crescente desenvolvimento, sendo realizado em vários países, utilizando tanto imagens orbitais quanto imagens aéreas e aplicando diferentes métodos de classificação.

Porém, destaca-se que foram encontrados apenas dois estudos relacionados a espécie arbórea exótica invasora *Hovenia dulcis*, sendo que destes, apenas o estudo recentemente publicado por Lima *et al.* (2019) nos anais do XIX Simpósio de Sensoriamento Remoto teve o objetivo de detectar remotamente a espécie, porém em condições diferentes da presente pesquisa, o que reforça a sua importância.

5. MATERIAL E MÉTODOS

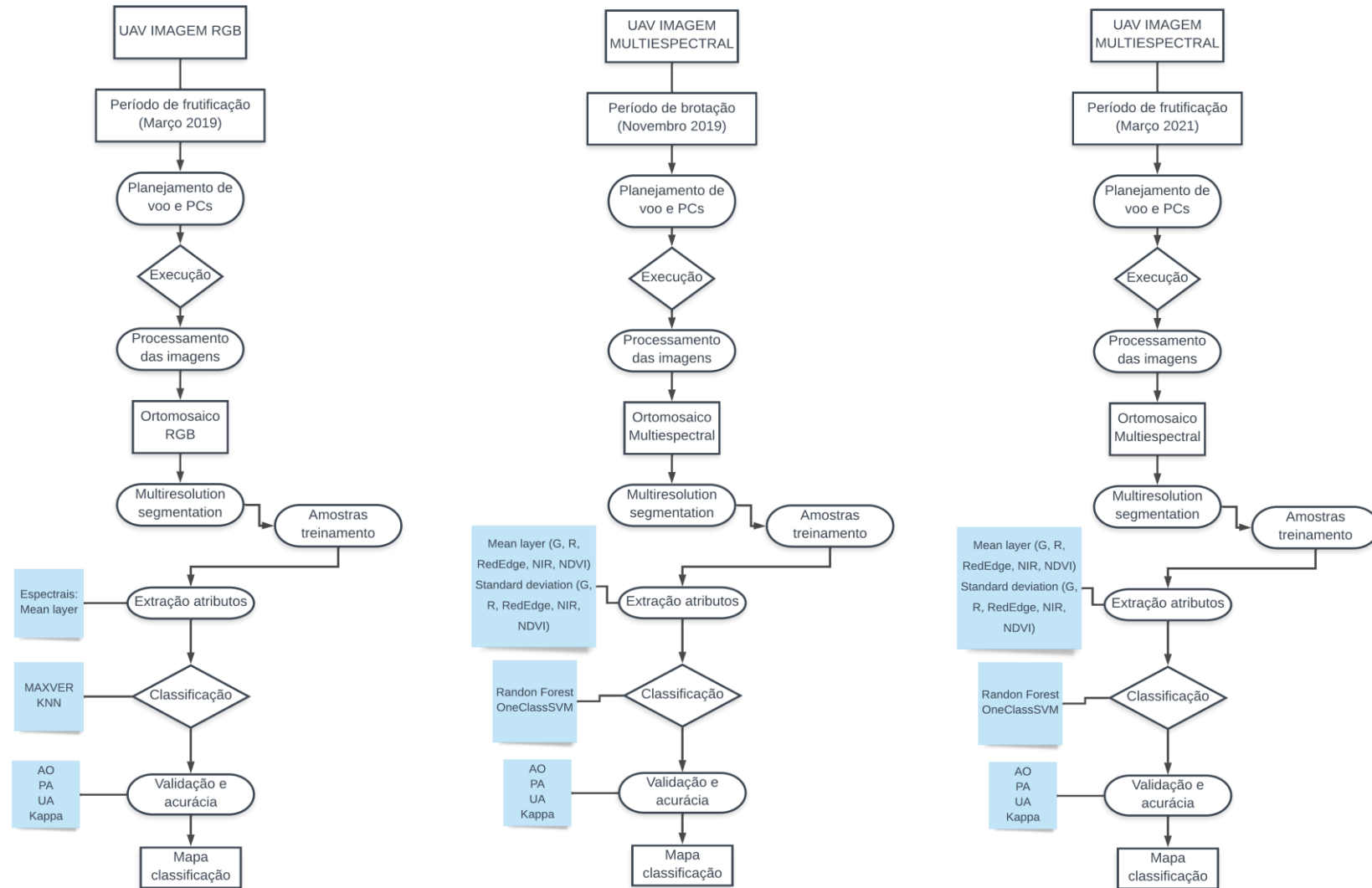
Neste capítulo serão descritas as etapas e procedimentos metodológicos adotados para coleta e processamento de dados, visando a detecção de *Hovenia dulcis* no Parque Estadual Fritz Plaumann. Para tanto, a pesquisa fez uso de técnicas de sensoriamento remoto através da captura de imagens de alta resolução espacial com uso de veículo aéreo não tripulado. As etapas da pesquisa podem ser visualizadas no fluxograma apresentado na Figura 15.

Os voos foram realizados em séries temporais para incorporar os processos fenológicos da *Hovenia dulcis* – períodos de brotação/crescimento foliar e de frutificação e senescência foliar – ao mapeamento, uma vez que no primeiro período a espécie apresenta folhas novas com coloração verde clara, que podem diferenciar-se no espectro das demais espécies e no segundo período suas folhas entram em senescência e caem a sua copa apresenta tons amarelados a ocres devido a coloração dos frutos, o que também pode diferenciá-la das demais espécies. Alguns estudos comprovam que considerar mudanças fenológicas pode melhorar a precisão do mapeamento (LABA *et al.*, 2005; NOUJDINA e USTIN, 2008; HE *et al.*, 2011).

A realização dos voos com o sensor multiespectral ocorreu somente a partir do final de 2019, pois dependia da obtenção de recursos financeiros. Dessa forma, primeiramente foi realizado um voo com sensor RGB disponibilizado pelo Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Florestal da UDESC de Lages (em função da dificuldade de deslocamento dos equipamentos do GEOLAB de Florianópolis), durante o período fenológico de frutificação e queda de folhas (senescência foliar) da *Hovenia dulcis*.

O segundo e do terceiro voo, utilizando o sensor multiespectral, foi realizado em parceria com a empresa PEGESUL Soluções em Tecnologias, uma vez que a aquisição dos equipamentos necessários por parte UDESC não se viabilizou em função dos custos e o projeto de pesquisa foi então contemplado pelo edital FAPESC Nº. 04/2018 - Apoio à Infraestrutura para Grupos de Pesquisa da UDESC, na categoria “contratação de serviços de terceiros – pessoa jurídica”.

Figura 15. Fluxograma com as etapas de trabalho para detecção remota de *Hovenia dulcis*.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

5.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Para o planejamento dos voos, primeiramente considerou-se o tamanho da área de pesquisa. Levando-se em conta que o Parque Estadual Fritz Plaumann possui 717 hectares, a obtenção de imagens de toda área demanda equipamentos mais robustos, tanto para o sobrevoo quanto para processamento dos dados. Admitindo a capacidade limitada do laboratório de geoprocessamento (GEOLAB – UDESC) e a limitação financeira para aquisição de equipamentos mais robustos, optou-se então pela utilização do aparato já disponível no GEOLAB.

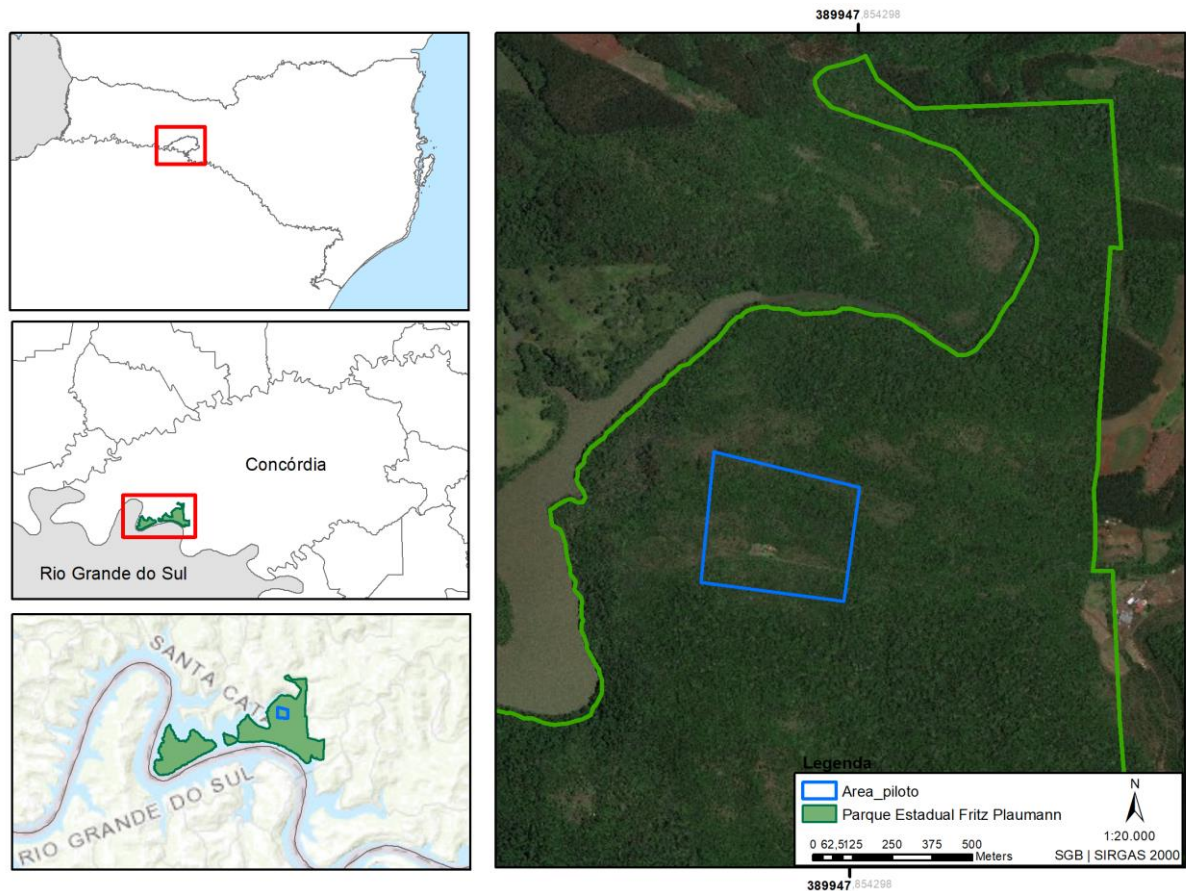
Além disso, como um dos objetivos da pesquisa é o desenvolvimento de uma metodologia para detecção remota da espécie *Hovenia dulcis*, entende-se que a utilização de 717 hectares não seja primordial e necessária, sendo possível testar a metodologia proposta em uma área menor.

Partindo desse pressuposto, optou-se então pela delimitação de uma área piloto no PEFP. A seleção da área piloto levou em conta alguns fatores determinantes, como a ocorrência de florestas em diferentes estágios de regeneração, a presença de *Hovenia dulcis*, o acesso para o levantamento dos pontos de controle e realização dos voos, entre outros.

A delimitação da área foi realizada com o auxílio de imagens orbitais *QuickBird*, disponíveis no programa Google Earth Pro® e das ortofotografias aéreas do município de Concórdia, que compõem o levantamento aerofotogramétrico de todo território do Estado de Santa Catarina, elaborado pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável – SDS, em escala de 1:10.000, realizado entre os anos de 2010 e 2012. Nessa etapa, a pesquisa recebeu ainda o apoio da ECOPEF (equipe gestora da Unidade de Conservação), uma vez que seus técnicos conheciam detalhadamente o Parque e a partir desse conhecimento puderam auxiliar na seleção do local que melhor atendesse os critérios.

A área piloto selecionada possui aproximadamente 15 hectares, e está localizada na porção não insular do PEFP, próxima ao Centro de Visitantes (Figura 16). O primeiro voo foi realizado em março de 2019, durante o período fenológico de frutificação e queda de folhas (senescência foliar) da *Hovenia dulcis*.

Figura 16. Área piloto selecionada no Parque Estadual Fritz Plaumann.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

O planejamento do primeiro voo, com o sensor RGB, foi realizado no software *Drone Deploy*®, que é disponibilizado gratuitamente para usuários dos sistemas operacionais Android e iOS. O software é capaz de realizar o planejamento, a execução do voo e também a geração de alguns produtos cartográficos, que são extraídos das imagens captadas. A sobreposição lateral das imagens foi de 85% e a linear de 80% e a altura de voo em 120 metros. A área recoberta pelo voo foi maior do que a área de interesse, sendo esse um procedimento importante para que se evitem vazios na ortofoto resultante e em função das bordas do voo conterem, naturalmente, menos sobreposição de imagens, se comparado com a parte central.

O planejamento e definição do melhor dia para realização do voo foi feito baseado em informações disponíveis no aplicativo “*UAV Forecast*”, que informa fatores ambientais que podem influenciar na realização do voo, como visibilidade, cobertura de nuvens e velocidade do vento no local desejado. As condições mais favoráveis de tempo foram as do dia 19 de março de 2019.

As imagens aéreas foram obtidas por um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) modelo *DJI Phantom Pro 4* (Figura 17), disponibilizado pelo laboratório de geoprocessamento do departamento de engenharia florestal da UDESC de Lages (em função da dificuldade de deslocamento dos equipamentos do GEOLAB de Florianópolis) – cujas características estão descritas na Tabela 4, juntamente com as configurações de voo – equipado com uma câmera com resolução de 20 Mpixels, sensor vermelho, verde e azul (RGB) com obturador mecânico e distância focal de 8,8 mm. No total foram adquiridas 274 imagens da área piloto.

Figura 17. Modelo de Veículo Aéreo Não Tripulado DJI Phantom 4 Pro utilizado.



Fonte: DJI (2019).

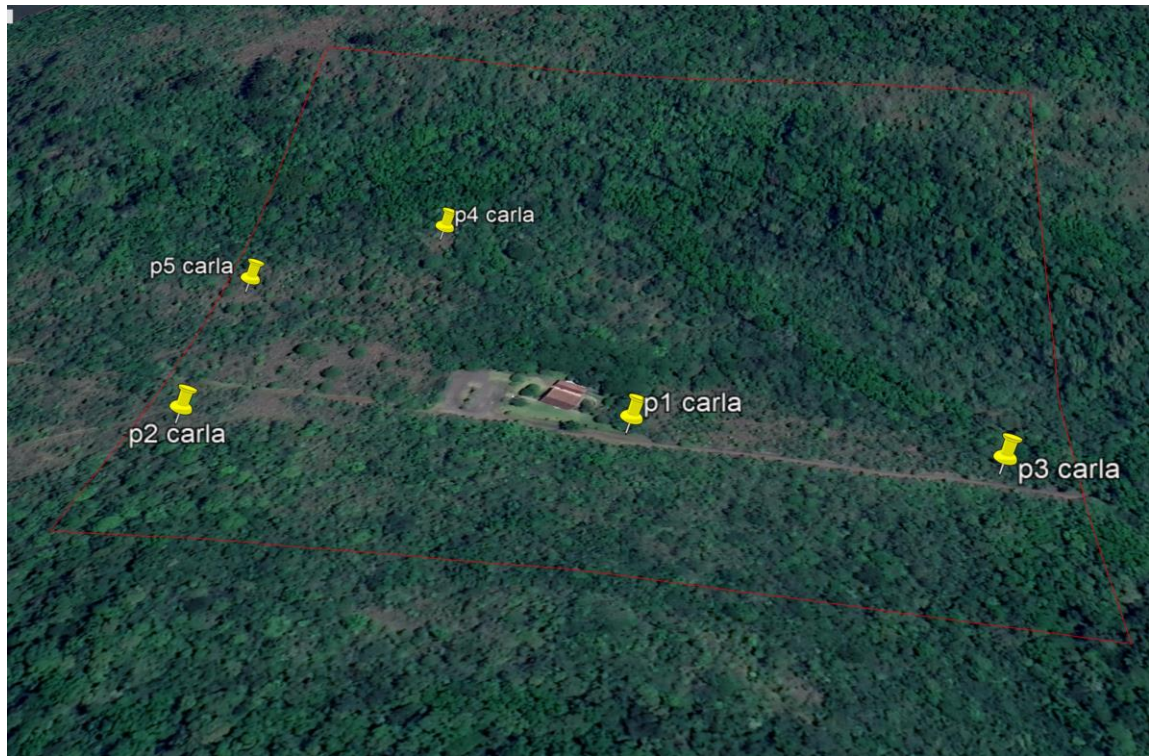
Tabela 4. Parâmetros de voo e especificações da aeronave utilizada.

Parâmetros de voo		Especificações da aeronave	
Ano de execução	2019	Peso (Bateria e hélices)	1.388 gramas
Altura	120 metros	Tamanho diagonal (incluindo hélices)	350 mm
Sobreposição longitudinal	85%	Resistência máxima a velocidade do vento	10 m/s
Sobreposição lateral	80%	Sistema de posicionamento global	GPS / GLONASS
Velocidade	5 m/s	Sensor	CCD
Sistema de referência	Projeção cartográfica UTM, Fuso 22S		

Fonte: Adaptado pela autora. DJI (2019).

Os pontos de controle (*ground control points* – GCPs) foram planejados de forma mais equidistante e bem distribuída possível em toda a área (Figura 18). A escolha correta dos locais dos GCPs foi feita a partir de imagens orbitais *QuickBird*, disponíveis no programa Google Earth Pro[®].

Figura 18. Ilustração da distribuição dos pontos de controle planejados.



Fonte: Google Earth, elaborado pela autora (2019).

Como trata-se de uma área com ampla cobertura florestal, buscou-se inserir os alvos para coleta dos pontos de controle em locais com melhor abertura de dossel possível ou próximo a infraestruturas existentes (estradas e trilhas), resultando em 5 locais, embora não tenha sido possível manter uma distribuição completamente regular. Com a definição CGPs, foram confeccionadas as fichas de campo, baseadas no padrão de relatório de estação geodésica do IBGE, para apoio e anotações necessárias durante a realização do levantamento dos pontos de controle.

O levantamento dos pontos de controle foi realizado com o receptor GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) Leica GS15[®] com a utilização da tecnologia RTK (*Real-Time Kinematic*), ou seja, com processamento em tempo real. O GS15[®] também foi disponibilizado pelo laboratório de geoprocessamento do departamento de engenharia florestal da UDESC de Lages (em função da dificuldade de deslocamento dos equipamentos do GEOLAB de Florianópolis).

Para que o levantamento através do método RTK possa ser realizado é necessário que haja um ponto com coordenadas conhecidas e preferencialmente amarrada ao SGB (Sistema Geodésico Brasileiro). Para tanto, foi realizado um rastreio com o mesmo equipamento (Leica GS15[®]) por aproximadamente 1h e 45min no ponto base, e que também foi utilizado para o levantamento de todos os pontos de controle, instalado no estacionamento do centro de visitantes do Parque (Figura 19).

Figura 19. Ponto base utilizado para o levantamento dos pontos de controle.



Fonte: A autora (2019).

Após a definição das coordenadas absolutas do ponto base foi realizado o levantamento dos pontos de controle através do método RTK. O método em questão imprime grande agilidade ao trabalho de campo, sendo que a definição final das coordenadas de cada ponto se dá, em média, após 5 segundos do início da coleta do mesmo.

Os alvos foram criados no mesmo dia do sobrevoo com a utilização de gabaritos de madeira e pó de cal, sendo que para cada ponto de controle foi montado um alvo em formato de cruz, com o centro marcado em “X”, onde foi posicionado o equipamento (Figura 20).

Figura 20. Levantamento dos pontos de controle.



Fonte: A autora (2019).

No total, foram coletados 4 pontos de controle (o rastreamento do GCP 4, por algum erro de equipamento, não foi registrado no cartão de memória do GS15), os quais apresentaram um erro médio final de 0,0003 metros.

Já o planejamento e realização do segundo e do terceiro voo, utilizando o sensor multiespectral, foi realizado em parceria com a empresa PEGESUL Soluções em Tecnologias, uma vez que a aquisição dos equipamentos necessários por parte UDESC não se viabilizou em função dos custos e o projeto de pesquisa foi então contemplado pelo edital FAPESC Nº. 04/2018 - Apoio à Infraestrutura para Grupos de Pesquisa da UDESC, na categoria “contratação de serviços de terceiros – pessoa jurídica”.

As imagens aéreas do segundo e terceiro voo foram obtidas por um Veículo Aéreo Não Tripulado (RPAS) modelo *SenseFly eBee Plus* (Figura 21) equipado com sensor multiespectral *Sequoia_4.0_1280x960* com as bandas *Green*, *Red*, *Red edge* e *NIR*. O software utilizado para o planejamento de voo foi o *eMotion* (da mesma marca *SenseFly*). Os parâmetros de voo foram padronizados para ambos os voos e constam no APÊNDICE 1.

Figura 21. VANT *SenseFly eBee Plus* utilizado no segundo e terceiro voo na área piloto.



Fonte: *SenseFly*, 2021.

O segundo voo foi realizado no mês de Novembro de 2019, período fenológico de brotação/crescimento foliar. A sobreposição lateral das imagens foi de 70% e a linear de 80% e a altura de voo em 63 metros. Assim como no primeiro voo, a área recoberta foi maior do que a área de interesse, para que se evitem vazios na ortofoto resultante e em função das bordas do voo conterem, naturalmente, menos sobreposição de imagens, se comparado com a parte central.

Já o terceiro voo, planejado para o mês de março de 2020 conforme o cronograma inicial, infelizmente não foi realizado no período programado, devido à suspensão de todas as atividades não essenciais no Estado de Santa Catarina (DECRETO Nº 515, DE 17 DE MARÇO DE 2020) em função da pandemia de COVID-19. Como o mesmo estágio fenológico (de frutificação e de senescência de folhas) da *Hovenia dulcis* se repetiu somente no ano seguinte, a coleta de imagens aéreas foi realizada somente no mês de março de 2021, seguindo os mesmos parâmetros do voo anterior.

5.2 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

O processamento das imagens obtidas no primeiro voo, com o sensor RGB, foi realizado no software *Agisoft PhotoScan*®. Na Tabela 5, é possível verificar os principais parâmetros utilizados para o processamento das imagens (maiores detalhes são descritos no APÊNDICE 2).

Tabela 5. Parâmetros utilizados para processamento das imagens.

ALINHAMENTO	
Acurácia	Alto
Pré seleção de Pares	Referência
Limite para Pontos Chave	40000
Limite para Pontos de Amarração	4000
NUVEM DE PONTOS DENSE	
Qualidade	Alta
Filtro de Profundidades	Moderado
MALHA TRIANGULAR	
Tipo de Superfície	Height Field
Dado Fonte	Nuvem Densa
Interpolação	Ativada
Qualidade	Alta
Filtro de Profundidades	Moderado
Contagem de Faces	19337413

Fonte: *PhotoScan*, adaptado pela autora (2019).

Os produtos gerados pelo processamento do aerolevantamento foram a nuvem densa de pontos fotogramétricos (*Photogrammetric Point Cloud* - PPC), o Modelo Digital da Elevação - MDE (*Digital Elevation Model*) e o ortomosaico com composição *Red, Green, Blue* – RGB, com um GSD (*Ground Sampling Distance*) das imagens adquiridas de 3 cm/pixel.

O primeiro voo, realizado com o sensor RGB, foi importante para entendimento e visualização da ocorrência da *Hovenia dulcis* na área piloto, em função do ortomosaico resultante ter alta resolução espacial e ser composto por bandas na faixa do visível do espectro, o que permitiu que fosse utilizado de maneira auxiliar para definição e visualização das classes.

No ortomosaico resultante é possível perceber a presença considerável da espécie invasora *Hovenia dulcis* na área piloto, conforme demonstrado na Figura 22 (área destacada pelo polígono em vermelho). O fato de o voo ter sido realizado no período de frutificação e senescência das folhas favorece a diferenciação visual no ortomosaico, uma vez que a espécie apresenta tons mais amarelados, até mesmo ocre, na imagem. De maneira preliminar, analisando visualmente a imagem, percebe-se a tendência da espécie de formar agrupamentos, dominando algumas áreas de floresta nativa, sendo possível perceber também que *H. dulcis* ocorre em áreas mais altas e acompanhando as margens de um curso d'água.

Figura 22. Ortomosaico RGB da área piloto com destaque para presença de *Hovenia dulcis*.

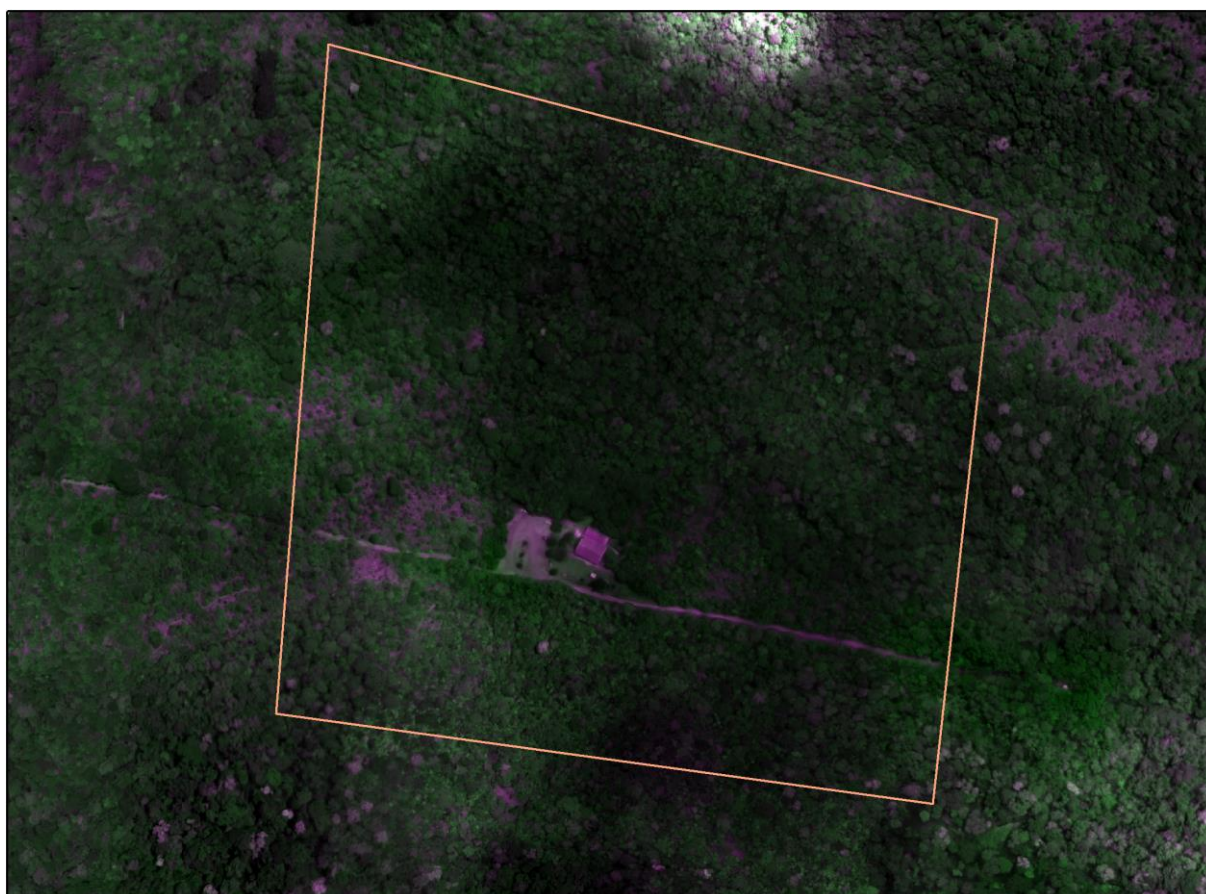


Fonte: A autora (2019).

Para o processamento das imagens obtidas no segundo e no terceiro voo, com o sensor multiespectral, foi utilizado o software *Pix4Dmapper*® versão 4.3.33. Os relatórios de processamento são apresentados nos APÊNDICE 3 e APÊNDICE 4. Os produtos gerados pelo processamento do aerolevantamento foram a nuvem densa de pontos (*Densified Point Cloud*), e 4 ortomosaicos, sendo um para cada banda (*Red*, *Green*, *NIR*, *RedEdge*) além do ortomosaico com o índice NDVI. O GSD (*Ground Sampling Distance*) das imagens adquiridas no segundo voo foi de 25 cm/pixel e no terceiro voo foi de 10 cm/pixel.

A Figura 23 representa o ortomosaico criado para visualização da composição de bandas multiespectrais do segundo voo, realizado em Novembro de 2019, no período fenológico de brotação da espécie *Hovenia dulcis*. É possível perceber, diferentemente do ortomosaico RGB, que *Hovenia dulcis* não apresentou destaque no que se refere a sua coloração. Percebe-se também um sombreamento no ortomosaico, devido a presença de muitas nuvens, o que indica que o voo não foi realizado em condições totalmente ideais.

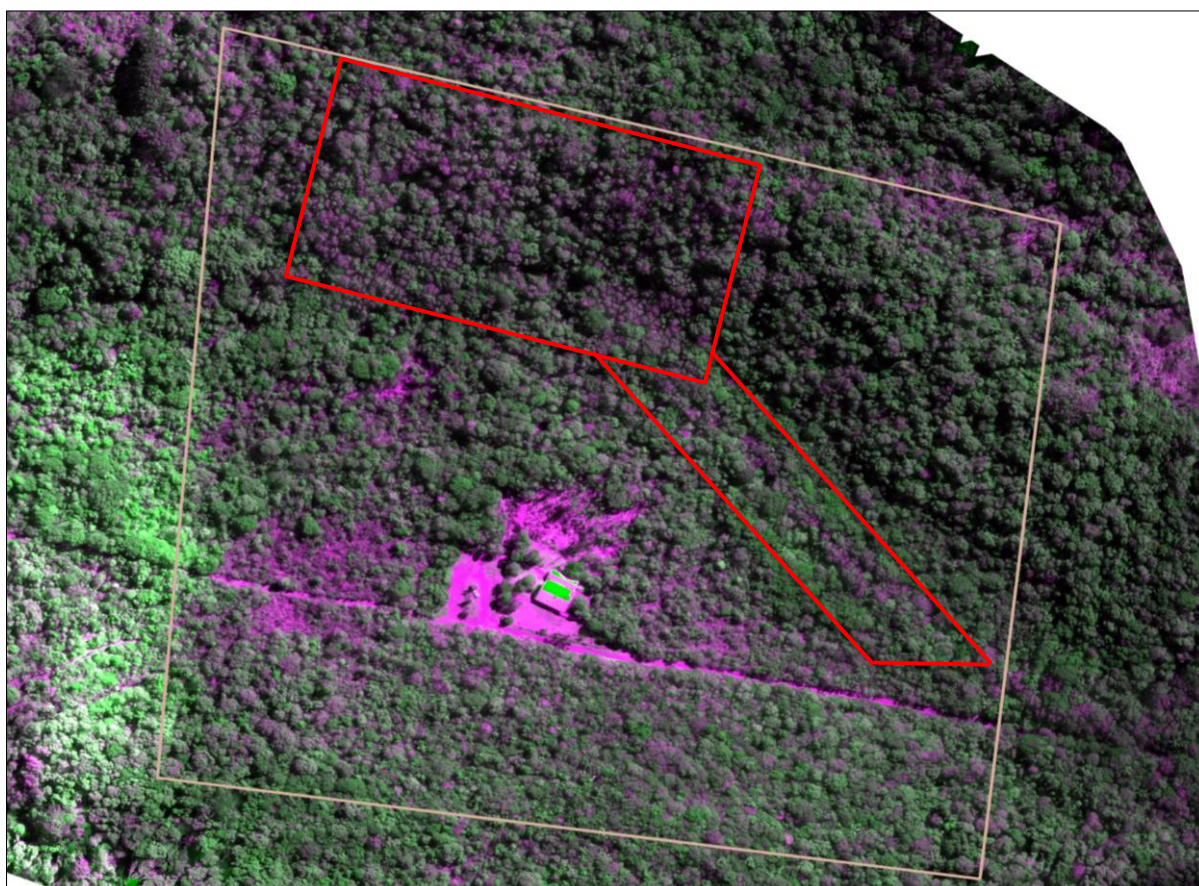
Figura 23. Ortomosaico da composição de bandas multiespectrais do segundo voo na área piloto (polígono na cor bege).



Fonte: A autora, 2021.

A Figura 24 representa o ortomosaico criado para visualização da composição de bandas multiespectrais do terceiro voo, realizado em Março de 2021, período fenológico de frutificação e de senescência de folhas da espécie *Hovenia dulcis*. Neste caso, o voo foi realizado em condições melhores, se comparado ao anterior, não havendo muita presença de sombreamento de nuvens. Também, a condição de frutificação e senescência de folhas, assim como percebido no voo com sensor RGB, permite uma maior diferenciação visual de coloração da *Hovenia dulcis* se comparada às demais espécies (área destacada pelo polígono em vermelho).

Figura 24. Ortomosaico da composição de bandas multiespectrais do terceiro voo na área piloto (polígono na cor bege).



Fonte: A autora, 2021.

5.3 EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS E CLASSIFICAÇÃO DOS ORTOMOSAICOS

Em geral, as imagens de sensoriamento remoto incluem informações espaciais e espectrais variadas (LU e WENG, 2007), mas que podem ser aplicadas em conjunto para melhorar a precisão da classificação. Nesta pesquisa, foram usados os atributos espectrais e espaciais das imagens da melhor maneira possível para que os objetivos fossem alcançados.

Para a detecção da espécie *Hovenia dulcis* a partir do ortomosaico RGB obtido, foram testadas 2 classificações, ambas supervisionadas, com o uso do algoritmo *Nearest Neighbor* – *NN* (vizinho mais próximo), disponível no software *eCognition*® e o do algoritmo *Maximum Likelihood Classification* – *MLC* (máxima verossimilhança), realizado no software *ArcGis*®.

Para a classificação com *NN*, foi realizada a prévia segmentação hierárquica do ortomosaico, disponível também no software *eCognition*® utilizando o algoritmo *Multiresolution Segmentation* (TRIMBLE, 2019). O algoritmo *Multiresolution Segmentation* mescla pixels ou objetos de imagem existentes com seus vizinhos, com base em critérios relativos de homogeneidade, composta por uma combinação de critérios espectrais e de forma (TRIMBLE, 2019).

Após a testagem de vários fatores de escala (o qual define o tamanho dos segmentos a serem gerados, ou seja, quanto maior o valor adicionado maior será o tamanho do segmento) a segmentação que mais se adequou ao objetivo foi a escala 200. O parâmetro de forma que mais se adequou foi o de 0.1 (quanto menor o seu valor, maior a influência da cor no processo de segmentação) e de compacidade foi de 0.6 (quanto maior o valor, mais compactos os objetos de imagem podem ser).

Após a segmentação, foram selecionadas 7 classes de interesse para o treinamento do classificador, baseado na observação e reconhecimento a campo da área de estudo e com auxílio visual do próprio ortomosaico RGB, considerando sua alta resolução espacial: Estradas, Estruturas físicas, *Hovenia dulcis*, Vegetação arbórea, Vegetação herbácea/arbustiva, Sombra e Fundo. A amostragem levou em consideração a importância de se ter uma coleta de amostras bem distribuída por toda a área, bem como uma quantidade de amostras representativa para cada classe. Em seguida foi realizada a extração dos atributos dos segmentos amostrados (3 atributos: médias espectrais das bandas R, G e B) e a classificação com o *Nearest Neighbor* no software *eCognition*®.

Já o classificador *MLC* tem a abordagem baseada em pixels e calcula o vetor médio, a variância e a correlação para cada classe nos dados de treinamento e estima um conjunto de funções de probabilidade para todas as classes com base nos dados de treinamento para descrever a probabilidade relativa de que um determinado valor de pixel pertence a cada classe (CURRAN, 1985; RICHARDS, 1986).

Para o uso do algoritmo *MLC*, foram selecionadas, no software *ArcGis*®, as mesmas 7 classes de interesse para o treinamento do classificador: Estradas, Estruturas físicas, *Hovenia dulcis*, Vegetação arbórea, Vegetação herbácea/arbustiva, Sombra e Fundo. Assim como para o treinamento do NN, a coleta de amostras foi bem distribuída por toda a área, bem como a quantidade de amostras foi representativa para cada classe. Na sequência foi executada a classificação com *MLC* no software *ArcGis*®.

Já para classificação da espécie *Hovenia dulcis* a partir das imagens obtidas com o sensor multiespectral, foram utilizados classificadores mais robustos, sendo um classificador supervisionado, o *Random Forest* – RF e outro classificador semi-supervisionado, o *One Class Support Vector Machine* – OCSVM. Os algoritmos foram aplicados tanto para a classificação do ortomosaico de Novembro de 2019, no período fenológico de brotação da espécie, quanto para a classificação do ortomosaico de março de 2021, época de frutificação e de senescência de folhas.

Primeiramente, no software *Envi*®, foi realizada a junção das 5 bandas (*Red*, *Green*, *NIR*, *RedEdge* e *NDVI*) em um único arquivo. Na sequência, no software *eCognition*®, foi executada a segmentação hierárquica do ortomosaico, utilizando o algoritmo *Multiresolution Segmentation* (TRIMBLE, 2019). Os parâmetros de segmentação que mais se adequaram ao ortomosaico foi escala 6, compacidade 0,6 e forma 0,2.

Após a segmentação, para a classificação com o RF, tanto para o ortomosaico de 2019, quanto para o ortomosaico de 2021, foram selecionadas 6 classes de interesse para as amostras de treinamento, baseado na observação e reconhecimento a campo da área de estudo e com auxílio visual do ortomosaico RGB, considerando sua alta resolução espacial: Estradas, Estruturas físicas, *Hovenia dulcis*, Vegetação arbórea, Vegetação herbácea/arbustiva e Sombra. Em seguida foi realizada a extração dos atributos dos segmentos gerados (médias espectrais e desvio padrão para cada uma das bandas e para o índice NDVI, totalizando 10 variáveis) no software *eCognition*®.

Na sequência, para classificação com o algoritmo RF, foi criado o banco de dados contendo os atributos extraídos na etapa anterior, no formato ARRF (*Attribute Relation File Format*) e executada a classificação no software WEKA® (*Waikato Environment Knowledge Analysis*).

Para a aplicação do algoritmo OCSVM, foram seguidas as mesmas etapas de junção das bandas em arquivo único no software ENVI® e de segmentação dos ortomosaicos de 2019 e de 2021 no software *eCognition*®. Porém, o conjunto de dados de treinamento contém somente os atributos da classe alvo *Hovenia dulcis* (médias espectrais e desvio padrão para cada uma das bandas e para o índice NDVI). Assim como para classificação como algoritmo RF, para a aplicação do algoritmo OCSVM foi criado o banco de dados contendo os atributos extraídos na etapa anterior, no formato ARRF (*Attribute Relation File Format*) e executada a classificação no software WEKA® (*Waikato Environment Knowledge Analysis*).

5.4 VALIDAÇÃO E ACURÁCIA DOS RESULTADOS

A acurácia do desempenho dos classificadores – tanto para o RF, quanto para o OCSVM – foi medida pela matriz de confusão, a qual fornece a base para análise da exatidão da classificação e para determinar tantos os acertos quanto os erros presentes em cada classe (FOODY, 2002).

A matriz de confusão composta por linhas e colunas que expressam o número de unidades de amostras de uma categoria – inferida por um classificador, comparado com a categoria verificada no campo (CONGALTON, 1991). Os elementos da diagonal principal formada pelas linhas e colunas indica o nível de acerto, ou concordância, entre os dois conjuntos de dados. Para o cálculo de acuracidade da classificação, foi, portanto, gerada a matriz de confusão e a partir dela foram calculados os índices de Exatidão Global (*Overall Accuracy* – OA), Acurácia do Produtor, Acurácia do Usuário e índice *Kappa*.

A Exatidão Global utiliza os elementos da diagonal principal da matriz de confusão e reflete o número total de amostras classificadas corretamente divididas pelo número total de amostras. Já a acurácia do Produtor corresponde à razão entre o número de elementos de uma classe classificadas corretamente e o número total de elementos classificados para esta classe (CONGALTON e GREEN, 1999; LILLESAND *et al.*, 2004), ou seja, a probabilidade de um objeto ser excluído (não classificado) da classe a que ele pertence.

A Acurácia do Usuário reflete os erros de comissão que indicam a probabilidade de um elemento classificado em uma determinada classe realmente pertencer a essa classe (LILLESAND *et al.*, 2004), ou seja, é a proporção de árvores que foram classificadas em uma classe específica entre todas as árvores que realmente pertencem para essa classe (NEVALAINEN *et al.*, 2017).

O índice *Kappa* mede a concordância da predição com a verdadeira classe, comparando uma precisão observada com uma precisão esperada, considerando a chance aleatória de classificação correta (COHEN, 1960) e seus valores variam de 0 a 1 (LANDIS E KOCH, 1977) (Tabela 6).

Tabela 6. Classificação do índice *Kappa*.

Valor de <i>Kappa</i>	Parâmetro
$K \leq 0,2$	péssimo
$0,2 \leq K \leq 0,4$	razoável
$0,4 \leq K \leq 0,6$	bom
$0,6 \leq K \leq 0,8$	muito bom
$0,8 \leq K \leq 1$	excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

O índice *Kappa* se diferencia da exatidão global por incorporar os elementos fora da diagonal principal da matriz de confusão e é calculado pela equação (1) (CONGALTON e GREEN, 1999).

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - n \sum_{i=1}^c x_i(x_i + i)}{n^2 - \sum_{i=1}^c x_i(x_i + i)} \quad (1)$$

Em que: K é uma estimativa do coeficiente *Kappa*; x_{ii} é o valor na linha i e coluna i; $x_i + i$ é a soma da linha i; $x + i$ é a soma da coluna i da matriz de confusão; n é o número total de elementos de referência; e^c e o número total de classes.

Ainda, por fim, foram aplicados cálculos da matriz de significância, com a variância do índice *Kappa* e o teste Z estatístico, com o objetivo de confrontar os resultados.

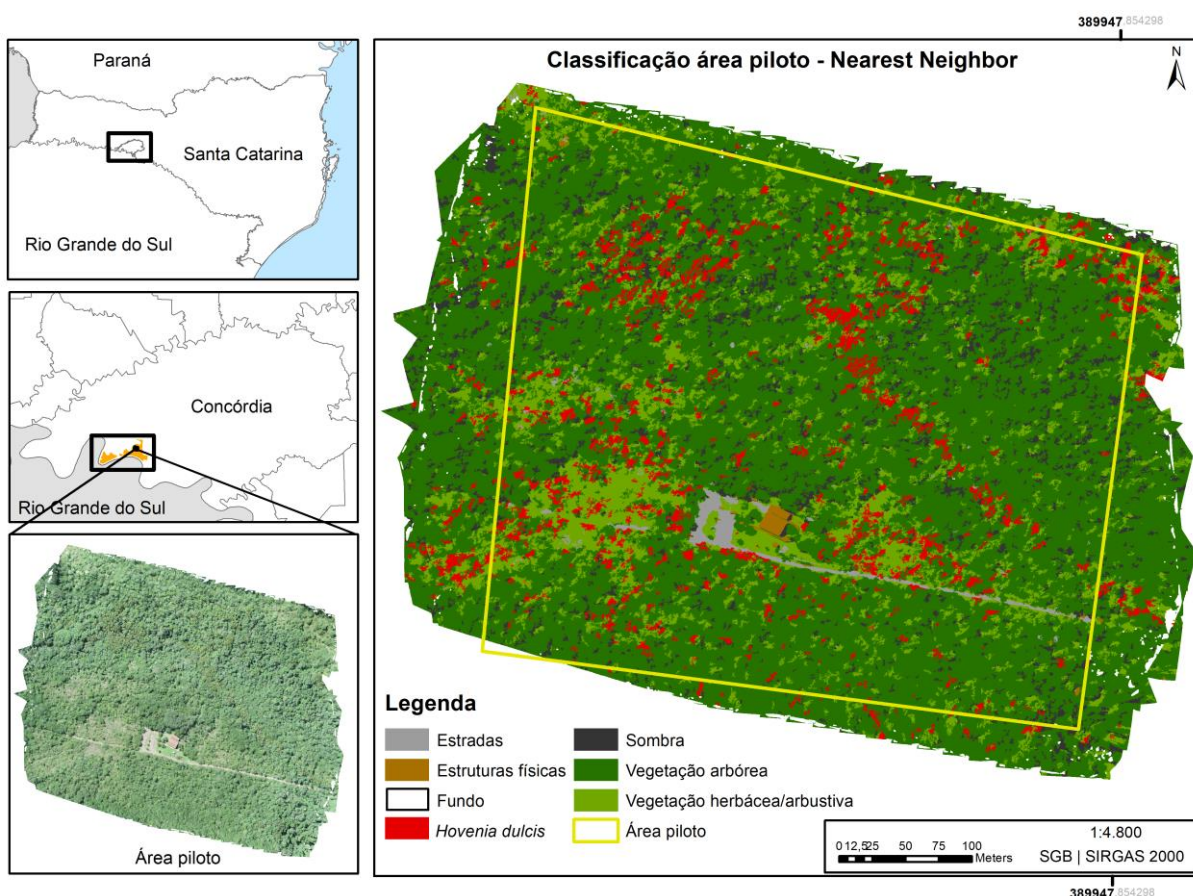
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados das classificações na seguinte ordem:

- Algoritmos NN e MLC aplicados para classificação do ortomosaico RGB, período fenológico de frutificação e senescência de folhas, obtido em Março de 2019;
- Algoritmo RF aplicado para classificação do ortomosaico multiespectral, período fenológico de brotação de folhas, obtido em Novembro de 2019;
- Algoritmo OCSVM aplicado para classificação do ortomosaico multiespectral, período fenológico de brotação de folhas, obtido em Novembro de 2019;
- Algoritmo RF aplicado para classificação do ortomosaico multiespectral, período fenológico de frutificação e senescência de folhas, obtido em Março de 2021;
- Algoritmo OCSVM aplicado para classificação do ortomosaico multiespectral, período fenológico de frutificação e senescência de folhas, obtido em Março de 2021.

6.1 CLASSIFICAÇÃO ORTOMOSAICO RGB

Na Figura 25 é possível observar o resultado da classificação utilizando ortomosaico RGB, por meio do algoritmo NN. Percebe-se que grande parte da área é ocupada por vegetação arbórea (conforme constatado a campo, sendo grande parte nativa), seguida de vegetação herbácea/arbustiva. Porém, a espécie *Hovenia dulcis*, classe alvo deste estudo, representada no mapa pela cor vermelha, tem sua ocorrência observada em grande parte da área analisada, representando um considerável grau de invasão.

Figura 25. Classificação da área piloto com classificador *Nearest Neighbor - NN*.

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O valor encontrado para o índice de Exatidão Global foi de 0,97 (97%), Acurácia do Produtor de 0,93 (93%), Acurácia do Usuário também de 0,93 (93%) e para o índice *Kappa* foi de 0,95. A matriz de confusão está demonstrada na Tabela 7. Esses valores demonstram que a classificação apresentou um resultado considerado “excelente” de acordo com o índice *Kappa*, além de valores altos para exatidão global (acima 90%) e para acurácia de produtor e acurácia de usuário, indicando um bom desempenho do algoritmo NN.

Tabela 7. Matriz de confusão gerada a partir da classificação com o algoritmo NN.

MATRIZ DE CONFUSÃO ALGORITMO NN (ORTOMOSAICO RGB)								
	Fundo	Vegetação arbórea	<i>Hovenia dulcis</i>	Sombra	Vegetação herb./arbust.	Estruturas físicas	Estradas	TOTAL
Fundo	1530	0	0	0	0	0	0	1539
Vegetação arbórea	4	390	3	4	1	0	0	402
<i>Hovenia dulcis</i>	0	1	60	0	0	0	2	63

Continua...

Continuação...

MATRIZ DE CONFUSÃO ALGORITMO NN (ORTOMOSAICO RGB)								
	Fundo	Vegetação arbórea	<i>Hovenia dulcis</i>	Sombra	Vegetação herb./arbust.	Estruturas físicas	Estradas	TOTAL
Sombra	1	5	1	69	0	0	0	76
Vegetação herb./arbust.	0	16	0	2	89	0	13	120
Estruturas físicas	0	0	0	0	0	29	0	29
Estradas	0	0	0	0	2	0	52	54
TOTAL	1535	412	64	75	92	29	67	2274

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

É possível inferir que a classificação supervisionada por meio do algoritmo *Nearest Neighbor* – NN, o uso de imagens de alta resolução espacial, obtidas por RPAS, e a seleção do período fenológico de frutificação/senescência de folhas da espécie *Hovenia dulcis*, resultou na detecção da espécie, demonstrando ser uma ferramenta adequada para geração de informações e subsídios para medidas de prevenção e controle da espécie.

Outros autores também encontraram resultados satisfatórios utilizando o algoritmo NN, como Lima *et al.* (2019), que em uma pesquisa em um remanescente florestal da Floresta Ombrófila Mista, no Município de Fernandes Pinheiro, Estado do Paraná, obteve índice de Exatidão Global de 0,82 e índice *Kappa* de 0,76 utilizando parâmetros de classificação similares para a espécie. Sousa *et al.* (2011) também já haviam encontrado bons resultados na detecção de duas espécies de Carvalho (*Quercus suber* e *Quercus rotundifolia*) na região do Alentejo, Portugal, utilizando imagem *Quickbird*, com Exatidão Global de 0,88 e índice *Kappa* de 0,82.

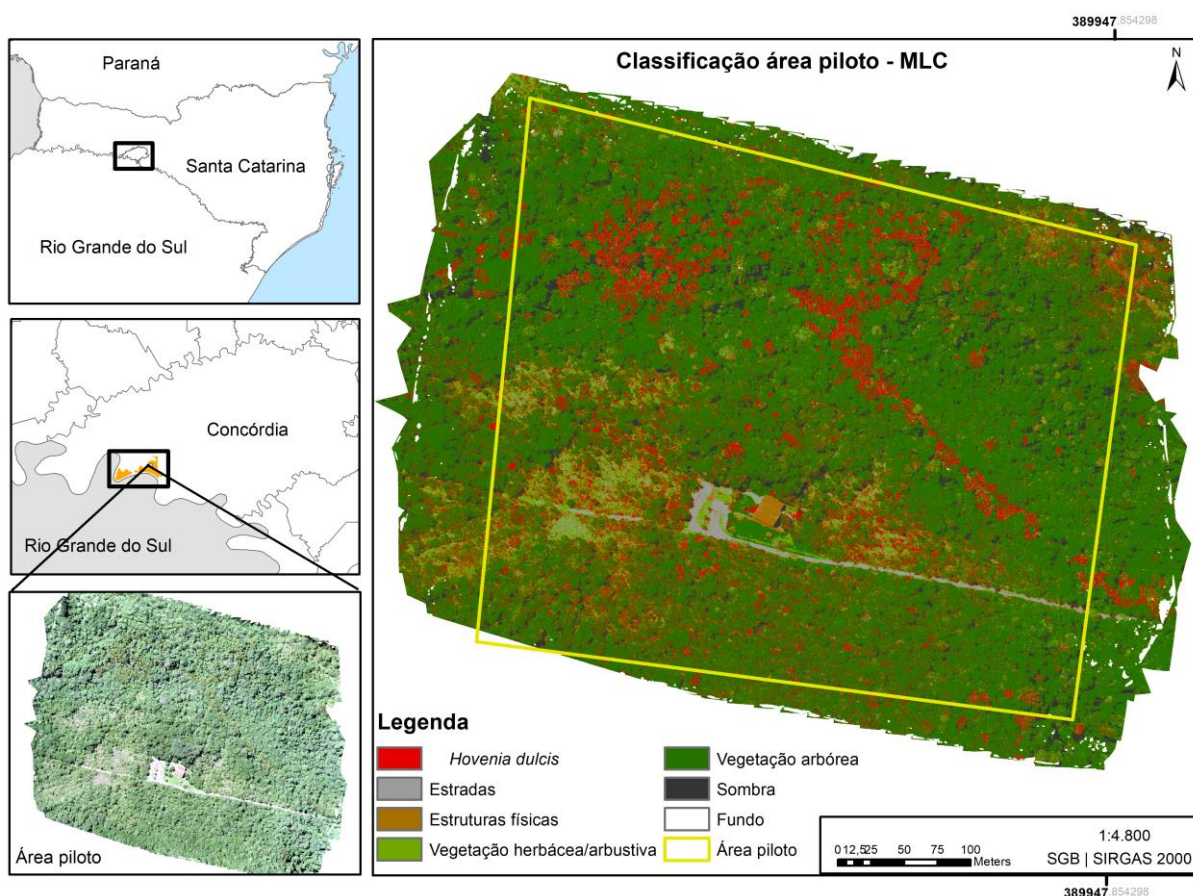
Müllerová *et al.* (2017), embora testando diversos algoritmos, encontraram resultados satisfatórios ao analisar, por meio de imagens RGB e RGB+NIR obtidas por RPAS, qual o melhor período fenológico para detecção de duas espécies herbáceas (*Heracleum mantegazzianum* e *Fallopia sp.*) na República Tcheca. Os melhores resultados foram obtidos quando a cor marrom avermelhada do estado de senescência de *Fallopia sp.* estava destacada e *H. mantegazzianum* estava florida.

Lisein *et al.* (2015) também utilizaram imagens obtidas por RPAS, com o objetivo de analisar diferentes estados fenológicos de 5 espécies na Bélgica. Por meio de classificação supervisionada, os pesquisadores chegaram à conclusão de que o melhor período fenológico foi o de senescência e queda de folhas.

Portanto, o processo de segmentação utilizando o algoritmo *Multiresolution Segmentation*, com fator de escala 200 (parâmetro de forma de 0.1 e de compacidade de 0.6), seguido da classificação supervisionada por meio do algoritmo *Nearest Neighbor* – NN apresentou resultados satisfatórios para detecção da espécie *Hovenia dulcis* a partir do ortomosaico RGB.

Na Figura 26 é possível observar o resultado da classificação do ortomosaico RGB, por meio do algoritmo MLC. Assim como na classificação com NN, é possível perceber que grande parte da área é ocupada por vegetação arbórea (conforme constatado a campo, sendo grande parte nativa), seguida de vegetação herbácea/arbustiva. A espécie *Hovenia dulcis*, representada no mapa pela cor vermelha, ocorre em grande parte da área, o que indica um considerável grau de invasão.

Figura 26. Classificação da área piloto com classificador *Maximum Likelihood Classification* – MLC.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O valor encontrado para o índice de Exatidão Global foi de 0,87 (87%), Acurácia do Produtor de 0,79 (79%), Acurácia do Usuário também de 0,79 (79%) e para o índice *Kappa* foi de 0,74.

A matriz de confusão consta na

Tabela 8. Esses valores, embora menores se comparados aos resultados da classificação com o algoritmo NN, demonstram que a classificação apresentou um resultado considerado “muito bom” de acordo com o índice *Kappa*.

Tabela 8. Matriz de confusão gerada a partir da classificação com o algoritmo MLC.

MATRIZ DE CONFUSÃO ALGORITMO MLC (ORTOMOSAICO RGB)								
	<i>Hovenia dulcis</i>	Estradas	Estruturas físicas	Vegetação herb./arbust.	Vegetação arbórea	Sombra	Fundo	TOTAL
<i>Hovenia dulcis</i>	11	0	0	2	2	0	0	16
Estradas	0	5	0	2	1	0	0	8
Estruturas físicas	1	1	2	1	0	0	0	5
Vegetação herb./arbust.	0	0	0	5	5	0	0	10
Vegetação arbórea	2	0	0	0	22	1	0	25
Sombra	0	0	0	0	0	9	0	9
Fundo	0	0	0	0	0	0	15	15
TOTAL	14	6	2	10	30	10	15	87

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Outros autores também encontraram resultados considerados satisfatórios com a aplicação do algoritmo MLC. Na Itália, Gini *et al.* (2018) testaram o uso de imagens de veículo aéreo não tripulado de alta resolução para classificar espécies de árvores em um viveiro de plantas próximo à Vila de Cirimido, em Como. O algoritmo supervisionado *Maximum Likelihood Classification* – MLC foi aplicado para a classificação das espécies. Os pesquisadores encontraram valores de Exatidão Global entre 58% e 87% (*Kappa* de 0,54 para até 0,85) dependendo da redução de componentes.

Müllerová *et al.* (2017) desenvolveram um estudo na República Tcheca com a espécie *Robinia pseudoaccacia* testando imagens de diferentes origens (WorldView-2, VANT) e padrões espectrais (multiespectral, RGB + infravermelho próximo – NIR), aplicando os algoritmos supervisionados *Maximum Likelihood Classification* – MLC e *Support Vector Machine* – SVM. Conforme demonstrado no estudo, as precisões obtidas na classificação de *R. pseudoaccacia* foram altas, com imagens obtidas com VANT fornecendo melhores resultados (até 92% de acurácia do produtor e 81% para acurácia de usuário) em comparação com as imagens WorldView-2 (até 61 de acurácia do produtor e 81% para acurácia de usuário). Os autores demonstraram que a geração de ortomosaicos combinando imagens RGB + NIR obtidas com plataforma VANT pode gerar bons resultados para a detecção de espécies exóticas invasoras.

Müllerová *et al.* (2017) também analisaram o melhor período fenológico para detecção de duas espécies herbáceas (*Heracleum mantegazzianum* e *Fallopia sp.*) com características fenológicas, estruturais e espectrais marcadamente diferentes. Os pesquisadores utilizaram imagens RGB e RGB+NIR adquiridas com veículo aéreo não tripulado e imagens PLEIADES e para classificação aplicaram algoritmos baseados em pixel (*Maximum Likelihood Classification* – MLC, *Support Vector Machine* – SVM, *Random Forest* – RF) e objeto (segmentação *Multiresolution Segmentation* e *Contrast Split* e classificação *rule-based*, SVM e RF). Os resultados variaram consideravelmente de acordo com a fenologia e a resolução espectral, porém os melhores foram obtidos com imagens de VANT, quando a cor marrom avermelhada do estado de senescência de *Fallopia sp* estava destacada e *H. mantegazzianum* estava florida, com inflorescências brancas.

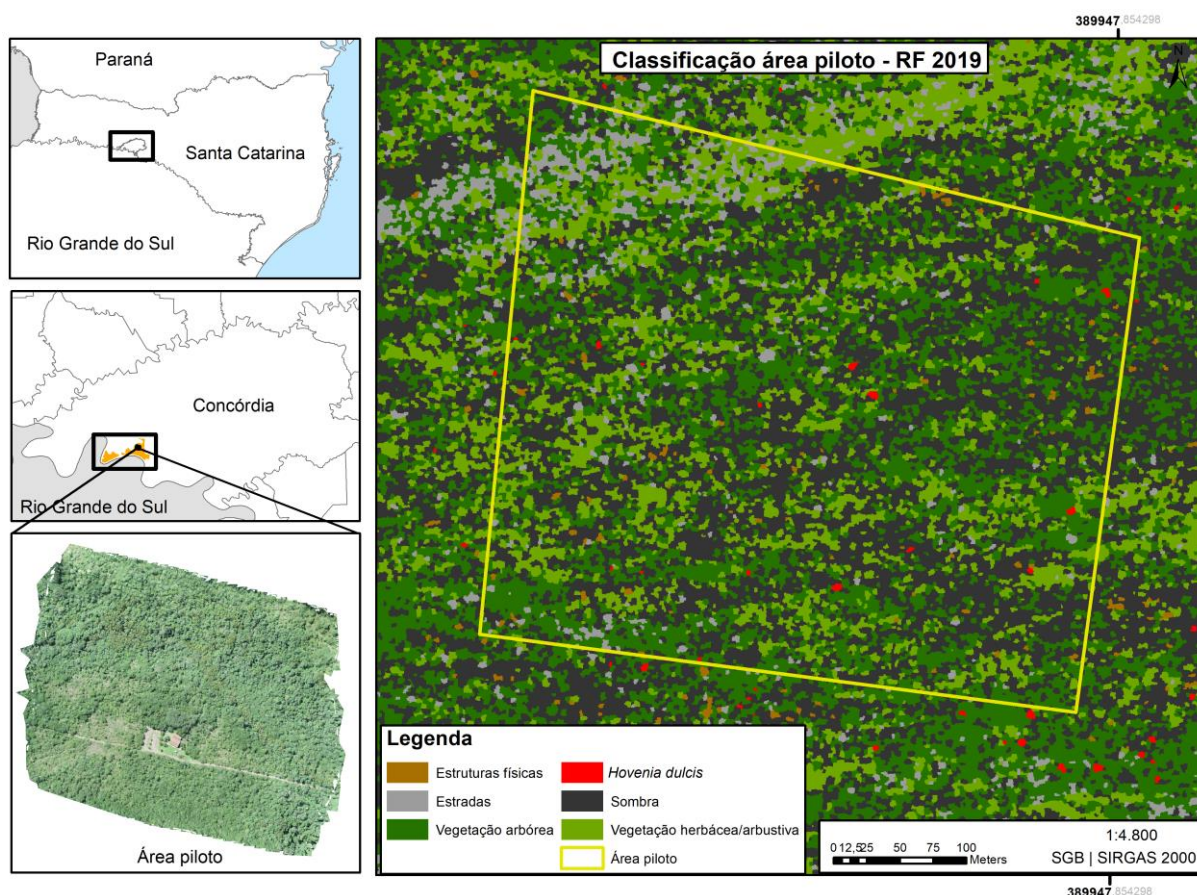
Já Filho *et al.* (2017) não obtiveram bons resultados ao avaliarem a efetividade da classificação supervisionada com *Maximum Likelihood Classification* (MLC) em uma área de manejo florestal de floresta ombrófila densa, utilizando uma imagem de RapidEye. Tanto a classificação com MLC quanto a resolução espacial da imagem utilizada não foram adequadas para classificação supervisionada de vegetação nativa, com Exatidão Global de 5,53%.

A classificação supervisionada por meio do algoritmo *Maximum Likelihood Classification*, assim como ocorreu por meio do algoritmo *NN*, resultou na detecção da espécie, demonstrando ser uma ferramenta adequada para geração de informações e subsídios para medidas de prevenção e controle da espécie. Assim como destacado por outros pesquisadores, a obtenção de imagens no período fenológico de frutificação/senescência de folhas favoreceu o reconhecimento da espécie *Hovenia dulcis*, uma vez que ela se diferencia das demais.

6.2 CLASSIFICAÇÃO ORTOMOSAICOS MULTIESPECTRAIS

Na Figura 27 é apresentado o resultado da classificação do ortomosaico multiespectral obtido em Novembro de 2019, período fenológico de brotação de folhas da espécie *Hovenia dulcis*, com a aplicação do algoritmo RF.

Figura 27. Classificação da área piloto com classificador *Random Forest*, período fenológico de brotação de folhas, em Novembro de 2019.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O índice de Exatidão Global foi de 0,24 (24%), Acurácia do Produtor de 0,19 (19%), Acurácia do Usuário foi de 0,11 (11%) e para o índice *Kappa* foi de 0,04. A matriz de confusão pode ser consultada na Tabela 9. Esses valores demonstram que a classificação apresentou um resultado considerado “péssimo” de acordo com o índice Kappa.

Tabela 9. Matriz de confusão gerada a partir da classificação com o algoritmo RF para ortomosaico multiespectral de 2019.

MATRIZ DE CONFUSÃO ALGORITMO RF (ORTOMOSAICO MULTIESPECTRAL 2019)							
	Estruturas físicas	Estradas	Vegetação arbórea	<i>Hovenia dulcis</i>	Sombra	Vegetação herb./arbust.	TOTAL
Estruturas físicas	0	0	0	19	0	14	33
Estradas	0	0	103	41	30	31	205
Vegetação arbórea	319	212	506	183	240	95	1555
<i>Hovenia dulcis</i>	61	0	0	0	0	0	61
Sombra	97	341	410	148	469	138	1603
Vegetação herb./arbust.	61	278	302	92	163	80	976
TOTAL	538	831	1321	483	902	358	4443

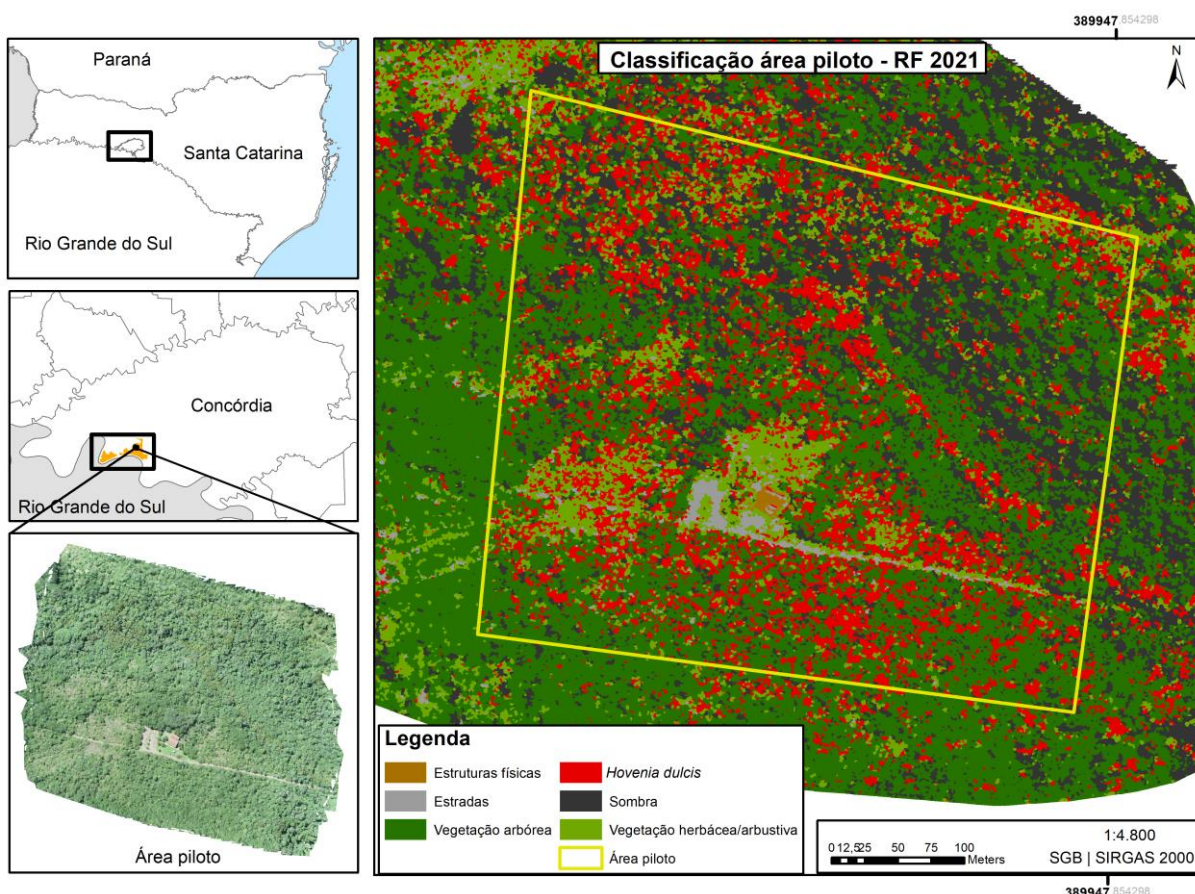
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Alguns fatores podem explicar os resultados ruins dessa classificação. No dia da captura das imagens o operador do VANT não respeitou as condições ideais para realização do voo. Havia a presença de muitas nuvens, o que provocou muito sombreamento no ortomosaico, dificultando a detecção da espécie *Hovenia dulcis*. Também pode ter influenciado para esse resultado negativo, o período fenológico da espécie, uma vez que estava na fase de brotação de folhas. Nessa época, grande parte das espécies florestais nativas também se encontram no mesmo período fenológico, trazendo uma tonalidade de verde semelhante para todas as espécies, inclusive para a *Hovenia dulcis*.

Analisando a matriz de confusão, é possível perceber que o algoritmo RF não classificou nenhuma *Hovenia* corretamente, sendo confundida principalmente com “vegetação arbórea” e com “sombra”. Pode se inferir, portanto, que o sombreamento no ortomosaico influenciou negativamente o resultado da classificação, bem como o período fenológico de brotação de folhas não permitiu a diferenciação de tonalidade da *Hovenia dulcis* frente às demais espécies nativas.

Na Figura 28 é apresentado o resultado da classificação do ortomosaico multiespectral obtido em Março de 2021, período fenológico de frutificação e senescência de folhas da espécie *Hovenia dulcis*, com a aplicação do algoritmo RF.

Figura 28. Classificação da área piloto com classificador *Random Forest*, período fenológico frutificação e senescência de folhas, em Março de 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O valor encontrado para o índice de Exatidão Global foi de 0,91 (91%), Acurácia do Produtor também de 0,91 (91%), Acurácia do Usuário de 0,89 (89%) e para o índice *Kappa* foi de 0,89. A matriz de confusão está demonstrada na Tabela 10. Esses valores demonstram que a classificação apresentou um resultado considerado “excelente” de acordo com o índice *Kappa*. O fato de as imagens terem sido obtidas no período de frutificação e senescência de folhas permitiu uma diferenciação de tonalidade da espécie *Hovenia dulcis*, assim como ocorreu com o ortomosaico correspondente ao mesmo período de 2019.

Tabela 10. Matriz de confusão gerada a partir da classificação com o algoritmo RF para ortomosaico multiespectral de 2021.

MATRIZ DE CONFUSÃO ALGORITMO RF (ORTOMOSAICO MULTIESPECTRAL 2021)							
	Vegetação arbórea	Sombra	Vegetação herb./arbust.	<i>Hovenia dulcis</i>	Estruturas físicas	Estradas	TOTAL
Vegetação arbórea	1211	4	3	17	0	0	1235
Sombra	10	898	0	0	0	0	908
Vegetação herb./arbust.	71	0	303	7	0	70	451
<i>Hovenia dulcis</i>	29	0	9	459	5	66	568
Estruturas físicas	0	0	0	0	487	3	490
Estradas	0	0	43	0	46	692	781
TOTAL	1321	902	358	483	538	831	4443

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Outros estudos também encontraram nos resultados aplicando o algoritmo RF. Na Bélgica, Lisein *et al.* (2015) abordaram a classificação de 5 categorias de espécies decíduas utilizando um conjunto de imagens multitemporais de alta resolução obtidas com um veículo aéreo não tripulado. A aquisição de imagens foi programada para cobrir diferentes estados fenológicos, desde a brotação até a queda das folhas, com o objetivo de determinar qual a melhor data para aquisição. Aplicando o classificador supervisionado *Random Forest*, os pesquisadores chegaram à conclusão de que o melhor período fenológico foi o de queda de folhas, mas que o uso de conjuntos de dados multitemporais melhorou consideravelmente a Exatidão Global da classificação.

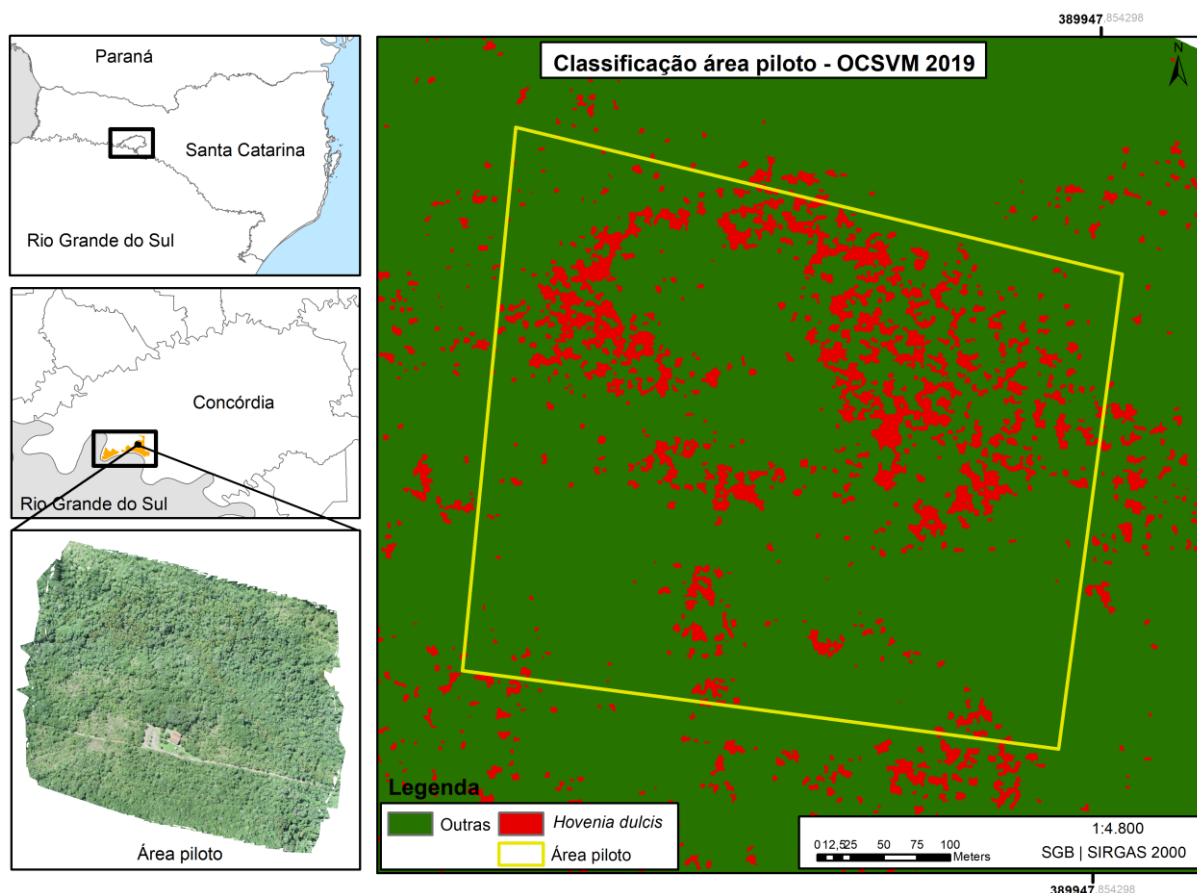
Monteiro *et al.* (2017) avaliaram a invasão de árvores de *Acacia dealbata* no Parque Nacional da Peneda-Gerês, em Portugal, determinando os fatores ambientais associados a essa invasão. Foi realizada uma abordagem de escala hierárquica que combina modelos de distribuição de espécies (SDMs) e mapeamento baseado em imagem de satélite WorldView-2 de alta resolução. A classificação da invasão foi realizada aplicando o algoritmo *Random Forest*. De acordo com os autores, o mapa de invasão obtido a partir da classificação RF foi considerado consistente, com Exatidão Global de 91,3% e *Kappa* de 0,81 e a combinação de modelos de distribuição de espécies e mapeamento de áreas invadidas pode gerar subsídios importantes para tomada de decisão e controle da invasão.

De Sá *et al.* (2018) testaram como veículos aéreos não tripulados podem ser usados para mapear o florescimento de *Acacia longifolia*, um arbusto exótico invasor na região da costa centro-norte, em Portugal. As imagens foram adquiridas em diversas áreas e considerando dois estágios fenológicos, um no pico da floração e outro fora de pico. Para cada área de estudo, os mapas de presença/ausência de flor foram obtidos usando o algoritmo supervisionado *Random Forest*. O mapeamento de *A. longifolia* com flores apresentou resultados satisfatórios, com Exatidão Global maior que 0,96 e *Kappa* maior que 0,85.

Martini *et al.* (2018) avaliaram o potencial de vários índices derivados de imagens adquiridas com veículo aéreo não tripulado e provenientes do satélite PLEAIDES para a detecção e mapeamento das espécies do arbusto invasor *Fallopia japonica* e *Fallopia bohemica* na várzea de dois grandes rios do leste da França. Foi aplicado o algoritmo *Random Forest* para classificação das espécies. Os resultados das classificações (tanto PLEAIDES quanto VANT), apresentaram acurácia superiores a 90%.

A Figura 29 exhibe os resultados da classificação do ortomosaico multiespectral obtido em Novembro de 2019, período fenológico de brotação de folhas da espécie *Hovenia dulcis*, com a aplicação do algoritmo OCSVM.

Figura 29. Classificação da área piloto com classificador *One Class Support Vector Machine*, período fenológico de brotação de folhas, em Novembro de 2019.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O índice de Exatidão Global foi de 0,85 (85%), Acurácia do Produtor de 0,60 (65%), Acurácia do Usuário de 0,73 (73%) e para o índice *Kappa* foi de 0,28 (matriz de confusão na Tabela 11). Esses valores demonstram que, embora a exatidão global tenha exibido bom resultado (explicado possivelmente pela classificação correta da classe “outras”) a classificação apresentou um resultado “razoável” de acordo com o índice *Kappa*.

Tabela 11. Matriz de confusão gerada a partir da classificação com o algoritmo OCSVM para ortomosaico multiespectral de 2019.

MATRIZ DE CONFUSÃO ALGORITMO OCSVM (ORTOMOSAICO MULTIESPECTRAL 2019)			
	<i>Hovenia dulcis</i>	Outras	TOTAL
<i>Hovenia dulcis</i>	525	369	894
Outras	1586	10957	12543
TOTAL	2111	11326	13437

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

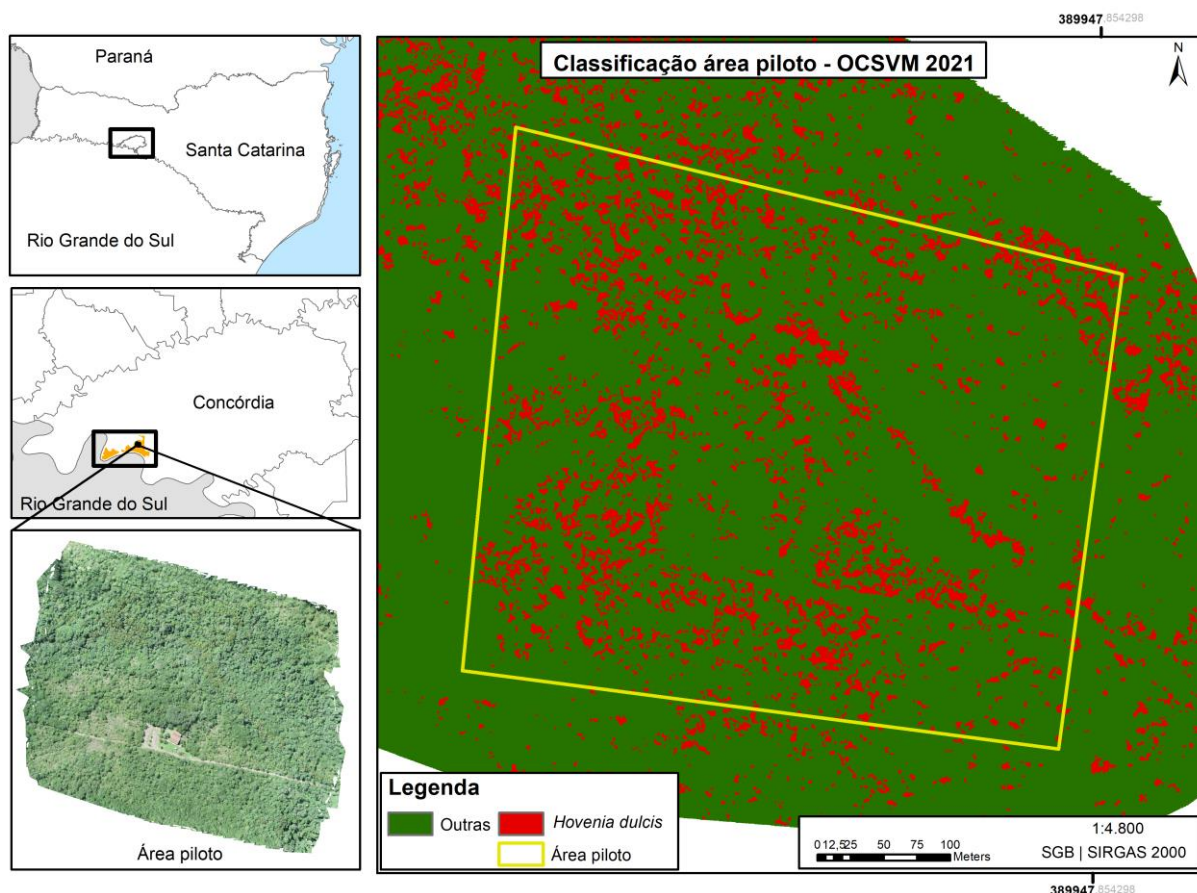
Deve-se priorizar o índice Kappa para avaliação dos resultados, pelo fato desse levar em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal, diferentemente da exatidão global, que utiliza somente os elementos diagonais (FIGUEIREDO e VIEIRA, 2007).

Os resultados da classificação com o algoritmo OCSVM para o período fenológico de brotação das folhas (Novembro de 2019), embora melhores quando comparados com os resultados da classificação com o algoritmo RF, também não foram satisfatórios para detecção da *Hovenia dulcis*. Embora o OCSVM necessite somente de amostras da classe de interesse, da mesma forma que ocorreu com o algoritmo RF, possivelmente a qualidade inadequada do ortomosaico (sombreamento por nuvens) influenciou negativamente o resultado da classificação, bem como o período fenológico de brotação de folhas pode não ter permitido a diferenciação de tonalidade da *Hovenia dulcis* frente às demais espécies nativas.

Baldeck e Asner (2014) compararam o desempenho de três métodos SVM para detectar espécies arbóreas e arbustivas na savana da África. O objetivo dos autores foi comparar o desempenho de dois métodos de classificação semi-supervisionados (OCSVM e BSVM) com um totalmente supervisionado (SVM binário). Como resultado, o OCSVM não foi o classificador com melhor desempenho, sendo superado pelo BSVM e pelo SVM binário.

A Figura 30 exibe os resultados da classificação do ortomosaico multiespectral obtido em Março de 2021, período fenológico de frutificação e senescência de folhas da espécie *Hovenia dulcis*, com a aplicação do algoritmo OCSVM.

Figura 30. Classificação da área piloto com classificador *One Class Support Vector Machine*, período fenológico de frutificação e senescência de folhas, em Março de 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os valores dos índices encontrados para a classificação OCSVM 2021 foram: Exatidão Global de 0,96 (96%), Acurácia do Produtor de 0,89 (89%), Acurácia do Usuário de 0,95 (95%) e o índice *Kappa* de 0,83. A matriz de confusão pode ser visualizada na Tabela 12. Esses valores demonstram que a classificação apresentou um resultado considerado “excelente” de acordo com o índice *Kappa*, porém também com valor alto de Exatidão Global.

Tabela 12. Matriz de confusão gerada a partir da classificação com o algoritmo OCSVM para ortomosaico multiespectral de 2021.

MATRIZ DE CONFUSÃO ALGORITMO OCSVM (ORTOMOSAICO MULTIESPECTRAL 2021)			
	<i>Hovenia dulcis</i>	Outras	TOTAL
<i>Hovenia dulcis</i>	379	23	402
Outras	104	2558	2662
TOTAL	483	2581	3063

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Assim como para a classificação com o algoritmo RF, o período de frutificação e senescência de folhas pode ter favorecido a detecção da espécie *Hovenia dulcis*, uma vez que nesse período ela apresenta uma diferenciação de tonalidade quando comparada às demais espécies nativas. Porém, o algoritmo OCSVM apresenta a vantagem de necessitar de amostras de treinamento somente da classe de interesse, isso facilita sua aplicação em florestas com alta diversidade de espécies, reduzindo custos e esforços exigidos para a coleta de amostras.

Sothe *et al.* (2019) investigaram o desempenho de duas técnicas de classificação de apenas uma classe (*One Class Support Vector Machine - OCSVM* e *One Class Random Forest - OCRF*) baseadas em algoritmos de aprendizado de máquina para detectar e classificar a espécie arbórea ameaçada de extinção *Araucaria angustifolia* em uma área de floresta subtropical em Santa Catarina, no Sul do Brasil, usando dados hiperespectrais adquiridos por um veículo aéreo não tripulado. Ambos os algoritmos e todos os conjuntos de dados alcançaram bons resultados, com o *F-score* variando de 0,81 para o conjunto de dados OCRF com as 25 bandas, para 1 para o OCSVM associado ao conjunto de dados da PCA. Como conclusão, o estudo aponta que a principal vantagem dos métodos de apenas uma classe sobre os métodos multiclasse é que eles precisam apenas de amostras de treinamento da classe de interesse.

6.3 DISCUSSÃO

As classificações realizadas com seus respectivos resultados de acurácia são sintetizados nas Figura 31 e Figura 32 e na Tabela 13. Foram executadas, portanto, 2 classificações para cada ortomosaico.

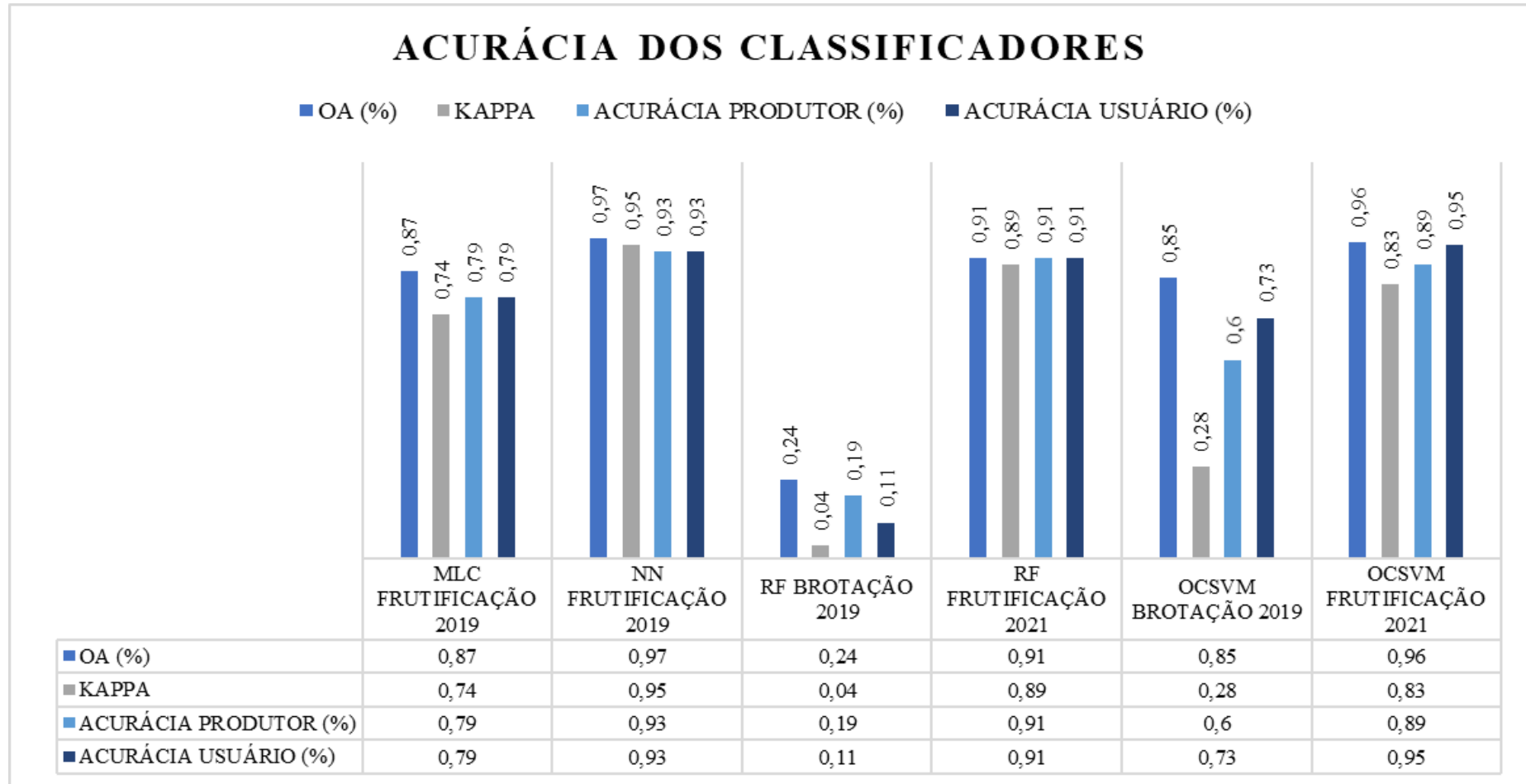
O ortomosaico RGB do período fenológico de frutificação e senescência de folhas de março 2019 foi classificado com os algoritmos NN e MLC. Já ambos os ortomosaicos multiespectrais, tanto o do período de brotação de folhas, de Novembro de 2019, quanto o do período fenológico de frutificação e senescência de folhas de março 2021, foram classificados com os algoritmos RF e OCSVM.

Os resultados mais inferiores foram observados nas classificações do ortomosaico do período fenológico de brotação de folhas, de Novembro de 2019. Tanto o algoritmo RF quanto o algoritmo OCSVM apresentaram baixos índices de acurácia. A classificação supervisionada com RF, quando comparada com o OCSVM, foi a de pior desempenho (AO de 24% e *Kappa* de 0,04), o que pode ser explicado pela má qualidade do ortomosaico, que não permitiu o reconhecimento das diversas classes amostradas. O reconhecimento da espécie *Hovenia dulcis* por parte dos classificadores também pode ter sido dificultada pela pouca diferenciação de sua tonalidade frente às demais espécies nativas.

Embora os algoritmos escolhidos sejam robustos e o método de classificação tenha sido empregado corretamente, as condições inadequadas do ortomosaico associadas ao período fenológico em que não há diferenciação de tonalidade evidente da espécie *Hovenia dulcis* comparada às demais espécies nativas resultou em classificações ruins para o período fenológico de brotação de folhas, em Novembro de 2019.

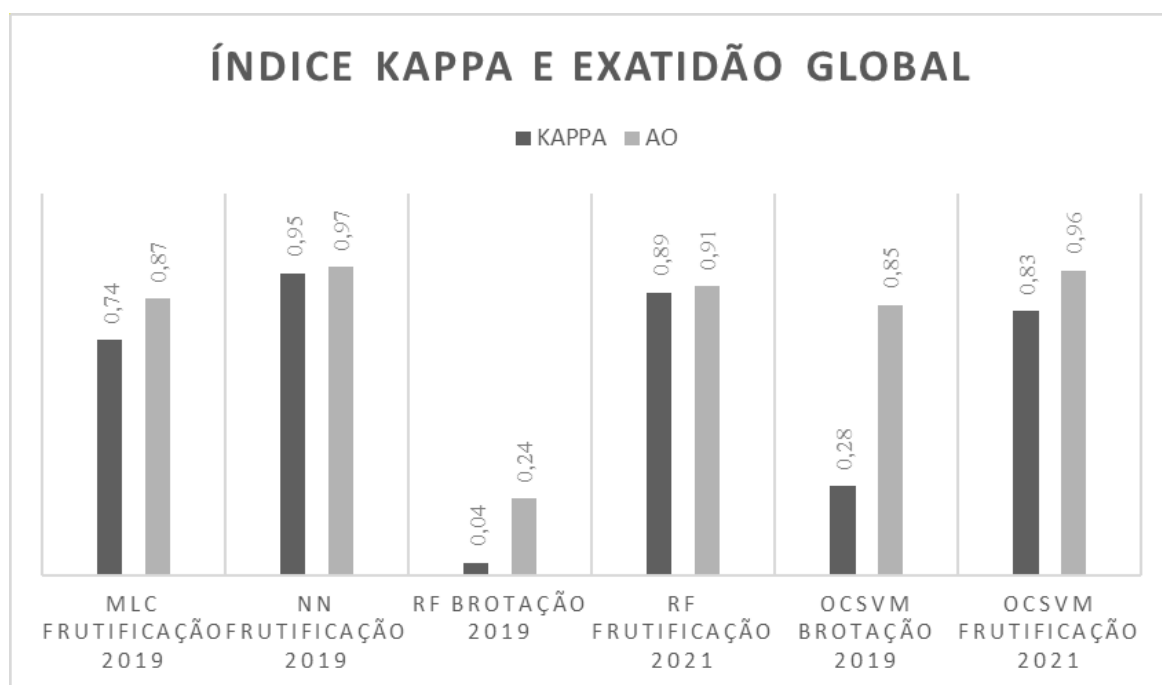
Já as classificações dos ortomosaicos correspondentes ao período fenológico de frutificação e senescência de folhas, tanto de 2019 (OA para classificação NN foi de 97% e para MLC de 87%), quanto de 2021 (OA para classificação RF de 91% e para OCSVM de 96%), foram as que apresentaram índices de acurácia mais elevados.

Figura 31. Resultados da acurácia das classificações realizadas para os ortomosaicos RGB (2019) e multiespectrais (2019 e 2021).



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 32. Valores do índice *Kappa* e Exatidão Global para as classificações realizadas para os ortomosaicos RGB e multiespectrais.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 13. Matriz de significância (Z estatístico) considerando todos os classificadores.

CLASSIFIC.	MLC	NN	RF2019	RF2021	OCSVM2019	OCSVM2021
E.G.	79.31	97.58	23.80	91.36	85.45	95.86
Tau	0.758	0.971	0.085	0.896	0.709	0.917
KAPPA	0.745000	0.952000	0.039000	0.893000	0.282000	0.833000
VAR	0.002831	0.000038	0.000047	0.000027	0.000131	0.000207
MLC	14.002					
NN	3.865	154.435				
RF2019	13.160	99.029	5.689			
RF2021	2.768	7.318	99.275	171.858		
OCSVM2019	8.507	51.538	18.214	48.609	24.638	
OCSVM2021	1.597	7.603	49.820	3.922	29.970	57.898

Dada a hipótese nula $H_0: K1 = 0$, e a alternativa $H_1: K1 > 0$, H_0 é rejeitado se $Z \geq 1,96$. No nível de confiança de 95% e o valor da estatística Z do teste for maior que 1,96, o resultado é significativo.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Ao se analisar a tabela 13, da mesma forma é possível observar que os valores mais altos de significância estão relacionados às classificações para o período de frutificação e senescência de folhas, sendo que o melhor desempenho foi observado para o algoritmo RF no ano de 2021 (Z de 171.858), seguido pelo algoritmo NN no ano de 2019 (Z de 154.435). O algoritmo OCSVM apresentou uma significância menor, se comparado aos RF e ao NN, com Z de 57.898, mas, ainda assim, é considerado um resultado significativo. Portanto, comparando o desempenho das classificações, os ortomosaicos que resultaram nos maiores índices de acurácia estão relacionados ao período fenológico de frutificação e senescência de folhas da espécie *Hovenia dulcis*, tanto para o ano de 2019 quanto para o ano de 2021.

Dessa forma, é importante destacar a observação da resolução temporal, uma vez que a obtenção de imagens em diferentes estágios fenológicos da planta pode favorecer a sua detecção. Estudos têm demonstrado que o uso de imagens obtidas em diferentes épocas de crescimento das espécies é crucial para uma detecção precisa e monitoramento de mudanças nessas espécies de plantas e em sua vegetação coexistente (JOSHI *et al.* 2004; HAMILTON *et al.* 2006; LISEIN *et al.*, 2015; MÜLLEROVÁ *et al.*, 2017; SÁ *et al.*, 2018;), assim como comprovado neste estudo, em que a acurácia das classificações foi mais alta no período fenológico de frutificação e senescência de folhas da espécie *Hovenia dulcis*.

Já ao se avaliar qual a melhor resolução espectral, tanto as imagens RGB, quanto as imagens multiespectrais proporcionaram bons resultados aos classificadores, demonstrando que imagens capturadas por sensores acoplados em veículo aéreo não tripulado podem se configurar como alternativas viáveis e mais maleáveis, uma vez que permitem a obtenção de produtos com alta resolução espacial, temporal e espectral.

Ainda, avaliando qual algoritmo resultou na classificação mais fidedigna da espécie, os índices mais altos de significância da acurácia foram obtidos com o algoritmo RF aplicado ao ortomosaico multiespectral e com o algoritmo NN aplicado ao ortomosaico RGB, ambos para período de frutificação e senescência de folhas. Porém, embora o OCSVM aplicado ao ortomosaico multiespectral de março de 2021 tenha apresentado valor de acurácia mais baixo se comparado aos classificadores supervisionados, ainda assim, foi uma significância consideravelmente alta, indicando que também pode ser utilizado para discriminar e classificar a espécie *Hovenia dulcis*.

Em função desse estudo focar somente em uma espécie arbórea, que pode ser diferenciada das demais mais facilmente no período fenológico de frutificação e senescência de folhas, o uso dos algoritmos MLC e NN pode se configurar como mais viável, uma vez que são classificadores mais simples e acessíveis, os quais possibilitam a detecção da espécie nestas condições.

Contudo, o mapeamento de espécies florestais por meio do método de classificação supervisionada exige esforços de amostragem multiclasse, o que pode dificultar a detecção de determinadas espécies presentes na paisagem em função dos esforços de amostragem necessários. Dessa forma, o método de classificação semi-supervisionado, como o OCSVM empregado neste estudo, pode igualmente ser uma alternativa viável e menos dispendiosa para a detecção de espécies exóticas invasoras.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo investigou a potencialidade do uso de ortomosaicos RGB e multiespectrais obtidos com plataforma VANT para detecção da espécie exótica invasora *Hovenia dulcis* por meio de classificadores supervisionados e semi-supervisionados. Foram testados 2 algoritmos (NN e MLC) para classificação do ortomosaico RGB e outros 2 algoritmos, (RF e OCSVM) para classificação dos ortomosaicos multiespectrais (para 2 períodos fenológicos distintos).

Os algoritmos que apresentaram acurácia mais elevada foram:

- RF, aplicado ao ortomosaico multiespectral, correspondente ao período fenológico de frutificação e senescência de folhas do ano de 2021 (Z de 171.858, OA 91% e Kappa de 0,89).
- NN, aplicado ao ortomosaico RGB, correspondente ao período fenológico de frutificação e senescência de folhas do ano de 2019 (Z de 154.435, OA 97% e Kappa de 0,95).
- E OCSVM, também aplicado ao ortomosaico multiespectral, correspondente ao período fenológico de frutificação e senescência de folhas de 2021 (Z de 57.898, AO 96% e Kappa de 0,83).

A detecção da espécie *Hovenia dulcis* realizada neste estudo por meio imagens adquiridas com o uso de sensores RGB e multiespectrais e veículo aéreo não tripulado, aplicando algoritmos de classificação supervisionada e semi-supervisionada pode se configurar como uma alternativa de metodologia a ser utilizada por gestores ambientais de unidades de conservação.

Para o Parque Fritz Plaumann, recomenda-se a aplicação da metodologia desenvolvida neste estudo para as zonas de manejo prioritárias, especialmente para a “Zona de Concentração de Espécies Exóticas Invasoras” e para as “Zonas de Recuperação”, o que permitirá entender o real estágio de invasão de *Hovenia dulcis* na área. É recomendável também a testagem de diferentes classificadores, tanto supervisionados, quanto semi-supervisionados visando a detecção da *Hovenia dulcis*, não somente no Parque Estadual Fritz Plaumann, como também em outras unidades de conservação catarinenses que já possuem registro da ocorrência da espécie, permitindo dessa forma, a ampliação do entendimento do seu grau de invasão.

No dia 16/01/2020, o Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina publicou a Portaria nº 20/2020, a qual estabelece restrições e procedimentos para o uso e o controle de *Hovenia dulcis*, enquadrada na Categoria 2 da Lista Oficial de Espécies Exóticas Invasoras no Estado de Santa Catarina.

Porém, após a análise de ocorrência da espécie realizada neste estudo, que apontou a presença de *Hovenia dulcis* em ao menos 124 dos 295 municípios catarinenses, ou seja, quase 50% dos municípios do Estado já registram invasão da espécie, bem como 23% das unidades de conservação administradas pela esfera federal e pela esfera estadual (6 de um total de 26 UCs, além de 3 RPPNs), sugere-se uma análise mais aprofundada a respeito, pois mesmo que a espécie apresente potencial de utilização comercial e benefícios para proprietários rurais, seu potencial de dispersão e de invasão deve ser considerado, visando o seu reenquadramento, passando a constar na categoria de nível 1, em que “não é permitida a posse, o domínio, o transporte, o comércio, a aquisição, a propagação, o cultivo, a criação e a doação sob qualquer forma, bem como, a instalação de novos cultivos” (SANTA CATARINA, 2012).

Ressalta-se que apesar de o problema relacionado à invasão de *Hovenia dulcis* exija a definição de estratégias e ações a nível nacional, é necessário também pensar e agir em contextos regionais de maneira mais enfática do que se fez até então, buscando resolver os problemas de invasão, garantindo a aplicabilidade e efetividade de soluções. O planejamento e gestão de áreas protegidas deve levar em consideração medidas concretas de prevenção, controle e erradicação de espécies exóticas invasoras.

No Parque Estadual Fritz Plaumann especialmente, a tomada de decisão por parte dos gestores ambientais a respeito da espécie *Hovenia dulcis* deve ser tratada de forma prioritária, devido seu alto grau de invasão.

Nesse contexto, a academia pode produzir conhecimento por meio de pesquisas como esta realizada e gerar subsídios para tomada de decisões, que vão desde a compreensão do grau de invasão, até a definição das melhores técnicas para remoção e completa eliminação de indivíduos da espécie, como o controle da sua regeneração e rebrote. Pesquisas que abordem o nicho ecológico, ou seja, quais as condições preferenciais da espécie *Hovenia dulcis*, não só no Parque Estadual Fritz Plaumann, mas a nível estadual e federal, também podem corroborar para a definição de estratégias e soluções para a problemática relacionada à invasão da espécie.

Por fim, vivemos um momento que lamentavelmente os espaços públicos de conhecimento, pesquisa e saber, intencionalmente perdem espaço para o setor privado, sendo que este demonstra pouco interesse no conhecimento e desenvolvimento que não lhe gere lucro. Dessa forma, pesquisas científicas com aplicabilidade prática se revestem mais ainda de importância nesse contexto.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ-TABOADA, F. *et al.* Mapping of the invasive species *Hakea sericea* using unmanned aerial vehicle (UAV) and WorldView-2 imagery and an object-oriented approach. **Remote Sensing**, v. 9, n. 9, p. 913, 2017.
- ANDRADE, A. C. *et al.* Desempenho de classificadores paramétrico e não paramétrico na classificação da fisionomia vegetal. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** João Pessoa, PB. 2015.
- ANTUNES, A.F.B. *et al.* Object oriented analysis and semantic network for high resolution image classification. **Boletim de Ciências Geodésicas**. V. 9, n 2. 2003.
- ASLAN, C. E. e REJMÁNEK, M. Native fruit traits may mediate dispersal competition between native and non-native plants. **NeoBiota**, v. 12, p. 1-24. 2012.
- AITKENHEAD, M. e AALDERS, I., Automating land cover mapping of Scotland using expert system and knowledge integration methods. **Remote Sens. Environ.** v. 115, n. 5, p. 1285–1295. 2011.
- BAATZ, M. e SCHÄPE, A. Multiresolution segmentation: An optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: **Angewandte Geographische Informations-Verarbeitung XII**; Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G., Eds.; Herbert Wichmann Verlag: Berlin, Germany, v. 58, p. 12–23. 2000.
- BALDECK, C.A. *et al.* Operational tree species mapping in a diverse tropical forest with airborne imaging spectroscopy. **PLoS ONE**, v. 10, 2015.
- BALDECK, C.A.; ASNER, G.P. Single-Species detection with airborne imaging spectroscopy data: A comparison of support vector techniques. **IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.**, v. 8, p. 2501–2512, 2014.
- BAMPI, M. *et al.* Composição centesimal do fruto, extrato concentrado e da farinha da uva-do-japão. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 40, n. 11, p. 2361-2367, 2010.
- BARBOSA, J. M. *et al.* Determining subcanopy *Psidium cattleianum* invasion in Hawaiian forests using Imaging Spectroscopy. **Remote Sens.** v. 8, n. 1, p. 33, 2016.
- BERTOLINI, I. C. *et al.* Avaliação da invasão biológica por uva-do-japão (*Hovenia dulcis* Thunb.) em um fragmento de floresta estacional semidecidual no município de Dois Vizinhos – PR. **Seminário: Sistemas de Produção Agropecuária - Ciências Agrárias, Animais e Florestais**. UTFPR, Campus Dois Vizinhos. 2009. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/dv/index.php/SSPA/article/view/111>>. Acesso em 16 de maio de 2019.
- BRASIL, SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação; **Lei 9.985 de 18 de julho de 2000**; Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 2000.
- BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**. v. 45, p. 5-32. 2001.

BOENI, B. O. Riqueza, estrutura e composição de espécies arbóreas em floresta secundária invadida por *Hovenia dulcis* Thunb., caracterização do seu nicho de regeneração e efeitos alelopáticos. **[Dissertação de Mestrado]**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Brasil. 2011.

BOLDO, E. L. Avaliação de técnicas de sensoriamento remoto no mapeamento da distribuição da espécie arbórea invasora *Ligustrum lucidum* WT Ailton no sul do Bioma Mata Atlântica. **[Dissertação de Mestrado]**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, RS. 2015.

BRASIL. Portaria n. 27, de 13 de janeiro de 1998. Aprova o Regulamento Técnico referente à informação nutricional complementar (declarações relacionadas ao conteúdo de nutrientes), constantes do anexo desta Portaria. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 11, 16 jan. 1998.

BRASIL. Resolução CONABIO nº 05, de 21 de outubro de 2009. Dispõe sobre a Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 21 out. 2009.

BRASIL. Resolução CONABIO nº 07, de 29 de maio de 2018. Dispõe sobre a Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 112, 13 jun. 2018.

BROOKS, M. L. *et al.* Effects of invasive alien plants on fire regimes. **Bioscience**, v. 54, p. 677-688, 2004.

BUONO, R. A. *et al.* Anatomy, ultrastructure and chemical composition of food bodies of *Hovenia dulcis* (Rhamnaceae). **Annals of Botany**, Exeter, v. 101, n. 9, p. 1341-1348, 2008.

CARDOSO, T. C. *et al.* Intoxicação experimental pelos frutos de uva-Japão, *Hovenia dulcis* (Rhamnaceae), em bovinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira** [online]., v. 35, n. 2 pp. 115-118. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-736X2015000200003>>. Acesso em 9 Agosto 2019.

CARVALHO, J. *et al.* Exóticas invasoras nas rodovias BR 277, PR 508, PR 407, Paraná, Brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 44, n. 2, p. 249 - 258, 2014.

CARVALHO, P. E. R. **Ecologia, silvicultura e usos da Uva-do-Japão**. Circular Técnica, 23. Colombo: EMBRAPA-CNPf, 1994. 24p.

CBD Guiding Principles. Annexed to Decision VI/23 (**Alien species that threaten ecosystems, habitats or species**) of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity. 2002.

COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and psychological measurement**, v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999.

CONGALTON, R.G. e GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**, 2nd ed.; CRC Press/Taylor e Francis: Boca Raton, FL, USA, 2009.

CORDEIRO, J. *et al.* Contaminação biológica vegetal em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.7, n.2, p. 455-473, 2014.

CORRÊA, M.P. **Dicionário de plantas úteis do Brasil e das plantas exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: IBDF, v.5, 1978. 294 p.

COZZO, D. Resultados de las plantaciones florestais com *Hovenia dulcis* em la region Argentina subtropical y húmedade Misiones. **Revista Florestal Argentina**, v. 4, n. 4, p. 107-117, 1960.

DAMBROWSKI, V. Modelagem de nicho potencial para as espécies exóticas invasoras *Tithonia diversifolia* e *Hovenia dulcis* em Santa Catarina. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Regional de Blumenau – FURB. Blumenau, SC. 2014.

DE SÁ, N. C. *et al.* Mapping the flowering of an invasive plant using unmanned aerial vehicles: is there potential for biocontrol monitoring? **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 293, 2018.

DECHOUM, M. S. *et al.* Community structure, succession and invasibility in a seasonal deciduous forest in southern Brazil. **Biological Invasions**, p. 1573-1464, 2014.

DECHOUM, M. S. Invasão por *Hovenia dulcis* Thumb. (Rhamnaceae) nas florestas do rio Uruguai (SC): aspectos ecológicos e diretrizes para o manejo. 2015. 148f. **Tese** (Doutorado em Ecologia). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 2015a.

DECHOUM, M. S. *et al.* Limited Seed Dispersal May Explain Differences in Forest Colonization by the Japanese Raisin Tree (Thunb.), an Invasive Alien Tree in Southern Brazil. **Tropical Conservation Science**, v. 8, p. 610-622, 2015b.

DECHOUM, M. S. *et al.* Invasions across secondary forest successional stages: effects of local plant community, soil, litter, and herbivory on *Hovenia dulcis* seed germination and seedling establishment. **Plant Ecology**. 2015c.

DECHOUM, M. S. *et al.* Invasive species and the Global Strategy for Plant Conservation: how close has Brazil come to achieving Target 10? **Rodriguésia**. v. 69, n.4, p. 1567-1576. 2018.

DENSLOW, J. S. e DEWALT, S. J. **Exotic plant invasion in tropical forests: patterns and hypothesis**. In: Carson, W.; Schnitzer, S. (eds). *Tropical Forest Community Ecology*. New York: Wiley-Blackwell Publishing, p. 409-426. 2008.

DORIGO, W., *et al.* Mapping invasive *Fallopia japonica* by combined spectral, spatial, and temporal analysis of digital orthophotos. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* v. 19, 185–195. 2012.

DUDEK, K.B. *et al.* Increased spatial and temporal consistency of leafy spurge maps from multitemporal AVIRIS imagery: a hybrid linear spectral mixture analysis/mixture-tuned matched filtering approach. In: Thirteenth JPL Airborne Earth Science Workshop. (Pasadena, CA:

NASA Jet Propulsion Laboratory), **Proceedings...** Pasadena, CA: NASA Jet Propulsion Laboratory, 2004.

DVOŘÁK, P. *et al.* Unmanned aerial vehicles for alien plant species detection and monitoring. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 40. 2015.

FÉRET, J. B; ASNER, G. P. Semi-supervised methods to identify individual crowns of lowland tropical canopy species using imaging spectroscopy and LiDAR. **Remote Sens**, v. 4, p. 2457–2476, 2012.

FÉRET, J.B.; ASNER, G. P. Tree species discrimination in tropical forests using airborne imaging spectroscopy. **IEEE Trans Geosci Remote Sens.**, v. 51, p. 73–84, 2013.

FERREIRA, M. P. *et al.* Mapeamento de espécies arbóreas em floresta tropical utilizando imagens hiperespectrais. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** João Pessoa, PB. 2015.

FIGUEIREDO, G. C. e VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos, SP, 2007.

FILHO, L.O.M. *et al.* Classificador de máxima verossimilhança aplicado à identificação de espécies nativas na Floresta Amazônica. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Santos, SP. 2017.

FIORIO, L. F. *et al.* Potencial de utilização de uva-do-japão (*Hovenia dulcis* T.) para produção de fermentado alcoólico. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.17, n.3, p.277-284, 2015.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo, Oficina de Textos, 2002.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3 ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2011.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 185– 201, 2002.

FREITAS, W. K. *et al.* Estrutura horizontal de um trecho da Floresta Decidual da região oeste de Santa Catarina, Brasil. **Revista Ambientia**, Guarapuava – PR, v.12, n.1, p. 217-232. 2016.

GASPER, A.L. *et al.* Grupos florísticos da Floresta Estacional Decidual em Santa Catarina. In: VIBRANS, A.C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A.L. e LINGNER, D.V. (eds.). **Inventário florístico florestal de Santa Catarina. Floresta Estacional Decidual**. Edifurb, Blumenau. v. 2, p. 125-136. 2012.

GASPER A.L. *et al.* Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina: espécies da Floresta Estacional Decidual. **Rodriguésia** v. 64, p. 427–443. 2013.

GERBER, D. *et al.* Invasion of *Hovenia dulcis* Thunb. (Rhamnaceae) in Southern Brazilian subtropical forest. **Acta Biológica Catarinense**. v. 5, n.1, p. 84-91. 2018.

GHULAM, A. *et al.* Detecting subcanopy invasive plant species in tropical rainforest by integrating optical and microwave (InSAR/PolInSAR) remote sensing data, and a decision tree algorithm. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 88, p. 174–192, 2014.

GINI, R. *et al.* Improving Tree Species Classification Using UAS Multispectral Images and Texture Measures. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 7, n. 8, p. 315, 2018.

GISP – Global Invasive Species Programme. **Invasive alien species and protected areas A scoping report, part I**. The global invasive species programme. 93p. 2007. Disponível em: <http://www.issg.org/pdf/publications/gisp/resources/ias_protectedareas_scoping_i.pdf>. Acesso em 31 de jun 2017.

GLOBAL INVASIVE SPECIES PROGRAMME. **Global strategy on invasive species**. Gland: IUCN, 2001. 50 p.

GÓMEZ-CASERO, M.T. *et al.* Spectral discrimination of wild oat and canary grass in wheat fields for less herbicide application. **Agron. Sustain**. v. 30, n. 3, p. 689–699. 2010.

HAMILTON, R. *et al.* **Mapping Russian Olive: Using Remote Sensing to Map an Invasive Tree**. US Department of Agriculture Forest Service Remote Sensing Application Center RSAC-0087-RPT1. 2006.

HE, K. S. *et al.* Benefits of hyperspectral remote sensing for tracking plant invasions. **Diversity and Distributions**, (Diversity Distrib.), v. 17, p.381–392, 2011.

HELENO, R. H. *et al.* Seed dispersal networks in the Galápagos and the consequences of alien plant invasions. **Proceedings of the Royal Society** v. 280, p. 2012-2112. 2013.

HERMES-SILVA, E. As transformações do território a partir dos processos de criação e planejamento do Parque Estadual Fritz Plaumann (Concórdia/SC). [**Dissertação de mestrado**]. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2008.

HENDGES, C. D. *et al.* Consumption of the invasive alien species *Hovenia dulcis* Thumb. (Rhamnaceae) by *Sapajus nigritus* Kerr, 1792 in a protected area in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Zoociências**. v. 14, n. 1,2,3. 2012.

HUANG, C.-Y. e ASNER, G.P. Applications of remote sensing to alien invasive plant studies. **Sensors**. v. 9, n. 6, p. 4869–4889. 2009.

HUMMEL, R. B. Invasão Biológica por *Ligustrum lucidum* W. T. Aiton no Parque Estadual Quarta Colônia, RS. [**Dissertação de Mestrado**]. Universidade de Santa Maria. Brasil. 2015.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 271p. 2012.

ICMBio - Instituto Chico Mendes para a Conservação da Biodiversidade. **Guia de orientação para o manejo de espécies exóticas invasoras em Unidades de Conservação Federais.**

Ministério do Meio Ambiente – MMA. 2018. Disponível em:

http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/guia_de_orientacao_manejo_especies_exoticas_invasoras_ucs_2018.pdf. Acesso em 15 de março de 2019.

IMA – INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. Plano de Manejo Fase II do Parque Estadual Fritz Plaumann. Volume I: Plano Básico. / Florianópolis: IMA, Caipora Cooperativa para Conservação da Natureza, 2014a.

IMA – INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. Plano de Manejo Fase II do Parque Estadual Fritz Plaumann. Volume II: Encartes Temáticos / Florianópolis: IMA, Caipora Cooperativa para Conservação da Natureza, 2014b.

IMA – INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. Parque Estadual Fritz Plaumann. Disponível em: < <http://www.ima.sc.gov.br/index.php/ecosistemas/unidades-de-conservacao/parque-estadual-fritz-plaumann>>. Acesso em 05 de abril de 2019.

INSTITUTO HÓRUS DE DESENVOLVIMENTO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL - I3N BRASIL. **Base de dados nacional de espécies exóticas invasoras.** Florianópolis – SC. Disponível em: <http://i3n.institutohorus.org.br/www>. Acesso em 10 de fevereiro de 2019.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE – IUCN. **Guidelines for Protected Area Management Categories.** Gland, Switzerland. part II, 8 p. 1994.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE – IUCN. **IUCN guidelines for the prevention of biodiversity loss caused by alien invasive species.** Auckland, New Zealand: IUCN, Species Survival Commission, Invasive Species Specialist Group. 2000.

IVES, A. R. e CARPENTER, S. R. Stability and diversity of ecosystems. **Science**, v. 317, p. 58-62, 2007.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

JESCHKE, J. M. General hypotheses in invasion ecology. **Diversity and Distributions**, v. 20, p. 1229-234, 2014.

JOSHI, C. *et al.* Remote sensing and GIS applications for mapping and spatial modelling of invasive species. Year: Published. Proc. **ISPRS**. B7. 2004.

KATTENBORN, T. *et al.* UAV data as alternative to field sampling to map woody invasive species based on combined Sentinel-1 and Sentinel-2 data. **Remote Sensing of Environment**, v. 227, p. 61-73, 2019.

KELLER, J. M. et al. A fuzzy K-nearest neighbor algorithm. **IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.** Vol. 15, n. 4, p. 580-585.

KHARE, S. *et al.* Fractional Cover Mapping of Invasive Plant Species by Combining Very High-Resolution Stereo and Multi-Sensor Multispectral Imageries. **Forests**, v. 10, n. 7, p. 540, 2019.

KLEIN, R.M. Árvores Nativas da Floresta Subtropical do Alto Uruguai. Itajaí: **Sellowia**, n.24, p. 9-62. 1972.

KLEIN, R.M. Mapa fitogeográfico do Estado de Santa Catarina. In: Reitz, R. (ed.). **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí. Herbário Barbosa Rodrigues. 1978.

KOLLER, G. L. e ALEXANDER, J. H. The Raisin tree – it's use, hardiness and size. **Arnoldia**, v. 39, p.7-15, 1979.

KUEFFER, C. **Integrating natural and social sciences for understanding and managing plant invasions**. In: Larrue, S. (ed.). Biodiversity and Societies in the Pacific Islands. Canberra: Presses Universitaires de Provence, Marseille e ANU ePress, p. 71–95. 2013.

LABA, M. *et al.* Field determination of optimal dates for the discrimination of invasive wetland plant species using derivative spectral analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote sensing**, v. 71, p. 603–611. 2005.

LANDIS, J. e KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.

LAURANCE, W. F. *et al.* Rainforest fragmentation kills big trees. **Nature**, v. 404, p. 836, 2000.

LAZZARIN, L. C. *et al.* Invasão biológica por *Hovenia dulcis* Thunb. em fragmentos florestais na região do Alto Uruguai, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.39, n.6, p.1007-1017, 2015.

LEÃO, T.C.C. *et al.* **Espécies exóticas invasoras no nordeste do Brasil: contextualização, manejo e políticas públicas**. CEPAN e Instituto Hórus. 99p. 2011.

LEHMANN, J.R. *et al.* Open-source processing and analysis of aerial imagery acquired with a low-cost unmanned aerial system to support invasive plant management. **Frontiers in Environmental Science**, v. 5, n. 44, 2017.

LILLESAND, T. M. *et al.* **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley and Sons, 2004.

LIMA, R. E. M. *et al.* Native seed dispersers may promote the spread of the invasive Japanese raisin tree (*Hovenia dulcis* Thunb.) in seasonal deciduous forest in southern Brazil **Tropical Conservation Science**. v. 8 Issue 3, p. 846-862. 2015.

- LIMA, D. R. M. *et al.* Detecção de espécie invasora na floresta ombrófila mista por meio de classificação orientada ao objeto. In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos. **Anais...** Campinas, GALOÁ, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/deteccao-de-especie-invasora-na-floresta-ombrofila-mista-por-meio-de-classificacao-orientada-ao-objeto>> Acesso em: 01 junho de 2019.
- LISEIN, J. *et al.* Discrimination of Deciduous Tree Species from Time Series of Unmanned Aerial System Imagery. **PLoS ONE**. v.10, n.11, e0141006. 2015.
- LIU, B. *et al.* Building text classifiers using positive and unlabeled examples. In: Third IEEE International Conference on Data Mining (ICDM), Melbourne, FL, USA, 19–22 Nov. 2003. **Proceedings...** Melbourne, FL, USA, p. 179–186. 2003.
- LIU, X. *et al.* Applying the One-Class Classification Method of Maxent to Detect an Invasive Plant *Spartina alterniflora* with Time-Series Analysis. **Remote Sensing**, v. 9, n. 11, p. 1120, 2017.
- LIU, H. e WU, C. Crown-level tree species classification from AISA hyperspectral imagery using an innovative pixel-weighting approach. **International journal of applied earth observation and geoinformation**, v. 68, p. 298-307, 2018.
- LORENZI, H. *et al.* **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora. 2003a.
- LU, D. *et al.* A comparative analysis of approaches for successional vegetation classification in the Brazilian Amazon. GISci. **Remote Sens.** v. 51, p. 695–709. 2014.
- LUZ, B. R. e CROWLEY, J. K. Identification of plant species by using high spatial and spectral resolution thermal infrared (8.0–13.5 μm) imagery. **Remote Sensing of Environment**. v.114, p. 404 – 413. 2010.
- MACK, B. *et al.* Can I Trust My One-Class Classification? **Remote Sens.** v. 6, p. 8779-8802. 2014.
- MACK, R. N. *et al.* Biological invasions: causes, epidemiology, global consequences and control. **Ecological Applications**. V. 10, p. 689-710. 2000.
- MAIEVES, H. A. *et al.* **Uva-do-japão (*Hovenia dulcis* Thunb.): valor nutricional e aceitabilidade**. Comunicado técnico, 361. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141814/1/Comunicado-Tecnico-361-2015-29-03-2016.pdf>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2019.
- MALLMANN, C. L. Índice de vegetação por diferença normalizada para caracterização da dinâmica florestal no parque estadual Quarta Colônia, estado do Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, n. 05, p. 1454-1469, 2015.
- MALTA, J. A. *et al.* Fitogeografia e regeneração natural em florestas urbanas de São Cristóvão/SE-Brasil. **Boletín del Instituto de Geografía**, Cidade do México, n. 77, p. 48-62, 2012.

MARTIN, F. M. *et al.* Using single-and multi-date UAV and satellite imagery to accurately monitor invasive knotweed species. **Remote Sensing**, v. 10, n. 10, p. 1662, 2018.

MASON, T. J. e FRENCH, K. Impacts of a woody invader vary in different vegetation communities. **Diversity and Distributions**, v.14, p. 829-838, 2008.

MATONGERA, T.N., *et al.* Detection and mapping of bracken fern weeds using multispectral remotely sensed data: a review of progress and challenges. **Geocarto Int.** p. 1–16. 2016.

MCKINNEY, M.L. Influence of settlement time, human population, park shape and age, visitation and roads on the number of alien plant species in protected areas in the USA. **Diversity and Distributions**, V.8, p. 311–318, 2002.

MCNEELY, J.A., *et al.* (eds.) **A Global Strategy on Invasive Alien Species**. IUCN Gland, Switzerland, and Cambridge, UK. 2001.

MENESES, P. R. e ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UnB - Embrapa Cerrados. 2012. 266 p.

MITCHELL, J.; GLENN, N. F. Subpixel abundance estimates in mixture-tuned matched filtering classifications of leafy spurge (*Euphorbia esula* L.). **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 23, p. 6099–6119, 2009.

MONTEIRO, A. *et al.* Estimating invasion success by non-native trees in a national park combining WorldView-2 very high resolution satellite data and species distribution models. **Diversity**, v. 9, n. 1, p. 6, 2017.

MÜLLEROVÁ, J. *et al.* Remote sensing as a tool for monitoring plant invasions: Testing the effects of data resolution and image classification approach on the detection of a model plant species *Heracleum mantegazzianum* (giant hogweed). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v. 25, p. 55 – 65. 2013.

MÜLLEROVÁ, J. *et al.* Timing is important: Unmanned Aircraft vs. Satellite Imagery in Plant Invasion Monitoring. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 887, 2017.

MÜLLEROVÁ, J. *et al.* Unmanned aircraft in nature conservation: an example from plant invasions. **International Journal of Remote Sensing**, v. 38, n. 8-10, p. 2177-2198, 2017.

MURPHY, P. G. e LUGO, A. E. Ecology of tropical dry forest. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 17, p. 67-88, 1986.

NEVALAINEN, O. *et al.* Individual tree detection and classification with UAV-based photogrammetric point clouds and hyperspectral imaging. **Remote Sensing**, v. 9, n. 3, p. 185, 2017.

NGUYEN, U. *et al.* Mapping vegetation types in semi-arid riparian regions using random forest and object-based image approach: a case study of the Colorado River Ecosystem, Grand Canyon, Arizona. **Ecological informatics**, v. 50, p. 43-50, 2019.

NOUJDINA, N. V. e USTIN, S. L. Mapping downy brome (*Bromus tectorum*) using multitemporal AVIRIS data. **Weed Science**, v. 56, p. 173–179. 2008.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: < <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acesso em 19 de março de 2019.

PADILHA D. L. *et al.* Forest fragmentation does not matter to invasions by *Hovenia dulcis*. **Biodivers. Conserv.**, v. 24, p. 2293-2304. 2015.

PAL, N.R. e PAL, S.K. A review on image segmentation techniques. **Pattern Recognition**, v. 26, p. 1277–1294, 1993.

PARANÁ. **Portaria IAP nº 125, em 07 de agosto de 2009**. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/iap/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/POR_TARIAS/PORTARIA_IAP_125_2009_ESPECIES_EXOTICAS.pdf>. Acesso em 01 de jun. de 2017.

PARANHOS FILHO, A. C. **Sensoriamento remoto ambiental aplicado: introdução às geotecnologias: material didático** – Campo Grande/ MS: Ed UFMS; p 103 -140. 2008.

PARKER, I. M. *et al.* Impact: toward a framework for understanding the ecological effects of invaders. **Biological Invasions**. V.1, p. 3-19. 1999.

PAZ-KAGAN, T. *et al.* Multispectral Approach for Identifying Invasive Plant Species Based on Flowering Phenology Characteristics. **Remote Sensing**, v. 11, n. 8, p. 953, 2019.

PIIROINEN, R. *et al.* Invasive tree species detection in the Eastern Arc Mountains biodiversity hotspot using one class classification. **Remote sensing of environment**, v. 218, p. 119-131, 2018.

PINTO, D. C. Mapeamento do uso e cobertura da terra e índice de vegetação NDVI (normalized difference vegetation index) em uma unidade de conservação no sul do Brasil. (TCC). Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Erechim, RS. 2015.

PONZONI, F. J. *et al.* **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

PYSEK, P. *et al.* A global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: the interaction of impact measures, invading species' traits and environment. **Global Change Biology**, v. 18, p. 1725–1737, 2012.

PYSEK, P. *et al.* Alien plants in checklists and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists. **Taxon**, v. 53, n. 1, p. 131-143. 2004.

- RÄSÄNEN, A. *et al.* Usability of one-class classification in mapping and detecting changes in bare peat surfaces in the tundra. **International Journal of Remote Sensing**, v. 40, n. 11, p. 4083 – 4103, 2019.
- RICHARDSON, D. M. *et al.* Plant invasions: the role of mutualisms. **Biological Reviews**, v. 75, n. 1, p. 65-93, 2000a.
- RICHARDSON, D. M. *et al.* Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. **Diversity and Distributions**, v. 6, p. 93-107, 2000b.
- RICHARDSON, D. M.; REJMÁNEK, M. Trees and shrubs as invasive alien species a global review. **Diversity and Distributions**, v. 17, p. 788-809. 2011.
- RICHARDSON, S. D. **Forestry in communist China**. Baltimore: J. Hopkins Press, 1966. 237p.
- RIO GRANDE DO SUL. Portaria SEMA nº 79, em 31 de outubro de 2013. Diário Oficial do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, p. 44, 2013.
- RODOLFO, A. M. *et al.* *Citrus aurantium* L. (laranja-aepu) e *Hovenia dulcis* Thunb. (uva-do-japão): espécies exóticas invasoras da trilha do Poço Preto no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre – RS, v. 6, supl. 1, p. 16-18, 2008.
- RUSCHEL, A. D. *et al.* Evolução do uso e valorização das espécies madeiráveis da Floresta Estacional Decidual do Alto-Uruguaí, SC. **Ciência Florestal** v.13, p. 153-166. 2003.
- SAFONOVA, A. *et al.* Detection of Fir Trees (*Abies sibirica*) Damaged by the Bark Beetle in Unmanned Aerial Vehicle Images with Deep Learning. **Remote Sensing**, v. 11, n. 6, p. 643, 2019.
- SAMPAIO, A. B. e SCHMIDT, I. B. Espécies exóticas invasoras em unidades de conservação federais do Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 32-49, 2013.
- SANTA CATARINA. Decreto nº 797, de 24 de setembro de 2003. Cria o Parque Estadual Fritz Plaumann e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Santa Catarina**, Florianópolis, SC, 24 set. 2003.
- SANTA CATARINA. Fundação do Meio Ambiente – FATMA. **Lista comentada de espécies exóticas invasoras no estado de Santa Catarina: espécies que ameaçam a diversidade biológica**. Sílvia R. Ziller (consultora). Florianópolis: FATMA, 2016.
- SANTA CATARINA. Resolução CONSEMA n. 08, de 14 de setembro de 2012. Reconhece a Lista Oficial de Espécies Exóticas Invasoras no Estado de Santa Catarina e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Santa Catarina**, Florianópolis, SC, n. 19429, 02 out. 2012.
- SANTOS, N. A. *et al.* Estudo da ocorrência de Algarobas (*Prosopis Juliflora*) a partir de dados de Sensoriamento Remoto no Polo de Jeremoabo – BA. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**Santos, SP. 2017.

SCHOLKOPF, B. *et al.* Support vector method for novelty detection. In: NIPS'99 Proc. 12th Int. Conf. Neural Inf. Process. Syst, pp. 582–588. 1999.

SCHOLZ, I. Árvores exóticas invasoras no parque municipal da barreira (Curitiba, Paraná): subsídios ao manejo e controle. [**Dissertação de Mestrado**]. Universidade Federal do Paraná, Brasil. 2013.

SCHMIDT, A.D. *et al.* Biotic and abiotic changes in subtropical seasonal deciduous forest associated with invasion by *Hovenia dulcis* Thunb. (Rhamnaceae). **Biological Invasions**. 2019; 22: 293–306. Jan 13 [cited 2020 mar 01]. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02089-4>.

SCHUMACHER, M. V. *et al.* Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Hovenia dulcis* Thunb., plantado na Fepagro florestas, Santa Maria, RS. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n.1, p. 27-37, 2008.

SELLE, G. L. Guias de densidade e índices de sítios para *Hovenia dulcis* Thunberg na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. [**Tese de doutorado**]. Universidade Federal de Santa Maria, Brasil. 2009.

SHEN, Y. *et al.* Dihydromyricetin as a novel anti-alcohol intoxication medication. The **Journal of Neuroscience**, January, v. 32 n.1. p. 390–401. 2012.

SHINE, C. **Ferramentas para desenvolver estruturas legais e institucionais para espécies exóticas invasoras**. Global Invasive Species Programme, Nairobi. 2008. Disponível em: <http://www.issg.org/pdf/publications/GISP/Guidelines_Toolkits_BestPractice/Shine_2008_PO.pdf>. Acesso em 19 de março de 2019.

SHING, K. K. *et al.* Detecting understory plant invasion in urban forests using LiDAR. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v. 38, p. 267–279. 2015.

SILVA, E. H. As transformações do território a partir dos processos de criação e planejamento do Parque Estadual Fritz Plaumann (Concórdia, SC). [**Tese de doutorado**]. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. 2008.

SILVA, J. F. *et al.* VANT como ferramenta auxiliar na análise da cobertura e uso da terra. In: X Congresso Brasileiro de Agroinformática. **Anais...**Ponta Grossa, PR. 2015.

SINFLO – SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS DO IFFSC: Dados geográficos da espécie *Hovenia dulcis*. **Inventário Florístico Florestal dos Remanescentes Florestais de Santa Catarina**. 2020. Jan 10 [cited 2020 fev 01]. Available from: <http://www.furb.br/sinflor/index.php?secao=136&sub=0&it=0&es=427&acao=detalhar>.

SOTHE, C. *et al.* Approaches for classifying successional forest stages in São Joaquim National Park using Landsat-8 and RapidEye images. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 3, p. 389-404, 2017.

SOTHE, C. *et al.* Tree Species Classification in a Highly Diverse Subtropical Forest Integrating UAV-Based Photogrammetric Point Cloud and Hyperspectral Data. **Remote Sensing**, v. 11, n. 11, p. 1338, 2019.

SOTHE, C. *et al.* Single-tree species mapping using one-class classification methods and uav hyperspectral images. In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos. **Anais...** Campinas, GALOÁ, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/single-tree-species-mapping-using-one-class-classification-methods-and-uav-hyperspectral-images>> Acesso em: 01 junho de 2019.

SOUSA, A. M. O. *et al.* Detecção de vegetação arbórea através de segmentação e classificação orientada a objecto de imagens multiespectrais de alta resolução (*Quickbird*). In: VI Congresso Ibérico de Agro-Engenharia. **Annals...** Portugal, 2011.

SOUZA, N. C. I. e MALUF, R. W. Flora arbórea exótica da ARIE Henrique Luís Roessler, Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Conhecimento Online**. v. 2. 2014.

STEFFEN, C. A. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Divisão de Sensoriamento Remoto. Projeto Educa SeRe III. 2000. Disponível em: <<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em 17 de jul de 2018.

STICKSEL, E. *et al.* Diurnal Variation in Hyperspectral Vegetation Indices Related to Winter Wheat Biomass Formation. **Precision Agriculture**, v. 5, n. 5, p. 509–520. 2004.

TRIMBLE; **eCognition® Developer - Reference Book**, Trimble Documentation, München, 2019. Disponível em: <https://docs.ecognition.com/v9.5.0/eCognition_documentation/User%20Guide%20Developer/4%20Basic%20Rule%20Set%20Editing.htm>. Acesso em 20 de janeiro de 2020.

TUOMINEN, S. *et al.* Assessment of classifiers and remote sensing features of hyperspectral imagery and stereo-photogrammetric point clouds for recognition of tree species in a forest area of high species diversity. **Remote Sensing**, v. 10, n. 5, p. 714, 2018.

UAV FORECAST. Previsão para o município de Concórdia, Santa Catarina, Brasil no dia 19 de março de 2019. **Aplicativo**. Disponível em: <<https://www.uavforecast.com/>>. Acesso em 18 de março de 2019.

USTIN, S.L., GAMON, J.A. Remote sensing of plant functional types. **New Phytol.** v.186 n.4, p. 795–816. 2010.

VALÉRY, L. *et al.* In search of a real definition of the biological invasion phenomenon itself. **Biological Invasions**, v. 10, n. 8, p. 1345-1351, 2008.

VAN KLEUNEN, M. *et al.* Global exchange and accumulation of non-native plants. **Nature**. v. 525, p. 100-103. 2015. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/nature14910>>. Acesso em 22 de maio de 2019.

VELOSO, H.P e GÓES-FILHO, L. **Fitogeografia Brasileira – Classificação fisionômica – ecológica da vegetação neotropical**. Salvador, Projeto RADAM – BRASIL, 85 p. 1982.

VIBRANS, A. C. *et al.* **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina - Diversidade e Conservação dos Remanescentes Florestais**. vol 1. Blumenau: Edifurb, 344 p. 2012a.

VIBRANS, A.C.; *et al.* Extensão original e remanescentes da Floresta Estacional Decidual em Santa Catarina. In: VIBRANS, A.C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A.L. e LINGNER, D.V. (eds.). **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, Floresta Estacional Decidual**. Blumenau, Edifurb. v. 2, p. 25-31. 2012b.

WILLIAMSON, M. **Biological invasions**. London: Chapman e Hall, 244 p. 1996.

WILLIAMSON, M. Invasions: **Ecography**, Lund, v. 22, p. 5-12, 1999.

WU, Z. *et al.* Mapping invasive plant with UAV-derived 3D mesh model in mountain area—A case study in Shenzhen Coast, China. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 77, p. 129 – 139, 2019.

ZENNI, R. D., *et al.* Dez anos do informe brasileiro sobre espécies exóticas invasoras: avanços; lacunas e direções futuras. **Biotemas**. v.29, p. 133-153. 2016.

ZENNI, R.D. e ZILLER, S.R. An overview of invasive plants in Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 34, n. 3, p. 431-446, 2011.

ZHAO, B., *et al.* Monitoring rapid vegetation succession in estuarine wetland using time series MODIS-based indicators: an application in the Yangtze River Delta area. **Ecol. Indic.** v. 9, n. 2, p. 346–356. 2009.

ZILLER, S. R. e ZALBA, S. Propostas de ação para prevenção e controle de espécies exóticas invasoras. **Natureza & Conservação**, vol. 5, n. 2, p. 8-15. 2007.

ZILLER, S. R. Os processos de degradação ambiental originados por plantas exóticas invasoras. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 30, n. 178, p. 77-79, 2001.

ANEXOS E APÊNDICES

ANEXO I

Quadro 1. Lista de espécies exóticas invasoras do Estado de Santa Catarina – Reino Plantae.

Família	Nome Científico	Nome comum	Ambiente com registro de bioinvasão	Categoria
Agavaceae	<i>Furcraea foetida</i>	Piteira, pita	Floresta Ombrófila Densa Submontana	1
Araliaceae	<i>Schefflera arboricola</i>	Cheflera, Xeflera	Restinga, Formações secundárias, Ambientes Urbanos	1
Araliaceae	<i>Schefflera actinophylla</i>	Cheflera, Xeflera	Restinga, Formações secundárias, Ambientes Urbanos	1
Arecaceae	<i>Archontophoenix cunninghamiana</i>	Palmeira real da Austrália	Floresta Ombrófila Densa Submontana	2
Asteraceae	<i>Bidens tinctoria</i>	Margaridinha escura	Floresta Ombrófila Mista, área agrícola	1
Asteraceae	<i>Tithonia diversifolia</i>	Margaridão	Formações Pioneiras de Influência Marinha (Restingas)	1
Balsaminaceae	<i>Impatiens walleriana</i>	Beijinho, maria sem vergonha	Estepe Gramíneo Lenhosa; Floresta Ombrófila Densa; Periurbano; Urbano	2
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i>	Ipê de jardim, amarelinho	Estepe Parque; Floresta Estacional Decidual; Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista	1
Bignoniaceae	<i>Thunbergia grandiflora</i>	Tumbérgia azul	Floresta Ombrófila Densa Submontana	1
Caprifoliaceae	<i>Lonicera japonica</i>	Madressilva	Floresta Ombrófila Mista	1
Casuarinaceae	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarina	Formações Pioneiras de Influência Marinha (Restingas); Floresta Ombrófila Densa Submontana; Periurbano; Urbano	1
Ceramiaceae	<i>Anotrichium yagii</i>	---	Habitats horizontais - fundo rochoso	--
Combretaceae	<i>Terminalia catappa</i>	Amendoeira	Formações Pioneiras de Influência Marinha (Restingas)	2
Commelinaceae	<i>Tradescantia zebrina</i>	Trapoeiraba roxa	Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas; Floresta Ombrófila Densa Submontana	1
Cucurbitaceae	<i>Sechium edule</i>	Chuchu	Floresta Ombrófila Densa	2
Euphorbiaceae	<i>Aleurites moluccana</i>	Saboneteira	Floresta Ombrófila Densa Submontana	1

Continua...

Continuação...

Família	Nome Científico	Nome comum	Ambiente com registro de bioinvasão	Categoria
Fabaceae	<i>Acacia longifolia</i>	Acácia trinervis	Formações Pioneiras de Influência Marinha (Restingas)	1
Fabaceae	<i>Acacia mearnsii</i>	Acácia negra	Formações Pioneiras de Influência Marinha (Restingas)	1
Fabaceae	<i>Acacia podalyriifolia</i>	Acácia mimosa	Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas; Formações Pioneiras de Influência Marinha (Restingas)	1
Fabaceae	<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	Sansão do campo, sabiá	Floresta Ombrófila Densa Submontana; Floresta Ombrófila Densa Montana	1
Fabaceae	<i>Ulex europaeus</i>	Tojo	Estepe (Campos Gerais Planálticos); Floresta Ombrófila Mista	1
Magnoliaceae	<i>Magnolia champaca</i>	Magnólia amarela	Floresta Ombrófila Densa	1
Meliaceae	<i>Melia azedarach</i>	Cinamomo, santa bárbara	Estepe Gramíneo Lenhosa; Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista	1
Moraceae	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	Jaqueira	Floresta Ombrófila Densa Submontana	2
Moraceae	<i>Morus nigra</i>	Amoreira preta	Floresta Ombrófila Mista Montana	2
Musaceae	<i>Musa rosacea</i>	Banana flor	Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Formações Pioneiras de Influência Marinha (Restingas)	1
Myrtaceae	<i>Eucalyptus spp.</i>	Eucalipto	Estepe, áreas degradadas de Floresta Ombrófila Mista; Formações Pioneiras de Influência Marinha	2
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	Goiabeira	Floresta Ombrófila Densa	2
Myrtaceae	<i>Syzigium cumini</i>	Jambolão	Floresta Ombrófila Densa	2
Oleaceae	<i>Ligustrum japonicum</i>	Alfeneiro, ligustro	Floresta Estacional Decidual	1
Oleaceae	<i>Ligustrum spp.</i>	Alfeneiro, ligustro	Floresta Ombrófila Mista	1
Pinaceae	<i>Pinus elliottii</i>	Pínus	Todos os ambientes terrestres	2
Pinaceae	<i>Pinus spp.</i>	Pínus	Todos os ambientes terrestres	2
Pinaceae	<i>Pinus taeda</i>	Pínus	Todos os ambientes terrestres	2
Pittosporaceae	<i>Pittosporum undulatum</i>	Pau incenso	Floresta Ombrófila Mista	1

Continua...

Continuação...

Família	Nome Científico	Nome comum	Ambiente com registro de bioinvasão	Categoria
Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i>	Capim estrela	Floresta Ombrófila Mista Montana	1
Poaceae	<i>Melinis minutiflora</i>	Capim gordura	Formações Pioneiras de Influência Marinha (Restingas); Floresta Ombrófila Densa; Estepe Gramíneo Lenhosa	1
Poaceae	<i>Melinis repens</i>	Capim ganhafoto	Formações Pioneiras de Influência Marinha (Restingas); Floresta Ombrófila Densa; Estepe Gramíneo Lenhosa; Urbano	1
Poaceae	<i>Pennisetum purpureum</i>	Capim colônia	Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista	2
Poaceae	<i>Urochloa maxima</i>	Braquiária	Todos os ambientes terrestres	2
Poaceae	<i>Urochloa sp.</i>	Braquiária	Todos os ambientes terrestres	2
Rhamnaceae	<i>Hovenia dulcis</i>	Uva do japon	Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional Decidual; Estepe Gramíneo Lenhosa; Floresta Ombrófila Mista; Floresta Ombrófila Densa; Áreas de Tensão Ecológica Floresta Ombrófila Densa Floresta Ombrófila Mista	2
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i>	Nêspera, ameixa amarela	Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista	2
Rosaceae	<i>Rubus rosifolius</i>	morango silvestre	Floresta Estacional Decidual	1
Rosaceae	<i>Rubus ulmifolius</i>	morango silvestre	Floresta Estacional Decidual	1
Rutaceae	<i>Citrus limon</i>	Limão vermelho	Estepe Gramíneo Lenhosa; Floresta Ombrófila Mista	2
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i>	Limão	Estepe Gramíneo Lenhosa	2
Zingiberaceae	<i>Hedychium coronarium</i>	Lírio do brejo	Formações Pioneiras de Influência Fluvial (Comunidades Aluviais)	1

Fonte: Santa Catarina, 2012, adaptado pela autora.

ANEXO II

Quadro 2. Lista de ocorrência de *Hovenia dulcis* no Brasil.

Nº	Estado	Município	Referência local	Área protegida
1	Bahia	Ilhéus	--	--
2	Espírito Santo	Ibitirama	--	Parque Nacional do Caparaó
3	Paraná	Ponta Grossa	BR-376 sentido norte, km 500	--
4	Paraná	Araucária	Em planície inundável nas margens do rio Barigui	--
5	Paraná	Ponta Grossa	Ao longo da BR-376	--
6	Paraná	Imbituva	Ao longo da BR-376	--
7	Paraná	Prudentópolis	Ao longo da rodovia	Área de Proteção Ambiental da Serra da Esperança
8	Paraná	Guarapuava	--	Parque Municipal das Araucárias
9	Paraná	Mangueirinha	Usina Hidrelétrica de Salto Segredo - ao longo do reservatório	--
10	Paraná	Itaperuçu	Beira de estradas e ao longo dos rios	--
11	Paraná	Tunas do Paraná	Beira de estradas e ao longo de rios	--
12	Paraná	Bocaiúva do Sul	Fazenda Ribeirão das Pedras	--
13	Paraná	Palmeira	Sítio Conquista	--
14	Paraná	Mandirituba	Sítio Moinho	--
15	Paraná	Tibagi	--	Reserva Particular do Patrimônio Natural Sonho Meu I e II
16	Paraná	Palmeira	Fazenda Conquista	--
17	Paraná	Prudentópolis	Sítio São José	--
18	Paraná	Lapa	Fazenda Arapongas	--
19	Paraná	Jaguariaíva	Fazenda Vilar do Boi	--

Continua...

Continuação...

Nº	Estado	Município	Referência local	Área protegida
20	Paraná	Fernandes Pinheiro	Fazenda Benfica	--
21	Paraná	Quatro Barras	Entorno	Parque Estadual da Serra da Baitaca
22	Paraná	Ponta Grossa	--	Parque Estadual de Vila Velha
23	Paraná	Foz do Iguaçu	Trilha do Poço Preto	Parque Nacional do Iguaçu
24	Paraná	Curitiba	Jardim Botânico Municipal	--
25	Paraná	Guarapuava	Fragmento situado em zona urbana	Parque Municipal das Araucárias
26	Paraná	Telêmaco Borba	Margem do rio Conceição, afluente do rio Tibagi	--
27	Paraná	Tibagi	Fazenda Rincão do Paiol	--
28	Paraná	Campo Largo	São Silvestre até a localidade do Cerne	--
29	Paraná	Ponta Grossa	--	Parque Estadual de Vila Velha
30	Paraná	Guaraqueçaba	.	--
31	Paraná	Colombo	--	--
32	Paraná	Colombo	--	--
33	Paraná	São Mateus do Sul	--	--
34	Paraná	Ponta Grossa	--	--
35	Paraná	Bocaiúva do Sul	Sítio Sossego	--
36	Paraná	Bandeirantes	--	--
37	Paraná	Lapa	--	--
38	Paraná	São João do Triunfo	Sítio Cedro Grande	--
39	Paraná	São Mateus do Sul	--	--
40	Paraná	Curitiba	--	--
41	Paraná	Foz do Iguaçu	--	--
42	Paraná	Curitiba	--	--
43	Paraná	Paranaguá	--	--

Continua...

Continuação...

Nº	Estado	Município	Referência local	Área protegida
44	Paraná	Bandeirantes	--	--
45	Paraná	Bandeirantes	--	--
46	Paraná	Campo Largo	Estrada do Cerne, a partir de Bateias	--
47	Paraná	São Mateus do Sul	--	--
48	Paraná	Londrina	--	--
49	Paraná	Bandeirantes	--	--
50	Paraná	Londrina	--	--
51	Paraná	Palmas	--	--
52	Paraná	Maringá	--	--
53	Paraná	Foz do Iguaçu	--	--
54	Paraná	Cascavel	Zoológico	Parque Ecológico Paulo Gorski
55	Paraná	Antonina	--	Reserva Particular do Patrimônio Natural do Cachoeira
56	Paraná	Curitiba	--	Parque Natural Municipal Barigui
57	Paraná	Irati	--	Floresta Nacional de Irati
58	Paraná	Reserva	Fazenda Bom Jesus	--
59	Paraná	--	Rodovia BR 277, na faixa de domínio da Concessionária Ecovia Caminho do Mar S/A	--
60	Paraná	Dois Vizinhos	Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos	--
61	Paraná	Curitiba	--	Parque Municipal da Barreirinha
62	Paraná	Mallet	--	Área de Relevante Interesse Ecológico da Serra do Tigre
63	Paraná	São João do Triunfo	Estação Experimental da Universidade Federal do Paraná	--

Continua...

Continuação...

Nº	Estado	Município	Referência local	Área protegida
64	Paraná	São Mateus do Sul	Diversas propriedades rurais do município	--
65	Rio de Janeiro	Teresópolis	--	--
66	Rio Grande do Sul	Cambará do Sul	Serra geral de 200 a 600 m de altitude	--
67	Rio Grande do Sul	Bom Jesus	Serra geral, de 200 a 600 m de altitude	--
68	Rio Grande do Sul	Santa Cruz do Sul	Depressão central do Rio Grande do Sul, na encosta inferior do nordeste	--
69	Rio Grande do Sul	São Francisco de Paula	--	Parque Municipal das Cachoeiras
70	Rio Grande do Sul	Santa Cruz do Sul	Em áreas de floresta	--
71	Rio Grande do Sul	Derrubadas	--	Parque Estadual do Turvo
72	Rio Grande do Sul	São Borja	Florestas ripárias de afluentes do rio Uruguai	--
73	Rio Grande do Sul	Santa Maria	Entre a depressão central e início do planalto	--
74	Rio Grande do Sul	Santa Maria	Em remanescentes florestais	--
75	Rio Grande do Sul	Cambará do Sul	--	Parque Nacional de Aparados da Serra
76	Rio Grande do Sul	Maquiné	Áreas de floresta	Reserva Biológica Estadual da Serra Geral
77	Rio Grande do Sul	Candelária	--	--
78	Rio Grande do Sul	Estrela Velha	Itaúba	--

Continua...

Continuação...

Nº	Estado	Município	Referência local	Área protegida
79	Rio Grande do Sul	Santa Cruz do Sul	UNISC - Mato Bloco 53	--
80	Rio Grande do Sul	Santa Cruz do Sul	--	--
81	Rio Grande do Sul	Sinimbu	--	Reserva Particular do Patrimônio Natural da Universidade de Santa Cruz do Sul
82	Rio Grande do Sul	São Francisco de Paula	José Velho	--
83	Rio Grande do Sul	Passo Fundo	Condomínio Reserva do Bosque	--
84	Rio Grande do Sul	Campestre da Serra	--	--
85	Rio Grande do Sul	Nova Petrópolis	--	--
86	Rio Grande do Sul	Caxias do Sul	Vale do rio Caí	--
87	Rio Grande do Sul	Picada Café	--	--
88	Rio Grande do Sul	Derrubadas	No interior da unidade	Parque Estadual do Turvo
89	Rio Grande do Sul	Canela	Pico da Canastra e Linha São Paulo	--
90	Rio Grande do Sul	Agudo	Interior das florestas.	Parque Estadual Quarta Colônia
91	Rio Grande do Sul	Cachoeirinha	--	--
92	Rio Grande do Sul	Maquiné	Em todo o município.	--
93	Rio Grande do Sul	Capela de Santana	--	--

Continua...

Continuação...

Nº	Estado	Município	Referência local	Área protegida
94	Rio Grande do Sul	Nova Santa Rita	Rodovia Governador Leonel de Moura Brizola	--
95	Rio Grande do Sul	São José do Hortêncio	Estrada Exaltação da Santa Cruz	--
96	Rio Grande do Sul	Feliz	Estrada Vale do Lobo	--
97	Rio Grande do Sul	Santa Tereza	--	--
98	Rio Grande do Sul	Santa Tereza	--	--
99	Rio Grande do Sul	Bento Gonçalves	--	--
100	Rio Grande do Sul	Nova Bassano	RS-324	--
101	Rio Grande do Sul	Nova Araçá	RS-324	--
102	Rio Grande do Sul	Mato Castelhano	--	Floresta Nacional de Passo Fundo
103	Rio Grande do Sul	Ibirapuitã	Zona rural	--
104	Rio Grande do Sul	Gaurama	RS-331	--
105	Rio Grande do Sul	Viadutos	RS-331	--
106	Rio Grande do Sul	Viadutos	RS-331	--
107	Rio Grande do Sul	Severiano de Almeida	RS-426	--
108	Rio Grande do Sul	Marcelino Ramos	RS-331	--
109	Rio Grande do Sul	Itati	Trilha do Arroio Carvalho	Estação Ecológica de Aratinga

Continua...

Continuação...

Nº	Estado	Município	Referência local	Área protegida
110	Rio Grande do Sul	Marcelino Ramos	Estrada Seminário	--
111	Rio Grande do Sul	Marcelino Ramos	Rua General Osório	--
112	Rio Grande do Sul	Marcelino Ramos	Rodovia Waldemar Menon	--
113	Rio Grande do Sul	São Francisco de Paula	Rincão dos Kroeff	Floresta Nacional de São Francisco de Paula
114	Rio Grande do Sul	Marcelino Ramos	RS-126	--
115	Rio Grande do Sul	Marcelino Ramos	RS-126	--
116	Rio Grande do Sul	Marcelino Ramos	RS-126	--
117	Rio Grande do Sul	Marcelino Ramos	RS-126	--
118	Rio Grande do Sul	Marcelino Ramos	RS-126	--
119	Rio Grande do Sul	Paim Filho	RS 126	--
120	Rio Grande do Sul	Gramado	Região de vale	--
121	Rio Grande do Sul	Taquara	RS-020	--
122	Rio Grande do Sul	Porto Alegre	Trilha (lado direito)	Refúgio da Vida Silvestre São Pedro
123	Rio Grande do Sul	Erechim	--	Parque Municipal Longines Malinowski
124	Rio Grande do Sul	Viamão	Na bordadura de florestas	Parque Natural Municipal Saint Hilaire

Continua...

Continuação...

Nº	Estado	Município	Referência local	Área protegida
125	Rio Grande do Sul	Porto Alegre	Na bordadura de florestas	Parque Natural Municipal Morro do Osso
126	Rio Grande do Sul	Caxias do Sul	Bacia de Captação do Faxinal	--
127	Rio Grande do Sul	São Marcos	Fundo do Vale do Rio das Antas	--
128	Rio Grande do Sul	Terra de Areia	Entorno do Parque Estadual de Itapeva	Parque Estadual de Itapeva
129	Rio Grande do Sul	Maquiné	Entorno do Parque Estadual de Itapeva	Parque Estadual de Itapeva
130	Rio Grande do Sul	Três Cachoeiras	Entorno do Parque Estadual de Itapeva	Parque Estadual de Itapeva
131	Rio Grande do Sul	Dom Pedro de Alcântara	Entorno do Parque Estadual de Itapeva	Parque Estadual de Itapeva
132	Rio Grande do Sul	Morrinhos do Sul	Entorno do Parque Estadual de Itapeva	Parque Estadual de Itapeva
133	Rio Grande do Sul	Três Forquilhas	Entorno do Parque Estadual de Itapeva	Parque Estadual de Itapeva
134	Rio Grande do Sul	Itati	Entorno do Parque Estadual de Itapeva	Parque Estadual de Itapeva
135	Rio Grande do Sul	Santa Cruz do Sul	--	--
136	Rio Grande do Sul	Caxias do Sul	--	--
137	Rio Grande do Sul	Alegria	--	Área de Proteção Ambiental do Ibirapuitã
138	Rio Grande do Sul	São Leopoldo	--	--
139	Rio Grande do Sul	Barracão	No interior da unidade de conservação.	Parque Estadual do Espigão Alto

Continua...

Continuação...

Nº	Estado	Município	Referência local	Área protegida
140	Rio Grande do Sul	Barracão	No interior da unidade de conservação.	Parque Estadual do Espigão Alto
141	Rio Grande do Sul	Novo Hamburgo	--	Área de Relevante Interesse Ecológico Henrique Luís Roessler
142	Rio Grande do Sul	Caxias do Sul	Fazenda Ana Rech, fazenda Souza e fazenda Forqueta	--
143	Rio Grande do Sul	Maquiné	No interior da unidade	Reserva Biológica da Serra Geral
144	Rio Grande do Sul	Terra de Areia	No interior da unidade	Reserva Biológica da Serra Geral
145	Rio Grande do Sul	Itati	No interior da unidade	Reserva Biológica da Serra Geral
146	Rio Grande do Sul	Gravataí	--	--
147	Rio Grande do Sul	Santa Cruz do Sul	--	--
148	Rio Grande do Sul	Itati	--	Reserva Biológica Estadual Mata Paludosa
149	Rio Grande do Sul	Santa Cruz do Sul	--	--
150	Santa Catarina	Concórdia	--	Parque Estadual Fritz Plaumann
151	Santa Catarina	Praia Grande	--	Parque Nacional de Aparados da Serra
152	Santa Catarina	Princesa	--	--
153	Santa Catarina	São José do Cedro	--	--
154	Santa Catarina	Paraíso	--	--
155	Santa Catarina	Bandeirante	--	--
156	Santa Catarina	Belmonte	--	--
157	Santa Catarina	Santa Helena	--	--
158	Santa Catarina	Tunápolis	--	--

Continua...

Continuação...

Nº	Estado	Município	Referência local	Área protegida
159	Santa Catarina	Itapiranga	--	--
160	Santa Catarina	São João do Oeste	--	--
161	Santa Catarina	Mondaí	--	--
162	Santa Catarina	Iporã do Oeste	--	--
163	Santa Catarina	Descanso	--	--
164	Santa Catarina	São Miguel do Oeste	--	--
165	Santa Catarina	Palma Sola	--	--
166	Santa Catarina	Anchieta	--	--
167	Santa Catarina	Romelândia	--	--
168	Santa Catarina	Barra Bonita	--	--
169	Santa Catarina	Flor do Sertão	--	--
170	Santa Catarina	Iraceminha	--	--
171	Santa Catarina	Riqueza	--	--
172	Santa Catarina	Caibi	--	--
173	Santa Catarina	Palmitos	--	--
174	Santa Catarina	Cunha Porã	--	--
175	Santa Catarina	Maravilha	--	--
176	Santa Catarina	São Miguel da Boa Vista	--	--
177	Santa Catarina	Santa Terezinha do Progresso	--	--
178	Santa Catarina	Campo Erê	--	--
179	Santa Catarina	São Bernardino	--	--
180	Santa Catarina	Saltinho	--	--
181	Santa Catarina	Bom Jesus do Oeste	--	--
182	Santa Catarina	Serra Alta	--	--
183	Santa Catarina	Sul Brasil	--	--

Continua...

Continuação...

Nº	Estado	Município	Referência local	Área protegida
184	Santa Catarina	Modelo	--	--
185	Santa Catarina	Saudades	--	--
186	Santa Catarina	Pinhalzinho	--	--
187	Santa Catarina	São Carlos	--	--
188	Santa Catarina	Águas de Chapecó	--	--
189	Santa Catarina	Nova Erechim	--	--
190	Santa Catarina	Águas Frias	--	--
191	Santa Catarina	União do Oeste	--	--
192	Santa Catarina	Jardinópolis	--	--
193	Santa Catarina	Irati	--	--
194	Santa Catarina	São Lourenço do Oeste	--	--
195	Santa Catarina	Concórdia	--	--
196	Santa Catarina	Joaçaba	--	--
197	Santa Catarina	Videira	--	--
198	Santa Catarina	São Domingos	--	Parque Estadual das Araucárias
199	Santa Catarina	Praia Grande	--	Parque Nacional da Serra Geral
200	Santa Catarina	Antônio Carlos	--	Reserva Particular do Patrimônio Natural do Caraguatá
201	Santa Catarina	São João Batista	--	Reserva Particular do Patrimônio Natural do Caraguatá
202	Santa Catarina	Biguaçu	--	Reserva Particular do Patrimônio Natural do Caraguatá
203	Santa Catarina	Major Gercino	--	Reserva Particular do Patrimônio Natural do Caraguatá
204	Santa Catarina	Angelina	--	Reserva Particular do Patrimônio Natural do Caraguatá

Continua...

Continuação...

Nº	Estado	Município	Referência local	Área protegida
205	Santa Catarina	Santo Amaro da Imperatriz	--	Parque Estadual da Serra do Tabuleiro
206	Santa Catarina	Águas Mornas	--	Parque Estadual da Serra do Tabuleiro
207	Santa Catarina	São Bonifácio	--	Parque Estadual da Serra do Tabuleiro
208	Santa Catarina	São Martinho	--	Parque Estadual da Serra do Tabuleiro
209	Santa Catarina	Rancho Queimado	--	--
210	Santa Catarina	Doutor Pedrinho	--	Reserva Biológica do Sassafrás
211	Santa Catarina	Benedito Novo	--	Reserva Biológica do Sassafrás
212	Santa Catarina	Três Barras	Área do exército em parceria com EMBRAPA	--
213	Santa Catarina	Canoinhas	Planalto norte de Santa Catarina	--
214	Santa Catarina	Alfredo Wagner	--	--
215	Santa Catarina	Blumenau	--	--
216	Santa Catarina	Itaiópolis	--	Reserva Particular do Patrimônio Natural Corredeiras do Rio Itajaí
217	Santa Catarina	Alfredo Wagner	--	Reserva Particular do Patrimônio Natural Rio das Furnas
218	Santa Catarina	Praia Grande	--	Parque Nacional de Aparados da Serra
219	Santa Catarina	Praia Grande	--	Parque Nacional da Serra Geral
220	Santa Catarina	Jacinto Machado	--	Parque Nacional da Serra Geral
221	Santa Catarina	Ipira	Margens do rio Peixe, entre os municípios de Ipira e Piratuba	--

Continua...

Continuação...

Nº	Estado	Município	Referência local	Área protegida
222	São Paulo	Florínia	Mata ciliar na Fazenda Santa Agueda	--
223	São Paulo	Iracemápolis	Mata ciliar na represa de Iracemápolis	--
224	São Paulo	Tarumã	Mata ciliar na fazenda Novo Destino	--
225	São Paulo	São Paulo	--	Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI)
226	São Paulo	São Paulo	Parque Independência	--
227	São Paulo	Iporanga	--	Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR)
228	São Paulo	São Paulo	--	--
229	São Paulo	Cândido Mota	Matas ciliares na Fazenda Santa Cruz	--

Fonte: Instituto Hórus (2019), adaptado pela autora.

ANEXO III

Quadro 3. Registros de ocorrência de *Hovenia dulcis* em Santa de acordo com as bases de dados do I3N, IFFSC e publicações em periódicos científicos.

Nº	Município	Mesorregião*
1	Águas Mornas	Grande Florianópolis
2	Alfredo Wagner	Grande Florianópolis
3	Angelina	Grande Florianópolis
4	Antônio Carlos	Grande Florianópolis
5	Biguaçu	Grande Florianópolis
6	Major Gercino	Grande Florianópolis
7	Rancho Queimado	Grande Florianópolis
8	Santo Amaro da Imperatriz	Grande Florianópolis
9	São Bonifácio	Grande Florianópolis
10	São João Batista	Grande Florianópolis
11	Anitápolis	Grande Florianópolis
12	Canoinhas	Norte Catarinense
13	Três Barras	Norte Catarinense
14	Irineópolis	Norte Catarinense
15	Major Vieira	Norte Catarinense
16	Porto União	Norte Catarinense
17	Águas de Chapecó	Oeste Catarinense
18	Águas Frias	Oeste Catarinense
19	Anchieta	Oeste Catarinense
20	Bandeirante	Oeste Catarinense
21	Barra Bonita	Oeste Catarinense
22	Belmonte	Oeste Catarinense
23	Bom Jesus do Oeste	Oeste Catarinense

Continua...

Continuação...

Nº	Município	Mesorregião*
24	Caibi	Oeste Catarinense
25	Campo Erê	Oeste Catarinense
26	Concórdia	Oeste Catarinense
27	Cunha Porã	Oeste Catarinense
28	Descanso	Oeste Catarinense
29	Flor do Sertão	Oeste Catarinense
30	Ipira	Oeste Catarinense
31	Iporã do Oeste	Oeste Catarinense
32	Iraceminha	Oeste Catarinense
33	Irati	Oeste Catarinense
34	Itaiópolis	Oeste Catarinense
35	Itapiranga	Oeste Catarinense
36	Jardinópolis	Oeste Catarinense
37	Joaçaba	Oeste Catarinense
38	Maravilha	Oeste Catarinense
39	Modelo	Oeste Catarinense
40	Mondaí	Oeste Catarinense
41	Nova Erechim	Oeste Catarinense
42	Palma Sola	Oeste Catarinense
43	Palmitos	Oeste Catarinense
44	Paraíso	Oeste Catarinense
45	Pinhalzinho	Oeste Catarinense
46	Princesa	Oeste Catarinense
47	Riqueza	Oeste Catarinense
48	Romelândia	Oeste Catarinense
49	Saltinho	Oeste Catarinense

Continua...

Continuação...

Nº	Município	Mesorregião*
50	Santa Helena	Oeste Catarinense
51	Santa Terezinha do Progresso	Oeste Catarinense
52	São Bernardino	Oeste Catarinense
53	São Carlos	Oeste Catarinense
54	São Domingos	Oeste Catarinense
55	São João do Oeste	Oeste Catarinense
56	São José do Cedro	Oeste Catarinense
57	São Lourenço do Oeste	Oeste Catarinense
58	São Miguel da Boa Vista	Oeste Catarinense
59	São Miguel do Oeste	Oeste Catarinense
60	Saudades	Oeste Catarinense
61	Serra Alta	Oeste Catarinense
62	Sul Brasil	Oeste Catarinense
63	Tunápolis	Oeste Catarinense
64	União do Oeste	Oeste Catarinense
65	Videira	Oeste Catarinense
66	Abelardo Luz	Oeste Catarinense
67	Alto Bela Vista	Oeste Catarinense
68	Arabutã	Oeste Catarinense
69	Caçador	Oeste Catarinense
70	Capinzal	Oeste Catarinense
71	Chapecó	Oeste Catarinense
72	Coronel Freitas	Oeste Catarinense
73	Dionísio Cerqueira	Oeste Catarinense
74	Ibiam	Oeste Catarinense
75	Ibicaré	Oeste Catarinense

Continua...

Continuação...

Nº	Município	Mesorregião*
76	Luzerna	Oeste Catarinense
77	Ouro	Oeste Catarinense
78	Paial	Oeste Catarinense
79	Peritiba	Oeste Catarinense
80	Piratuba	Oeste Catarinense
81	Santiago do Sul	Oeste Catarinense
82	Seara	Oeste Catarinense
83	Vargem Bonita	Oeste Catarinense
84	Xanxerê	Oeste Catarinense
85	Erval Velho	Oeste Catarinense
86	Herval d'Oeste	Oeste Catarinense
87	Jacinto Machado	Sul Catarinense
88	Praia Grande	Sul Catarinense
89	São Martinho	Sul Catarinense
90	Armazém	Sul Catarinense
91	Criciúma	Sul Catarinense
92	Grão Pará	Sul Catarinense
93	Lauro Müller	Sul Catarinense
94	Nova Veneza	Sul Catarinense
95	Orleans	Sul Catarinense
96	Siderópolis	Sul Catarinense
97	Timbé do Sul	Sul Catarinense
98	Urussanga	Sul Catarinense
99	Laguna	Sul Catarinense
100	Benedito Novo	Vale do Itajaí
101	Blumenau	Vale do Itajaí

Continua...

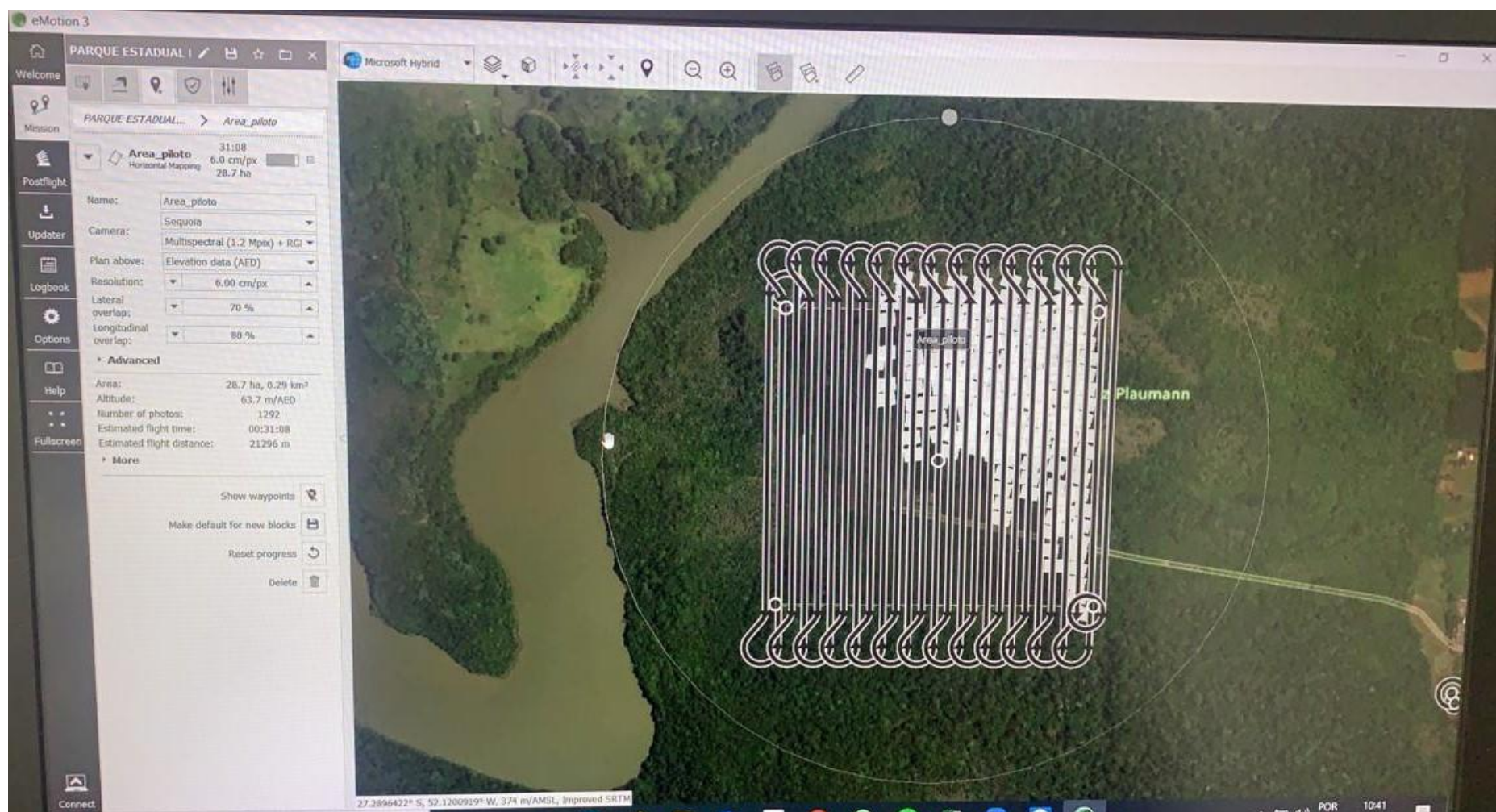
Continuação...

Nº	Município	Mesorregião*
102	Doutor Pedrinho	Vale do Itajaí
103	Agrolândia	Vale do Itajaí
104	Agronômica	Vale do Itajaí
105	Ituporanga	Vale do Itajaí
106	José Boiteux	Vale do Itajaí
107	Leoberto Leal	Vale do Itajaí
108	Petrolândia	Vale do Itajaí
109	Pouso Redondo	Vale do Itajaí
110	Rio do Sul	Vale do Itajaí
111	Rio dos Cedros	Vale do Itajaí
112	Salete	Vale do Itajaí
113	Trombudo Central	Vale do Itajaí
114	Vidal Ramos	Vale do Itajaí
115	Witmarsum	Vale do Itajaí
116	Timbó	Vale do Itajaí
117	Anita Garibaldi	Serrana
118	Campos Novos	Serrana
119	Capão Alto	Serrana
120	Celso Ramos	Serrana
121	Cerro Negro	Serrana
122	Zortéa	Serrana
123	Urubici	Serrana
124	Vargem	Serrana

*De acordo com a classificação das mesorregiões do IBGE (2010).

APÊNDICE 1

Figura 33. Parâmetros de voo utilizados para o segundo e o terceiro voo, com o sensor multiespectral.



APÊNDICE 2

Figura 34. Detalhamento do processamento das imagens e dos parâmetros utilizados no primeiro voo, com sensor RGB.

Survey Data

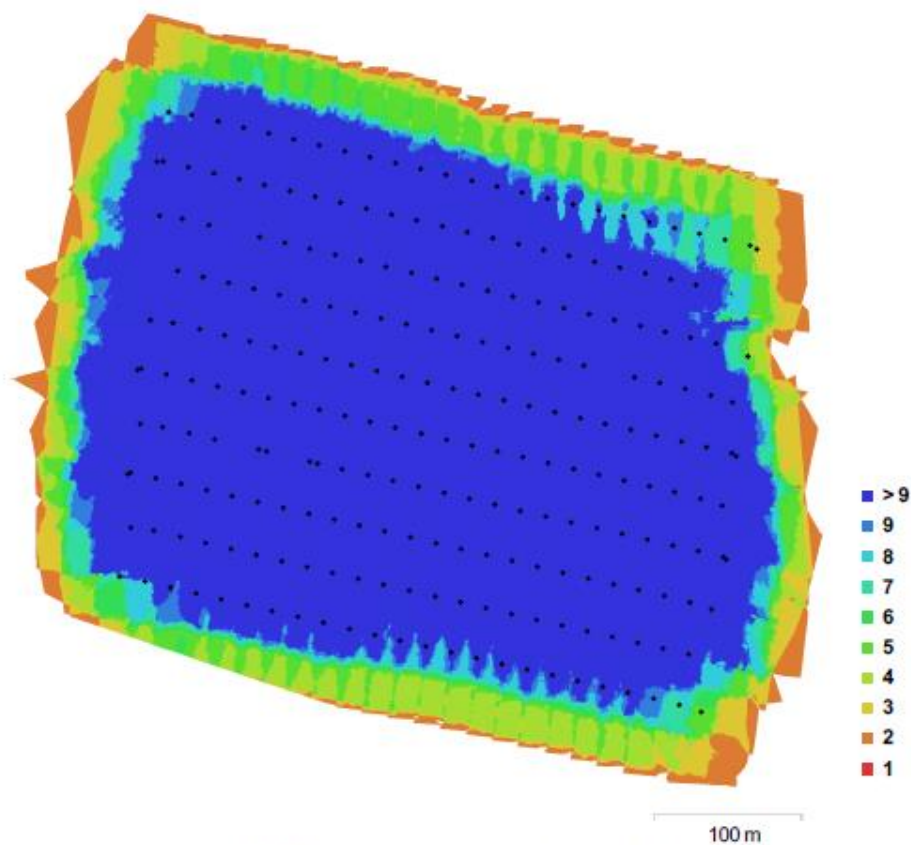


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	274	Camera stations:	240
Flying altitude:	113 m	Tie points:	185,073
Ground resolution:	3 cm/pix	Projections:	428,258
Coverage area:	2.14e+05 sq m	Reprojection error:	0.143 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8 mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 um	No

Table 1. Cameras.

Continua...

Continuação...

Camera Calibration

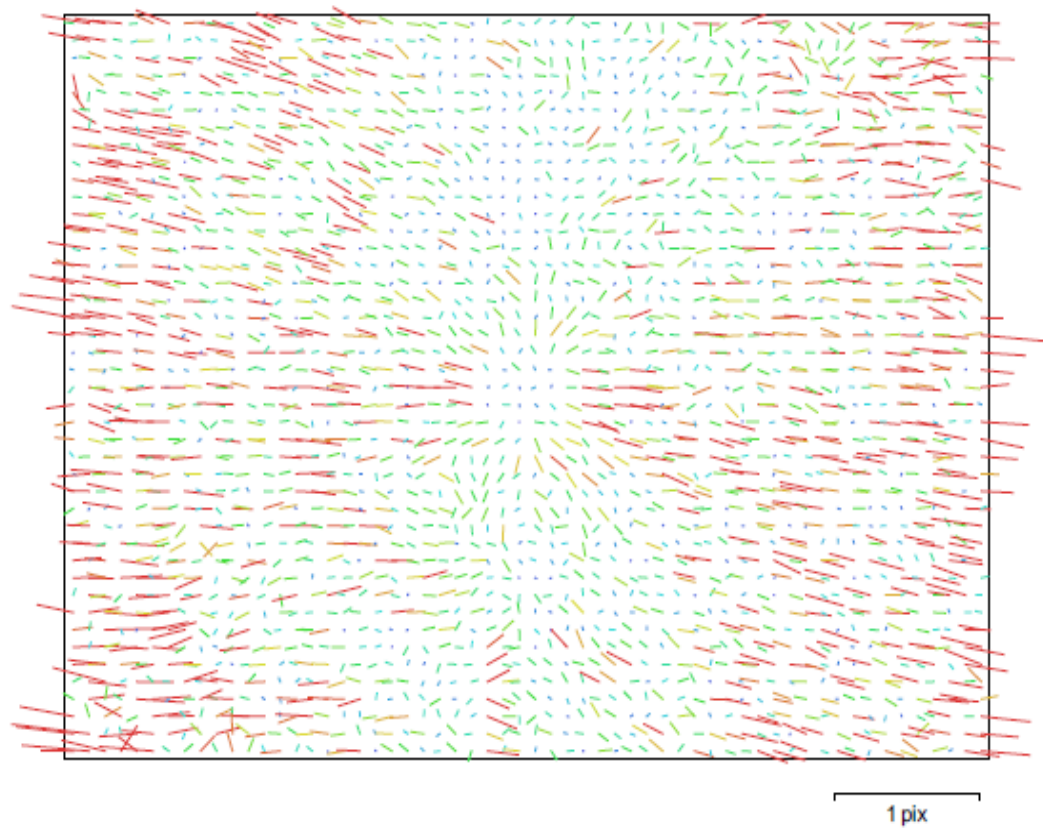


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8 mm).

FC6310 (8.8 mm)

Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 um	No
Type:	Frame	K1:	0.00252666
Fx:	3455.89	K2:	-0.00830858
Fy:	3454.94	K3:	0.00882485
Cx:	2435.89	K4:	0
Cy:	1790.49	P1:	-0.00246538
Skew:	-0.978751	P2:	0.000551094

Continua...

Continuação...

Camera Locations

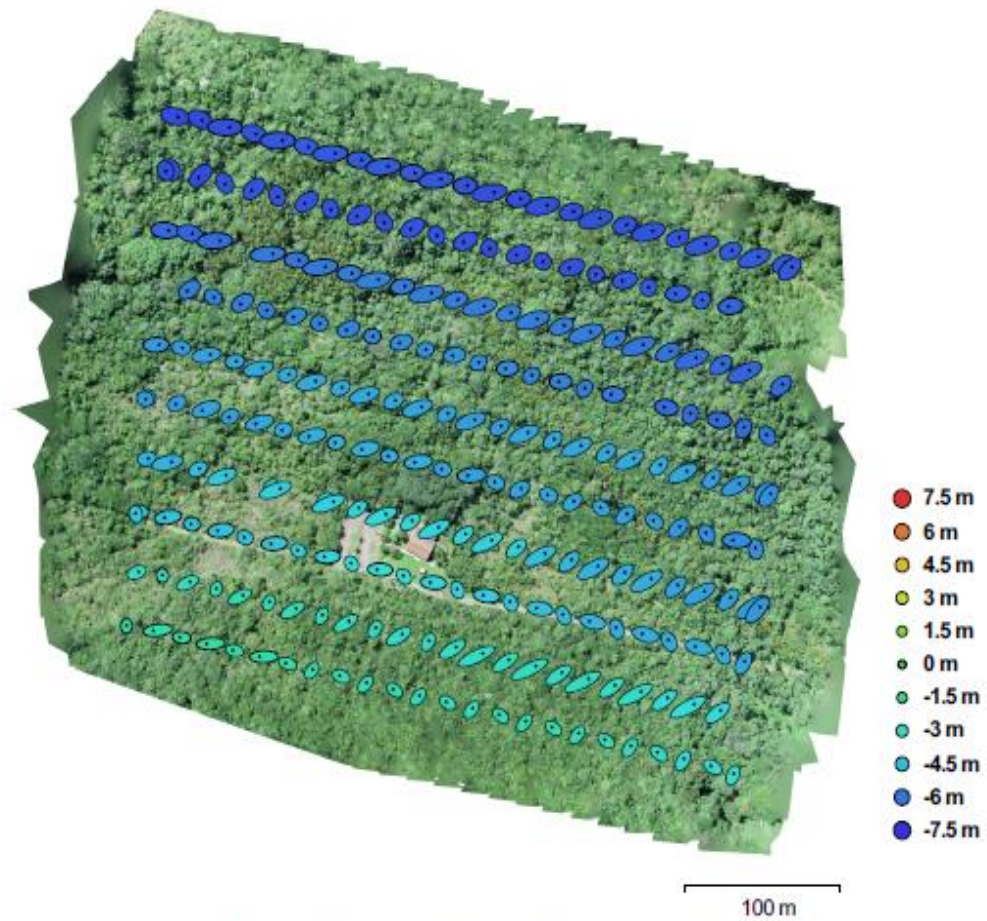


Fig. 3. Camera locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total error (m)
3.69009	1.58427	5.21476	6.58182

Table 2. Average camera location error.

Continua...

Continuação...

Ground Control Points



Fig. 4. GCP locations.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
3	-0.0166695	0.0197727	0.00502781	0.0263459	34	0.182536
4	0.0591139	-0.0613058	0.00430781	0.0852726	17	0.255639
5	-0.0454268	0.060666	-0.00679851	0.0760932	25	0.27662
2	0.00366418	-0.0196711	-0.00166099	0.0200783	14	0.136489
Total	0.0382405	0.0453229	0.00481702	0.0594954		0.22155

Table 3. Control points.

Continua...

Continuação...

Digital Elevation Model

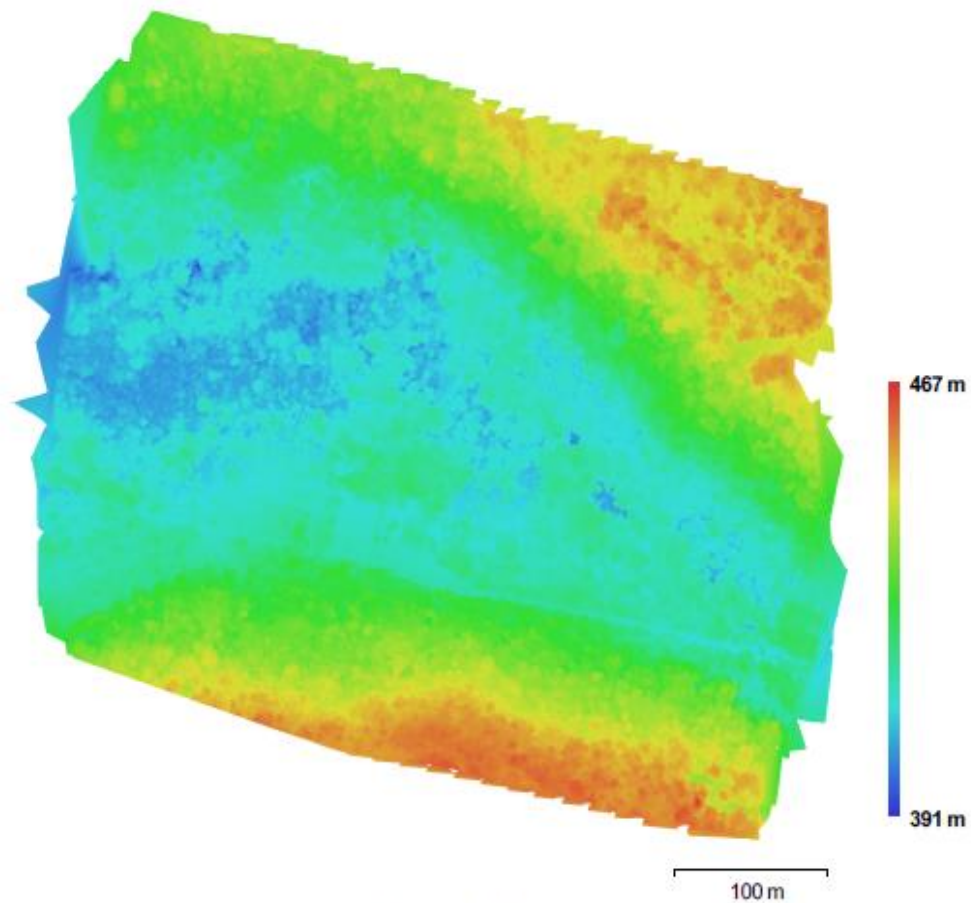


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution:	6 cm/pix
Point density:	277.494 points per sq m

Continua...

Continuação...

Processing Parameters

General	
Cameras	274
Aligned cameras	240
Markers	4
Point Cloud	
Points	185,073 of 212,568
RMS reprojection error	0.142652 (0.569358 pix)
Max reprojection error	1.56446 (4.70752 pix)
Mean keypoint size	3.11317 pix
Effective overlap	2.51786
Alignment parameters	
Accuracy	High
Pair preselection	Reference
Keypoint limit	40,000
Tie point limit	4,000
Constrain features by mask	No
Matching time	11 minutes 38 seconds
Alignment time	1 minutes 48 seconds
Optimization parameters	
Parameters	fx, fy, cx, cy, skew, k1-k3, p1, p2
Optimization time	3 seconds
Dense Point Cloud	
Points	145,437,641
Reconstruction parameters	
Quality	High
Depth filtering	Moderate
Processing time	1 hours 45 minutes
Model	
Faces	19,247,015
Vertices	9,629,046
Reconstruction parameters	
Surface type	Height field
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	High
Depth filtering	Moderate
Face count	19,337,413
Processing time	8 minutes 27 seconds
DEM	
Size	12,965 x 10,500
Orthomosaic	
Size	18,288 x 17,303
Channels	3, uint8
Blending mode	Mosaic

Fonte: PhotoScan, 2019.

APÊNDICE 3

Figura 35. Detalhamento do processamento das imagens e dos parâmetros utilizados no segundo voo, com sensor multiespectral.



Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Continua...

Continuação...

Calibration Details



Number of Calibrated Images	404 out of 428
Number of Geolocated Images	420 out of 428

? Initial Image Positions

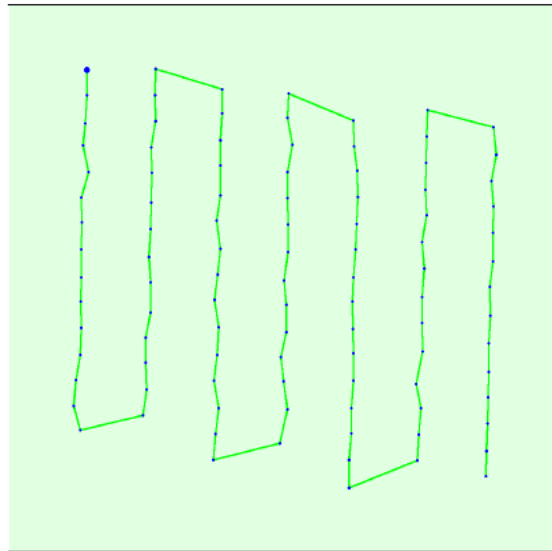


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

? Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Continua...

Continuação...

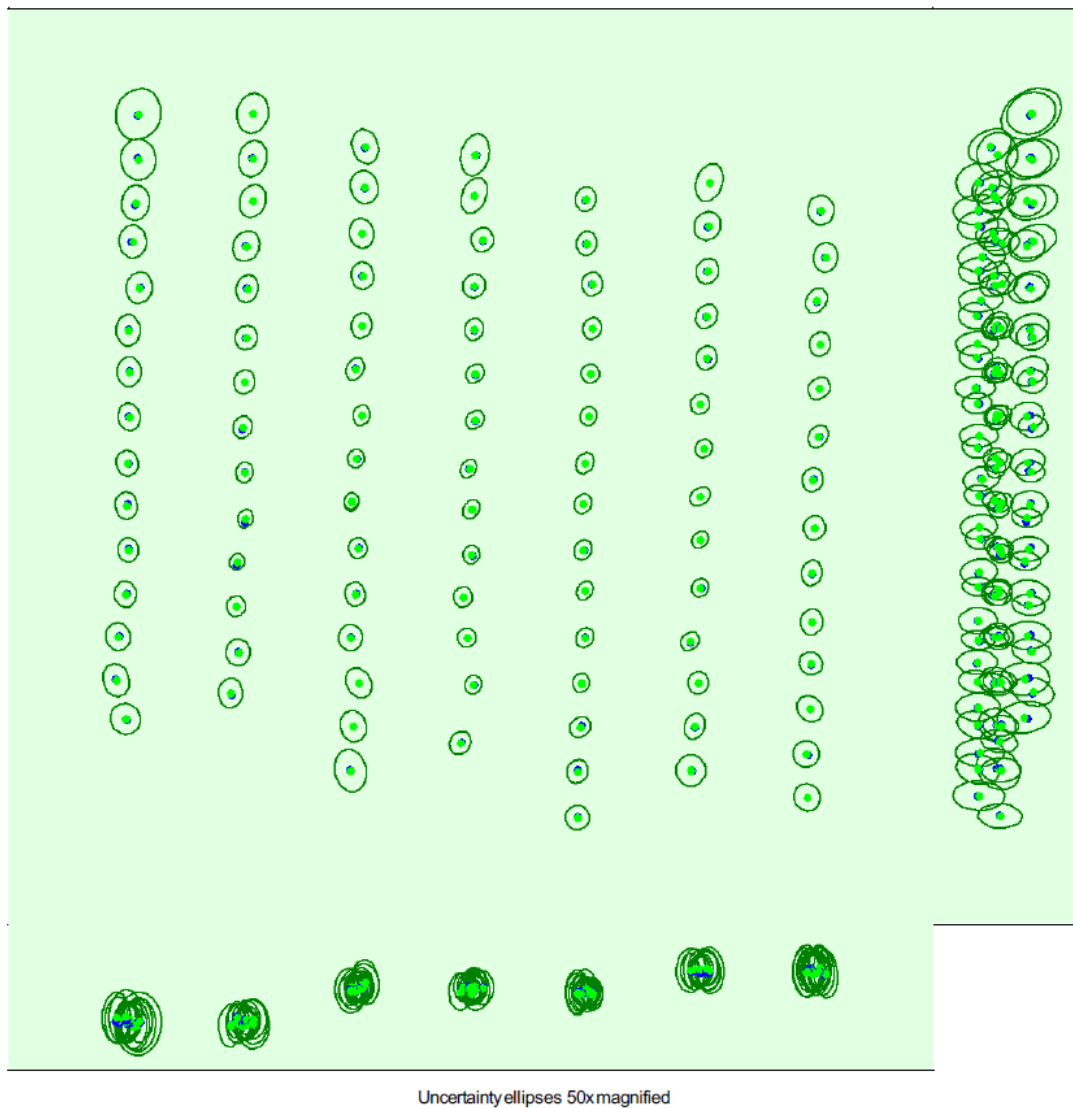


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

🔍 Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.185	0.211	0.298	0.075	0.069	0.034
Sigma	0.040	0.053	0.069	0.012	0.011	0.009

🔍 Overlap

Continua...

Continuação...

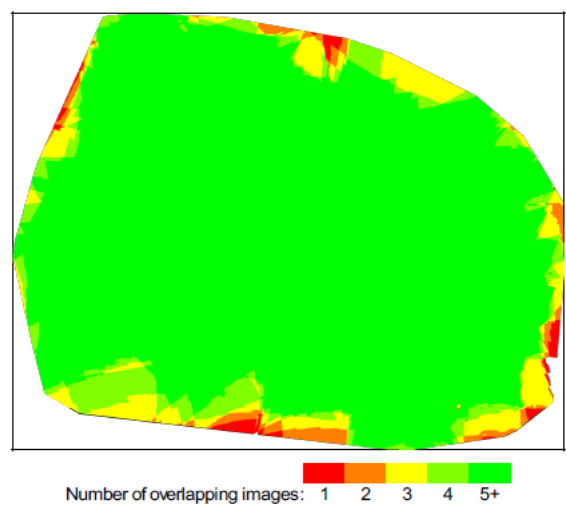


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	484278
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	193197
Mean Reprojection Error [pixels]	0.222

APÊNDICE 4

Figura 36. Detalhamento do processamento das imagens e dos parâmetros utilizados no terceiro voo, com sensor multiespectral.



Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Continua...

Continuação...

Calibration Details

Number of Calibrated Images	1900 out of 2220
Number of Geolocated Images	2212 out of 2220

? Initial Image Positions

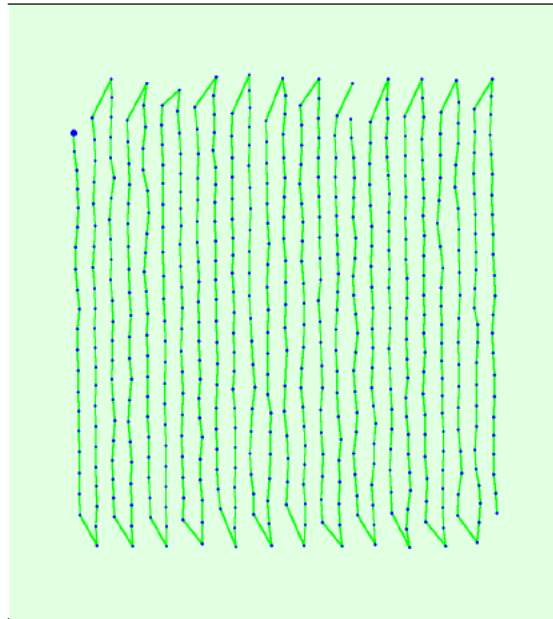


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

? Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

Continua...

Continuação...

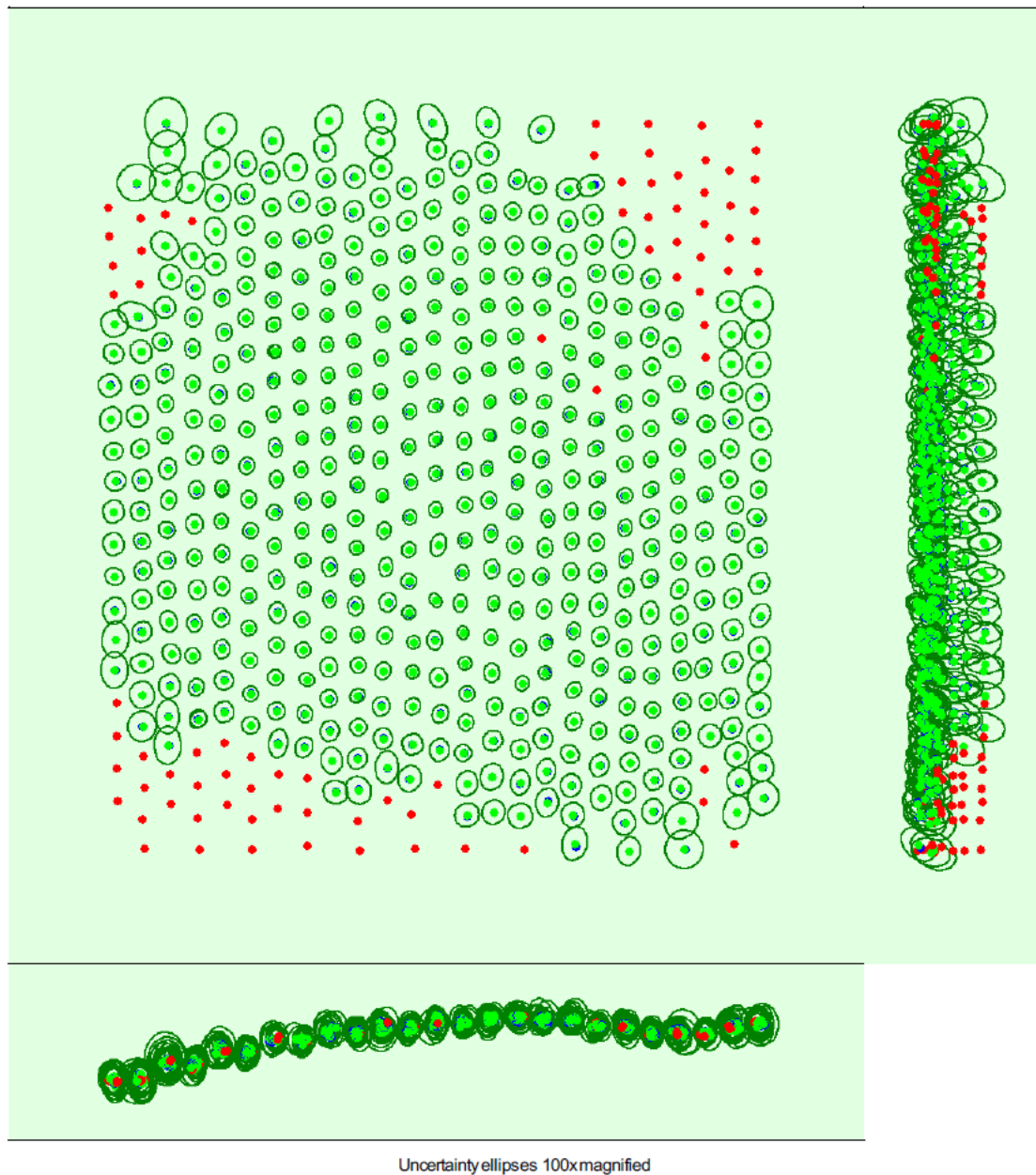


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

? Absolute camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.076	0.082	0.109	0.044	0.039	0.017
Sigma	0.018	0.021	0.024	0.017	0.013	0.006

? Overlap



Continua...

Continuação...

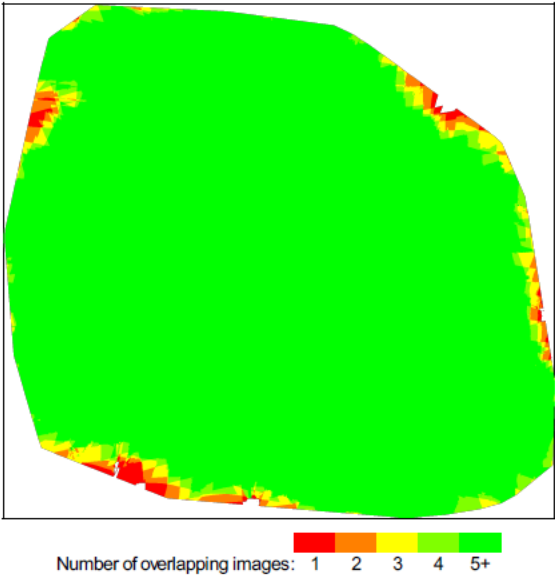


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	1483257
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	546608
Mean Reprojection Error [pixels]	0.266

