

Detecção da espécie exótica invasora *Hovenia dulcis* por meio de classificação supervisionada

Detection of invasive alien species *Hovenia dulcis* by supervised classification

DOI:10.34117/bjdv7n5-028

Recebimento dos originais: 07/04/2021

Aceitação para publicação: 03/05/2021

Carla Luciane Lima

Mestre em Engenharia Florestal
Universidade do Estado de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento
Socioambiental
Av. Madre Benvenuta, 2007, Itacorubi. Florianópolis/SC
E-mail: carla_engflorestal@yahoo.com.br

Francisco Henrique de Oliveira

Doutor em Engenharia de Produção
Universidade do Estado de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento
Socioambiental
Av. Madre Benvenuta, 2007, Itacorubi. Florianópolis/SC
E-mail: francisco.oliveira@udesc.br

Camile Sothe

Doutora em Sensoriamento Remoto
McMaster University, Hamilton, Canadá
School of Earth, Environment & Society, McMaster University
E-mail: camilesothe@yahoo.com.br

Felipe Echenique Alves

Mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial
Universidade do Estado de Santa Catarina
Laboratório de Geoprocessamento - GEOLAB
Av. Madre Benvenuta, 2007, Itacorubi. Florianópolis/SC
E-mail: felipechenique@hotmail.com

Marcos Benedito Schimalski

Doutor em Ciências Geodésicas
Universidade do Estado de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Av. Luis de Camões, 2090, Conta Dinheiro. Lages/SC
E-mail: marcos.schimalski@udesc.br

Gabriela Oliveira Silva

Mestre em Engenharia Florestal
Universidade do Estado de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Florestal – Laboratório de Geoprocessamento
Av. Luis de Camões, 2090, Conta Dinheiro. Lages/SC
E-mail: gabriela.utfpr@gmail.com

Veraldo Liesenberg

Doutor em Environmental Geosciences
Universidade do Estado de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Florestal – Laboratório de Geoprocessamento
Av. Luis de Camões, 2090, Conta Dinheiro. Lages/SC
E-mail: veraldo.liesenberg@udesc.br

RESUMO

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, embora já estudados, ainda carecem de muita pesquisa e geração de conhecimento. Diante disto, surge a crescente preocupação com invasões em áreas naturais protegidas, em especial as unidades de conservação (UCs), e nesse contexto, o uso do sensoriamento remoto combinado ao processamento digital de imagens permite uma sistematização e análise dos padrões, podendo alcançar adequado índice de confiança. O presente trabalho teve como objetivo a detecção remota da espécie exótica invasora *Hovenia dulcis* no Parque Estadual Fritz Plaumann, utilizando imagens aéreas de alta resolução espacial obtidas com uso de veículo aéreo não tripulado modelo *DJI Phantom Pro 4*, equipado com sensor RGB, aplicando o método de classificação supervisionada de imagens. Para a detecção da espécie *Hovenia dulcis*, realizou-se a segmentação do ortomosaico utilizando o algoritmo *Multiresolution Segmentation*. Após a segmentação, foram selecionadas 7 classes de interesse e efetuada a amostragem das classes, seguido da classificação por meio do algoritmo *Nearest Neighbor*. Após a classificação, foi realizada a análise de acurácia através dos índices de Acurácia Geral (OA) e Kappa, os quais apresentaram valores de 0,97 e 0,95, respectivamente, considerado um resultado adequado de acordo com o índice Kappa. Desta forma, a classificação supervisionada configura-se como uma ferramenta para geração de informações e subsídios para medidas de prevenção e controle de espécies exóticas invasoras e ainda oferece potencial para auxiliar na formação e composição de cadastros temáticos.

Palavras chaves: Parque Estadual Fritz Plaumann; classificação supervisionada; *Nearest Neighbor*; índice *Kappa*.

ABSTRACT

The natural environment has been passing over time by alterations resulting from a development model practiced by man. The impacts of these changes, such as the spread of invasive alien species, although already studied, still lack much research and knowledge generation. In view of this, there is growing concern about invasions in protected natural areas, especially conservation units (UCs), and in this context, the use of remote sensing combined with digital image processing allows a systematization and analysis of patterns, being able to achieve appropriate confidence index. The present work aimed at the remote detection of the invasive alien species *Hovenia dulcis* in Fritz

Plaumann State Park, using high-resolution aerial spatial images obtained using an unmanned aerial vehicle, model *DJI Phantom Pro 4*, equipped with RGB sensor, applying the supervised image classification method. For the detection of the species *Hovenia dulcis*, the orthomosaic was segmented using the *Multiresolution Segmentation* algorithm. After segmentation, 7 classes of interest were selected and the classes were sampled, followed by sorting using the *Nearest Neighbor* algorithm. After the classification, the accuracy analysis was performed using the Overall Accuracy (OA) and Kappa indexes, of which presented values of 0,97 and 0,95, respectively, considered an appropriate result according to the Kappa index. In this way, supervised classification is configured as a tool for generating information and subsidies for prevention measures and control of invasive alien species and also offers potential to assist in the formation and composition of thematic registers.

Keywords: Fritz Plaumann State Park; supervised classification; Nearest Neighbor; Kappa index.

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, embora já venham recebendo a atenção do poder público, ainda carecem de muita pesquisa e geração de conhecimento, para que se possa ter subsídios para um planejamento relacionado às medidas de prevenção e controle de espécies exóticas invasoras.

De acordo com 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). Uma espécie exótica comumente chega em uma nova área através 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: a primeira, geográfica, é superada quando a espécie transpõe seu limite geográfico de ocorrência; a segunda está relacionada à sobrevivência e à reprodução; e a terceira é vencida quando a espécie se dispersa para áreas distantes de onde foi introduzida, passando a ser considerada exótica invasora (RICHARDSON *et al.*, 2000b; LORENZI *et al.*, 2003; ZILLER; ZALBA, 2007; DECHOUM, 2015a).

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; FRENCH, 2008). Atualmente, praticamente todos os ecossistemas têm ocorrência de espécies exóticas entre suas comunidades (VAN KLEUNEN et al., 2015).

Nesse contexto, surge a crescente preocupação com invasões em áreas naturais protegidas, em especial as unidades de conservação (UCs), visto que atualmente a maior parte das unidades de conservação no Brasil possuem ocorrência de plantas exóticas invasoras (LEÃO et al., 2011; SAMPAIO; SCHMIDT, 2013; HUMMEL, 2015, INSTITUTO HÓRUS, 2019). As 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.

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, 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 combinado ao processamento digital de imagens 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.

Nos últimos anos, o uso de sensoriamento remoto para detecção de espécies de plantas, inclusive plantas exóticas invasoras, tem apresentado crescente desenvolvimento, sendo realizado em vários países, utilizando tanto imagens orbitais quanto imagens aéreas e aplicando diferentes métodos de classificação (DUDEK et al., 2004; LIU et al., 2017; ALVAREZ-TABOADA et al., 2017; PAZ-KAGAN et al., 2019; KATTENBORN et al., 2019; SOTHE et al., 2019).

Informações a respeito da invasão de espécies exóticas em ambientes naturais podem ser também um importante instrumento para composição de cadastros ambientais, os quais integram os cadastros temáticos e o Sistema de Informações Territoriais – SIT, subsidiando o planejamento e controle do uso, parcelamento e ocupação do solo (CARNEIRO et al., 2010).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo a detecção remota da espécie exótica invasora *Hovenia dulcis* no Parque Estadual Fritz Plaumann – uma importante Unidade de Conservação no estado de Santa Catarina – utilizando imagens aéreas de alta resolução espacial obtidas com uso de veículo aéreo não tripulado (RPAS), aplicando o método de classificação supervisionada de imagens.

2 A ESPÉCIE EXÓTICA INVASORA HOVENIA DULCIS

Das 84 espécies de plantas consideradas exóticas invasoras para o estado de Santa Catarina, a espécie arbórea *Hovenia dulcis*, conhecida popularmente por Uva-do-Japão ou Pé-de-galinha, é uma das espécies invasoras mais relevantes se considerado seu potencial de invasão. Trata-se de uma espécie arbórea caducifólia, pertencente à família Rhamnaceae, com até 25 metros de altura (CARVALHO, 1994), nativa da China, Japão e Coréia. No Brasil, encontra-se preferencialmente nos tipos climáticos Cfa, Cfb e Cwa (climas subtropicais) (CARVALHO, 1994). É classificada como espécie pioneira, de rápido crescimento e sua fase reprodutiva tem início entre o 3º e 4º ano de idade, apresentando regeneração natural intensa por sementes (CARVALHO, 1994; DECHOUM, 2015a). Além disso, apresenta grande plasticidade, crescendo em solos compactos, rasos e pedregosos, desde arenosos até argilosos (CARVALHO, 1994).

Hovenia dulcis atualmente não consta somente na lista oficial de espécies exóticas invasoras do Estado de Santa Catarina, mas também do Estado do Paraná e do 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 até mesmo no interior de florestas que apresentam menor abertura de dossel e são melhor conservadas (DECHOUM, 2015a) apontada como uma espécie preocupante na Região Sul do Brasil, tanto na Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária) como na Floresta Estacional Semidecidual (ZENNI & ZILLER, 2011).

Embora a espécie apresente características agressivas de invasão, em Santa Catarina é enquadrada, de acordo com a Resolução CONSEMA 08/2012, na Categoria 2, o que significa que o manejo, plantio ou cultivo são permitidos sob condições controladas,

estando sujeitas as normas e condições específicas estabelecidas no Programa Estadual de Espécies Exóticas Invasoras.

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. Foi plantada intensivamente 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 permite a incidência do sol sobre essas estruturas (CARVALHO, 1994; SELLE, 2009; SANTA CATARINA, 2016). Disseminada em toda a região Sul, *Hovenia dulcis*, adaptou-se bem ao clima e ao solo do Brasil (COZZO, 1960).

A partir de sua introdução, *Hovenia dulcis* se dispersou na região por uma paisagem fragmentada, decorrente da atividade extrativista praticada pelos proprietários de terras visando à implantação da agricultura e da pecuária e o 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.

2.1 INVASÃO DE *HOVENIA DULCIS* EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO EM SANTA CATARINA

O estado de Santa Catarina possui 10 unidades de conservação de domínio estadual e 16 de domínio federal, totalizando 26 áreas protegidas. Além disso, o estado conta ainda com 70 Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) federais, as quais embora compostas por áreas menores quando comparadas as 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 (INSTITUTO HÓRUS, 2019), de 2003 – ano em que a coleta de dados foi iniciada – até o ano de 2019, a espécie *Hovenia dulcis* tem ocorrência registrada em 9 unidades de conservação no Estado de Santa, sendo que dessas 9 UCs invadidas, 2 são UCs de domínio federal, 4 UCs de domínio estadual e ainda 3 reservas particulares (Tabela 5), demonstrando a capacidade de invasão da espécie até mesmo em ambientes protegidos e mais bem conservados.

Tabela 1 – 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 (INSTITUTO HÓRUS, 2019).

Dentre as UC's com presença confirmada de *Hovenia dulcis* encontra-se o Parque Estadual Fritz Plaumann, área objeto desse estudo. O Parque está situado na região Oeste do Estado de Santa Catarina, no município de Concórdia, com uma área de 717 hectares e está localizado na margem direita do Rio Uruguai, na Bacia Hidrográfica de mesmo nome. 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).

Diversas pesquisas já foram desenvolvidas no Parque Estadual Fritz Plaumann com o intuito de analisar e compreender os aspectos ecológicos e de invasão da espécie *Hovenia dulcis* (HENDGES *et al.*, 2012; DECHOUM *et al.*, 2014; DECHOUM *et al.*, 2015a; DECHOUM *et al.*, 2015b; DECHOUM *et al.*, 2015c; LIMA *et al.*, 2015), o que demonstra a crescente preocupação com a ocorrência da espécie nessa área protegida.

3 DETECÇÃO REMOTA DE *HOVENIA DULCIS* NO PARQUE ESTADUAL FRITZ PLAUMANN

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).

Aliado a novas tecnologias é comprovadamente eficiente para estudos da vegetação (STICKSEL *et al.*, 2004). Nesse sentido, o sensoriamento remoto pode ser entendido como uma das ferramentas promissoras e plausíveis para detecção e

mapeamento de espécies de plantas exóticas invasoras (GÓMEZ-CASERO et al. 2010; AITKENHEAD & AALDERS, 2011; DORIGO et al., 2012). Dentre as técnicas de processamento digital de imagens mais difundidas no mapeamento da vegetação está 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).

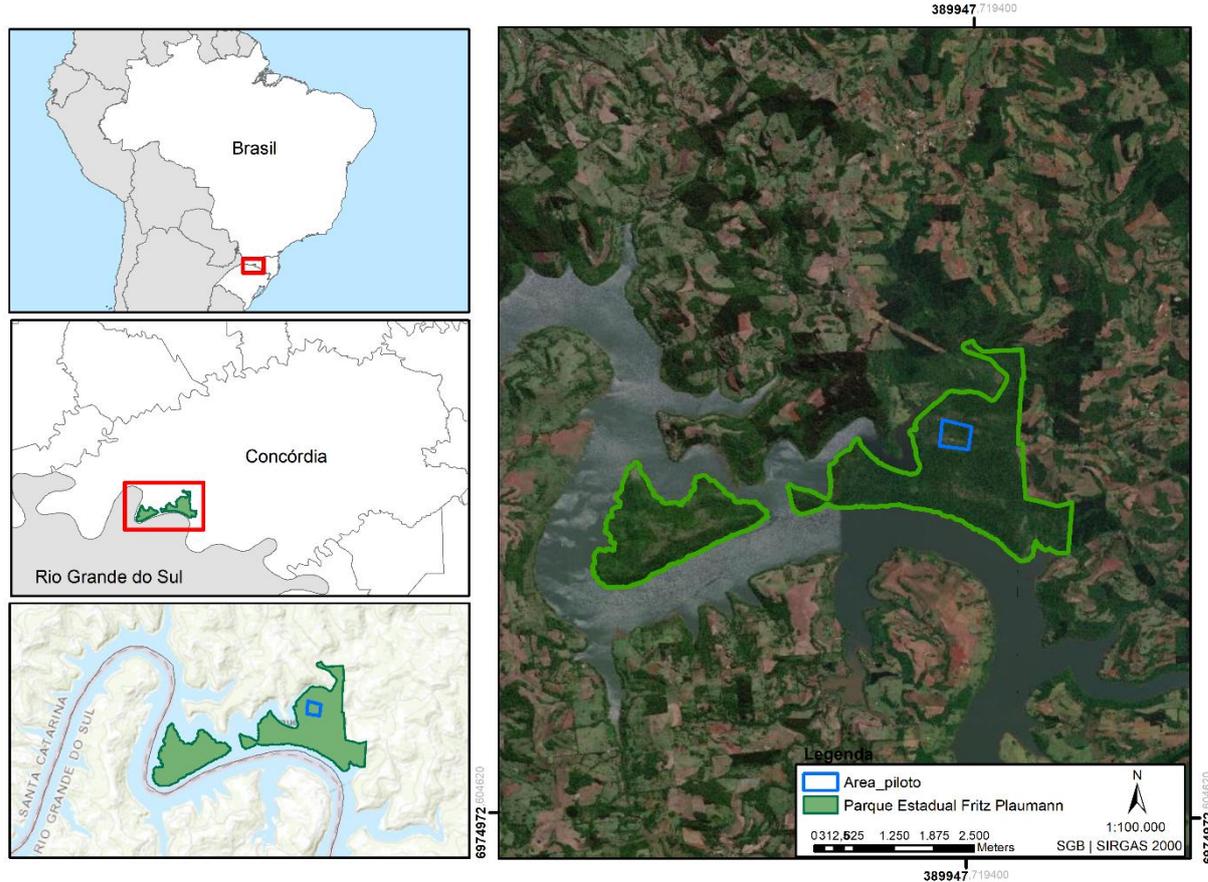
Os algoritmos responsáveis pela realização da classificação digital recebem o nome de “classificadores” e podem ser divididos em classificadores “pixel a pixel”, os quais utilizam apenas a informação espectral de cada pixel para definir regiões homogêneas e classificadores “por regiões” ou “orientada a objeto”, 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 “orientada a objeto” 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).

3.1 METODOLOGIA

Para este estudo, primeiramente considerou-se o tamanho da área de pesquisa. Levando-se em conta que o Parque Estadual Fritz Plaumann possui 717 hectares, optou-se pela delimitação de uma área piloto (Figura 1), de tamanho reduzido (aproximadamente 15 ha), sendo observados alguns fatores determinantes, como a ocorrência de florestas em diferentes estágios de regeneração, a presença de *Hovenia dulcis*, o acesso, entre outros.

Figura 1 – Mapa de localização do Parque Estadual Fritz Plaumann, incluindo a área de estudo.



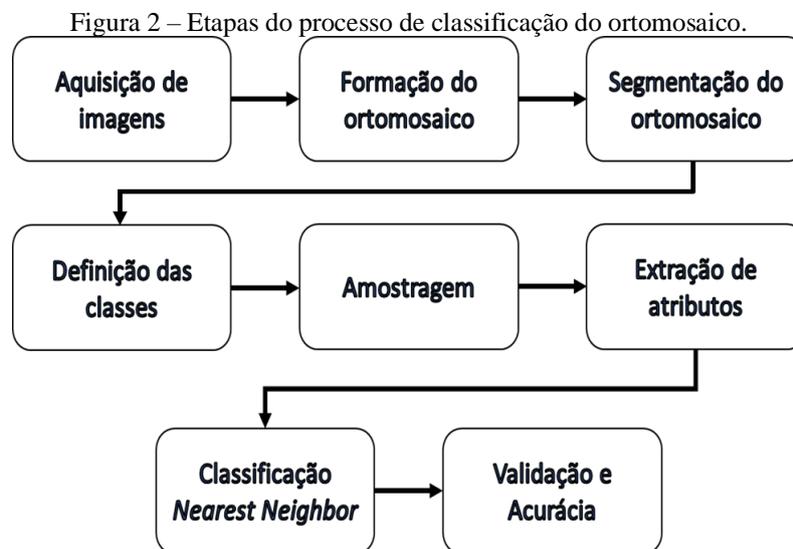
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Foi realizada a aquisição de imagens de alta resolução espacial, no mês de Março de 2019, período fenológico de frutificação/senescência de folhas da espécie *Hovenia dulcis*, utilizando Veículo Aéreo Não tripulado modelo *DJI Phantom Pro 4*, equipado com uma câmera com resolução de 20 Mpixels, sensor RGB, com obturador mecânico e distância focal de 8,8 mm., resultando em um ortomosaico da área de estudo (com GSD de 3 cm). Os parâmetros de voo e especificações da aeronave são descritos na Tabela 2. O período fenológico de frutificação/senescência das folhas foi escolhido devido ao fato de a espécie apresentar uma coloração de copa diferenciada, em tons mais ocres, composta pela cor amarelada das folhas e a cor marrom de seus frutos.

Para a detecção da espécie *Hovenia dulcis* foi realizada a segmentação hierárquica do ortomosaico, disponível 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 no conhecimento a campo da área de estudo: 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 da imagem (médias espectrais das bandas RGB) e a classificação adotando-se o método supervisionado, por meio do algoritmo *Nearest Neighbor* - NN (vizinho mais próximo), também disponível no software *eCognition*®, o qual é baseado no quão similar é um dado do outro. O fluxograma com as etapas de trabalho é apresentado na figura 2.



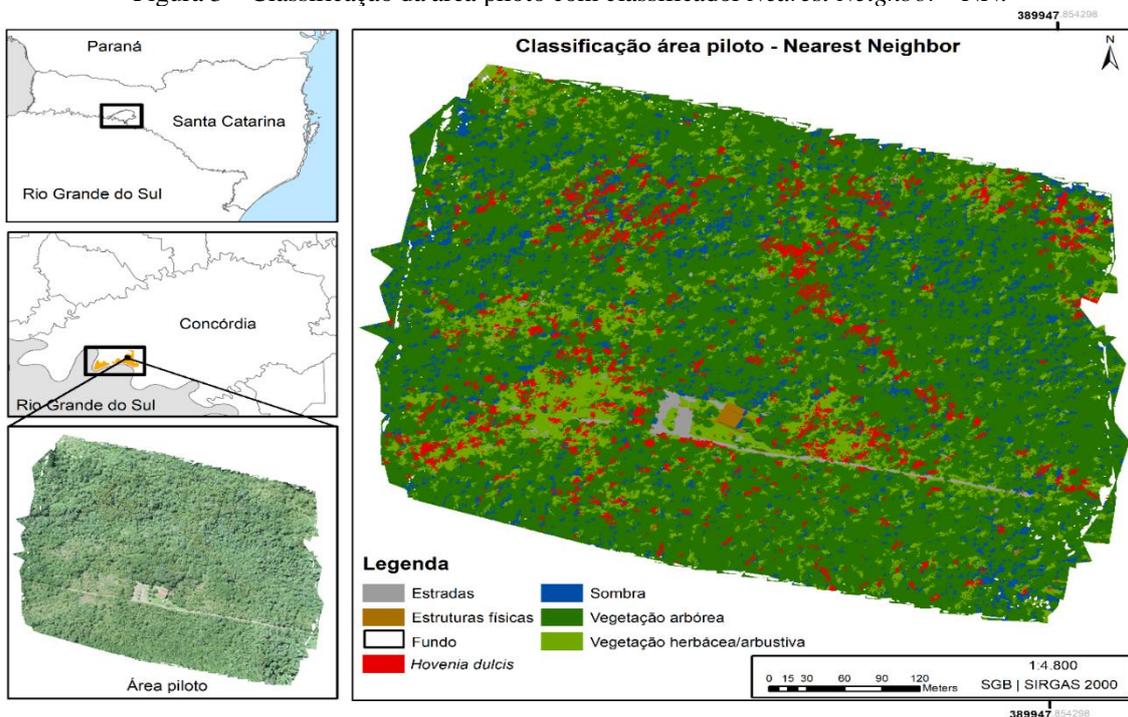
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 3 é possível observar o resultado da classificação 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 3 – Classificação da área piloto com classificador *Nearest Neighbor* - NN.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Para o cálculo de acuracidade da classificação, foi gerada a matriz de confusão e a partir dela foram calculados os índices de Acurácia Geral (*Overall Accuracy – OA*), Acurácia do Produtor, Acurácia do Usuário e índice *Kappa*. 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 (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação do índice Kappa.

Valor de Kappa	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

A Acurácia Geral 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).

O valor encontrado para o índice de Acurácia Geral (AO) foi de 0,97, Acurácia do Produtor de 0,93, Acurácia do Usuário também de 0,93 e para o índice *Kappa* foi de 0,95. Esses valores demonstram que a classificação apresentou um resultado considerado “excelente” de acordo com o índice *Kappa*.

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 acurácia geral 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 acurácia geral de 0,88 e índice *Kappa* de 0,82.

Müllevorá *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.

Como comprovado neste estudo, a detecção da espécie por meio de imagens de alta resolução espacial, obtidas por RPAS e baseada em períodos fenológicos, explorando características espectrais diferenciadas dos objetos, pode auxiliar na obtenção de resultados de classificação com boa acurácia. Contudo, o desenvolvimento de pesquisas

que busquem conhecer os mecanismos de estabelecimento e invasão da espécie exótica invasora *Hovenia dulcis*, não apenas no Parque Estadual Fritz Plaumann, mas em todo estado de Santa Catarina, é de grande importância para entender melhor os padrões da espécie, contribuindo para a definição de instrumentos de prevenção e detecção precoce e erradicação.

4 CONCLUSÃO

Após o refinamento de vários testes, 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, com o índice de Acurácia Geral de 0,97 e índice *Kappa* foi de 0,95.

Os resultados encontrados neste estudo evidenciam que o uso de sensoriamento remoto, utilizando imagens de alta resolução espacial, obtidas por RPAS, e a seleção do período fenológico de frutificação/senescência de folhas, é viável para detecção da espécie *Hovenia dulcis*, demonstrando ser uma ferramenta adequada para geração de informações e subsídios para medidas de prevenção e controle de espécies exóticas invasoras. Ainda, essa ferramenta apresenta potencial para ser utilizada na geração de mapeamentos de informações ambientais, as quais podem auxiliar na formação e composição de cadastros temáticos.

Ressalta-se a importância da continuidade de pesquisas relacionadas ao tema, bem como, da metodologia proposta neste estudo, com a aplicação de diferentes métodos de classificação, abordando variados períodos fenológicos da espécie e utilizando imagens multiespectrais e hiperespectrais, o que poderá gerar resultados ainda mais acurados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pelas bolsas de estudo.

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.

AITKENHEAD, M. & 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.

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.

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

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

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

DECHOUM, M. S. Invasão por *Hovenia dulcis* Thunb. (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.* Community structure, succession and invasibility in a seasonal deciduous forest in southern Brazil. **Biological Invasions**, p. 1573-1464, 2014.

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.* 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.

DORIGO, W., *et al.* Mapping invasive Fallopia japônica 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 multirate 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.

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

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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

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

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.

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.

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.

LORENZI, H. *et al.* **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora. 2003.

MACK, R. N. *et al.* Biological invasions: causes, epidemiology, global consequences and control. **Ecological Applications**. V. 10, p. 689-710. 2000.

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

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

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/PORTARIAS/PORTARIA_IAP_125_2009_ESPECIES_EXOTICAS.pdf>. Acesso em 01 de jun. de 2017.

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.

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.

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. *et al.* Plant invasions: the role of mutualisms. **Biological Reviews**, v. 75, n. 1, p. 65-93, 2000a.

RICHARDSON, D. M.; REJMÁNEK, M. Trees and shrubs as invasive alien species a global review. **Diversity and Distributions**. v. 17, p. 788-809. 2011.

RIO GRANDE DO SUL. Portaria SEMA n° 79, em 31 de outubro de 2013. Diário Oficial do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, p. 44, 2013.

RUSCHEL, A. D. *et al.* Evolução do uso e valorização das espécies madeiráveis da Floresta Estacional Decidual do Alto-Uruguai, SC. **Ciência Florestal** v.13, p. 153-166. 2003.

SAMPAIO, A. B. & SCHMIDT, I. B. Espécies exóticas invasoras em unidades de conservação federais do Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 32-49, 2013.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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

ZILLER, S. R. & 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.