

MARA GABRIELE FONSECA PINTO

**ANÁLISE TEMPORAL DA RESTAURAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE DE HORTOS FLORESTAIS NO RIO GRANDE DO SUL ATRAVÉS
DE IMAGENS DE SATÉLITE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Sebastião Venâncio Martins

Coorientador: José Marinaldo Gleriani

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

P659a
2023
Pinto, Mara Gabriele Fonseca, 1995-
Análise temporal da restauração das áreas de preservação
permanente de hortos florestais no Rio Grande do Sul através de
imagens de satélite / Mara Gabriele Fonseca Pinto. – Viçosa,
MG, 2023.

1 dissertação eletrônica (83 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Sebastião Venâncio Martins.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Florestal, 2023.

Referências bibliográficas: f. 80-83.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.355>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Reflorestamento - Rio Grande do Sul. 2. Imagens de
sensoriamento remoto - Rio Grande do Sul. I. Martins, Sebastião
Venâncio, 1965-. II. Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Florestal. Mestrado em Ciência
Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 634.9232098165

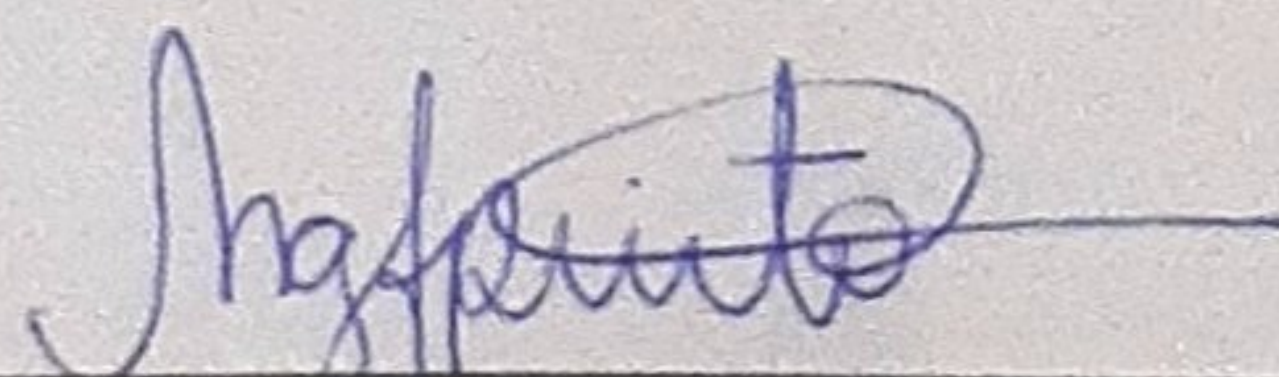
MARA GABRIELE FONSECA PINTO

**ANÁLISE TEMPORAL DA RESTAURAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE DE HORTOS FLORESTAIS NO RIO GRANDE DO SUL ATRAVÉS
DE IMAGENS DE SATÉLITE**

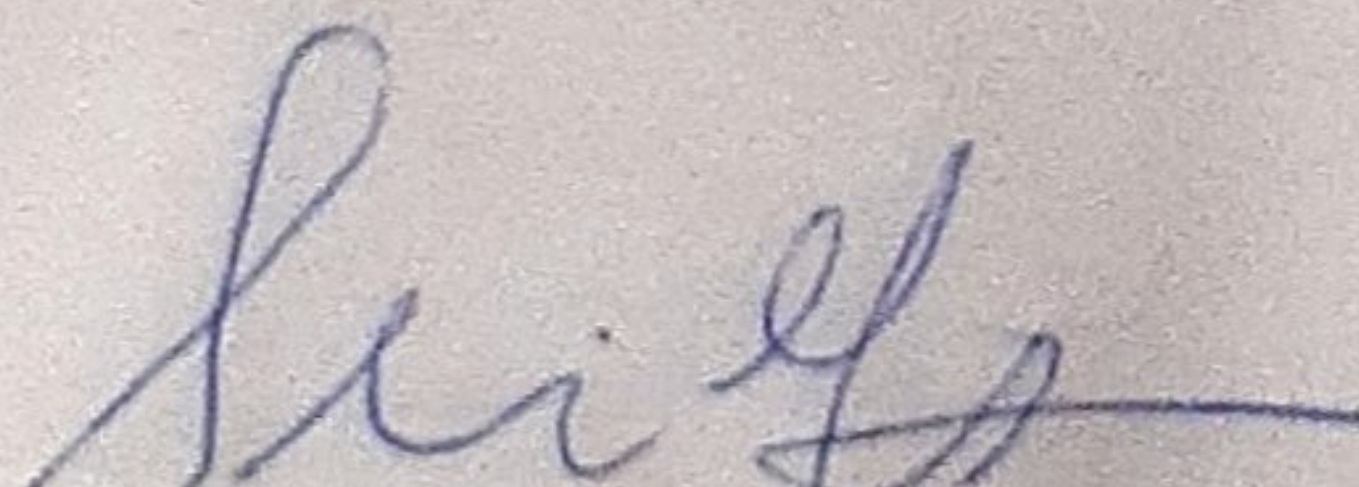
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 02 de março de 2023

Assentimento:



Mara Gabriele Fonseca Pinto
Autora



Sebastião Venâncio Martins
Orientador

*Ao meu filho Nathan, e a toda minha família,
pelo amor, apoio e confiança na realização desse
sonho.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo amparo e proteção.

Ao Nathan por ser a minha maior motivação.

Aos meus pais e ao meu irmão pelo amor.

Aos meus tios e tias e minhas avós.

Ao meu avô João Francisco da Fonseca (*in memorian*), que sempre será minha inspiração e meu maior exemplo de vida.

À Vanessa pelo suporte diário, pela amizade e parceria.

Ao Welton pelo companheirismo e apoio.

Ao meu orientador, o Professor Dr. Sebastião Venâncio Martins pela orientação, incentivo e amizade durante esses anos.

Ao Professor Dr. José Marinaldo Gleriani pela disposição e prontidão em ajudar.

Aos amigos do LARF por sempre me prestar apoio quando precisei.

Ao Departamento de Engenharia Florestal da UFV pela estrutura e suporte.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal pela oportunidade de desenvolver esse trabalho, e em especial ao Alexandre que nunca mediu esforços para me ajudar e ao Dilson pela disponibilidade e atenção.

Aos engenheiros florestais da CMPC Luciana Esber Michels e Elias Frank de Araújo pelo apoio nos trabalhos de campo e na coleta de dados.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Mestrado.

E a todos que de alguma forma estiveram presentes e contribuíram para a conclusão deste grande sonho da minha vida.

Obrigada!

RESUMO

PINTO, Mara Gabriele Fonseca, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2023. **Análise temporal da restauração das áreas de preservação permanente de hortos florestais no Rio Grande do Sul através de imagens de satélite.** Orientador: Sebastião Venâncio Martins. Coorientador: José Marinaldo Gleriani.

Este estudo teve como objetivo avaliar a restauração florestal nas Áreas de Preservação Permanente dos hortos florestais da empresa CMPC no Rio Grande do Sul – RS através de imagens de satélite de alta resolução. Para isso, foram utilizadas imagens dos satélites LANDSAT 5 e 8 – sensor TM para se fazer a estimativa da cobertura via FVC e OLI para a fusão entre as imagens, utilizando as bandas correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo respectivamente com 30m de resolução, e utilizando a banda pancromática do satélite WPM/CBERS 04 A com 2m de resolução espacial. O produto gerado dessa fusão foram imagens com 2m de resolução espacial que ofereceram dados mais precisos e nítidos a respeito das áreas analisadas. A partir dessas imagens foi possível gerar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI afim de fazer a análise temporal da restauração das APPs ao longo dos anos de 2005, 2010, 2015 e 2020. Além disso, foi feita a classificação supervisionada a fim de comparar as áreas vegetadas das não vegetadas a partir do NDVI. O estudo foi realizado em diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul onde estão localizados os hortos florestais da empresa. Os hortos definidos para a avaliação submetidos às técnicas de restauração foram: Águas Claras, Arroio da Divisa, Forninho e São Vicente. Assim, as imagens obtidas gratuitamente, foram pré processadas no software QGIS, reprojatadas para o hemisfério sul, todas as imagens do LANDSAT se referem à órbita-ponto 222-81 e datadas em 02/10/2005, 18/10/2010, 20/10/2015 e 10/10/2020, sendo elas level2 collections2 com correção atmosférica. Optou-se por utilizar imagens referentes a mesma época do ano, ou seja, o mês de outubro para não haver divergência nas análises. Como resultado, após o processamento das imagens, os valores do NDVI mostraram um gradativo aumento da área coberta com vegetação arbustivo-arbórea em todos os hortos analisados, indicando que as técnicas empregadas foram assertivas. Bem como a classificação supervisionada que teve como objetivo comparar os valores gerados do NDVI com a áreas vegetadas e não vegetadas da classificação. O fator de cobertura vegetal (FVC) mostrou linearidade em todos valores gerados, deixando a prova que a metodologia aplicada foi eficiente e que os resultados gerados até aqui correspondem com a realidade vista em campo.

PALAVRAS-CHAVE: Tm/Landsat5. Wpm/Cbers4a. Image Fusion. Forest Garden.

ABSTRACT

PINTO, Mara Gabriele Fonseca, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2023. **Temporal analysis of the restoration of permanent preservation areas of forest gardens in Rio Grande do Sul through satellite images.** Adviser: Sebastião Venâncio Martins. Co-adviser: JoséMarinaldo Gleriani.

This study aimed to evaluate the forest restoration in the Permanent Preservation Areas of the forest gardens of the company CMPC in Rio Grande do Sul - RS through high resolution satellite images. For this, images from the LANDSAT 5 and 8 satellites – TM sensor were used to estimate the coverage via FVC and OLI for the fusion between the images, using the bands corresponding to red and near infrared respectively with 30m resolution, and using the panchromatic band of the WPM/CBERS 04 A satellite with 2m spatial resolution. The product generated from this merger were images with 2m of spatial resolution that offered more precise and clear data regarding the analyzed areas. From these images, it was possible to generate the Normalized Difference Vegetation Index – NDVI in order to carry out a temporal analysis of the restoration of APPs over the years 2005, 2010, 2015 and 2020. In addition, a supervised classification was carried out in order to compare the vegetated and non-vegetated areas from the NDVI. The study was carried out in different regions of the state of Rio Grande do Sul where the company's forest gardens are located. The gardens defined for evaluation submitted to restoration techniques were: Águas Claras, Arroio da Divisa, Forninho and São Vicente. Thus, the images obtained free of charge were pre-processed in the QGIS software, reprojected for the southern hemisphere, all LANDSAT images refer to orbit-point 222-81 and dated 02/10/2005, 18/10/2010, 20 /10/2015 and 10/10/2020, being level2 collections2 with atmospheric correction. It was decided to use images referring to the same time of the year, that is, the month of October, in order to avoid divergence in the analyses. As a result, after processing the images, the NDVI values showed a gradual increase in the area covered with shrub-tree vegetation in all the gardens analyzed, indicating that the techniques employed were assertive. As well as the supervised classification, which aimed to compare the values generated from the NDVI with the vegetated and non-vegetated areas of the classification. The vegetation cover factor (FVC) showed linearity in all generated values, proving that the applied methodology was efficient and that the results generated so far correspond with the reality seen in the field.

KEYWORDS: Tm/Landsat5. Wpm/Cbers4a. Image Fusion. Forest Garden

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Localização da APP no Horto Águas Claras, Rio Pardo, RS.	22
Figura 2- Experimento núcleos com folhas de celulose	23
Figura 3- NDVI da APP Águas Claras – 2005	26
Figura 4- NDVI da APP Águas Claras – 2010.....	27
Figura 5- NDVI da APP Águas Claras – 2015.....	28
Figura 6- NDVI da APP Águas Claras – 2020.....	29
Figura 7- Classificação Supervisionada na APP Águas Claras – 2005.....	31
Figura 8- Classificação Supervisionada na APP Águas Claras – 2010.....	32
Figura 9- Classificação Supervisionada na APP Águas Claras – 2015.....	33
Figura 10- Classificação Supervisionada na APP Águas Claras – 2020.....	34
Figura 12- Localização da APP do horto Arroio da Divisa, Caçapava do Sul, RS.....	37
Figura 13- NDVI Arroio da Divisa – 2005	40
Figura 14- NDVI Arroio da Divisa – 2010	41
Figura 15- NDVI Arroio da Divisa – 2015	42
Figura 16- NDVI Arroio da Divisa – 2020	43
Figura 17- Classificação Supervisionada na APP Arroio da Divisa – 2005	44
Figura 18- Classificação Supervisionada na APP Arroio da Divisa – 2010	45
Figura 19- Classificação Supervisionada na APP Arroio da Divisa – 2015	46
Figura 20- Classificação Supervisionada na APP Arroio da Divisa – 2020	47
Figura 21- Localização da Área de Preservação Permanente Forninho, Caçapava do Sul, RS.	49
Figura 22- Implantação de núcleos de Araucaria angustifolia e outras espécies nativas – Horto Forninho, Caçapava do Sul, RS.....	50
Figura 23- Araucárias desenvolvendo nos núcleos da APP no Horto Forninho, Caçapava do Sul, RS.....	51
Figura 24- NDVI Horto Forninho – 2005	54
Figura 25- NDVI Horto Forninho – 2010	55

Figura 26- NDVI Horto Forninho – 2015	56
Figura 27- NDVI Horto Forninho – 2020	57
Figura 28- Classificação Supervisionada na APP Forninho – 2005.....	58
Figura 29- Classificação Supervisionada na APP Horto Forninho – 2010	59
Figura 30- Classificação Supervisionada na APP Horto Forninho – 2015	60
Figura 31- Classificação Supervisionada na APP Horto Forninho – 2020	61
Figura 32- Localização da Área de Preservação Permanente São Vicente, Minas do Leão, RS	63
Figura 33- APP do Horto São Vicente, Minas do Leão, RS, com ocupação total pelos núcleos e regeneração natural.	64
Figura 34- Detalhes dos núcleos de mudas cercados	66
Figura 35- Avanço da cobertura florestal - indivíduos de <i>Enterolobium contortisiliquum</i>	67
Figura 36- Imagem aérea de parte da APP do Horto São Vicente, obtida com drone em 2023.	68
Figura 37- NDVI Horto São Vicente – 2005.....	69
Figura 38- NDVI Horto São Vicente – 2010.....	70
Figura 39- NDVI Horto São Vicente – 2015.....	71
Figura 40- NDVI Horto São Vicente – 2020.....	72
Figura 41- Classificação Supervisionada na APP do Horto São Vicente– 2005.....	73
Figura 42- Classificação Supervisionada na APP do Horto São Vicente – 2010.....	74
Figura 43- Classificação Supervisionada na APP do Horto São Vicente– 2015.....	75
Figura 44- Classificação Supervisionada na APP do Horto São Vicente – 2020.....	76
Quadro 1- Variação entre classes no Horto Águas Claras.....	24
Quadro 2- Características das Classes Mapeadas.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tabela 1- FVC Águas Claras.....	35
Tabela 2- FVC Arroio da Divisa	48
Tabela 3- FVC Forninho.....	62
Tabela 4- FVC São Vicente.....	77

LISTA DE ABREVIATUREAS

AGEFLOR - Agência Gaúcha de Empresas Florestais

APP - Área de Preservação Permanente

FVC - Fração de Cobertura Vegetal

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LARF - laboratório de Restauração Florestal

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

RL – Reserva Legal

SCP – Semi-automatic Classification Plugin

SIF – Sociedade de Investigações Florestais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. MATERIAL E MÉTODOS	19
2.1. Processamento Digital de Imagens	19
2.2. Fusão de Imagens	19
2.3. Classificação Supervisionada	20
2.4. Fator de Cobertura Vegetal.....	20
3. ÁREA DE ESTUDO 1- HORTO ÁGUAS CLARAS	22
3.1. Resultados e discussões	24
3.1.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	24
3.1.2. Classificação supervisionada	30
3.1.3. Fator de cobertura vegetal	35
3.2. Conclusões.....	35
4. ÁREA DE ESTUDO 2- HORTO ARROIO DA DIVISA	37
4.1. Resultados e discussões	38
4.1.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI.....	38
4.1.2. Classificação Supervisionada	44
4.1.3. Fator de Cobertura Vegetal.....	48
4.1.4. Conclusões.....	48
5. ÁREA DE ESTUDO 3- HORTO FLORESTAL FORNINHO	49
5.1. Resultados e discussões	51
5.1.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	52
5.1.2. Classificação Supervisionada do Horto Florestal Forninho	58
5.1.3. Fator de Cobertura Vegetal.....	62
5.1.4. Conclusões.....	62
6. ÁREA DE ESTUDO 4- Horto Florestal São Vicente	63
6.1. Resultados e discussões	64

6.1.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	64
6.1.2. Classificação Supervisionada	73
6.1.3.Fator de Cobertura Vegetal.....	77
6.1.4. Conclusões.....	77
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
REFERÊNCIAS	80

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a história do homem com a natureza passou e ainda passa por inúmeras tribulações, onde os conflitos de interesses humanos predominam e aceleram as mudanças climáticas no mundo. Isso porque, o homem ao se descobrir como indivíduo pensante e privilegiado em relação aos demais seres vivos, iniciou a mecanização no planeta de acordo com seus interesses. Dessa forma, a ação antrópica tem efeitos continuados e cumulativos, uma vez que o homem passa a se tornar ator principal nas mudanças ocorridas no meio natural (SANTOS, 1992). Contudo, é necessário ressaltar que ao longo da história da humanidade inúmeros benefícios para as populações foram obtidos através do aprimoramento das técnicas de agricultura e da produção de bens de consumo, sendo a palavra de ordem atualmente o desenvolvimento sustentável.

Prova deste processo são as imensas áreas e ecossistemas degradados em todo mundo, o que não é diferente no Brasil onde este problema tem evoluído em todos os biomas desde o início da colonização. Em meio a estes impactos ambientais, há de se pensar em formas de desacelerar, reverter e monitorar este problema. De encontro a isso, os métodos de restauração buscam conservar ao máximo a biodiversidade, conciliando com as necessidades do homem, ou seja, busca-se encontrar um equilíbrio entre sociedade e natureza, gerando benefícios para ambos de acordo com os recursos disponíveis (ENGEL, 2007; MARTINS et al., 2014a; MARTINS, 2015).

A definição de restauração, de maneira geral, remete à restituição de um ecossistema degradado a uma condição mais próxima do original (BRASIL, 2000). Para que esse processo seja facilitado, é essencial que se conheça o histórico da área, bem como a paisagem e os remanescentes ao redor (BAUCHSPIESS, 2015).

O bioma Pampa é um dos *hotspots* de biodiversidade do Brasil, de forma que, nota-se a importância de se preservar esse ecossistema, bem como aplicar técnicas para a restauração de suas áreas degradadas (IBGE, 2004). O bioma Pampa ocorre somente no estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2004) e apresenta cerca de 41% da sua cobertura vegetal original (HASENACK, et al, 2007).

Este bioma é parte importante da economia, cultura e modo de vida do estado e de sua população (BOLDRINI et al., 2010). Como em todos os biomas do Brasil, o Pampa gaúcho passou por intensas modificações em suas características primitivas desde a época da colonização até os dias atuais, perdendo grande parte de sua identidade das espécies de fauna e flora (MATEI; FILIPPI, 2013). Além disso, existem poucas pesquisas relacionadas à fauna e

flora do pampa, fato este que faz o bioma ser potencialmente importante para a conservação da biodiversidade brasileira (BINKOWSKI, 2009). Com o passar dos anos, diferentes culturas passaram pelo território gaúcho, como a pecuária, a introdução da soja nos anos 60 e também monoculturas de trigo (VERDUM, 2006). Desde 2004, parte do estado tem sido priorizada a investimentos do ramo florestal (MATEI; FILIPPI, 2013).

Segundo HASENACK et al. (2007) cerca de 51% da vegetação campestre do estado já foi descaracterizada, devido a ação humana desenfreada e às atividades econômicas. Deve-se destacar que, o território gaúcho não é homogêneo, ou seja, a vegetação, o solo, a geologia, geomorfologia e os aspectos hidrológicos tornam cada área com características bem individuais (BOLDRINI, et al., 2010). Devido ao que foi apresentado até aqui, observa-se a importância em se ter Unidades de Conservação ao longo do estado do Rio Grande do Sul, buscando assim, preservar e restaurar um bioma tão rico e com enorme potencial como é o Pampa.

Cada vez mais as empresas ligadas ao meio ambiental vêm recorrendo a técnicas que visam a recuperação de áreas degradadas, devido a necessidade de manter as características ambientais das áreas de interesse e por isso a demanda em se recuperar e preservar as Áreas de Preservação Permanentes (APPs). Diante disso, de acordo com a Lei n. 12.651/2012, Área de Preservação Permanente (BRASIL, 2012):

Uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

De acordo com a Agência Gaúcha de Empresas Florestais, aproximadamente 748 mil hectares são destinados às áreas de preservação no Rio Grande do Sul, sendo 286 mil de APPs (AGEFLOR, 2017). Para as empresas é vantajoso o cumprimento da lei, uma vez que essas passam por rigorosas fiscalizações e buscam manter selos de certificação, que facilitam o acesso a mercados estrangeiros, bem como agregar um marketing ambiental positivo (BASSO et al., 2011).

As Áreas de Preservação Permanente (APP) da CMPC ocupam uma área total de 2,4mil hectares em todo Estado, toda essa área, incluindo as de Reserva Legal (RL) possuem monitoramento e compreendem a caracterização das áreas a recuperar com relação aos fatores de degradação para definição de uma intervenção mais apropriada (CMPC, 2021).

Pode-se dizer que a função das APPs ultrapassa a questão ambiental, e desempenha papel importante no modo de vida, cultura, economia e manutenção social de um determinado

local (MMA, 2011). Diversos estudos mostram como a preservação e manutenção dessas APPs auxiliam na conservação da biodiversidade, já que, são ambientes com elevada riqueza florística (RODRIGUES & NAVE 2001; SOARES & FERRER 2009; VENZKE 2012) e que abrigam a fauna local (JACOB, 2003).

Dessa forma e sabendo deste importante papel desempenhado pelas APPs surge a necessidade de monitorar a restauração, desses ecossistemas e, para isso, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) surgem como ferramentas auxiliadoras nessa atividade, uma vez que permitem uma rápida análise, menos onerosa e mais confiável por meio de técnicas especializadas (FOCHI et al., 2015).

Além da restauração em si, é necessário também que haja o monitoramento dessas áreas a fim de conhecer no longo prazo como as técnicas e as espécies se comportaram em campo, tendo em vista o ambiente natural ao qual foram expostas. Esse monitoramento deve fornecer informações relevantes a respeito da área restaurada, bem como avaliar se os objetivos foram atingidos. Dentre as técnicas de monitoramento de áreas degradadas existentes na bibliografia está o monitoramento remoto, no qual é possível analisar a condição da vegetação através de imagens de satélite.

O uso do sensoriamento remoto e de imagens de satélites aplicados no campo da restauração florestal permite monitorar a cobertura vegetal e o uso do solo (AZEVEDO, 2017). De forma geral, os estudos que relacionam restauração e sensoriamento remoto indicam resultados satisfatórios para o treinamento das amostras analisadas, considerando as características espectrais dos alvos que foram selecionados (BALIEIRO, et al., 2014). Uma das formas de quantificar as respostas espectrais dos alvos, neste caso da vegetação analisada, é pelo NDVI - Normalized Difference Vegetation Index - ou Índice de Vegetação por diferença normalizada.

O uso dos SIGs – Sensoriamento Remoto - na análise da dinâmica da vegetação é baseado nas propriedades espectrais da vegetação, uma vez que absorve uma importante porcentagem da energia eletromagnética na região do visível e reflete uma alta porcentagem na região do infravermelho próximo (KNIPLING, 1970). Os resultados obtidos através do NDVI, informam como o vigor vegetativo está relacionado à composição química e da estrutura interna das folhas que os compõem (OLIVEIRA, 2007, p, 1).

Para além do NDVI, existem outros recursos dentro do Sensoriamento Remoto capazes de corroborar com o entendimento e com a classificação em questão, dentre eles, há o método de classificação (supervisionada) de Máxima Verossimilhança, que é um algoritmo que necessita de amostras de cada classe pré-definida e pondera os pixels semelhantes (MENESES,

2012). A classificação dos alvos de interesse nessa técnica não é uma questão simples, já que vários fatores precisam ser considerados para que não interfiram de forma errônea neste processo, dessa forma, a classificação de imagens visa ser um processo estatístico que tenta ao máximo aproximar o digital do real (BARBOSA VALE et al., 2018).

A Fração de Cobertura Vegetal (FVC) mostra-se como um importante e eficiente parâmetro de vegetação comumente utilizado no Sensoriamento Remoto usando relações empíricas com os índices de vegetação, inclusive com o NDVI (JIMENÉZ-MUÑOZ, 2009). Os resultados do cálculo da FVC complementam e afirmam as informações adquiridas pelos valores de NDVI, sendo desta forma, é uma ferramenta essencial neste estudo.

Além disso, o Fator de Cobertura Vegetal (FVC) é importante ao validar evapotranspiração, interceptação de chuva, entre outros. Em geral, os resultados do FVC associado ao NDVI produzem resultados mais satisfatórios e reais com relações lineares e não lineares (CARLSON;RIPLEY 1997).

A fim de minimizar os efeitos da não linearidade, os produtos do FVC que tem como base dados de satélites são derivados através de combinações lineares e normalizadas de NDVI alto (com presença de vegetação) e baixo (solo exposto) dentro da área analisada, onde na fórmula, NIR corresponde à banda do infravermelho próximo e RED a banda do vermelho. Calculando assim, o NDVI correspondente ao solo nu para a vegetação densa para o valor de FVC (Zhang et al., 2013; Jia et al., 2015; Wen et al., 2010; Yue et al., 2012; Xu et al., 2018; Chen et al., 2019):

$$FVC = \frac{NDVI_{max}}{NDVI_{min}}$$

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Neste sentido, o objetivo deste estudo foi realizar um monitoramento temporal através de imagens de satélites, utilizando recursos do Sensoriamento Remoto como NDVI, Classificação Supervisionada e FVC, das APPs em processo de restauração de hortos florestais da empresa CMPC Celulose Riograndense no estado do Rio Grande do Sul. Para isso, foram realizados estudos em quatro hortos da empresa, que foram divididos e apresentados em quatro capítulos, cada capítulo traz um horto diferente, utilizando a mesma metodologia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Processamento Digital de Imagens

Para esse estudo foram adquiridas imagens dos sensores TM e OLI level 2 collection 2 dos satélites LandSat e WPM do CBERS 04A, disponibilizadas nos sites da USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) e INPE (<http://inpe.br/>) respectivamente. Foram selecionadas imagens com condições meteorológicas semelhantes, procurando uma melhor qualidade das mesmas e datas próximas. Todo processamento do trabalho foi realizado no software QGIS. As imagens foram georreferenciadas na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SIRGAS2000, Zona 22 Sul, tendo sido adquiridas para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2020 procurando, dessa forma, fazer uma análise temporal estabelecendo relações entre o avanço da vegetação nas APP's e a evolução temporal do NDVI, bem como do FVC.

Utilizou-se imagens do satélite LandSat 5 - TM (2005 e 2010) referentes à órbita-ponto 222-81 e datadas em 02/10/2005 e 18/10/2010. Para 2015 utilizou a imagem do OLI/LandSat8 com a mesma órbita/ponto que as anteriores e datada em 20/10/2015. Por fim, em 2020 utilizou-se a imagem do LandSat 8 referente à órbita-ponto 222-81 datada em 10/10/2020. Além disso, para que fosse possível realizar a fusão das imagens, foi utilizado a banda PAN do sensor CBERS 4^a A com 2m de resolução espacial.

2.2. Fusão de Imagens

Atualmente existem várias técnicas de fusão de imagens que auxiliam na melhoria da resolução e entendimento das imagens de satélite. Para Fonseca (2000) essas técnicas consistem em integrar uma banda com resolução melhor (pancromática), com outras bandas de menor resolução. Para a realização deste trabalho, a técnica de fusão utilizada foi a de RCS que é muito vantajosa no que diz respeito a quantidade de bandas que podem ser utilizadas no processamento.

Inicialmente, usa-se a banda pancromática como simuladora a partir das bandas multiespectrais, as quais se deseja melhorar a resolução. Após a simulação e criação de um arquivo do tipo XS, a transformação de RCS é aplicada à banda PAN simulada e às bandas multiespectrais, e a pancromática simulada é empregada como a primeira banda. Essa nova imagem com boa resolução espacial servirá para que as análises de interesse sejam feitas, obtendo melhores e mais confiáveis resultados.

2.3. Classificação Supervisionada

A classificação supervisionada vem de encontro com os resultados gerados pelo cálculo do NDVI, já que nesse método, são feitos treinamentos de pontos de interesse da área analisada. Para fazer a classificação supervisionada, foi utilizada a ferramenta Semi-automatic Classification Plugin – SCP, que realiza a classificação supervisionada e semi-supervisionada a partir de amostras de assinaturas espectrais, chamadas ROI e álgebra de mapas. Neste caso, foram identificadas áreas cobertas por vegetação e áreas com solo exposto, sendo assim, os resultados gerados tendem a ser semelhantes com os resultados do NDVI, uma vez que, no NDVI são identificadas essas mesmas áreas.

Dessa forma, entende-se que com a classificação supervisionada, há o aumento da acurácia de classificações automáticas em monitoramentos de restauração florestal. Deste modo, para esta etapa do trabalho foram utilizadas as mesmas cenas descritas anteriormente, para obter resultados melhores e mais semelhantes.

Para este estudo foram realizadas classificações supervisionadas com o algoritmo paramétrico Máxima Verossimilhança - MaxVer, um dos mais usados no sensoriamento remoto (SILVEIRA, et al., 2020). A análise foi feita com base em 50 polígonos distribuídos aleatoriamente na área de estudo e basicamente essas amostras abordaram áreas cobertas ou não por vegetação. Além disso, as imagens usadas para fazer a classificação também foram com alta resolução – 2 metros – e utilizando a técnica de fusão, e foram as mesmas usadas anteriormente, mudando somente sua aplicabilidade.

2.4. Fator de Cobertura Vegetal

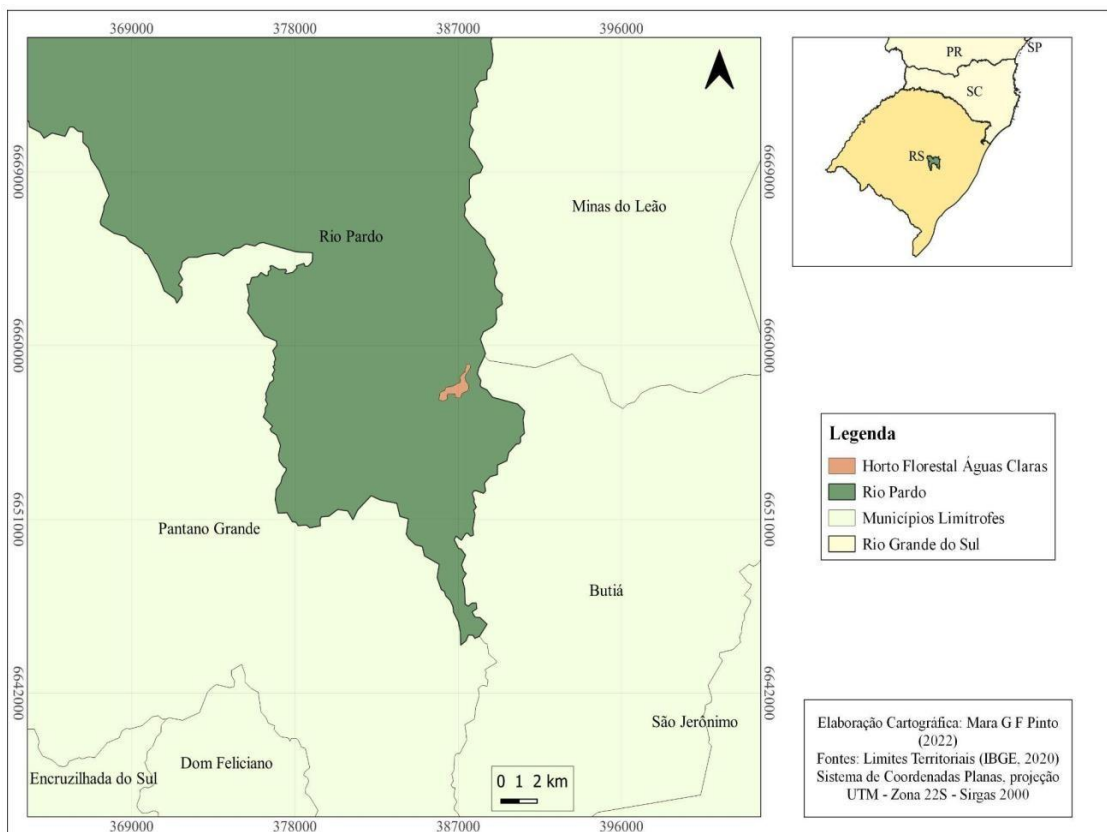
Como já mencionado, o Fator de Cobertura Vegetal é uma importante variável do ecossistema que, dentre outras funcionalidades, avalia os parâmetros de transferência de energia eletromagnética, essencial para o entendimento de questões ligadas ao sensoriamento remoto e aos índices de vegetação. Dessa forma, justifica-se o uso do FVC, uma vez que as imagens de alta resolução são recentes (1999 Ikonos) e, dados retrospectivos (2005) livre de nuvens, como utilizados nesse trabalho, são raros de encontrar para fazer a classificação - vegetação e não vegetação via MaxVer. Então, para estimar o quanto a vegetação cobria o solo é feito via MODELO, no caso o FCV, o qual é uma estimativa via NDVI, no qual, para o NDVI max de um certo local assume-se $FCV=1$. Assim, mesmo com um dados de resolução moderada (30m), é possível inferir o quanto de vegetação existia na área.

Alguns métodos, visam minimizar os efeitos não lineares, por isso existem vários estudos que validam a linearidade da equação do NDVI, resultado assim em melhorias na relação dos dois fatores em questão. Portanto, a fim de estabelecer uma relação linear neste estudo, optou-se pelo escalonamento e visualização das áreas de solo exposto e vegetação que através de combinações lineares irão expor os valores do NDVI correspondentes ao que se pretende analisar, ou seja, ao avanço da restauração florestal da APP do horto Águas Claras e demais hortos.

3. ÁREA DE ESTUDO 1- HORTO ÁGUAS CLARAS

O estudo foi desenvolvido através de um convênio entre a empresa CMPC Celulose Riograndense e o Laboratório de Restauração Florestal da Universidade Federal de Viçosa (LARF), através de interveniência da Sociedade de Investigações Florestais (SIF), na Área de Preservação Permanente (APP) do Horto Florestal Águas Claras, localizado no município de Rio Pardo, Rio Grande do Sul (29°59'24" S, 52°22'40" W) (Figura 1) pertencente à empresa. A área do horto florestal está inserida na região de transição entre os biomas do Pampa e Mata Atlântica. A fisionomia predominante do local é de transição, isso porque apresenta um domínio fisionômico composto de um mosaico de formação herbácea - arbustiva e florestal (CORDEIRO & HASENACK, 2009). O clima predominante é o temperado do tipo subtropical, classificado como mesotérmico úmido, e temperatura variando de 15 e 18°C, e máximas podem atingir marcas superiores a 40° C (MALUF, 2000).

Figura 1- Localização da APP no Horto Águas Claras, Rio Pardo, RS.



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, (2020).

Neste horto foram implantadas técnicas de restauração florestal a fim de recuperar a cobertura florestal da área, além de manter preservadas aquelas áreas pouco alteradas. Dentre

os tratamentos recebidos no horto, estão: **áreas sem intervenção**, que correspondem às áreas marcadas na APP para comparação futura, ou seja, deixadas para a regeneração natural; **nucleação** conforme o padrão CMPC e Laboratório de Restauração Florestal da Universidade Federal de Viçosa (LARF-UFV); **testemunha** sem corte de eucalipto nem plantio; **corte total** da faixa de eucalipto e plantio de núcleos; **plantio em núcleos** mistos de espécies de crescimento rápido (*Eucalyptus* spp., *Mimosa bimucronata*, *Acacia mearnsii*) e espécies nativas regionais, com posterior retirada dos eucaliptos e acácias ao longo do tempo. Algumas das espécies nativas plantadas foram: *Cedrella fissilis* (Cedro), *Podocarpus lambertii* (Pinheiro – Bravo) *Syagrus romanzoffiana* (Jerivá).

A nucleação é uma técnica já bastante difundida e que visa reduzir os gastos da restauração, tornando o processo mais ecológico e sustentável. Segundo Anderson (1953) a técnica de nucleação de mudas é baseada no modelo de plantio de espécies adensadas em grupos espaçados. Esses grupos formam microclimas que reduzem não somente os níveis de radiação solar, como também conservam a temperatura e a umidade do solo (MARTINS et al., 2015).

O horto Águas Claras é um dos melhores hortos da empresa em termos de experimentos e com processo de restauração avançado. O plantio neste horto teve início no final de 2020. Ainda neste horto, vários núcleos cercados receberam diferentes experimentos, incluindo a utilização da folha de celulose (Figura 2). Estes núcleos estão sendo monitorados para avaliar se as folhas de celulose foram suficientes para eliminar a competição de gramíneas com as mudas plantadas.

Figura 2- Experimento núcleos com folhas de celulose



Fonte: Foto da Autora (2021).

Além desses experimentos, existem outros com bons resultados no que se refere a cobertura do solo, como é o caso do plantio de espécies forrageiras e adubos verdes, essas

espécies possuem um ciclo curto de vida (anual) e podem servir para evitar a erosão do solo e aumentar a massa verde do local. Esse fator foi levado em consideração ao fazer a quantificação do índice vegetativo deste horto.

3.1. Resultados e discussões

3.1.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

Através da fusão foi possível obter imagens com 2 metros de resolução espacial, gerando 4 mapas temáticos de NDVI (Figuras 3 ,4, 5 e 6) possibilitando mensurar e avaliar a evolução da restauração florestal no recorte temporal estabelecido. Foram utilizadas mais técnicas de restauração no Horto Águas Claras em relação aos demais hortos da empresa, técnicas essas já mencionadas anteriormente e que tiveram bons resultados. Em uma das avaliações feitas, notou-se boa sobrevivência das mudas plantadas, bem como a altura dessas mudas, além de boa cobertura do solo após 180 dias de tratamento de restauração recebido. Isso posto e levando em consideração as técnicas de sensoriamento remoto empregadas neste trabalho, é possível observar que ocorreu um aumento do NDVI com o passar dos anos analisados, bem como a linearidade do FVC, o que implica no crescente aumento da cobertura vegetal do horto, como indica a tabela a seguir:

Quadro 1- Variação entre classes no Horto Águas Claras

	ANOS	CLASSE	VARIAÇÃO
Águas Claras	2005 e 2020	Vegetação	14,50%
		Solo exposto	2,64%
		Eucalipto	46,55%
		Água	11,88%

Fonte: Elaboração da Autora (2022)

De forma geral, em 2005, é possível notar uma “mancha” mais avermelhada na região central da APP, explicada por uma erosão que existe nesta área. Essa erosão estava aumentando com o passar dos anos e por isso foi necessário implementar técnicas para o seu controle. Este controle passou por implementar técnicas como, escarificação manual, recobrimento com resíduos, plantio de mudas, semeadura de adubos verdes, semeadura direta de espécies nativas, entre outros. Nas áreas mais planas optou-se por fazer a eliminação dos indivíduos de *Pinus*, que é considerada uma espécie invasora.

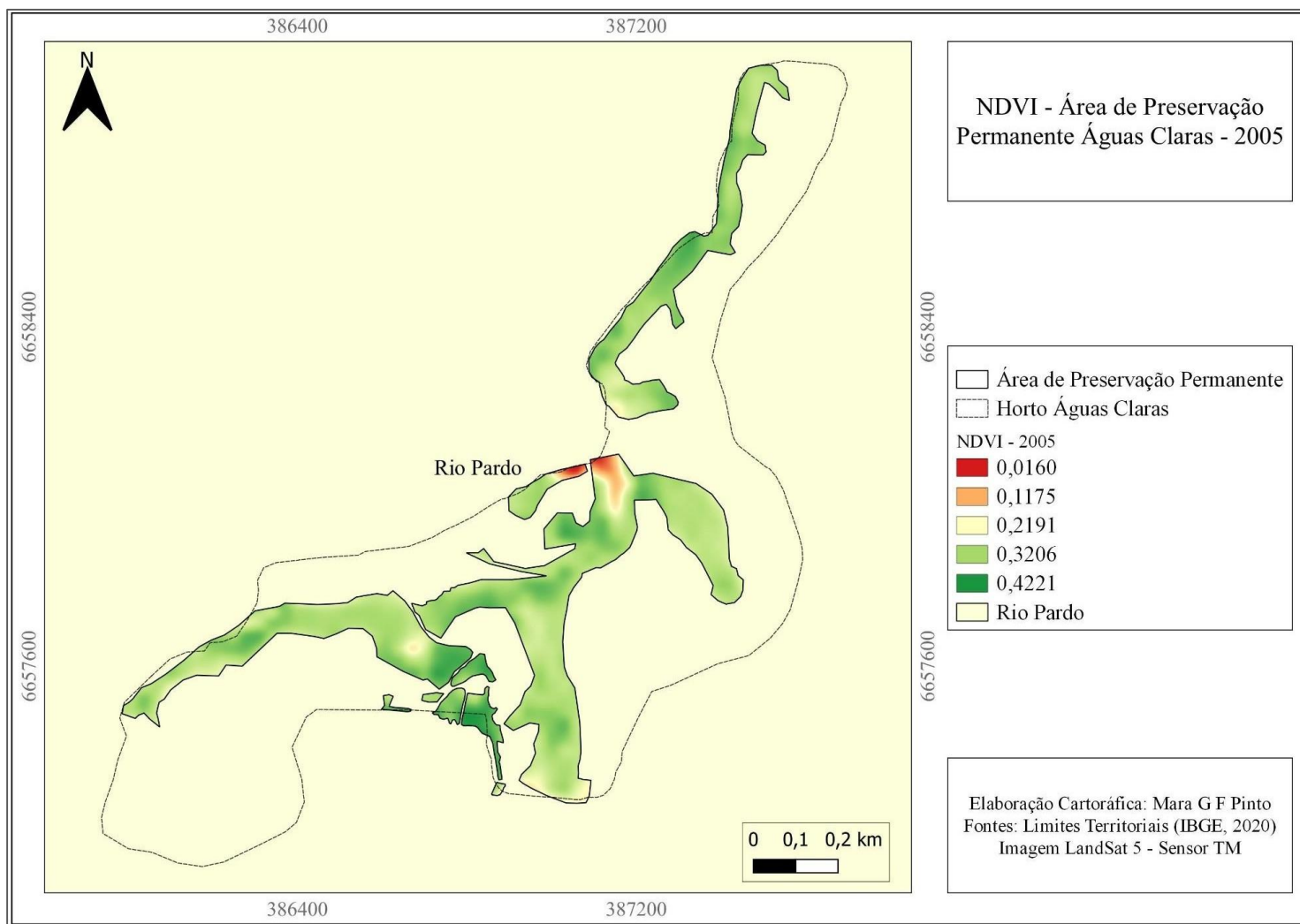
Todavia, percebe-se através da análise dos mapas que essa erosão ainda não foi completamente controlada, mesmo que em parte os números tenham melhorado, a área em questão aparece com NDVI relativamente baixo, ou seja, não há plena cobertura de vegetação, embora o processo de controle da erosão esteja avançando. As demais áreas têm uma oscilação positiva nos valores do NDVI, indicando aumento dos valores e conseqüentemente a restauração ecológica da APP.

Esses resultados indicaram concordância entre realidade e imagens remotas devido à boa resolução espacial das imagens utilizadas (2 metros), indicando boa eficiência na implementação da técnica de fusão, contribuindo para um excelente grau de acurácia, atendendo assim, às expectativas postas. Por essa perspectiva e levando em conta a variabilidade do NDVI com o passar dos anos na APP, é possível observar similaridades dos resultados obtidos entre o NDVI gerado a partir de imagens de alta resolução com as observações feitas por Tagliarini (2020) o qual utilizou do mesmo índice de vegetação na APP do rio Lavapés, situada na divisa entre o perímetro urbano e rural do município de Botucatu, em São Paulo – SP.

Na literatura existem poucos estudos que demonstram especificamente a dinâmica da restauração de APP's no Rio Grande do Sul utilizando o NDVI e a Classificação Supervisionada como forma de avaliação. No entanto, segundo Pinzon (2013) antes de receber fomentos que busquem estimular a recuperação de áreas no estado do Rio Grande do Sul, as APPs apresentavam menores concentrações de floresta e as áreas com solo exposto se referiam principalmente à locais de preparo da terra para receber plantios de trigo e também pastagem para o gado.

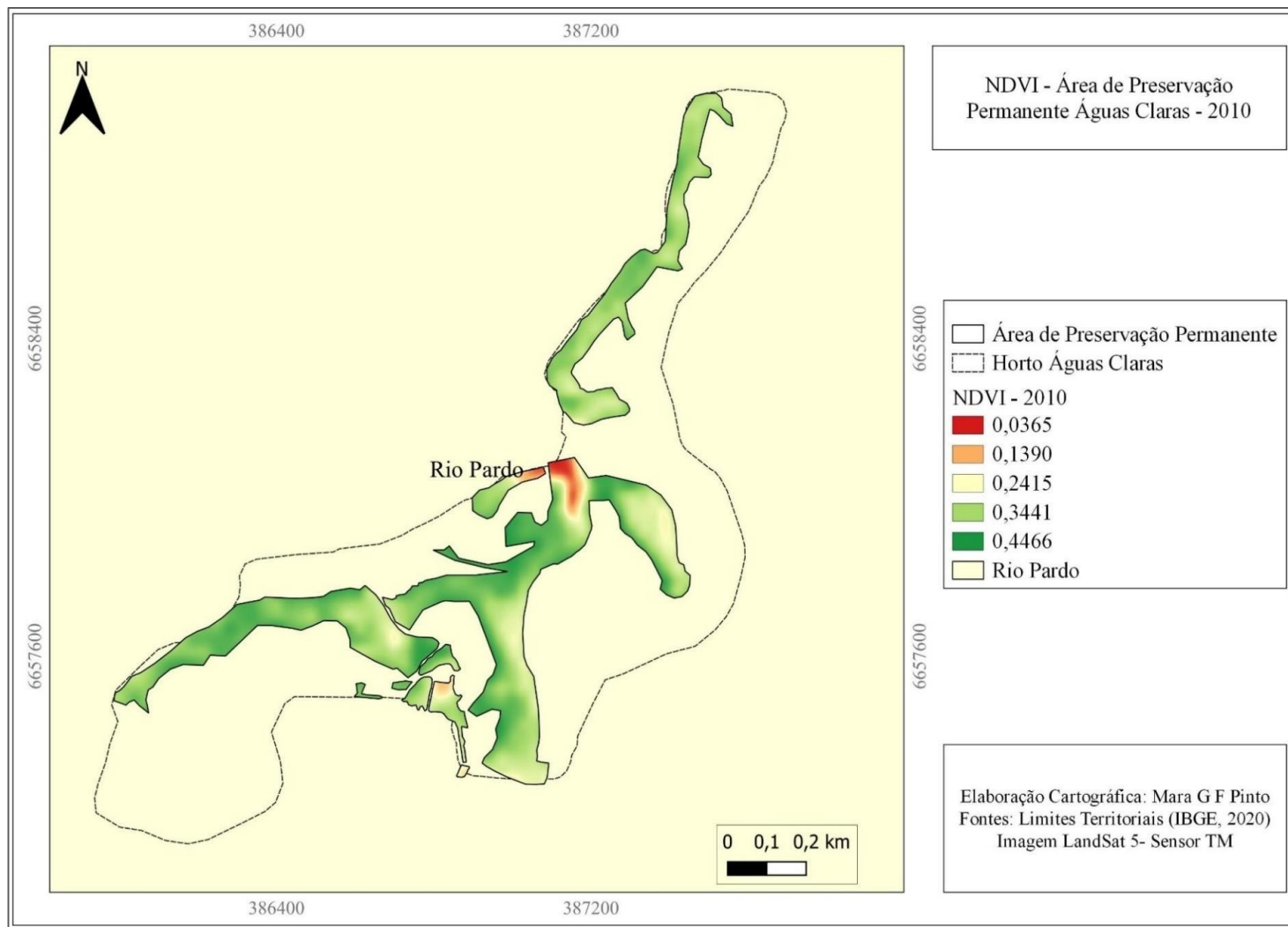
Para Belem e Rodrigues (2017) o NDVI de APPs no Rio Grande do Sul, conferem às áreas próximas de bacias hidrográficas aquelas com melhor grau de conservação, entretanto, o problema encontrado por eles ao se fazerem as análises foi que as áreas de lagoas geram confusão ao se aplicar o NDVI. Além disso, os autores explanam a dificuldade em encontrar estudos na área do Bioma Pampa o que se configurou um problema para a identificação dos valores de reflectância das vegetações do local.

Figura 3- NDVI da APP Águas Claras – 2005



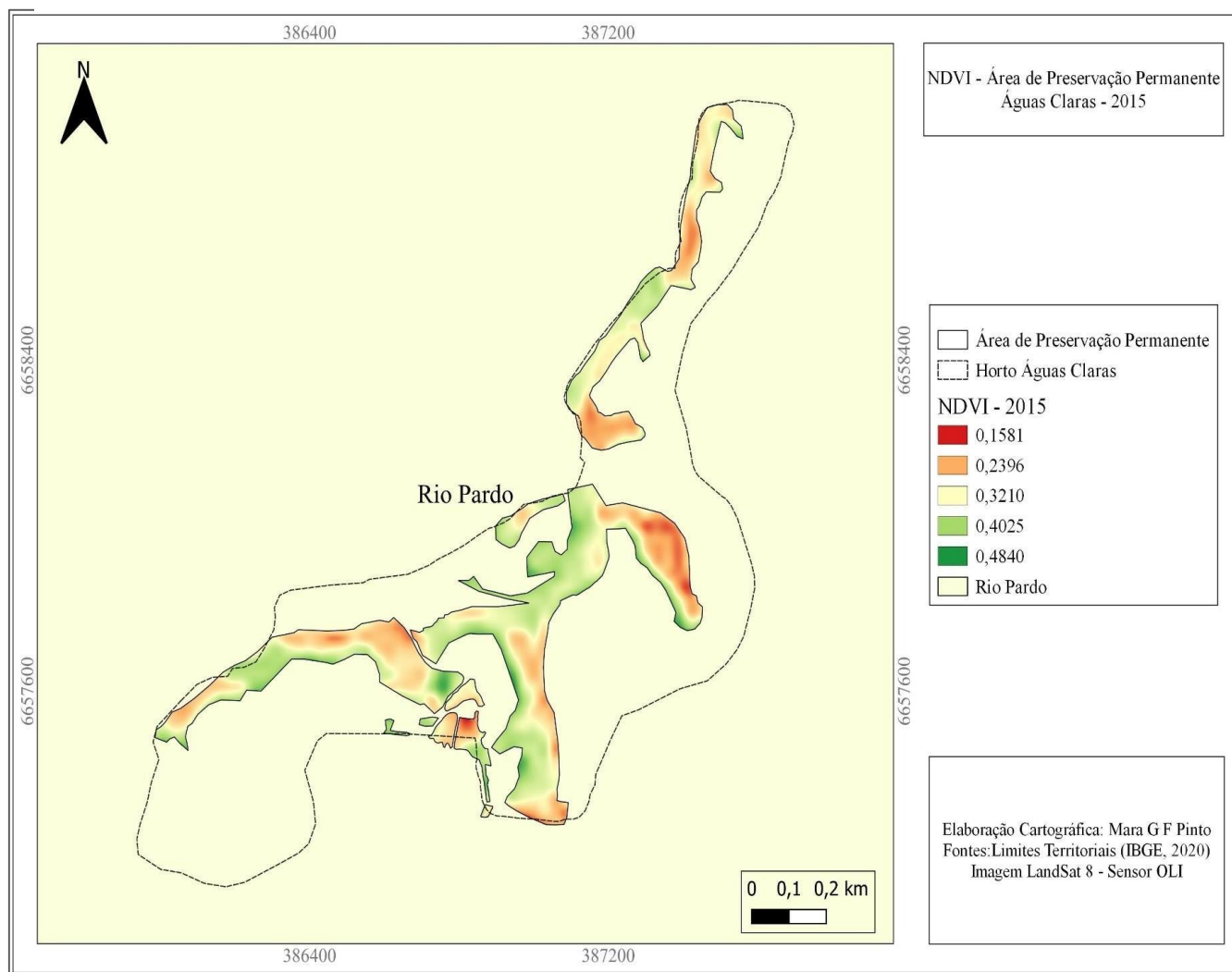
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020

Figura 4- NDVI da APP Águas Claras – 2010



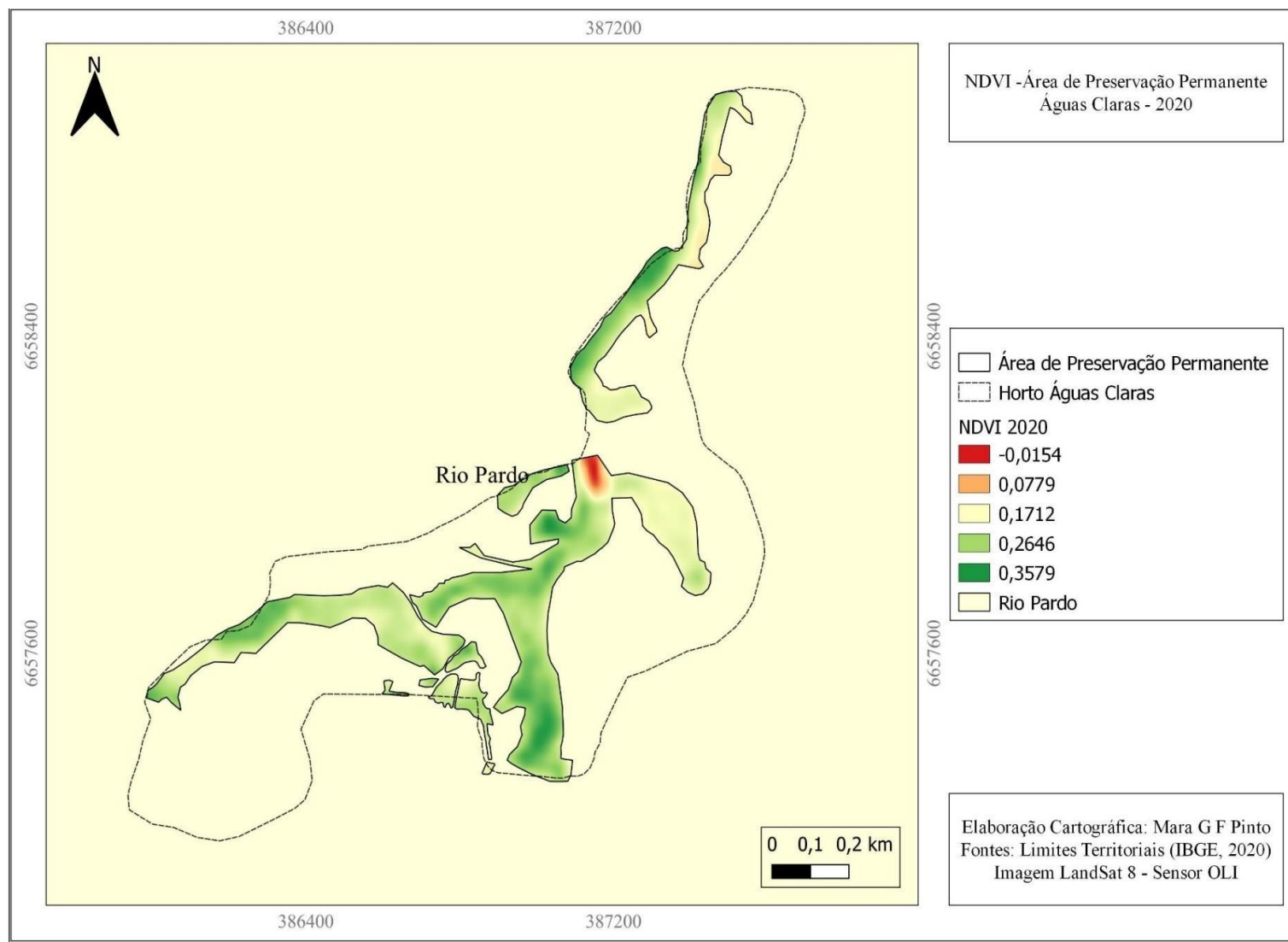
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020).

Figura 5- NDVI da APP Águas Claras – 2015



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020).

Figura 6- NDVI da APP Águas Claras – 2020



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020).

3.1.2. Classificação supervisionada

Através da técnica de classificação supervisionada de 2005 (Figura 3) observou-se o comportamento da Área de Preservação Permanente do horto Águas Claras através dos anos analisados, proporcionando deste modo melhor visualização da área, bem como a quantificação da restauração da APP. Podendo dessa forma, fazer o cruzamento de dados com a técnica de fusão de imagens, e assim, resultando de forma precisa a análise do local.

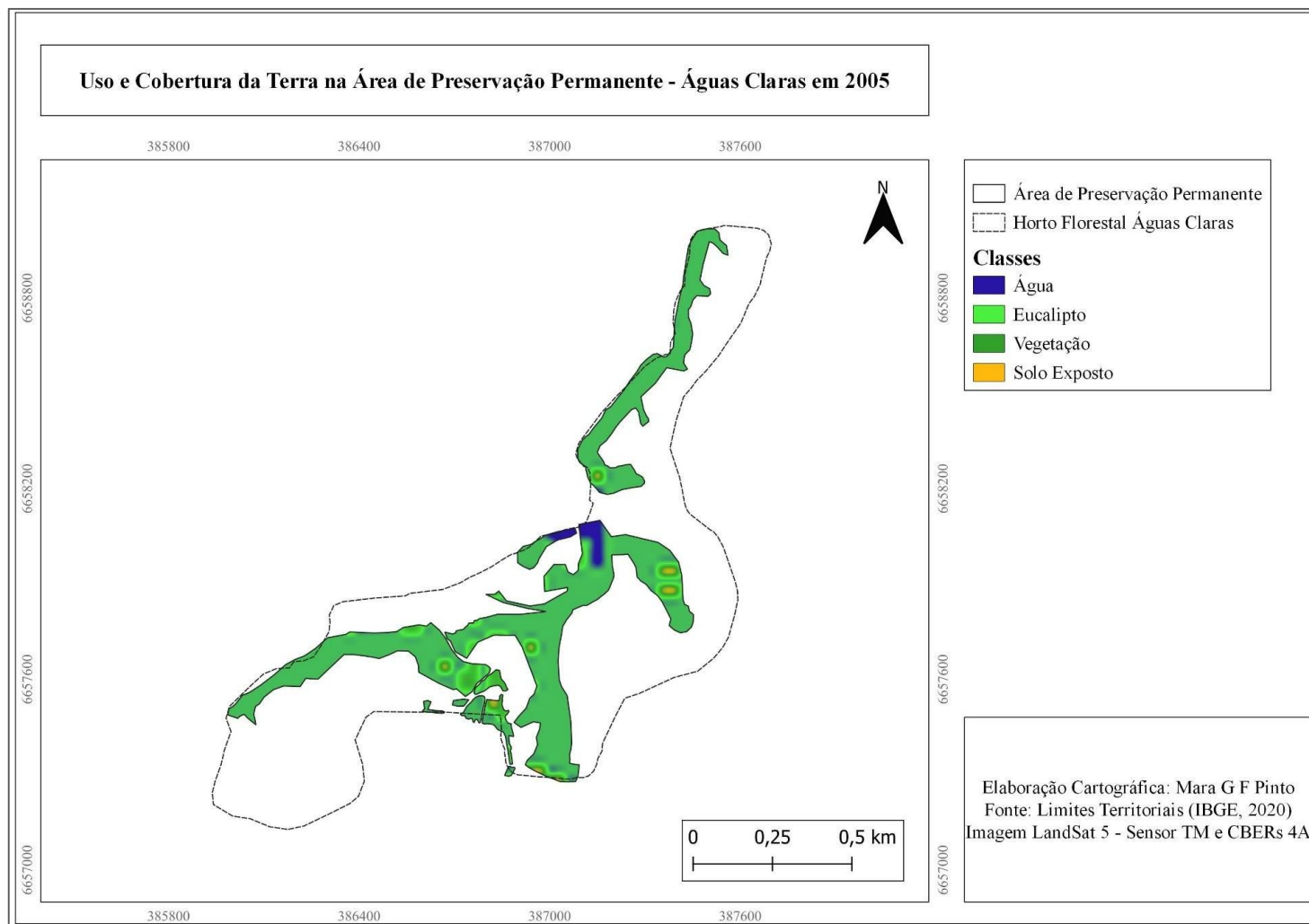
O objetivo na classificação supervisionada neste caso foi separar solo exposto de vegetação, todavia, foi necessário classificar também água e eucalipto, uma vez que na APP podem existir indivíduos remanescentes de eucalipto e corpos d'água. As características de cada classe podem ser observadas no quadro 2.

Quadro 2- Características das Classes Mapeadas

CLASSE	CARACTERISTICA
Água	Nesta classe foi incluída áreas correspondentes a corpos d'aguapresentes na APP e passíveis de observação, tais como lagos.
Solo Exposto	Nesta classe foram detectadas áreas que não apresentam cobertura vegetal, seja devido a retirada da mesma, ocorrência de erosão ou que ainda não houve desenvolvimento de vegetação.
Vegetação	Nesta classe foram incluídas áreas que estão em processo de restauração e já restauradas; arbórea – arbustiva e espécies forrageiras.
Eucalipto	Nesta classe foram incluídas áreas com presença de eucalipto, é possível confundir com as áreas de experimentos devido a cor predominante na imagem, porém, é possível perceber também que oeucalipto se comporta de forma mais homogênea, ao contrário da vegetação restaurada.

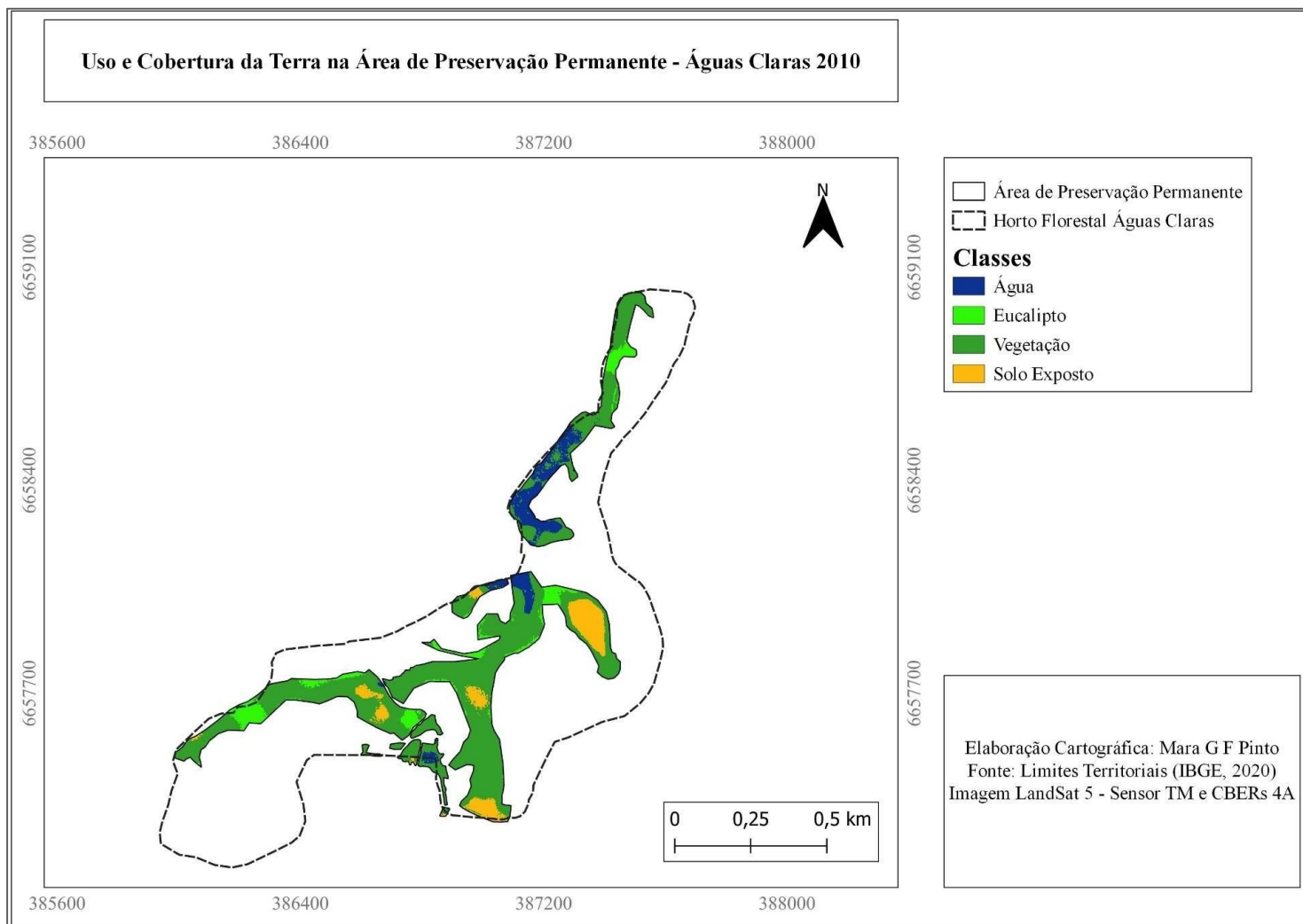
Fonte: Elaboração da autora (2022).

Figura 7- Classificação Supervisionada na APP Águas Claras – 2005



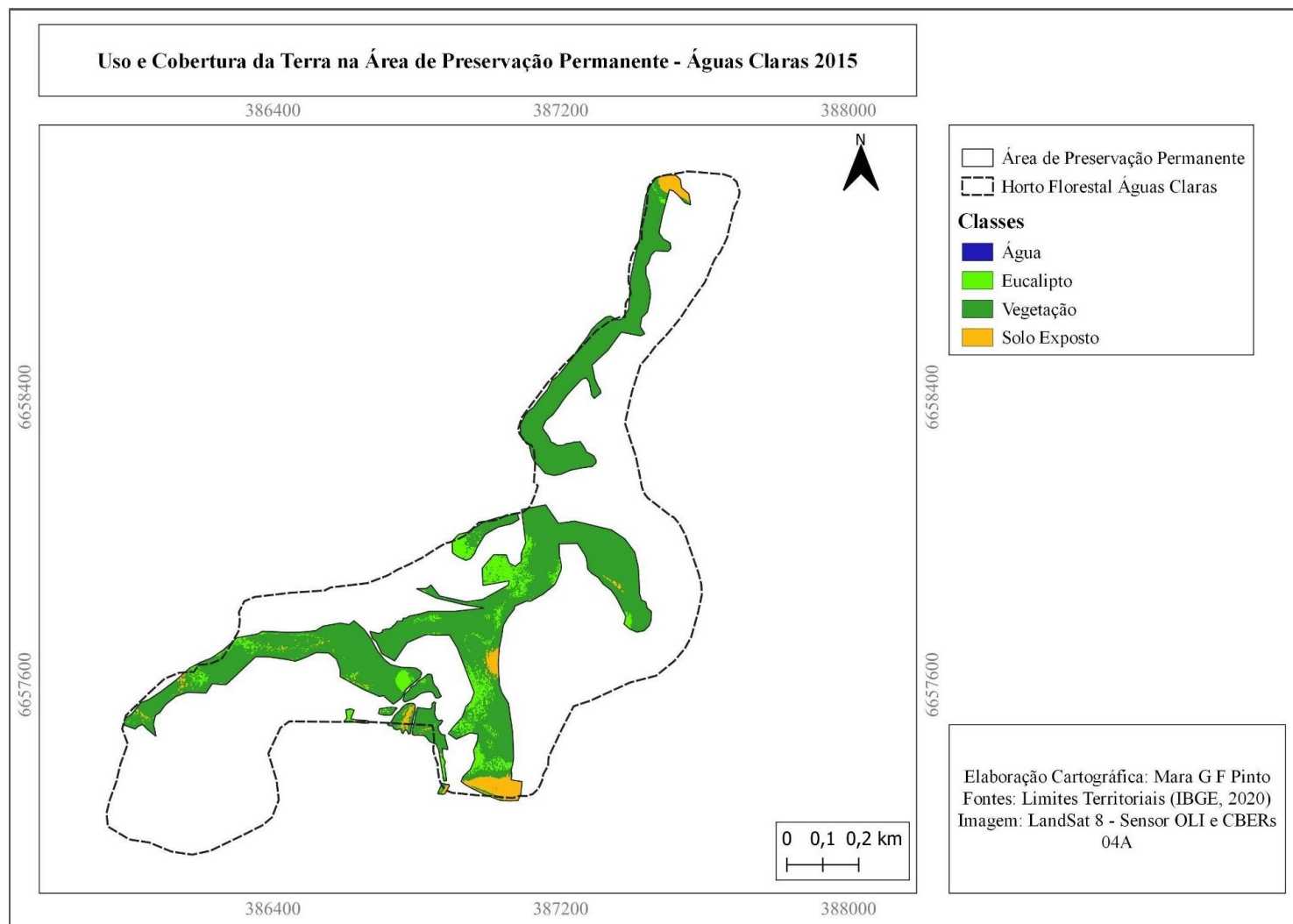
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020).

Figura 8- Classificação Supervisionada na APP Águas Claras – 2010



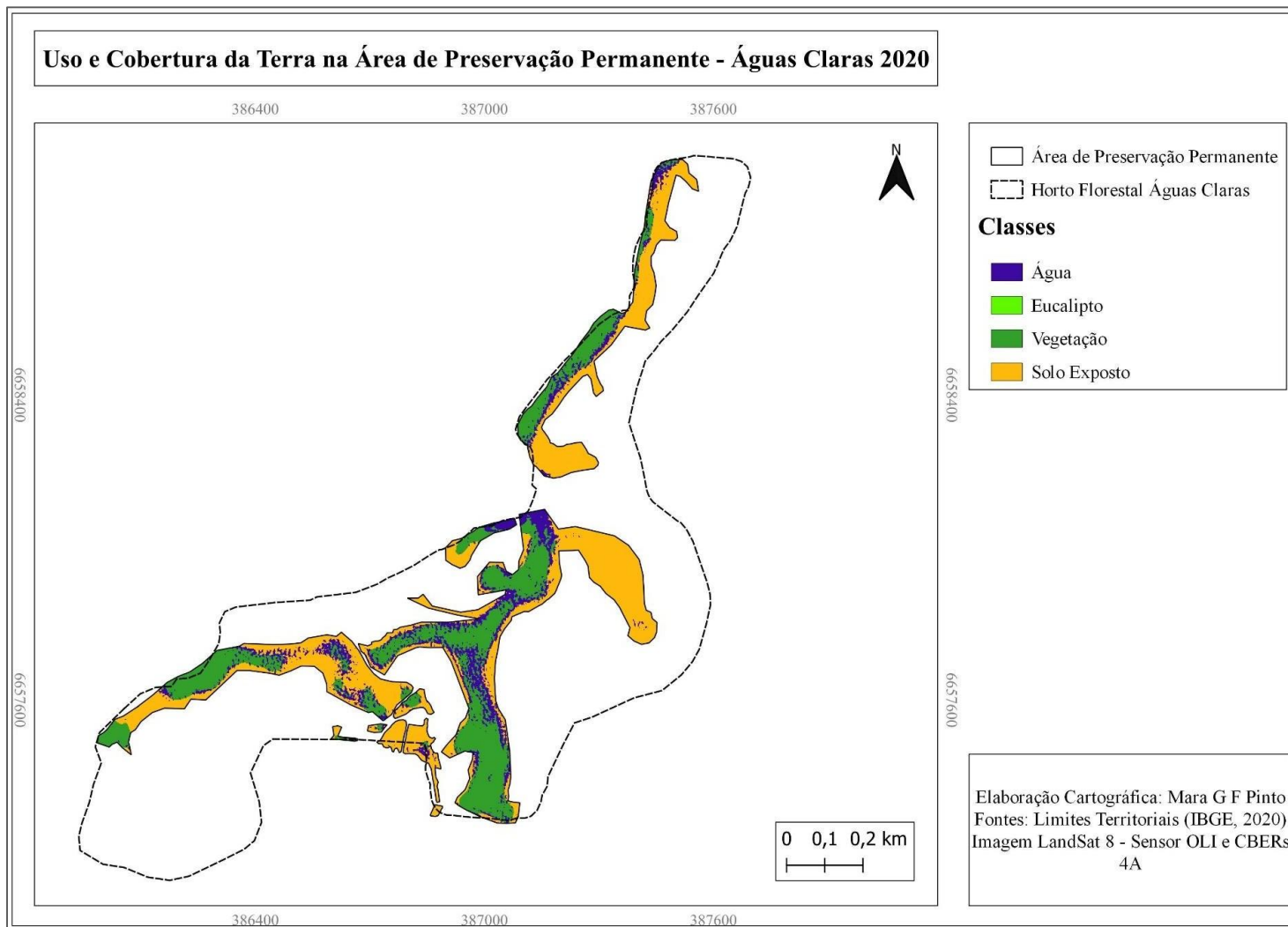
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020).

Figura 9- Classificação Supervisionada na APP Águas Claras – 2015



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020).

Figura 10- Classificação Supervisionada na APP Águas Claras – 2020



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020).

É possível observar que as classes de solo e vegetação classificadas nesta etapa são correspondentes ao NDVI anteriormente calculado. Em locais em que a vegetação foi predominante, coincide com os altos valores de NDVI e em locais em que há presença de solo exposto e corpos d'água na classificação, o NDVI apresentou valores mais baixos, próximos a -1. Após a classificação, notou-se uma “mistura” dos padrões de vegetação, aparentemente, toda vegetação presente nos limites da APP foi classificada como tal, sem fazer distinção do que seria vegetação em processo de restauração, vegetação rasteira ou eucalipto. Por fim, da mesma forma que o NDVI, a classificação nos forneceu bons resultados que refletem a realidade da situação da APP no primeiro ano de análise, salvo esta última consideração.

3.1.3. Fator de cobertura vegetal

Para o cálculo do FVC percebeu-se uma relação direta com o NDVI, além de uma linearidade dos resultados gerados a partir da equação. Dessa forma, é possível confirmar que a funcionalidade do FVC foi essencial para o entendimento das questões relacionadas com os valores do índice de vegetação, reafirmando assim, a importância de utilizar esse parâmetro como apoio para a avaliação dessas questões. Portanto, como é observado na Tabela 1, o FVC se manteve linear nos anos analisados (2005, 2010, 2015 e 2020).

Tabela 1- Tabela 1- FVC Águas Claras

Ano analisado	Fator de Cobertura Vegetal (FVC)
2005	1,0
2010	1,0
2015	1,0
2020	1,0

Fonte: Elaboração da Autora (2022)

3.2. Conclusões

Diante do exposto, conclui-se que o índice radiométrico (NDVI) associado à boa qualidade das imagens, proporcionou uma fácil identificação dos alvos de interesse (vegetação

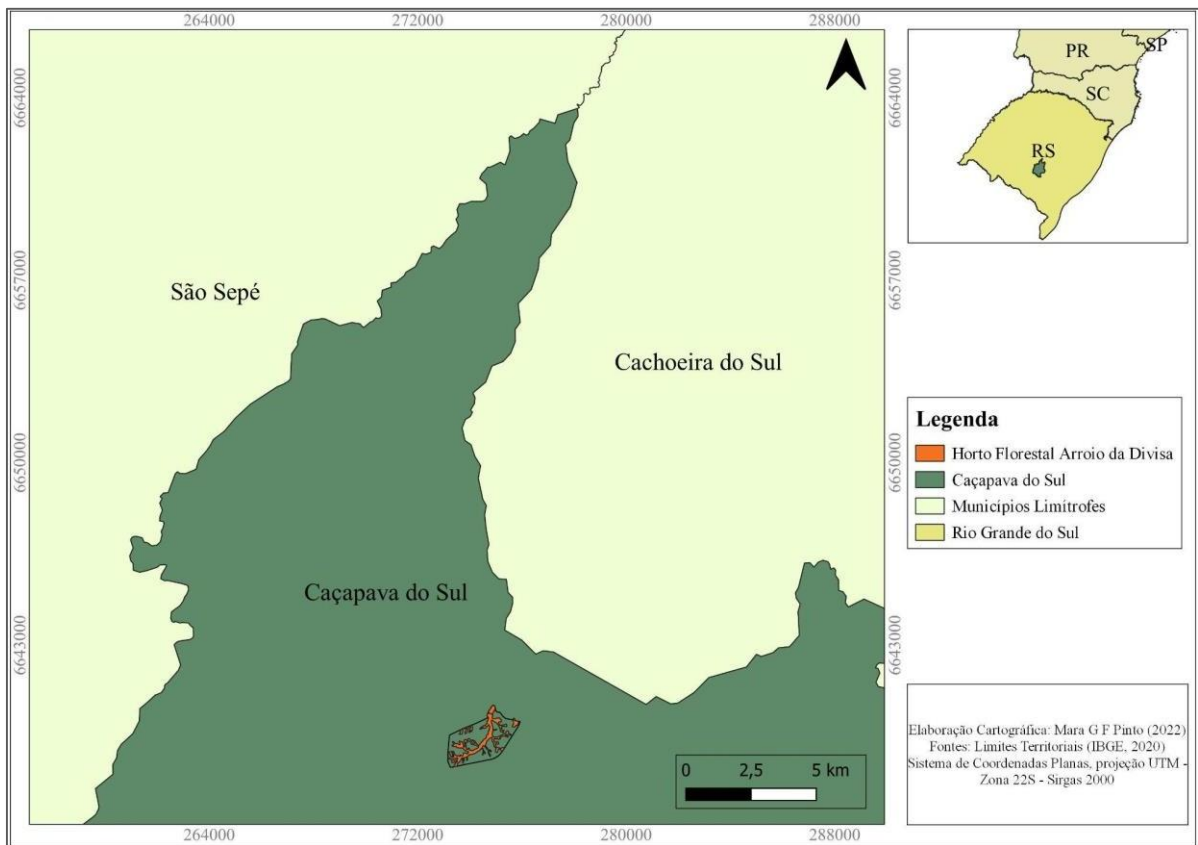
nativa, eucalipto, água e solo exposto). Isso devido o emprego das bandas do vermelho e do infravermelho, uma vez que os alvos refletiram e absorveram permitindo o contraste entre os alvos. Em comparação com outros estudos que utilizaram da mesma metodologia para chegar a esses resultados, cita-se Almeida (2019), onde os valores mais baixos de NDVI foram observados logo após o plantio das espécies, uma vez que a priori o tempo de crescimento e recobrimento do solo, bem como sua restauração ainda não havia sido estabelecida. Neste estudo, aproximadamente 67% dos valores de NDVI podem ser explicados após 3 anos de implantação das técnicas de restauração por nucleação.

Além disso, a classificação supervisionada realçou as mesmas antes identificadas como sendo áreas vegetadas e não vegetadas, provando assim, a eficiência e exatidão no método. Alguns erros na identificação dos pixels não atrapalharam a análise, isso porque devido a semelhança dos pixels da classe de vegetação com a classe de eucalipto, alguns locais tiveram seus pixels confundidos.

4. ÁREA DE ESTUDO 2- HORTO ARROIO DA DIVISA

A segunda área de estudo está localizada no município de Caçapava do Sul, situada na região centro-sul do estado (30° 30' 59" S, 53° 29' 12" W) (Figura 1), mais precisamente no Horto Florestal Arroio da Divisa. Essa região também faz parte do Bioma Pampa, apresentando campos com relevo ondulado e presença de matas de galeria (MARCHIORI, 2002). O clima predominante é o mesotérmico subtropical úmido, com temperaturas mínimas de 18°C e máximas de 38° C, no inverno a região sofre com intensas geadas (MORENO, 1961).

Figura 11- Localização da APP do horto Arroio da Divisa, Caçapava do Sul, RS.



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 202

As técnicas de restauração neste horto foram instaladas em 2011 e se assemelham aos demais hortos. Pode-se citar as seguintes técnicas aplicadas no local: **testemunha sem intervenção, adubação da regeneração**, onde a mesma foi realizada na regeneração natural, priorizando indivíduos arbustivos e arbóreos que foram escolhidos na área restaurada. Houve também a **transposição de serapilheira, transposição de chuva de sementes**, e por fim, o plantio de mudas em núcleos. Algumas espécies plantadas nos núcleos foram: *Psidium*

cattleianum (Araçá), *Jacaranda micrantha* (Jacarandá-Caroba) e *Tabebuia chrysotricha* (Ipê amarelo).

Quanto às observações feitas em campo, os núcleos de mudas do HF Arroio da Divisa estão bem consolidados, com muita presença de vassouras (*Baccharis dracunculifolia*, entre outras) apresentando um considerável potencial de regeneração. Fato surpreendente, uma vez que anos atrás a mesma área abrigava cobertura de pastagem com alguns pontos de erosão. Existem evidências de que a regeneração natural está acontecendo no entorno dos núcleos, uma vez que se notou a presença de aroeiras (*Schinus terebinthifolius*), espécie pioneira na região, entre outras.

Todos os núcleos apresentaram um ótimo crescimento das mudas e em torno dos mesmos existem muitas gramíneas nativas e vassouras, elementos que podem influenciar no NDVI. Na parte baixa do horto existe uma diferença clara entre os locais onde tiveram os plantios de núcleos e onde não ocorreu, por isso é questionável a capacidade de regeneração natural da área, ou seja, é necessária a regeneração natural assistida na forma de implantação de núcleos de mudas.

A partir dessas informações, é viável fazer a análise através do sensoriamento remoto para quantificar as taxas de restauração da APP através do índice de vegetação. E assim, avaliar a efetividade dessas técnicas, seus potenciais melhorias e contribuições para a restauração florestal. Além do NDVI, é possível analisar também o FVC e a classificação supervisionada, como já especificado anteriormente.

4.1. Resultados e discussões

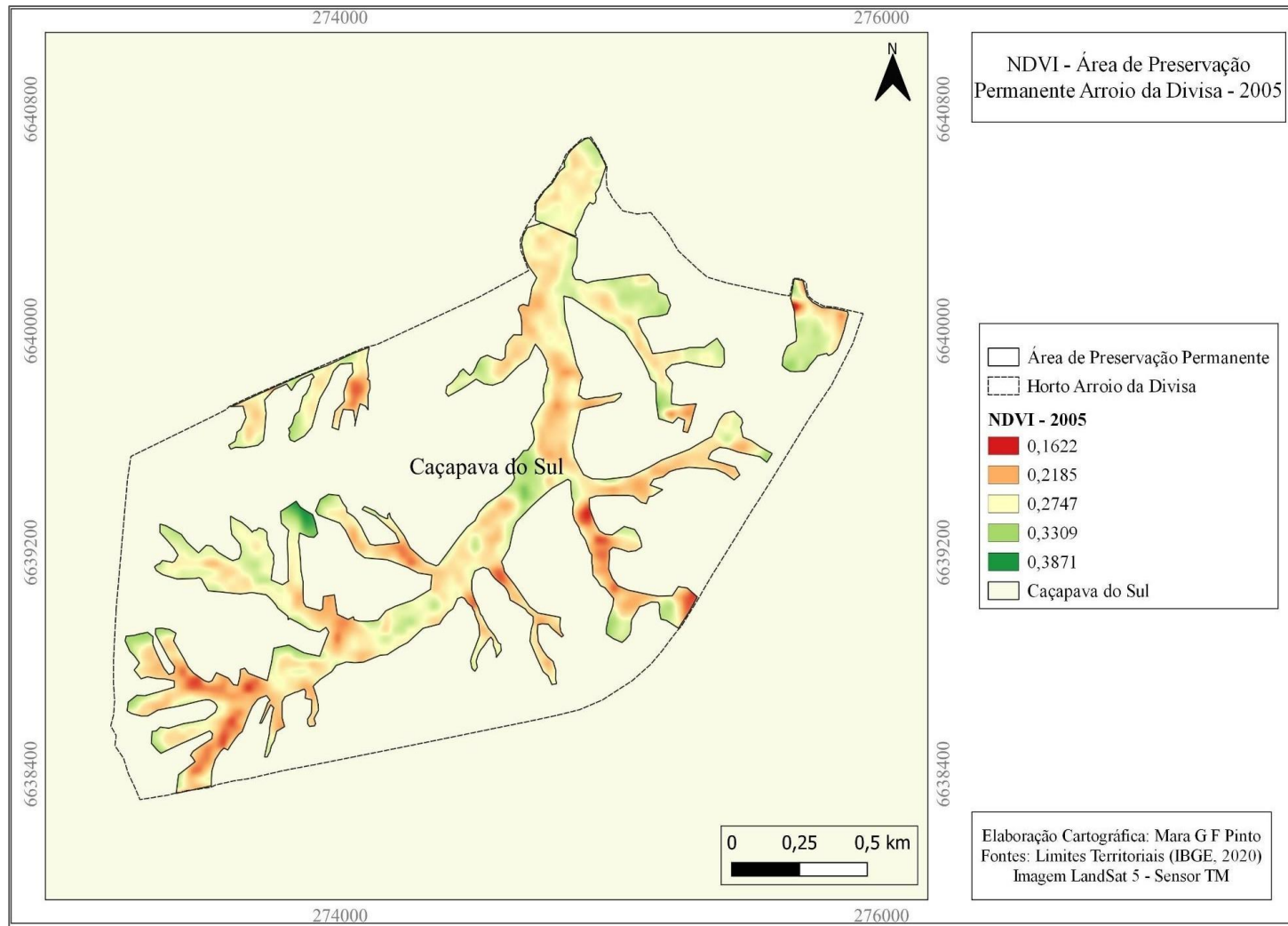
4.1.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI

- **2005;** Neste ano, ainda não havia sido implementada nenhuma técnica de restauração na área correspondente à APP, apesar dos plantios de eucalipto já estarem presentes no horto. Dessa forma, ao gerar o índice de vegetação, observa-se baixos valores (0,1622 - 0,3871) (Figura 13), indicando pouca atividade da clorofila, e maior presença de solo exposto. Esse resultado pode estar atrelado também com as características ambientais do local no momento da captura da imagem.
- **2010;** No ano anterior à implementação das técnicas de restauração, percebe-se um ligeiro aumento do índice NDVI em relação a 2005 (0,1697 - 0,4346) (Figura 14), fato atrelado à regeneração natural da área, que é possível perceber através das

imagens de satélite. Apesar disso, ainda na área de APP, existem áreas com solo exposto, e sulcos de erosão, fatos ligados à enxurrada no local e diferença no tipo de solo, uma vez que, nessas áreas sem vegetação, o solo se configura mais arenoso que o restante da APP.

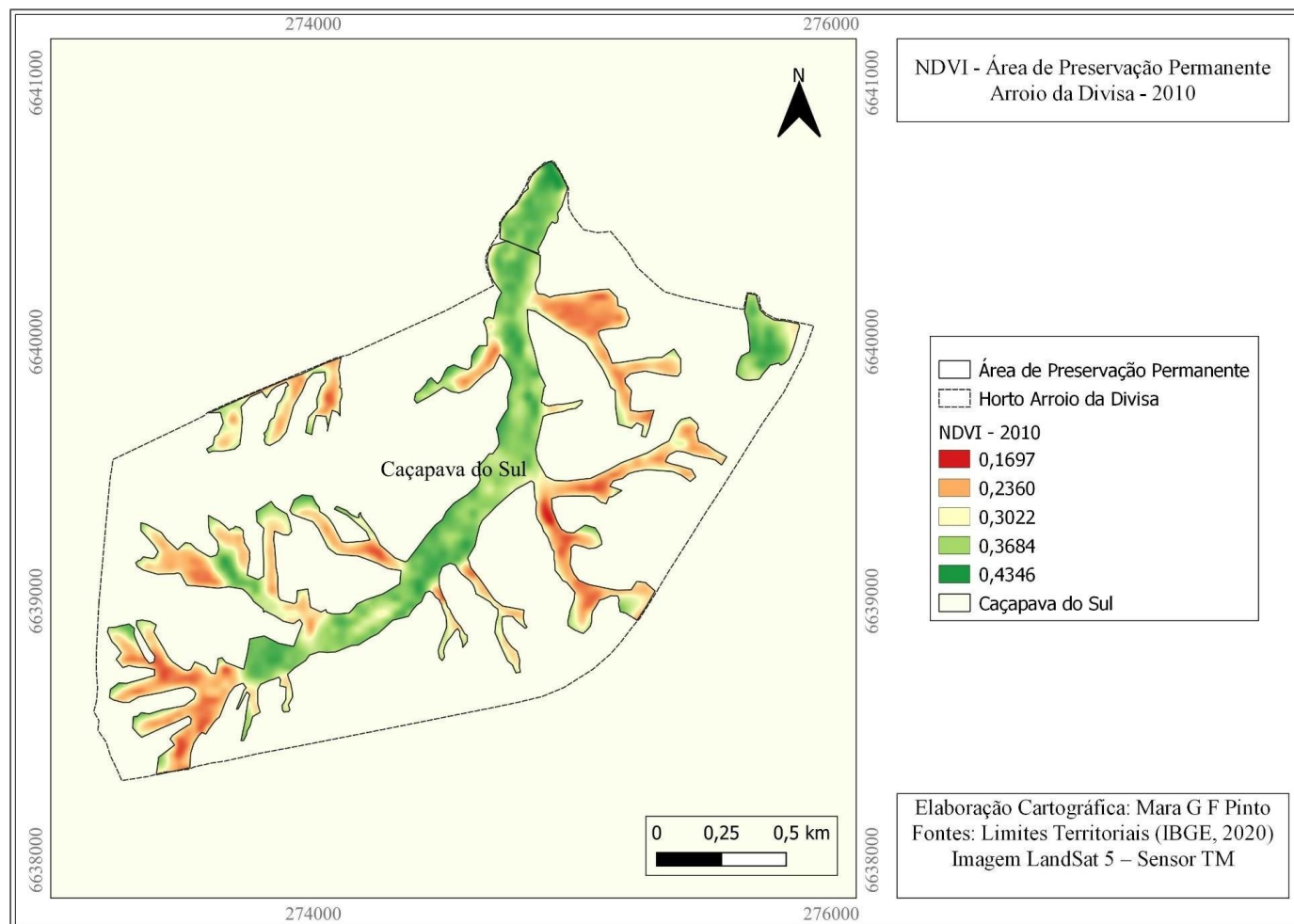
- **2015;** Em 2011, diferentes técnicas de restauração foram implantadas no local, basicamente as mesmas dos outros hortos, com o enriquecimento – regeneração natural assistida - onde foram plantadas mudas na densidade de 200 plantas/ha, com núcleos de cinco mudas, distribuídos aleatoriamente na área. Após três anos de implantação, os valores foram relativamente parecidos com a análise anterior (0,1662 - 0,4635) (Figura 15). As áreas que apresentaram erosão e pouca ou nenhuma atividade fotossintética continuaram mostrando as mesmas perturbações. Dessa forma, verificamos que, até então, o período de apenas três anos ainda não foi suficiente para os núcleos de mudas ocuparem a área como um todo, pois este é um processo relativamente lento, porém contínuo e de baixo custo. E nas áreas que havia a regeneração natural, os valores continuaram relativamente altos, mostrando que apesar da mudança das estações e senescência de algumas espécies, está dentro do esperado.
- **2020;** O processo de restauração na APP do horto Arroio da Divisa está correndo em ritmo mais lento, de acordo com os valores gerados pelo NDVI de 2020 (0,1909 - 0,4817) (figura 16) as mesmas áreas que apresentaram déficit nos demais anos, são as mesmas para 2020. Porém, houve um aumento da área coberta com vegetação arbustivo-arbórea, principalmente na região central da APP. Essa área já tinha anteriormente uma maior tendência de aumento da cobertura, sendo assim, houve um adensamento da vegetação, bem como um bom potencial regenerativo na área. Portanto, a implantação dos núcleos de mudas vem contribuindo, ainda que de forma lenta, para o retorno da cobertura florestal na APP..

Figura 12- NDVI Arroio da Divisa – 2005



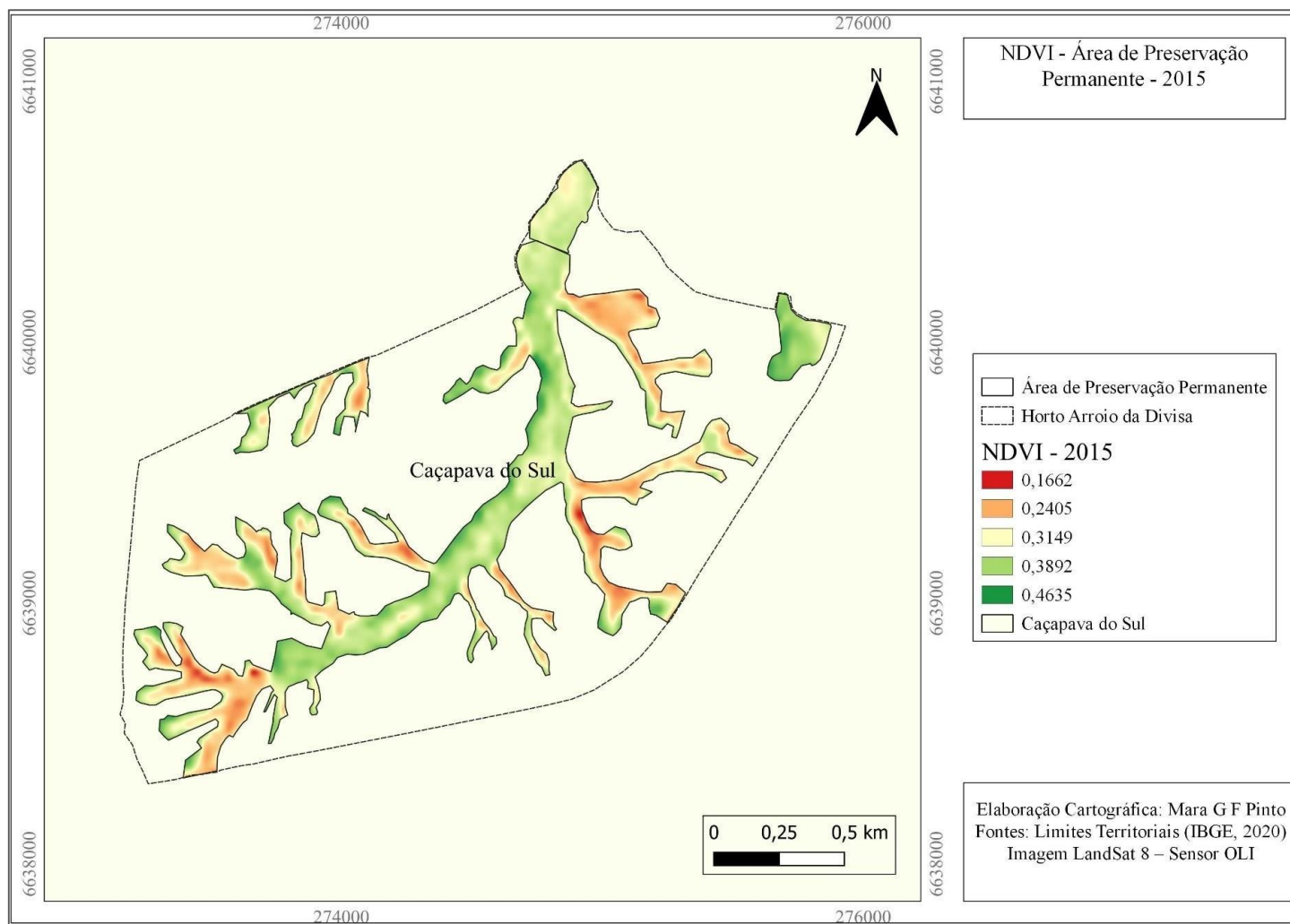
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020).

Figura 13- NDVI Arroio da Divisa – 2010



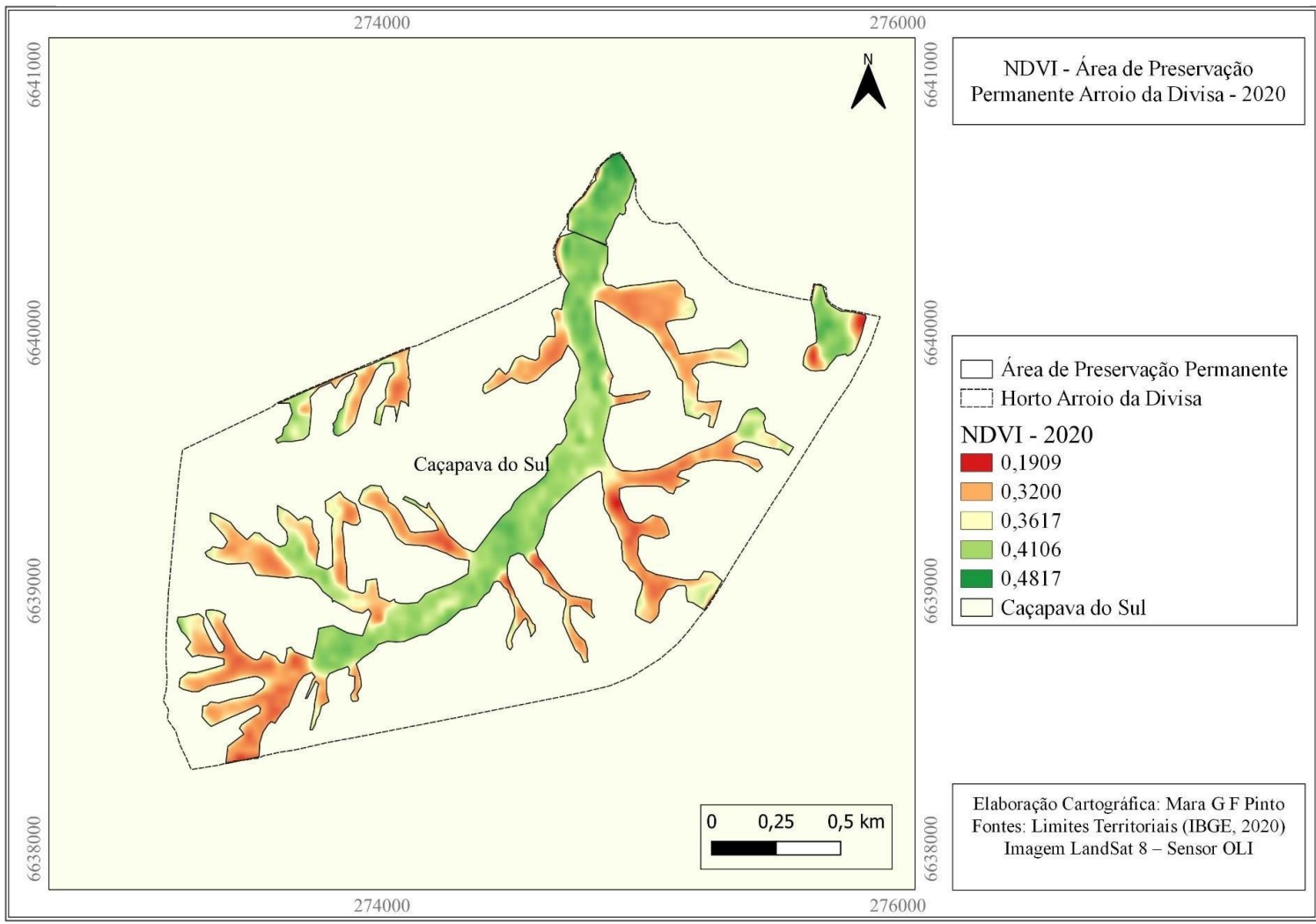
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020)

Figura 14- NDVI Arroio da Divisa – 2015



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020)

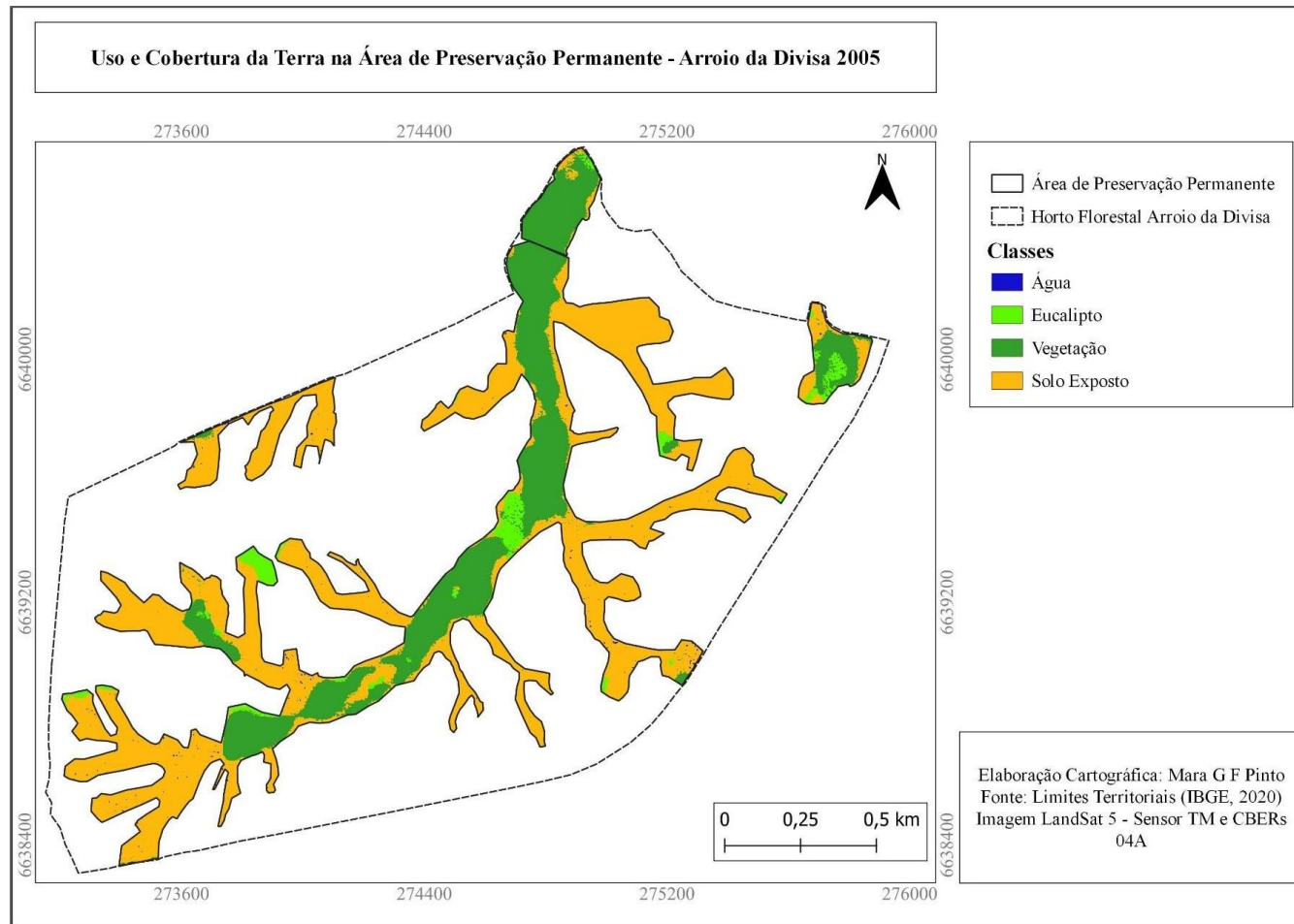
Figura 15- NDVI Arroio da Divisa – 2020



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020)

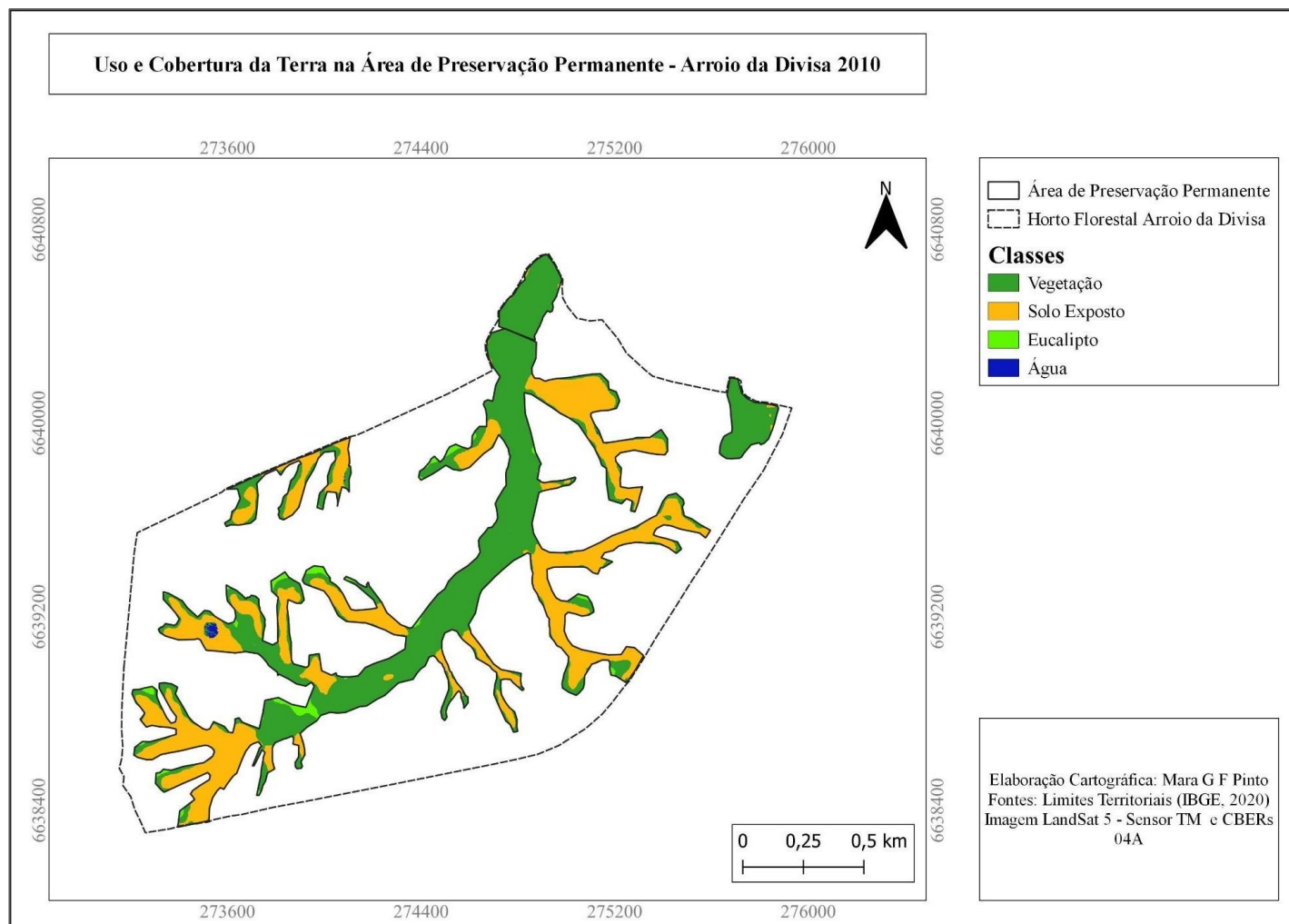
4.1.2. Classificação Supervisionada

Figura 16- Classificação Supervisionada na APP Arroio da Divisa – 2005



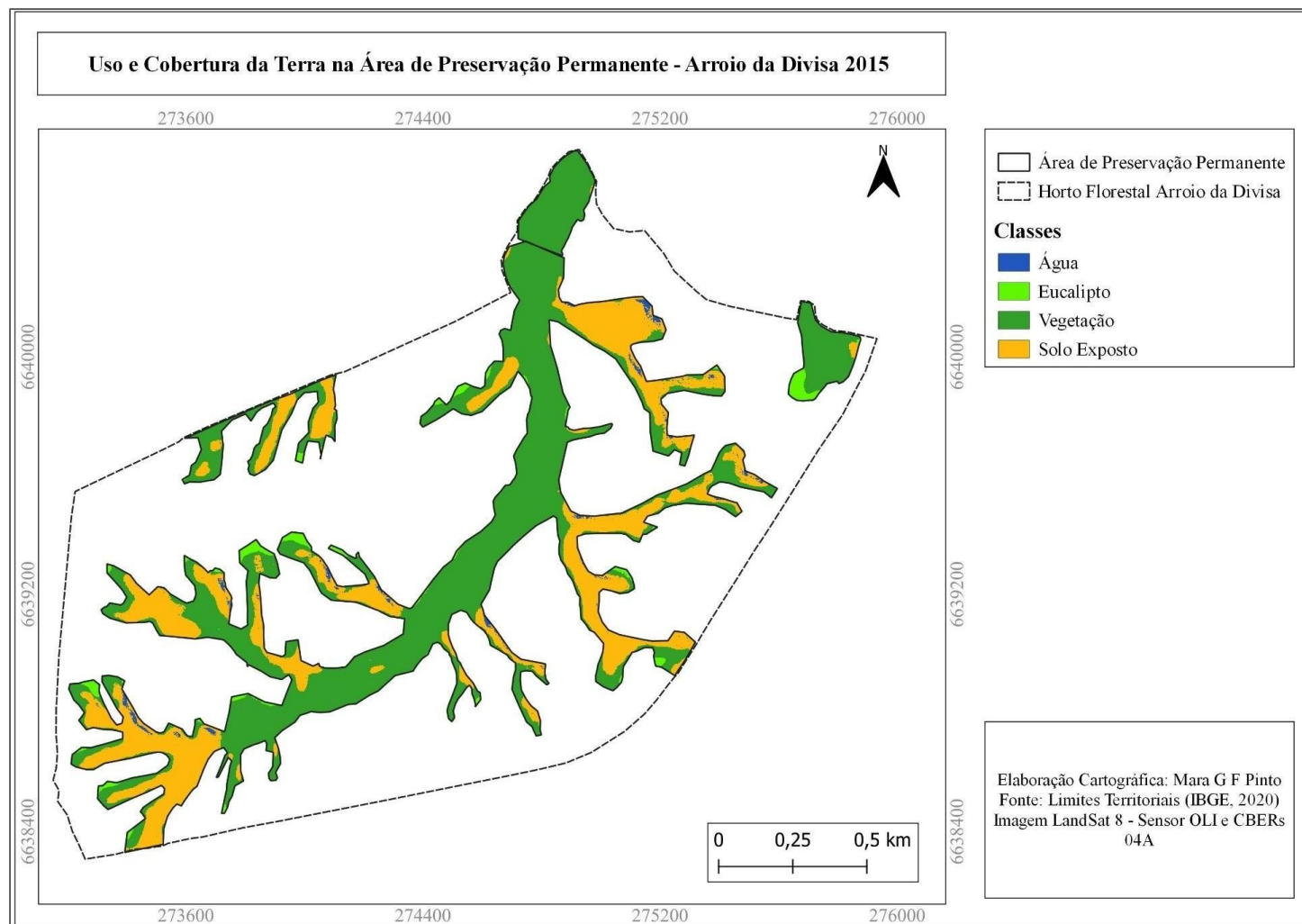
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020)

Figura 17- Classificação Supervisionada na APP Arroio da Divisa – 2010



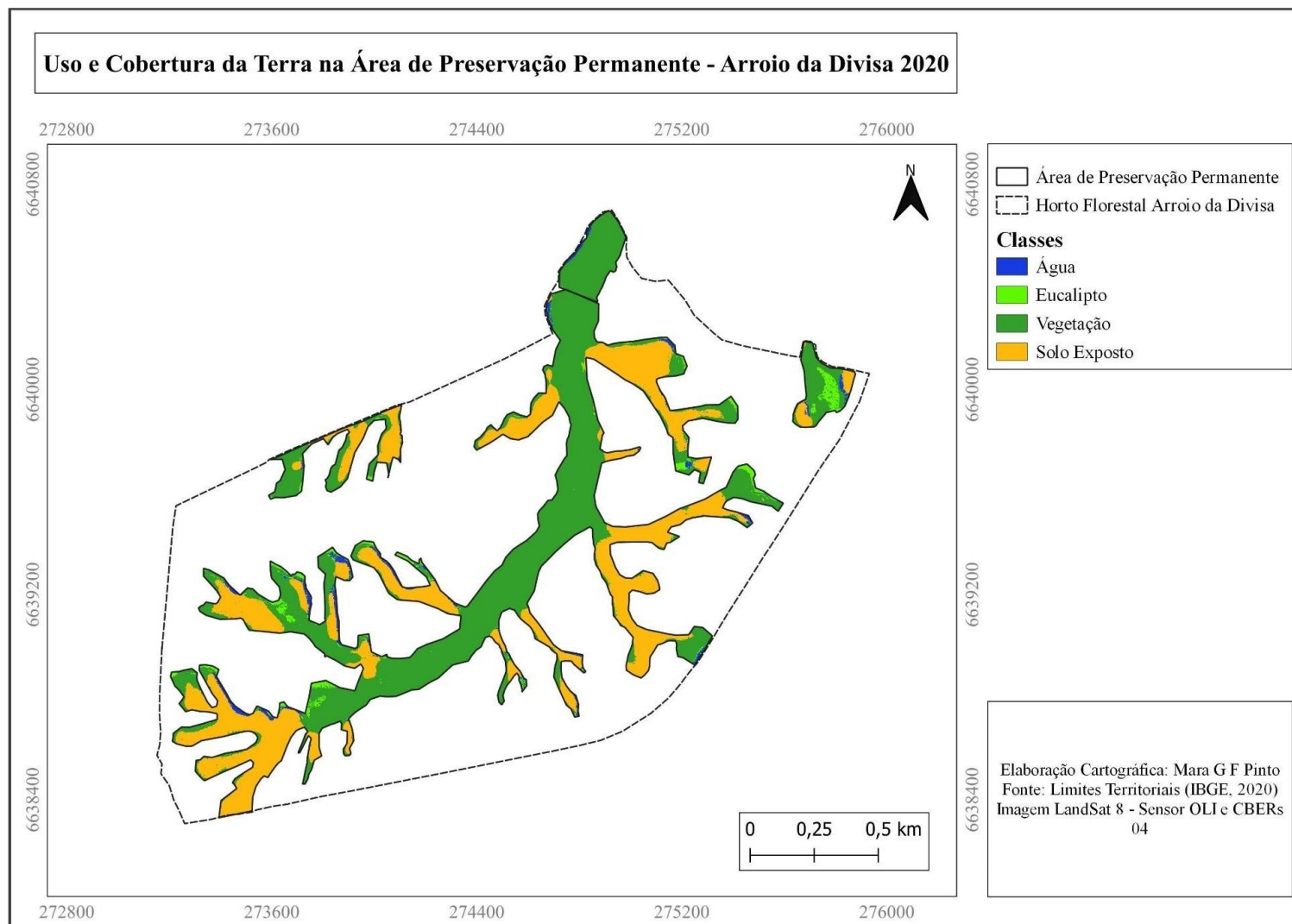
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020)

Figura 18- Classificação Supervisionada na APP Arroio da Divisa – 2015



Elaboração da Autora (2022). Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020)

Figura 19- Classificação Supervisionada na APP Arroio da Divisa – 2020



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE, 2020)

4.1.3. Fator de Cobertura Vegetal

Para confirmar a relação linear existente entre o FVC e o NDVI, observa-se que os valores gerados para o FVC (Tabela 2) equivalem aos valores do índice de vegetação. Houve uma pequena oscilação em 2020, onde o FVC registrado foi de 0,9, todavia não interferiu na interpretação final estabelecida entre os dois fatores.

Tabela 2- FVC Arroio da Divisa

Ano analisado	Fator de Cobertura Vegetal (FVC)
2005	1,0
2010	1,0
2015	1,0
2020	0,9

Fonte: Elaboração da autora – 2022

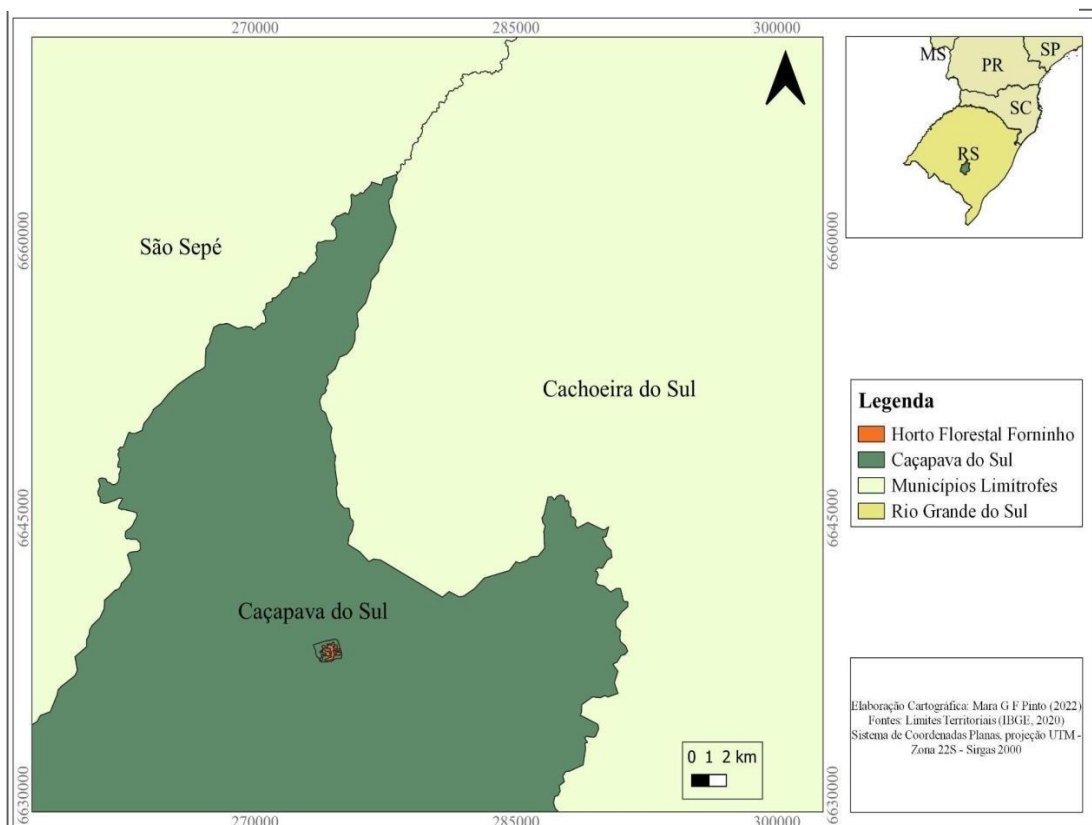
4.1.4. Conclusões

Corroborando com o estudo do Horto anterior, no Horto Arroio da Divisa também houve dificuldade em encontrar referências de estudos que mostrem resultados similares aos da área em questão. Porém, sabe-se que apesar da restauração da APP Arroio da Divisa caminhar num ritmo mais lento que os demais hortos, a área coberta com vegetação arbustivo-arbórea nativa está aumentando, indicando assim que está havendo restauração ecológica no local e o objetivo inicial do projeto está sendo cumprido. Mais uma vez, o FVC mostrou-se linear quanto aos seus resultados, com exceção do ano de 2020, em que houve uma ligeira queda, todavia não interferiu na análise final dos dados.

5. ÁREA DE ESTUDO 3- HORTO FLORESTAL FORNINHO

A Área de Preservação Permanente do Horto Forninho está localizada bem próxima do Horto Arroio da Divisa (27° 39 '28 `` S, 66° 37' 84 ``W) (Figura 1). Por isso, possui as mesmas características de clima, vegetação e relevo. O Horto Florestal Forninho ocupa uma área de 643,08 ha no município de Caçapava do Sul, microbacia do arroio Irapuá, pertencente à Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí (CMPC, 2018). A cobertura vegetal no horto florestal se caracteriza como Estepe Gramíneo-Lenhosa com Floresta de Galeria, representando zona de transição entre campo e floresta (TEIXEIRA et al.,1986). Além disso, a vegetação do Horto também apresenta a vegetação original como remanescente de Floresta com Araucária - *Araucaria Angustifolia* ou Floresta Ombrófila Mista (MARTINS, 2010). O mapa abaixo mostra a localização do Horto Forninho

Figura 20- Localização da Área de Preservação Permanente Forninho, Caçapava do Sul, RS.



Elaboração: Mara Pinto. Fonte IBGE, (2022).

Sabe-se que da cobertura vegetal nativa existente no horto florestal, um total de 302 ha constitui-se em vegetação florestal sendo que 156 ha (24,41% da propriedade) estão em

estágio avançado de regeneração. Essa APP possui um diferencial em relação às demais, isso porque, nesta área foi realizado um experimento com plantio de *Araucaria angustifolia* (pinheiro-brasileiro) e algumas espécies com ocorrência em Floresta Ombrófila Mista. A ideia neste experimento foi aumentar a densidade dessa espécie na APP, uma vez que sua ocorrência neste horto estava limitada a árvores isoladas e em pequeno fragmento florestal.

Os experimentos de restauração utilizados nesta APP foram os de plantio em núcleo, todos os núcleos receberam pelo menos uma muda de araucária e alteram com outras espécies variadas, nativas da região. Este experimento não foi feito em toda área de APP, o local escolhido para a instalação do mesmo fica em uma parte onde foi observado a ocorrência de *A. angustifolia* (figura 22) em um pequeno fragmento florestal nas proximidades. É válido ressaltar que a instalação deste experimento teve início em 2013.

Figura 21- Implantação de núcleos de *Araucaria angustifolia* e outras espécies nativas – Horto Forninho, Caçapava do Sul, RS



Fonte: foto tirada pela autora (2022).

Atualmente as araucárias plantadas nos núcleos apresentam cerca de 5 a 6 m de altura (Figura 23), cercadas de vassouras. Foi realizada na área a erradicação de uma espécie invasora conhecida como “uva do japonês” (*Hovenia dulcis*), estava atingindo os núcleos de araucárias e

poderia atrapalhar seu desenvolvimento

Figura 22- Araucárias desenvolvendo nos núcleos da APP no Horto Forninho, Caçapava do Sul, RS



Fonte: foto tirada pela autora (2022).

Diante dessas informações, foram calculados o NDVI e o FVC da área, bem como feita a classificação supervisionada a fim de entender como essas características podem influenciar no resultado final da restauração e do NDVI.

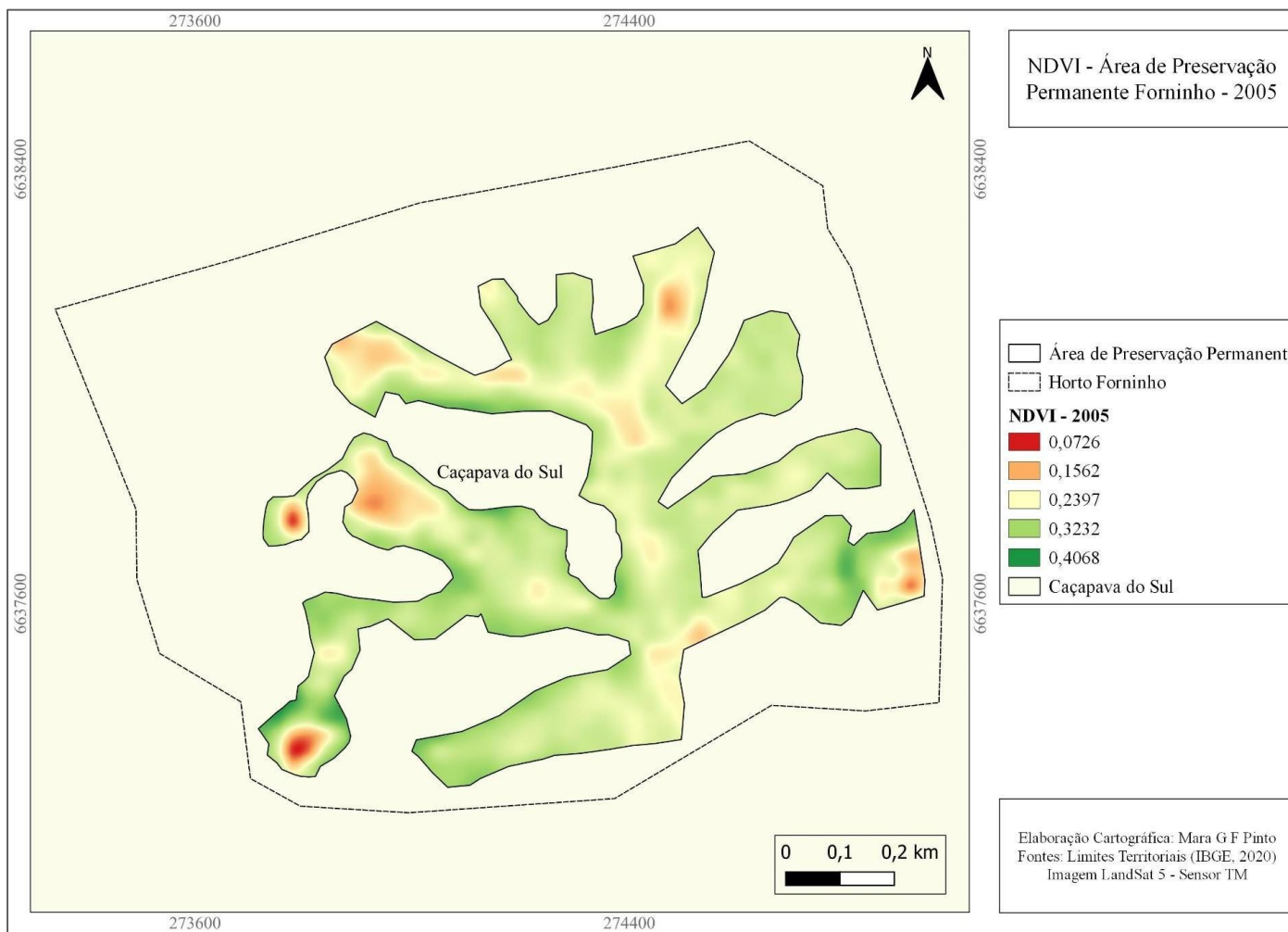
5.1. Resultados e discussões

5.1.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

- **2005;** Os valores gerados para 2005 (figura 24), como já esperado, foram mais baixos (0,0726 - 0,4068) uma vez que até então essa área de APP contava apenas com a vegetação remanescente do local. Os pontos com valores abaixo de 0,0700 se explicam devido a açudes que existem no local.
- **2010;** Os experimentos no HF Forninho começaram em 2013, dessa forma, em 2010 (figura 25) a área ainda não contava com nenhuma técnica implantada que ajudasse na restauração, por isso, os valores ainda foram muito baixos, e não houve grande diferença para o ano anterior analisado (0,1904 - 0,4369). Como no local é muito comum a existência de vassouras, é possível observar a pequena variação nos valores anteriormente citados se comparado com o ano anterior, explicado pela senescência da espécie.
- **2015;** Dois anos após a implantação dos experimentos em núcleos, ainda não foi possível observar grande diferença nos valores, uma vez que ainda não houve tempo suficiente das espécies atingirem um tamanho notável para ser computada pelo cálculo do NDVI (figura 26). Ainda assim houve uma melhora nos valores, apontando que a regeneração natural está ocorrendo. As áreas em vermelho (valores baixos) continuam mais evidentes no mesmo local, indicando a presença dos lagos. A partir de análises feitas em trabalhos anteriores, sabe-se queda cobertura vegetal nativa existente na área, um total de 302 ha são de vegetação florestal, sendo 156 ha (24,41%) da propriedade estão em estágio avançado de recuperação. A partir da imagem seguinte, nota-se que os valores médios, indicam que está ocorrendo a regeneração do local, de forma que é possível notar a transição entre (vermelho - amarelo - verde), essas áreas podem ser entendidas como aquelas que estão entre área restaurada e em processo de restauração.
- **2020;** Por fim, os melhores valores e as maiores diferenças observadas foram notadas em 2020 (figura 27) (0,2092 - 0,4691). Se compararmos os valores mínimos com o primeiro ano analisado, temos uma diferença de 0,1366 (13%) e os valores máximos de 0,0623 (0,06%). Dessa vez, os valores mais baixos, além de serem observados nos locais de açudes, foram notados também em áreas de “divisa” com a plantação de eucaliptos. Ademais, pode-se notar, como já mencionado na análise anterior que, na

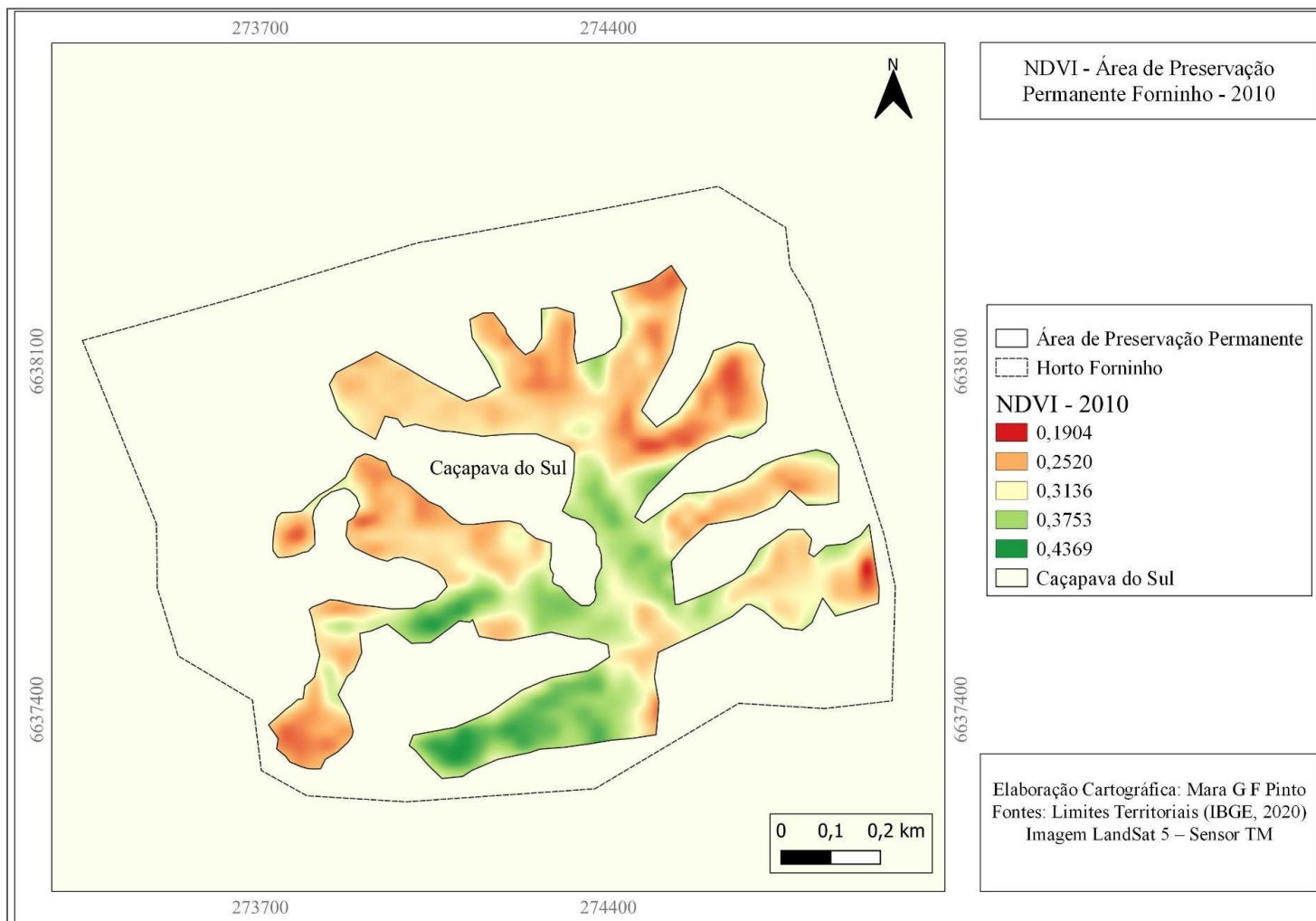
área está ocorrendo o processo de restauração, tanto através da regeneração natural, quanto através dos núcleos plantados.

Figura 23- NDVI Horto Forninho – 2005



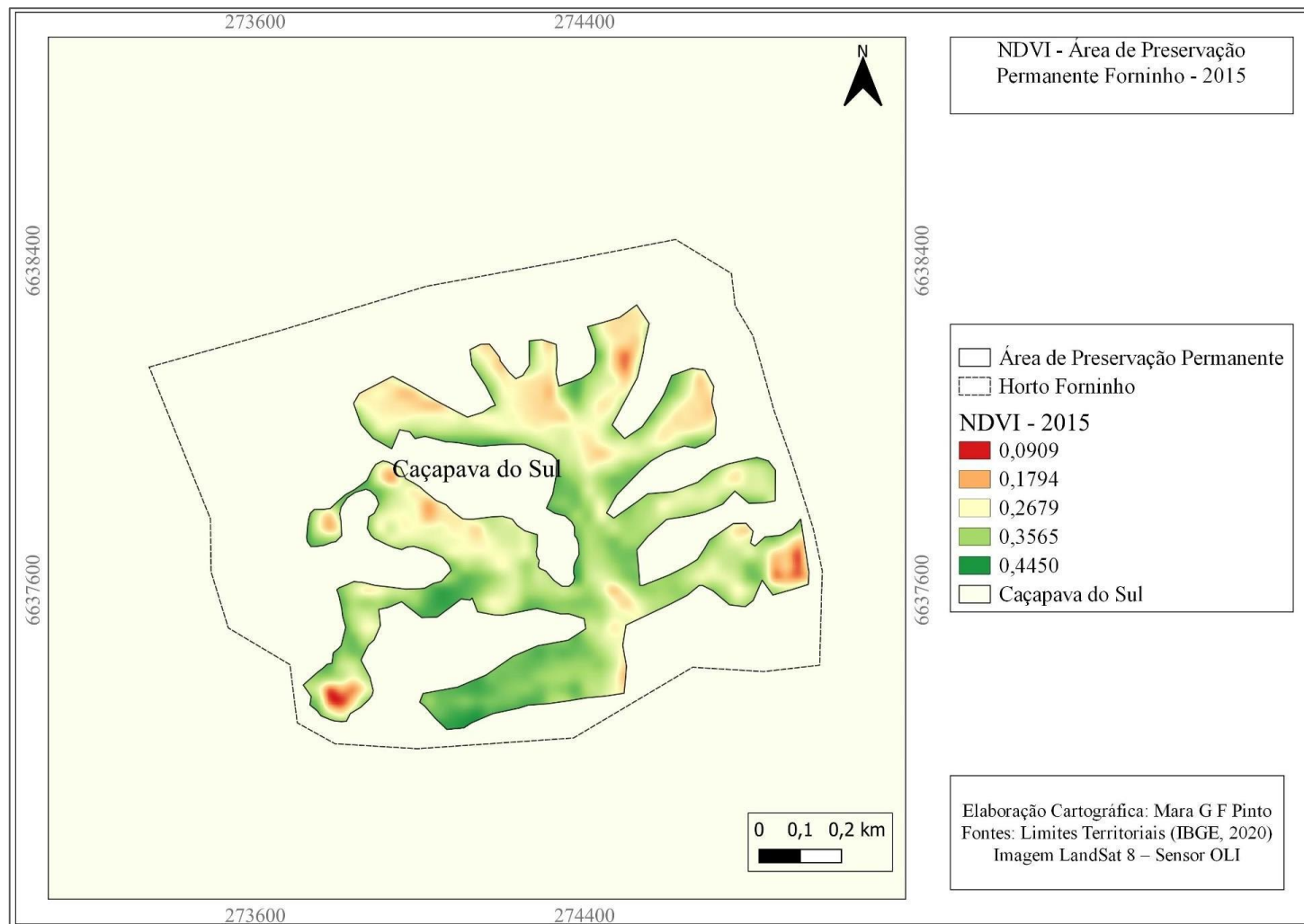
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

Figura 24- NDVI Horto Forninho – 2010



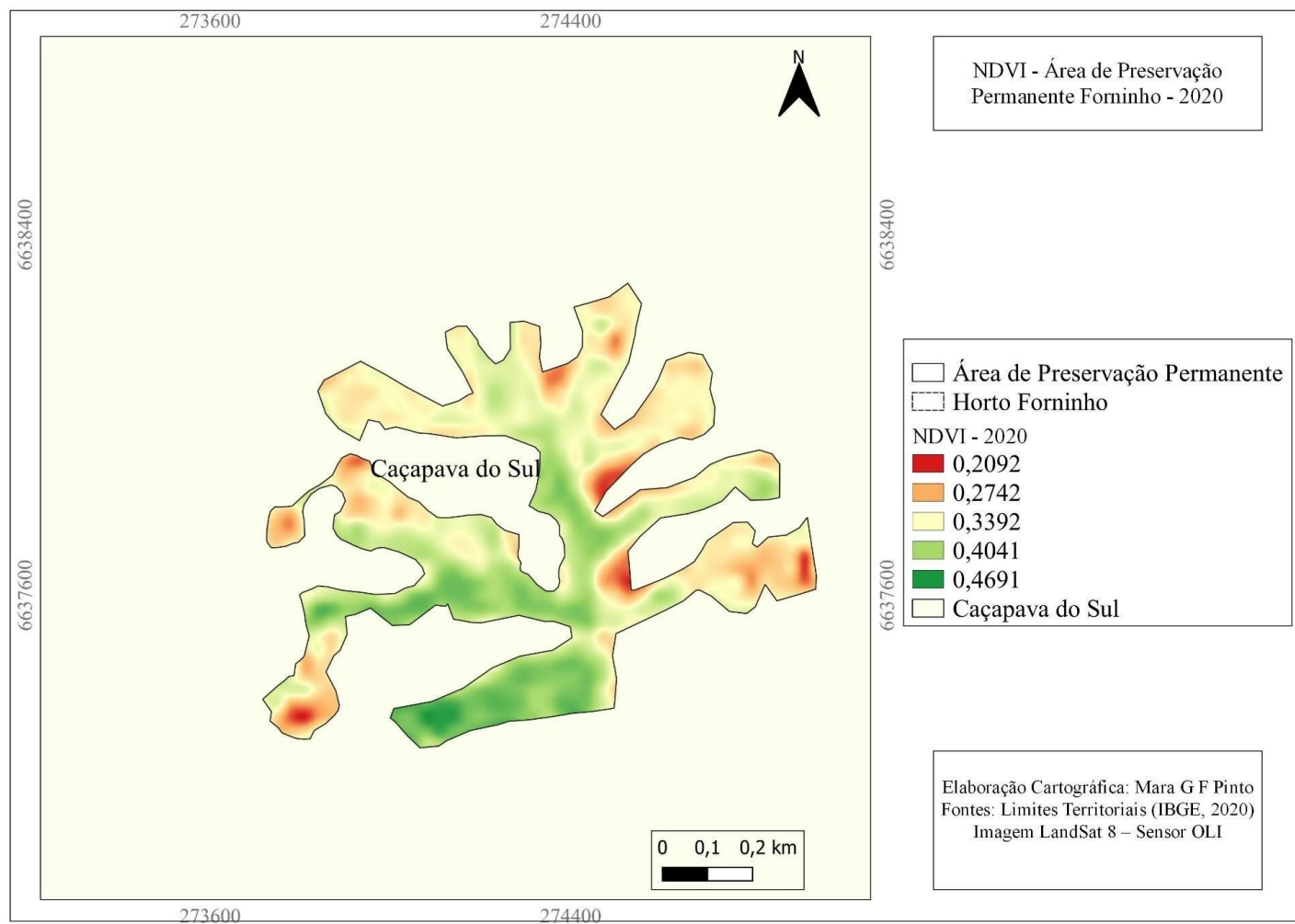
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

Figura 25- NDVI Horto Fominho – 2015



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

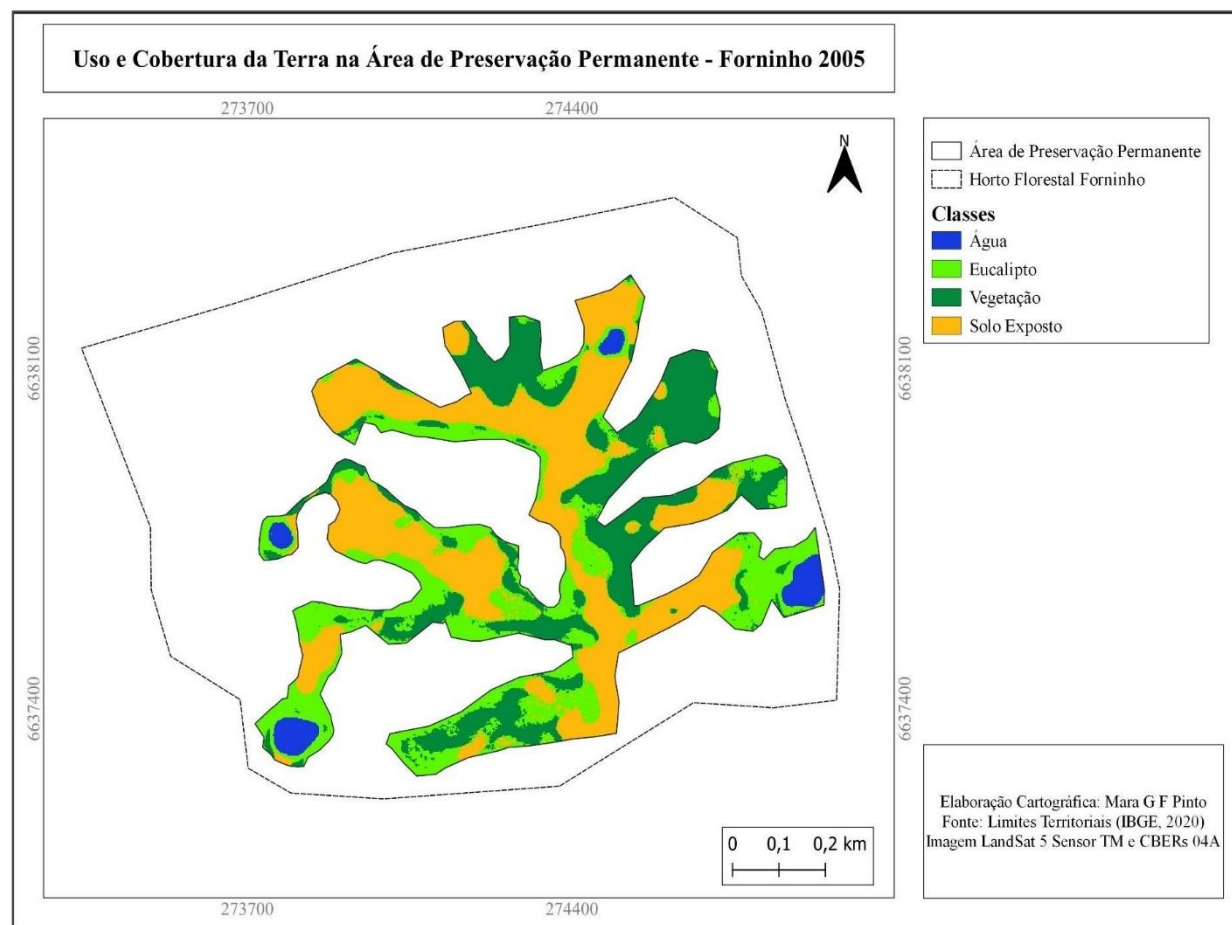
Figura 26- NDVI Horto Forninho – 2020



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

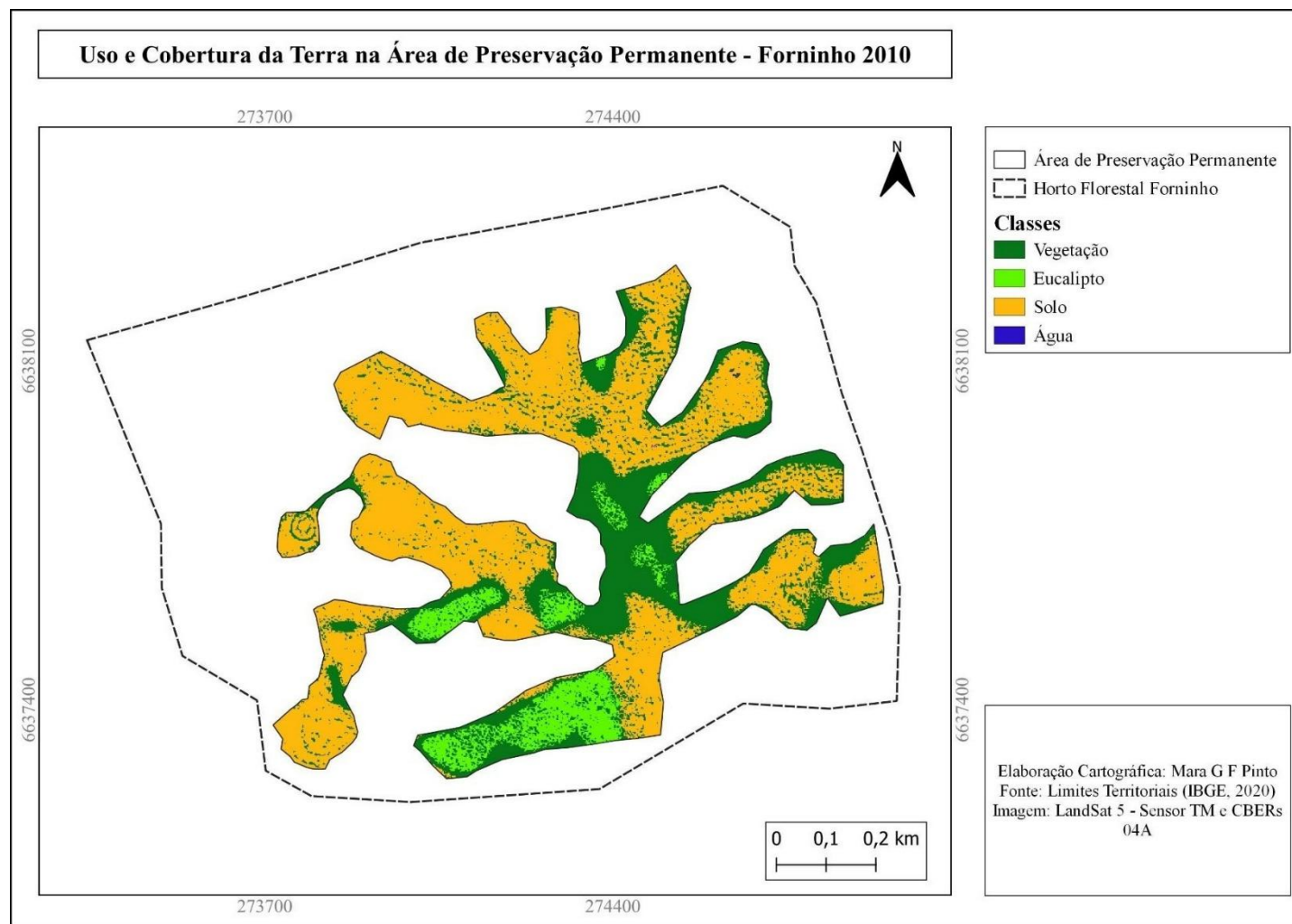
5.1.2. Classificação Supervisionada do Horto Florestal Forninho

Figura 27- Classificação Supervisionada na APP Forninho – 2005



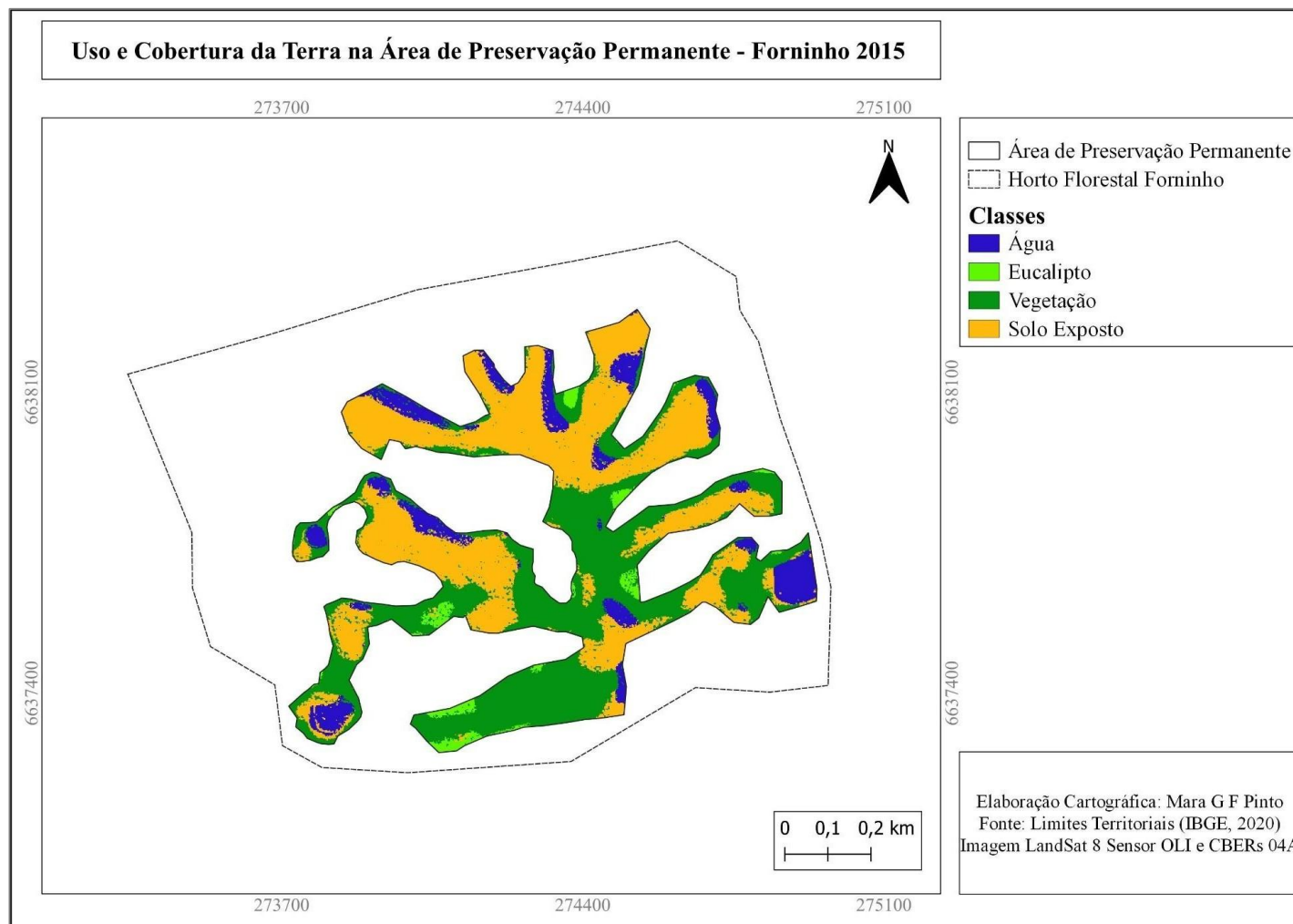
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

Figura 28- Classificação Supervisionada na APP Horto Forninho – 2010



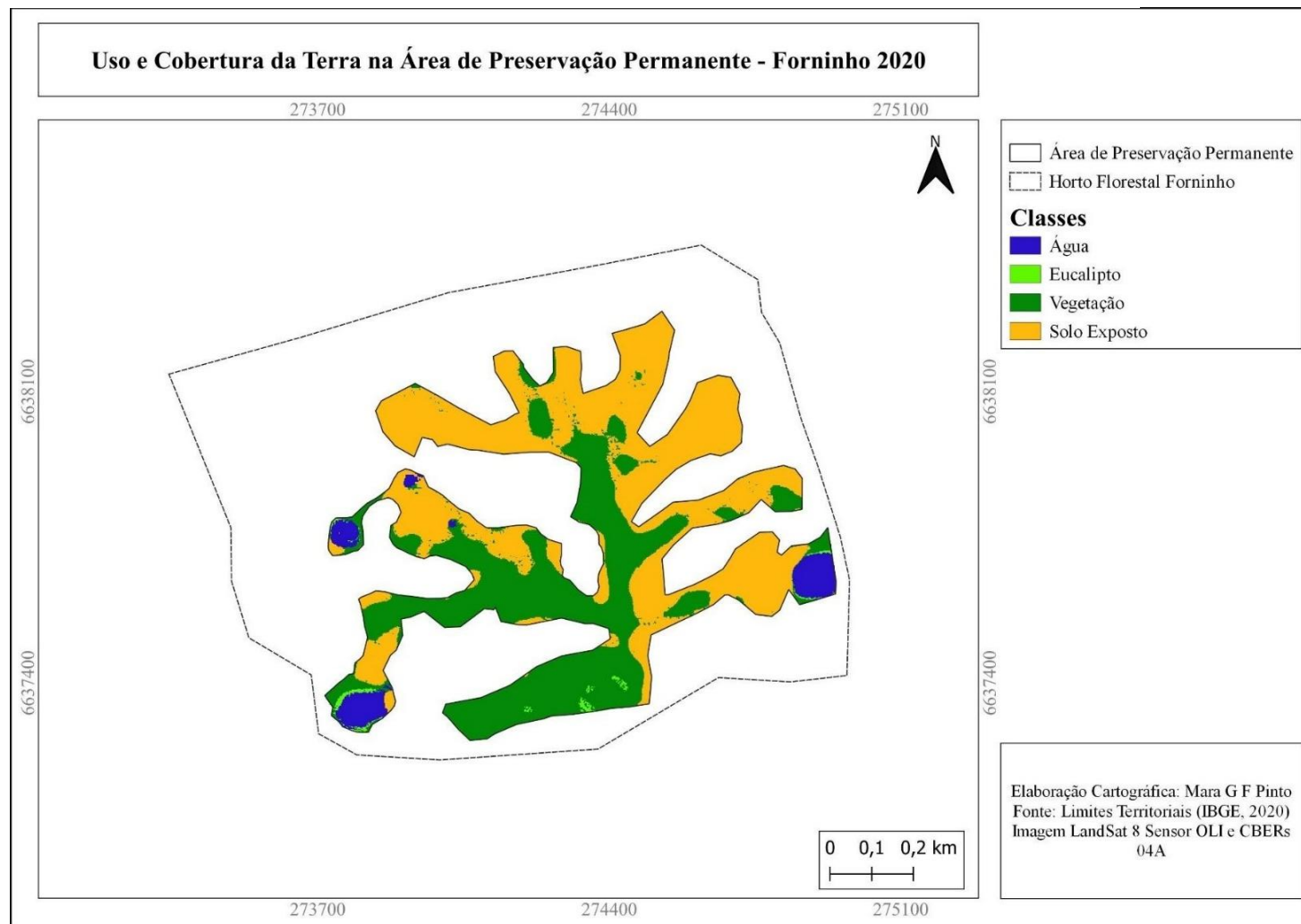
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

Figura 29- Classificação Supervisionada na APP Horto Forninho – 2015



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

Figura 30- Classificação Supervisionada na APP Horto Forninho – 2020



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

5.1.3. Fator de Cobertura Vegetal

A lógica seguiu para a APP do Horto Forninho e os cálculos do Fator de Cobertura Vegetal se mantiveram lineares (tabela 3), indicando a eficiência dessa metodologia usada simultaneamente com índices de vegetação, neste caso o NDVI. Esse parâmetro aprimora a representação da variabilidade sazonal da vegetação local, o que ratifica a importância de considerar a sazonalidade dos parâmetros biofísicos da mesma.

Tabela 3- FVC Forninho

Ano analisado	Fator de Cobertura Vegetal (FVC)
2005	1,0
2010	1,0
2015	1,0
2020	1,0

Elaborado pela autora (2022).

5.1.4. Conclusões

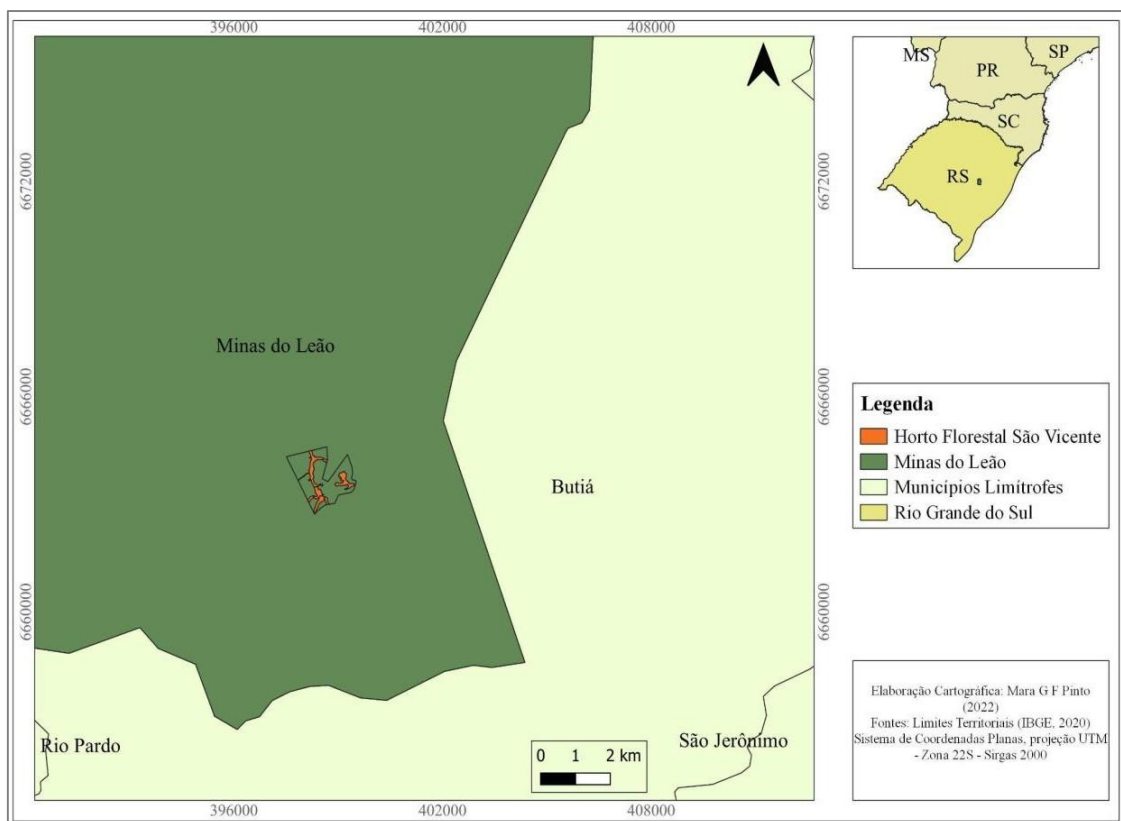
O Horto Forninho foi o que mais apresentou confusão entre os pixels, além das classes de vegetação e eucalipto, a classe de “água” também apresentou algumas alterações no processamento. Visto que, não houve nenhuma alteração no curso hídrico do presente horto. Todavia, para além disso, o NDVI evidenciou a ocorrência da restauração florestal, mesmo que em ritmo lento, uma vez que a técnica de nucleação empregada contou com o plantio de *Araucaria angustifolia*, espécie que possui um crescimento mais lento e uma demora para a formação da sua copa ampla característica, fazendo com que o aumento dos índices não seja de forma tão rápida quanto em outros hortos que não receberam a mesma espécie no plantio.

Espera-se que com o crescimento das araucárias e a abertura de suas copas, que a cobertura florestal aumente gradativamente, além disso, como a espécie é muito atrativa a fauna, o processo de regeneração natural da APP deverá ser estimulado. Cabe destacar a importância do plantio de núcleos de araucária neste horto, uma vez que a espécie encontra-se ameaçada.

6. ÁREA DE ESTUDO 4- Horto Florestal São Vicente

A quarta e última Área de Preservação Permanente analisada e avaliada está localizada no município de Minas do Leão, RS, mais precisamente no Horto Florestal São Vicente entre as coordenadas 30°07'36" S e 52°02'51" W (Figura32). Minas do Leão está localizada na região carbonífera da Depressão Central, a 90km da capital Porto Alegre. Segundo a classificação de Köppen, o clima na região é o Cfa - subtropical úmido com chuvas abundantes e verões quentes (MORENO, 1961). As temperaturas médias registradas variam entre 14,0° Ca 20,0° C, sendo janeiro o mês com temperaturas mais altas e julho o mês com temperaturas mais baixas. A vegetação na depressão central caracteriza-se pela ocorrência de diferentes formações vegetais, com presença de campos e formações arbóreas típicas da região e matas de galeria.

Figura 31- Localização da Área de Preservação Permanente São Vicente, Minas do Leão, RS



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

Seguindo os mesmos experimentos dos hortos anteriormente citados, o HF São Vicente apresenta os melhores resultados e melhores indicadores de restauração das APPs entre todos os hortos. Além disso, foi um dos primeiros a receber os tratamentos e experimentos e se destaca

por já ter uma cobertura florestal avançada, tendo alguns locais atingido a completa restauração.

Como nas APP's deste horto havia entrada de equinos de terceiros foram feitos alguns experimentos com espécies “tolerantes” aos cavalos, ou seja, espécies com estruturas morfológicas que dificultavam a herbivoria e outros danos por estes animais, bem como proteção individual nos núcleos com cercamento com arame farpado. De forma geral, as técnicas nucleadoras implementadas no horto tiveram sucesso quanto ao crescimento e desenvolvimento das espécies, podendo ser uma saída para a restauração em áreas em que o total isolamento do fator de degradação não é viável.

Figura 32- APP do Horto São Vicente, Minas do Leão, RS, com ocupação total pelos núcleos e regeneração natural.



Fonte: Foto da Autora (2022).

Tendo essas informações sido levantadas, partiu-se para fazer a análise da área através de imagens de satélites de alta resolução, bem como a análise do índice de vegetação para que se certifique da evolução da restauração florestal no horto.

6.1. Resultados e discussões

6.1.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

- **2005;** Para o primeiro ano de análise, foram gerados resultados com valores relativamente baixos, variando entre (0,1635 - 0,4006) (figura 36) esses valores indicam que a maior parte da área que futuramente seria de APP está com solo exposto,

parcialmente exposto ou com presença de corpos d'água. Os valores mais “altos” registrados evidenciam a presença de vegetação nativa, bem como espécies pioneiras, como é o caso das vassouras. Essa situação é anterior à implantação dos núcleos cercados e núcleos de espécies tolerantes.

- **2010;** Como já mencionado anteriormente, as vassouras - *Baccharis dracunculifolia* e outras espécies - são pioneiras, com período de vida curto. Assim, fica evidente notar a queda nos valores gerados (0,1328 - 0,3002) (figura 37), já que neste espaço de tempo de 5 anos, a área não sofreu nenhuma alteração considerável a ponto de alterar consideravelmente o comportamento da vegetação. Todavia, é importante destacar que nessa área há ocorrência de manchas de solodegradado por extração antiga de carvão mineral, podendo dificultar o desenvolvimento até mesmo de espécies arbustivas pioneiras.
- **2015;** Alguns anos após o início do plantio na APP do HF São Vicente, já é possível constatar através dos resultados gerados do NDVI (Figura 38) que houve uma considerável evolução na restauração florestal da área. Isso porque, apesar da área ainda apresentar alguns pontos com valores mais negativos, os mesmos estão associados àquelas áreas que necessitam de implantação de técnicas de recuperação de solo no processo de restauração. Isso é, são áreas referentes à presença de restos de carvão mineral anteriormente citados, além do mais deve-se sempre considerar o corpo d'água ali existente.
- **2020;** Por fim, como já esperado, os melhores resultados se deram no ano de 2020 (Figura 39). Observa-se que grande parte da APP está coberta por vegetação florestal, diferente dos anos anteriores. Todavia, as áreas com problemas de solo pela extração de carvão no passado ainda continuam gerando baixos valores, evidenciando a necessidade de aplicar outro tipo de técnica mais eficiente para esse cenário específico de solo degradado. Ademais, nota-se em todo limite das APP's que as bordas estão sofrendo algum tipo de interferência externa, visto que nessas áreas os valores sofrem uma ligeira queda.

É válido ressaltar que essa erosão e conseqüentemente o solo exposto da área são resultados de anos de extração de carvão mineral na área, fato que antecede a aquisição dessas

terras pela empresa CMPC.

O excelente avanço da cobertura florestal da APP deste horto resulta da implantação dos núcleos cercados e núcleos com espécies tolerantes aos equinos e bovinos, o que estimulou também a regeneração natural.

Figura 33- Detalhes dos núcleos de mudas cercados



Fonte: Foto da Autora (2022)

Figura 34- Avanço da cobertura florestal - indivíduos de *Enterolobium contortisiliquum*

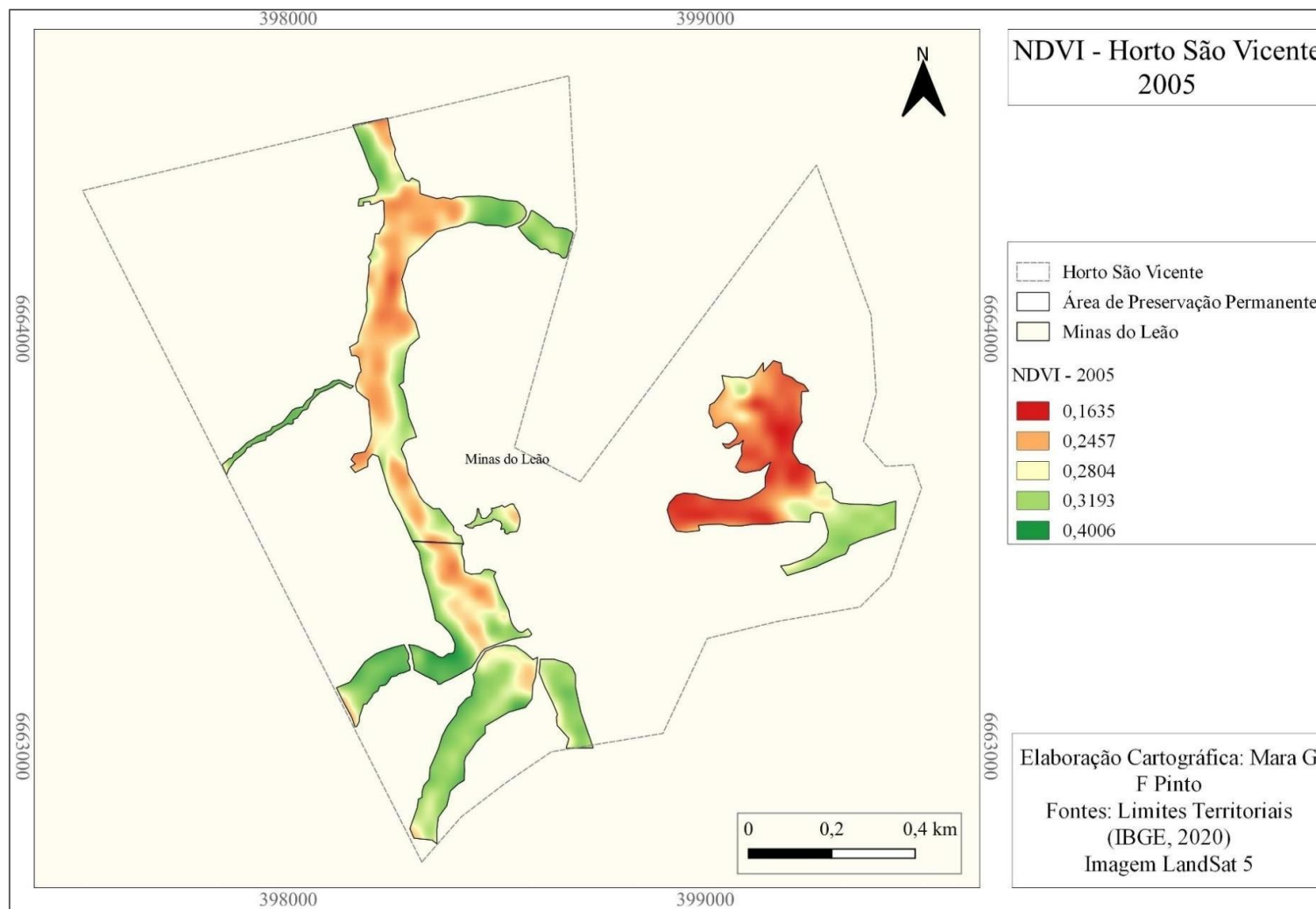


Fonte: Foto da Autora (2022).

Figura 35- Imagem aérea de parte da APP do Horto São Vicente, obtida com drone em 2023.



Figura 36- NDVI Horto São Vicente – 2005



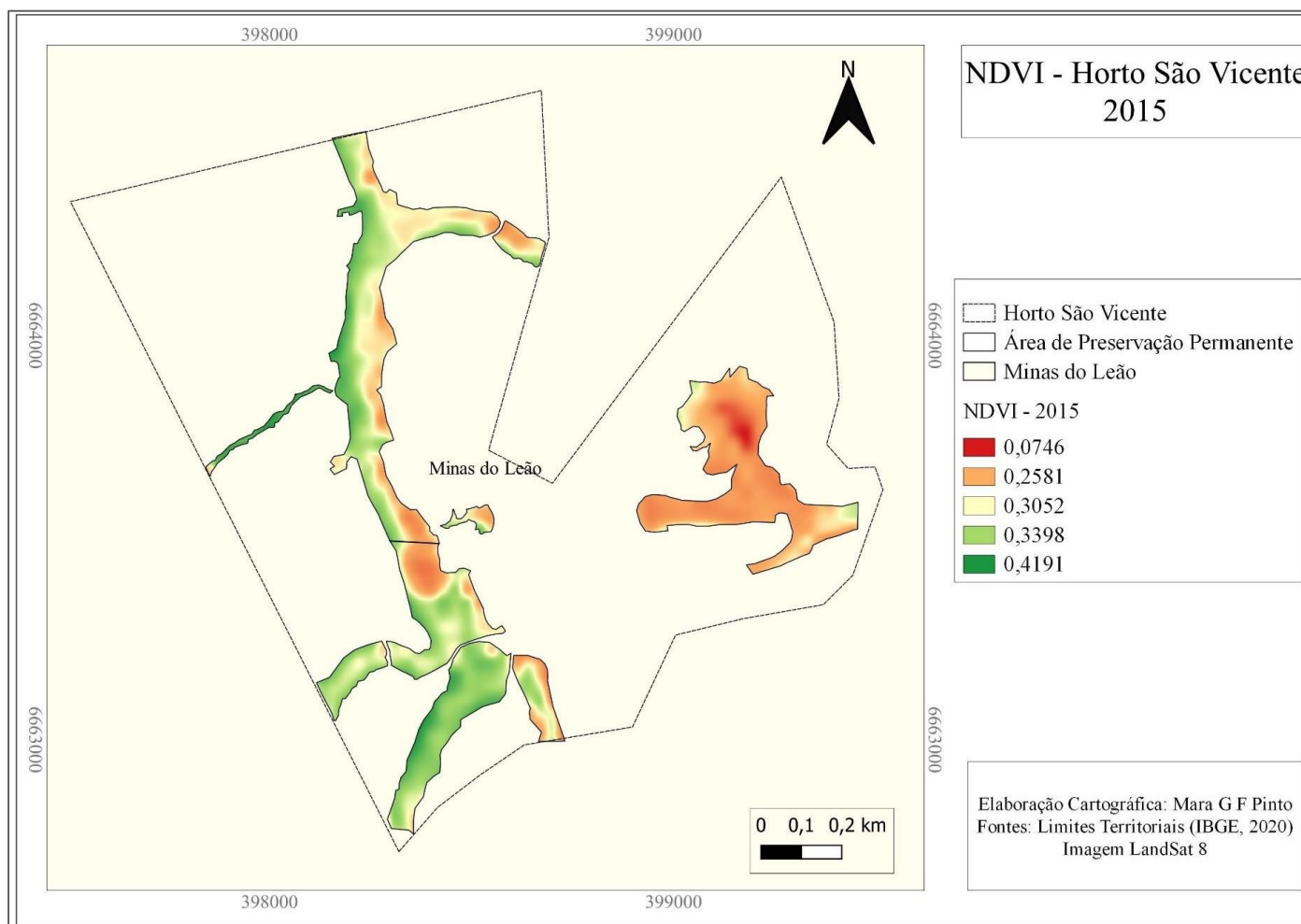
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

Figura 37- NDVI Horto São Vicente – 2010



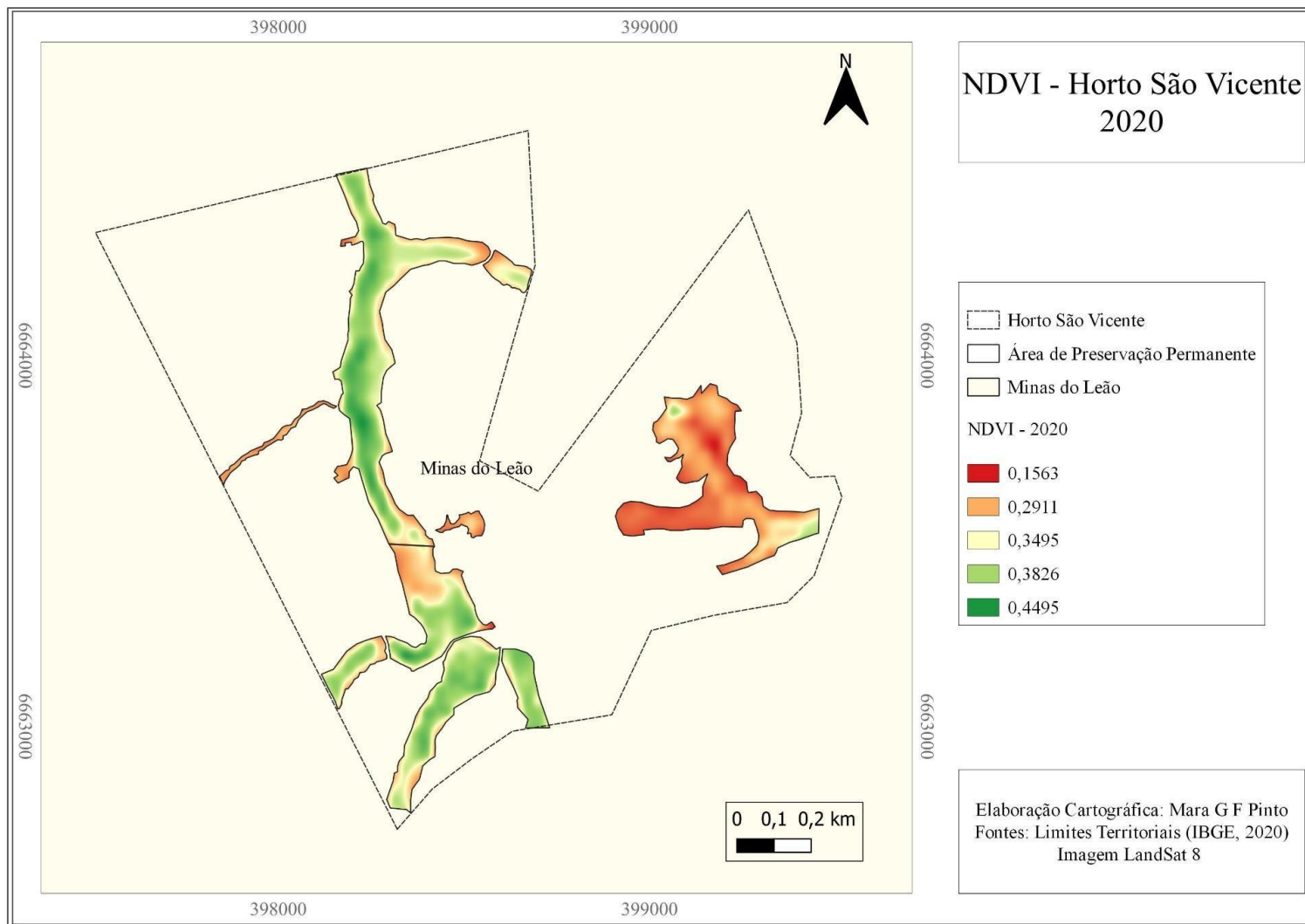
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

Figura 38- NDVI Horto São Vicente – 2015



Elaboaração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

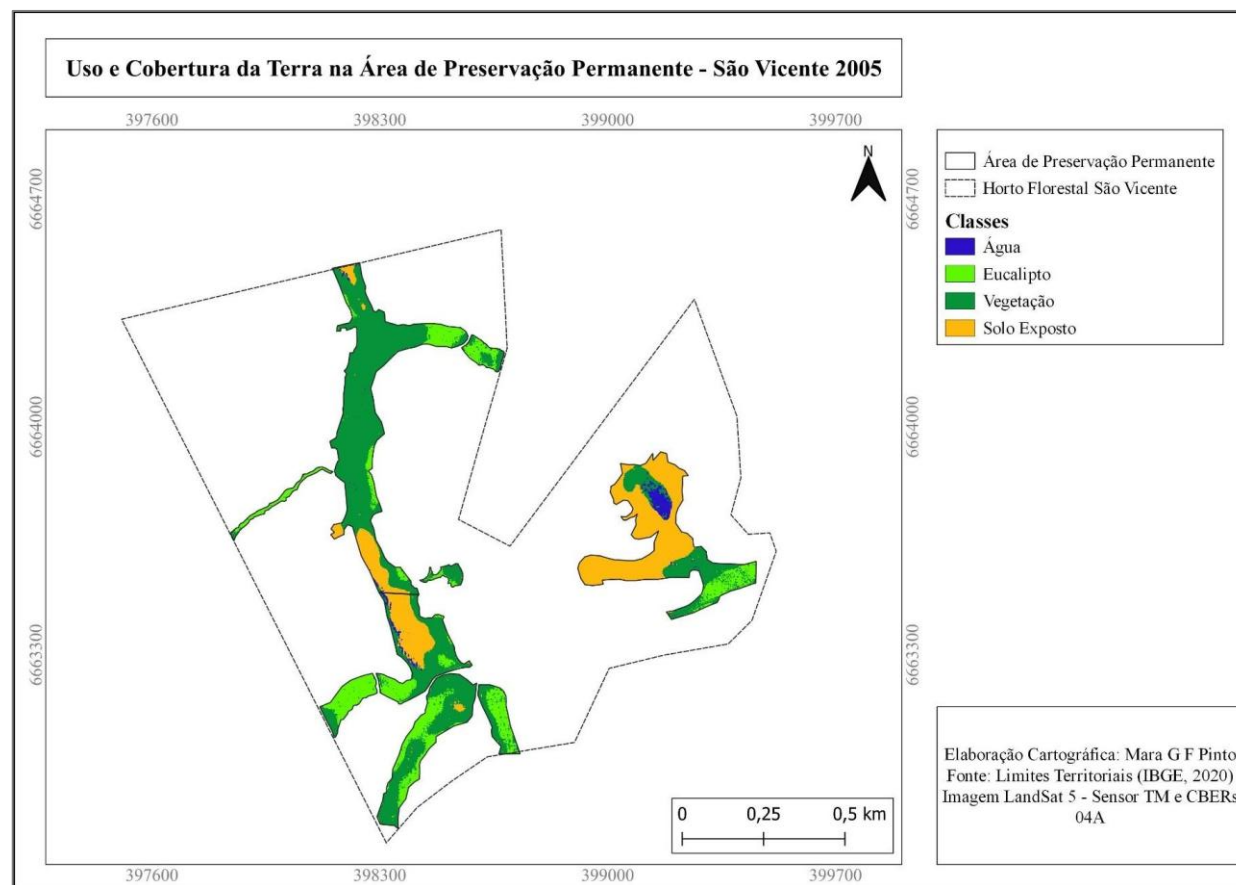
Figura 39- NDVI Horto São Vicente – 2020



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

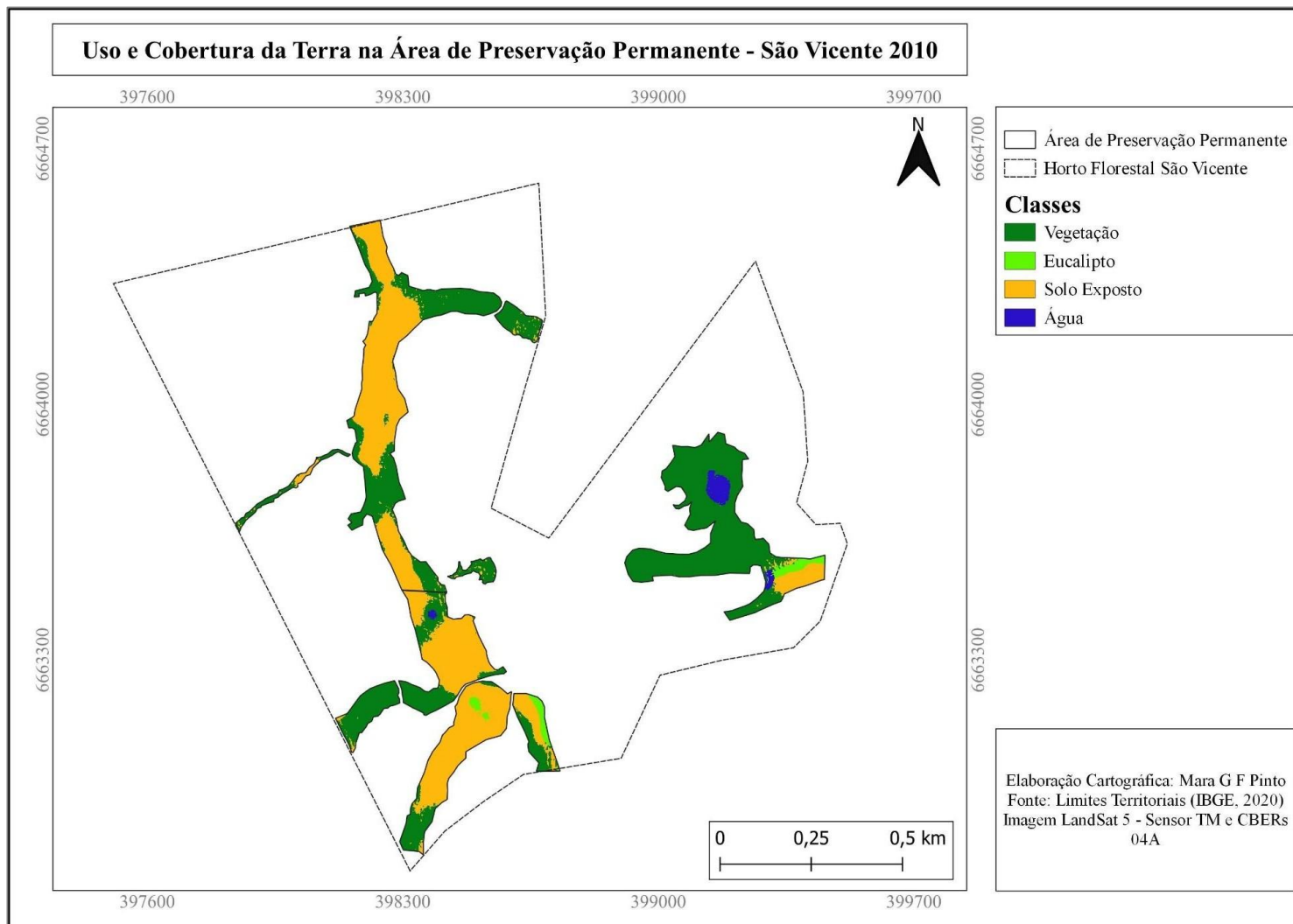
6.1.2. Classificação Supervisionada

Figura 40- Classificação Supervisionada na APP do Horto São Vicente– 2005



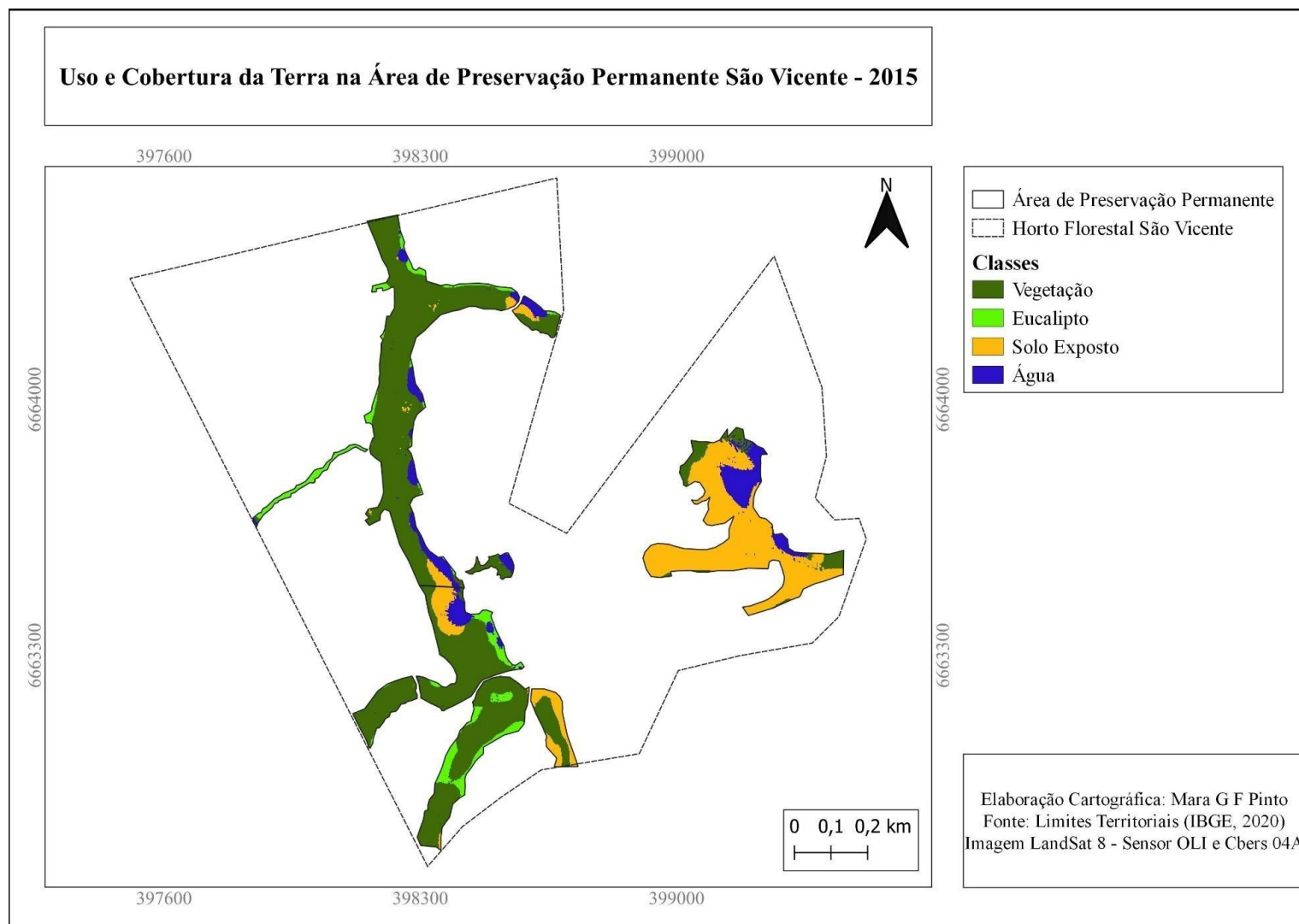
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022)

Figura 41- Classificação Supervisionada na APP do Horto São Vicente – 2010



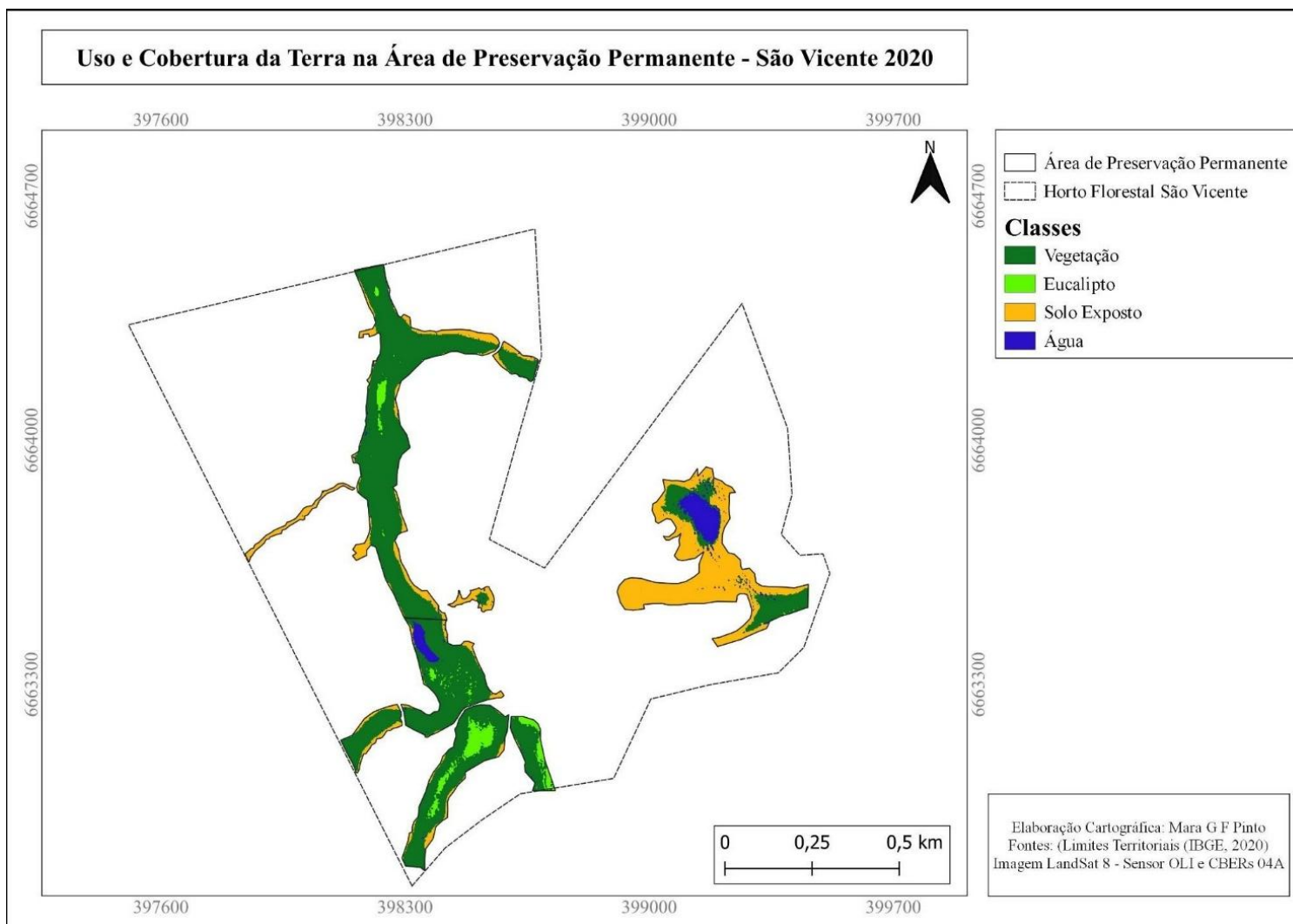
Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

Figura 42- Classificação Supervisionada na APP do Horto São Vicente– 2015



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

Figura 43- Classificação Supervisionada na APP do Horto São Vicente – 2020



Elaboração: Mara G. F. Pinto. Fonte: IBGE (2022).

6.1.3.Fator de Cobertura Vegetal

Diferente dos dados anteriores de FVC, os dados apresentados a seguir (tabela 4) referentes a APP São Vicente não estabeleceram uma linearidade, o que é curioso porque foi o horto que mais teve crescimento da cobertura vegetal.

Tabela 4- FVC São Vicente

Ano analisado	Fator de Cobertura Vegetal (FVC)
2005	1,0
2010	0,8
2015	0,7
2020	1,0

Fonte: Elaborado pela autora

6.1.4. Conclusões

O Horto São Vicente foi o primeiro a receber ações na restauração florestal de APPs, sendo o que mais apresentou índices positivos e semelhança com os dados da classificação supervisionada. Igualmente aos outros hortos, as classes que apresentaram maiores erros na classificação foram vegetação e eucalipto devido às semelhanças entre os pixels. As imagens com alta resolução espacial demonstraram flexibilidade de utilização podendo ser usadas tanto para medir o NDVI quanto para fazer a classificação supervisionada. Quanto à pequena área de solo exposto presente no horto, é necessário que se utilize técnicas de recuperação de solos, uma vez que, devido a intensa degradação pela antiga extração de carvão mineral, esta área apresenta baixa resiliência.

O avanço da cobertura florestal na APP desse horto ao longo do período analisado reflete as ações adotadas pela empresa, com orientação e pesquisas da parceria com o Laboratório de Restauração Florestal da UFV, e sinalizam para a sustentabilidade ambiental da produção de celulose.

A implantação de núcleos cercados e de núcleos com espécies tolerantes aos equinos e

bovinos, apresenta resultados muito satisfatórios, que devem ser repetir nos demais hortos da empresa, onde o início da restauração foi mais recente.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos mostram o avanço da cobertura florestal nas APPs dos hortos florestais analisados, o que só foi possível através da implantação de técnicas de nucleação, como o plantio de mudas em núcleos, uma forma de regeneração natural assistida.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, juntamente com a Classificação Supervisionada e o Fator de Cobertura Vegetal mostraram ser ferramentas eficientes quanto a identificação de áreas restauradas e em processo de restauração. Isso foi possível também devido à boa qualidade das imagens utilizadas neste estudo. Todavia, é importante ressaltar que alguns pontos devem ser reconsiderados, principalmente no que diz respeito à mistura de pixels semelhantes entre as classes.

A restauração ecológica das APPs que vem sendo promovida nestes e demais hortos florestais da empresa, em diversos municípios do Rio Grande do Sul, indica a sustentabilidade ambiental da produção de celulose no estado, conciliando o desenvolvimento sustentável, com geração de empregos e renda, com a recuperação e conservação da vegetação nativa dos biomas Pampa e Mata Atlântica.

Acredita-se que este estudo poderá contribuir com a empresa, uma vez que após os resultados percebe-se que a metodologia empregada foi eficiente e condizente com a realidade da restauração florestal nas áreas. Apoiado a isso, a CMPC poderá utilizar em estudos futuros esta metodologia a fim de obter resultados de outras áreas de interesse.

REFERÊNCIAS

- AGEFLOR - Agência Gaúcha de Empresas Florestais (2017) A indústria de base florestal no Rio Grande do Sul. Disponível em. Acesso em 20 julho de 2022.
- ALMEIDA, B.V. Monitoramento de restauração ecológica de áreas degradadas no parque nacional chapada dos veadeiros. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 30p, 2019.
- ANDERSON, M. L. Spaced-Group planting. *Unasylva*, v. 7, n. 2, 1953. Disponível em: Acesso em: 20 agos. 2021.
- AZEVEDO, T. e SOUZA JR., C., MAPBIOMAS “Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura do Solo”, Algorithm Theoretical Base Document & Results, (pp.87), março 2017.
- BALIEIRO, C.P.P., MALMANN, G., BARROS, P.L., VALE, S.R., PINHO, B., GONÇALVES, E., BARROS, L. E GARCIA, E., “A Amazônia aos olhos dos satélites Spot 5 e RapidEye. Integração de sensoriamento remoto e SIG em larga escala para cadastramento e adequação ambiental de imóveis rurais no estado do Pará”, Simpósio Internacional - SELPER (Associação de Especialistas Latino americanos em Sensoriamento Remoto), XVI, (16), Anais, Colômbia, 2014, disponível em: <<https://selper.org.co/papers-XVI> [1] Simposio/Bases-de-Datos-Geoespaciales/BD2-Amazonia-spot5- RapidEye.pdf, acesso em: 06 mai. 2022.
- BARBOSA VALE, J. R. et al. Análise Comparativa De Métodos De Classificação Supervisionada Aplicada Ao Mapeamento Da Cobertura Do Solo No Município De Medicilândia, Pará. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 4, n. 13, p. 26, 2018.
- BASSO VM, JACOVINE LAG, ALVES RR, VALVERDE SR, SILVA FL & BRIANEZI D (2011) Avaliação da influência da certificação florestal no cumprimento da legislação ambiental em plantações florestais. *Revista Árvore* 35: 835-844.
- BELEM, A. L. G.; RODRIGUES, R. M. Potencialidade do NDVI para mapeamento do estado de conservação em APP nas BH dos rios Butuí e Icamauã. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, p. 534–542, 2017.
- BOLDRINI, I. I.; FERREIRA, P. M. A.; ANDRADE, B. O.; SCHNEIDER, A. A.; SETÚBAL, R. B.; TREVISAN, R; FREITAS, E.M. Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica. Porto Alegre, editora Pallotti, 2010. 64 p.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, p. 1, 28 Maio 2012.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Brasília, DF, 18 jul. 2000. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=322>> Acesso em: 2 de junho de 2022.

CARLSON, T. N., and D. A. Ripley. 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover and leaf area index. *Remote Sens Environ* 62:241.

CHEN, C., et al., 2019. China and India lead in greening of the world through land-use management. *Nature Sustainability*, v. 2, n. 2, p. 122, 2019.

CMPC. Áreas de alto valor de conservação da Celulose Riograndense. Resumo Público atualizado - 2018, p. 39, 2018.

CORDEIRO, J.L.P.; HASENACK, H. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: Pillar, V.P. et al. (eds). *Campos Sulinos, conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília: MMA. p. 285-299, 2009.

ENGEL, V. L. Restauração ecológica de florestas tropicais: alijando benefícios ecológicos, econômicos e sociais. *Revista Opiniões*, mar-mai, p.11, 2007.

FOCHI, D. A. T, CORAZZA, R., MESACASA, L.; MELO, N. G. 2015. Utilização de ferramentas de geoprocessamento para a delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) no município de Passo Fundo, segundo o Novo Código Florestal (Lei 12.651-2012). VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Porto Alegre/RS. 5.

FONSECA, L.M.G. Processamento digital de imagens. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – São José dos Campos). Apostila curso disciplina SER-437 Processamento Digital de Imagens de Sensores Remotos – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, 2000.

HASENACK, H. (org.) Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Pampa. In: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Sumário Executivo do mapeamento da cobertura vegetal dos biomas brasileiros. Brasília: MMA/SBF. 2007.

JACOB AD (2003) Zonas ripárias: relações com a fauna silvestre. *Anais I Seminário de Hidrologia Florestal - Zonas Ripárias*. PPGEA, Florianópolis. 157p.

JIA, K., et al., 2015. Global land surface fractional vegetation cover estimation using general regression neural networks from MODIS surface reflectance. *IEEE Trans. Geosci. Rem.Sens.* 53 (9), 4787–4796.

JIMENÉZ-MUÑOZ, J.C. SOBRINO, J.A.; PLAZA, A.; GUANTER, L.; MORENO, J. MARTINEZ, P. Comparison between fractional vegetation cover retrievals from vegetation indices and spectral mixture analysis: Case study of PROBA/CHRIS data over an agricultural area. *Sensors*, v. 9, n. 2, p. 768–793, 2009.

KNIPLING, E. B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*. v. 1. pp. 155–159. 1970.
MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Agrometeorologia* 8 (1):141-150, 2000.
management. *Nat. Sustain.* 2 (2), 122–129.

MARCHIORI, J. N. C. *Fitogeografia do Rio Grande do Sul: enfoque histórico e sistema de classificação*. Porto Alegre: Edições EST. (2002).

MARTINS, S. V. et al. *Manual de procedimentos gerais para a restauração florestal no Estado do Espírito Santo*. Vitória: Cedagro, 2014b. 23p. Disponível em: acesso em 10 de março de

2022.

MARTINS, S. V. et al. Manual de procedimentos gerais para a restauração florestal no Estado do Espírito Santo. Vitória: Cedagro, 2014b. 23p. Disponível em: ES_MANUAL_DE-PROCEDIMENTOS-GERAIS-PARA-RESTAURAÇÃO-FLORESTAL-NO-ESTADO-DO-ES_abr14.pdf (ufv.br) acesso em: 10 de março de 2021.

MARTINS, S. V. O estado da arte da restauração florestal no Sudeste do Brasil. In: DORR, A. C. et al. (orgs.) Práticas e saberes em meio ambiente. Curitiba: Editora Appris, p. 283-302, 2014a.

MARTINS, S. V. Treinamento em Restauração Florestal. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 8p. (Relatório Técnico).

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati (org). Introdução ao Processamento de imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília i: UNB, 2012.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2011. Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação & Áreas de Risco. O que uma coisa tem a ver com a outra? Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro / Wigold Bertoldo Schäffer... [et al.]. – Brasília: MMA, 152.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura.

(1961). OLIVEIRA, LUÍS G. L. DE., PEREIRA, LEONARDO M., PEREIRA, GABRIEL, MORAES, Elisabete C. Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de imagens do ETM+/LANDSAT 7. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5995-6002. Disponível em: <http://mar.tecnico.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2007/01.1.19.10/doc/@sumario.htm>. Acesso em: 11/01/2022.

RODRIGUES RR & NAVE AG (2001) Heterogeneidade florística das matas ciliares. In: Rodrigues RR & Leitão-Filho HF (eds.) Matas ciliares: conservação e recuperação. EDUSP/Fapesp, São Paulo. Pp. 45-71.

SANTOS, M. 1992: A Redescoberta da Natureza. Estudos Avançados, v. 6, n. 14, p. 95–106, abr. 1992.

SILVEIRA, A.H de M.; SILVA, F.M, HADAD, R. M.; LIBÓRIO, M.P. Aplicações, preferências e comparações entre métodos de classificação supervisionada: o caso de Natal/RN. Ra'e Ga. Curitiba, v.47, n.1, p. 120-135.

SPRING. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

TAGLIARINI., F.S.N. Imagens de drone e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para classificação segmentada em áreas de preservação permanente (APP), 2020. Tese de Doutorado (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista. Botucatu, p.99.2020.

VERDUM, R. O pampa. Ainda desconhecido. Revista do Instituto Humanitas Unisinos - IHU Online. São Leopoldo, 7 de agosto de 2006, n°: 183, p.4-9.

WEN, Z., et al., 2010. Stratified vegetation cover index: a new way to assess vegetation impact on soil erosion. *Catena* 83 (1), 87–93.

XU, G., et al., 2018. Vegetation restoration projects and their influence on runoff and sediment in China. *Ecol. Indicat.* 95, 233–241.

YUE, Y.M., et al., 2012. Remote sensing of fractional cover of vegetation and expose bedrock for karst rocky desertification assessment. *Procedia Environmental Sciences* 13, 847–853.

ZHANG, X., et al., 2013. Fractional vegetation cover estimation in arid and semi-arid environments using HJ-1 satellite hyperspectral data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 21, 506 – 512.