MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA

ROMEU FERNANDES PERIS
SAMUEL MENDES DE MELO

ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTOS PARA GESTÃO PATRIMONIAL DE IMÓVEIS USANDO PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

RIO DE JANEIRO
2024

ROMEU FERNANDES PERIS
SAMUEL MENDES DE **MELO**

ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTOS PARA GESTÃO PATRIMONIAL DE IMÓVEIS USANDO PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Projeto de Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica.

Orientador(es): Daniel Luís **Andrade** e Silva, Ph.D.

Rio de Janeiro

2024

©2024
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha
Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmar ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

Fernandes Peris, **Romeu**; Mendes De **Melo**, **Samuel**.
Elaboração de procedimentos para gestão patrimonial de imóveis usando produtos de Sensoriamento Remoto / **Romeu** Fernandes Peris e **Samuel** Mendes De **Melo**. – Rio de Janeiro, 2024.
65 f.

Orientador(es): Daniel Luís **Andrade** e Silva.

Projeto de Final de Curso (graduação) – Instituto Militar de Engenharia, Engenharia Cartográfica, 2024.

1. gestão patrimonial. 2. procedimento. 3. sensoriamento remoto. 4. classificação de imagem. i. **Andrade** e Silva, Daniel Luís (orient.) ii. Título

ROMEU FERNANDES PERIS
SAMUEL MENDES DE MELO

Elaboração de procedimentos para gestão patrimonial de imóveis usando produtos de Sensoriamento Remoto

Projeto de Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica.

Orientador(es): Daniel Luís **Andrade** e Silva.

Aprovada em 10 de outubro de 2024, pela seguinte banca examinadora:

T.C. **Daniel Luís Andrade e Silva** - D.Sc. do IME - Presidente

Prof. **Raquel Aparecida Abrahão Costa e Oliveira** - D.Sc. do IME

Cel. R/1 **Marcelo de Miranda Reis** - D.E. do IME

Rio de Janeiro

2024

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Militar de Engenharia (IME), por me acolher e me proporcionar um crescimento pessoal e profissional que só aqueles que percorreram seus corredores amarelados são capazes de compreender. Desde o momento da apresentação, a emocionante entrada pelos portões, o desafiador acampamento básico, a extasiante escolha de engenharia, e, em breve, a tão sonhada saída pelos portões, essa escola de formação foi o epicentro dos meus primeiros passos na vida adulta.

Aos meus companheiros de engenharia e amigos: Charles, Costa, Henrique, Jaime, Kreitlon, Márcio, Nojima, Pedro Dias, Reginaldo, Romeu (meu companheiro de batalha nesse trabalho e em vários outros, cuja colaboração e camaradagem foi fundamental em todos), Tadeu e Vinícius que auxiliaram e trouxeram às lutas diárias companheirismo e dedicação, e tornaram as longas noites viradas do 4.1 menos excruciantes.

Aos meus pais, Kennedy e Angela, que me ensinaram a dar os primeiros passos nesse mundo, bem como o valor do estudo e da dedicação, e por me amar em todos os momentos. Aos meus avós e padrinhos Renato e Helena, pelo apoio e pela simplicidade.

Ao meu amigo Vinícius Lima, que dividiu apartamento comigo no ensino médio e foi meu companheiro de jornada nos micro-ônibus. Aos meus amigos: Daniel Modesto e Mota Neto por tornar nosso velho e cansado apartamento um lar.

Ao meu Orientador, TC Daniel Luís Andrade e Silva pela orientação e colaboração, e os demais professores da Mais Elevada, a Seção de Engenharia Cartográfica (SE/6) pelos conhecimentos passados.

A todos que contribuíram, ainda que indiretamente e de maneira não menos importante, para a minha formação.

- Samuel Mendes de Melo

Aos meus queridos pais, avós e irmão, cuja presença constante em minha vida foi um farol de apoio e amor incondicional, ajudando-me a superar cada obstáculo e a avançar com coragem na busca dos meus sonhos. Agradeço profundamente por me permitirem chegar até aqui, sempre acreditando em mim nos momentos mais desafiadores.

Ao Instituto Militar de Engenharia (IME), que não apenas me formou como engenheiro, mas também moldou meu caráter como militar e cidadão, transmitindo valores que levarei comigo para toda a vida.

À minha dupla de batalhas, Samuel Melo, que esteve ao meu lado em cada fase deste percurso, e ao nosso dedicado orientador e estimado paraninfo, Tenente-Coronel

Daniel Luís Andrade e Silva, cuja orientação e sabedoria tornaram esta jornada menos árdua e infinitamente mais enriquecedora.

Por fim, à minha amada noiva, Ana Raulino, cujo apoio constante, parceria inabalável e amor incansável foram fundamentais ao longo desses anos. Sou eternamente grato por sua presença ao meu lado, compartilhando cada conquista e desafio.

- Romeu Fernandes Peris

"Os homens devem moldar seu caminho. A partir do momento em que você vir o caminho em tudo o que fizer, você se tornará o caminho. (Myamoto Musashi: O Livro dos Cinco Anéis)

RESUMO

Produtos de sensoriamento remoto podem ser bons insumo para auxiliar na gestão patrimonial. Com o uso de software e dados livres, é possível coletar informações acerca de imóveis sem a necessidade de ir a campo, permitindo uma gestão eficaz e de menor custo. Nesse contexto, foram elaborados procedimentos para a realizar a gestão patrimonial de imóveis pela Diretoria de Patrimônio Imobilíário (DPIMA), órgão de apoio técnico-normativo-consultivo do Departamento de Engenharia e Construção (DEC), utilizando produtos de sensoriamento remoto e visando analisar a conformidade ambiental com o Código Florestal Brasileiro e otimizar a atualização de área construída do sistema OPUS utilizado pela Diretoria de Obras Militares (DOM). Os procedimentos elaborados utilizam Processamento Digital de Imagem para gerar índices de vegetação e para classificar imagens de satélite, tanto ópticas como de radar, visando identificar a cobertura do solo em épocas diferentes e visualização da alteração de área construída.

Palavras-chave: gestão patrimonial. procedimento. sensoriamento remoto. classificação de imagem.

ABSTRACT

Remote sensing products are good inputs to assist in asset management. With the use of free software and data, it is possible to collect information about properties without the need to go into the field, allowing for effective and lower-cost management. In this context, procedures were developed to carry out the asset management of properties by the Diretoria de Patrimônio Imobiliário (DPIMA), a technical-normative-advisory support division of the Departamento de Engenharia de Construção (DEC), using remote sensing products and aiming to analyze the environmental compliance with the Brazilian Forest Code and optimize the update of the built area on the OPUS system used by the Diretoria de Obras Militares (DOM). The elaborated procedures use Digital Image Processing to generate vegetation indices and to classify satellite images, both optical and radar, aiming to identify soil cover at different times and visualize changes in the built area.

Keywords: asset management. procedure. remote sensing. image classification.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Aquisição de imagens por sensoriamento remoto 22
Figura 2 – Imagem óptica em falsa cor da costa do Parque Nacional de Matang em Perak, Malásia 24
Figura 3 – Imagem Radar da costa do Parque Nacional de Matang em Perak, Malásia 25
Figura 4 – Comparação visual entre Imagem Óptica e SAR (banda L), respectivamente 26
Figura 5 – Exemplo de uma imagem aérea com 295 × 269 pixels e uma diferença de resolução de um fator 4 sofrendo pansharpening 28
Figura 6 – Exemplo de coleta de amostras para treinamento em imagem SAR . . . 29
Figura 7 – Exemplo de Classificação supervisionada de Imagem. 30
Figura 8 – Fluxograma da metodologia. 32
Figura 9 – Áreas de estudo 34
Figura 10 – Passo a passo da obtenção das bandas pelo catálogo de imagens do INPE 36
Figura 11 – Processo de vetorização 37
Figura 12 – Passo a passo da obtenção vetorização da área de estudo 38
Figura 13 – Passo a passo da obtenção da imagem de radar via site do Copernicus . 39
Figura 14 – Composição das bandas 40
Figura 15 – Informações importantes das bandas de entrada 40
Figura 16 – Resultados das composições do Forte Santa Bárbara 41
Figura 17 – Resultado da composição de bandas ópticas (cor verdadeira): RGB composto por Banda 3, Banda 2, Banda 1 para imagens do CBERS-4A, Parque Nacional Histórico dos Guararapes 41
Figura 18 – Seleção da ferramenta calculadora Raster. 42
Figura 19 – Calculadora Raster. 43
Figura 20 – Escolha da composição das cores do NDVI. 44
Figura 21 – Antes e depois do cálculo do NDVI 44
Figura 22 – Composição em Cor Verdadeira e NDVI calculado. 45
Figura 23 – Efeito das nuvens na camada NDVI (Parque Histórico Nacional dos Guarapes) 45
Figura 24 – Passo a passo para a utilização da ferramenta Pansharpening (GDAL) 46
Figura 25 – Parque Histórico Nacional dos Guararapes em diferentes resoluções . . 46
Figura 26 – Seleção das bandas. 48
Figura 27 – Amostragem das classes. 48
Figura 28 – Execução e resultado da classificação pelo SCP 49
Figura 29 – Forte Santa Bárbara classificado por Distância Mínima. 49

Figura 30 – Aplicação do QML da classificação. 50
Figura 31 – Composições em cor verdadeira do bairro Recreio dos Bandeirantes. . . 52
Figura 32 – Área construída no bairro Recreio dos Bandeirantes classificadas por Distância Mínima. 52
Figura 33 – Diferença Matricial na Calculadora Raster. 53
Figura 34 – Geração da diferença matricial. 53
Figura 35 – Alteração de área construída. 54

Figura 36 – Composição em cor verdadeira das áreas de estudo 56
Figura 37 – Imagem NDVI 56
Figura 38 – Campo Instrução de Formosa com componentes radar 57
Figura 39 – Imagem classificada do Forte Santa Bárbara utilizando dados ópticos de 8 m de resolução. 58
Figura 40 – Imagem classificada do Forte Santa Bárbara utilizando componente VH de dados SAR. 58
Figura 41 – Imagem classificada do Parque Histórico Nacional dos Guararapes utilizando dados ópticos de 2 m de resolução. 59
Figura 42 – Classificação da imagem em épocas diferentes (Recreio dos Bandeirante) 60
Figura 43 – Alteração de área construída. 60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Bandas de comprimento de onda utilizadas em radar 25
Quadro 2 – Bandas utilizadas no SCP para cada imagem resultante 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relatório de métricas da classificação do Forte Santa Bárbara 50
Tabela 2 – Relatório de métricas da classificação do PHNG 51
Tabela 3 – Valores percentuais da área de floresta nativa de cada área em cada método 59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EB	Exército Brasileiro
PNR	Próprios Nacionais Residenciais
DPIMA	Diretoria de Patrimônio Imobiliário e Meio Ambiente
DEC	Departamento de Engenharia e Construção
DOM	Diretoria de Obras Militares
OPUS	Sistema Unificado do Processo de Obras
SOM	Sistema de Obras Militares
PDOM	Plano Diretor de Organizações Militares
CEADEX	Centro de Educação a Distância do Exército
SR	Sensoriamento Remoto
NC	Nível de Cinza
SAR	*Synthetic Aperture Radar*
H	Horizontal
V	Vertical
RGB	*Red, Green, Blue* (Vermelho, Verde, Azul)
NDVI	*Normalized Difference Vegetation Index* (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)
NIR	*Near Infrared* (Infravermelho próximo)
HSI	*Hue, Saturation, and Intensity* (Matiz, Saturação e Intensidade)
CNN	*Convolutional Neural Network* (Redes Neurais Convolucional)
SVM	*Support Vector Machine* (Máquinas de Vetores de Suporte)
Cmdo Art Ex	Comando de Artilharia do Exército
GO	Goiás
CMP	Comando Militar do Planalto

PNHG	Parque Histórico Nacional dos Guararapes
PE	Pernambuco
FunCEB	Fundação Cultural Exército Brasileiro
SIG	Sistema de Informação Geográfica
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
CBERS	Câmera Brasileira de Recursos Naturais e Sensoriamento
BDGEx	Banco de Dados Geográficos do Exército
OSM	*OpenStreetMap*
SCP	*Semi-Automatic Classification*
QML	*Qt Modeling Language*

LISTA DE SÍMBOLOS

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO . . . 18
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO . . . 18
1.2 REQUISITOS A SEREM ATENDIDOS . . . 19
1.3 OBJETIVOS . . . 20
1.3.1 OBJETIVO GERAL . . . 20
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS . . . 20
1.4 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DO PROJETO . . . 20

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . 22
2.1 SENSORIAMENTO REMOTO . . . 22
2.1.1 IMAGENS ÓPTICAS . . . 23
2.1.2 IMAGENS SAR (*SYNTHETIC APERTURE RADAR* - RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA) . . . 24
2.2 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS . . . 26
2.2.1 PRÉ PROCESSAMENTO . . . 26
2.2.1.1 FILTRAGEM . . . 26
2.2.1.2 NDVI . . . 27
2.2.1.3 *PANSHARPENING* . . . 27
2.2.2 CLASSIFICAÇÃO . . . 28

3 ABORDAGEM METODOLÓGICA . . . 31
3.1 DESCRIÇÃO GERAL . . . 31
3.2 ÁREA DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS . . . 32
3.3 *SOFTWARE* E *PLUGINS* UTILIZADO . . . 34
3.4 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS . . . 34
3.4.1 OBTENÇÃO DOS DADOS . . . 35
3.4.1.1 OBTENÇÃO DAS BANDAS DE DADOS ÓPTICOS . . . 35
3.4.1.2 OBTENÇÃO DO VETOR ÁREA DE ESTUDO . . . 36
3.4.1.3 OBTENÇÃO DAS IMAGENS AUXILIARES DE RADAR . . . 38
3.4.2 PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS . . . 39
3.4.2.1 COMPOSIÇÃO DAS BANDAS ÓPTICAS E COMPONENTES SAR . . . 39
3.4.2.2 CÁLCULO DO NDVI . . . 41
3.4.2.3 FUSÃO DE IMAGENS . . . 45
3.4.3 COLETA DAS AMOSTRAS DE TREINAMENTO . . . 47
3.4.4 CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM . . . 48
3.4.5 RECORTE DA IMAGEM PELO LIMITE DA ÁREA DE ESTUDO . . . 49

3.4.6 ESTIMATIVA DE MÉTRICAS PARA AS ANÁLISES 50
3.4.7 VERIFICAÇÕES COM BASE NOS RESULTADOS 51
3.4.7.1 VERIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE À LEGISLAÇÃO FLORESTAL (DPIMA) . 51
3.4.7.2 VERIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE ATUALIZAÇÃO DOS VETORES (DOM) 51
3.4.8 ELABORAÇÃO DE DOCUMENTO DE GESTÃO 54

4 RESULTADOS E ANÁLISES 55
4.1 RESULTADOS OBTIDOS 55
4.1.1 IMAGENS PRÉ-PROCESSADA 55
4.1.2 IMAGENS CLASSIFICADAS E MÉTRICAS 57
4.1.3 IMAGEM DIFERENÇA DE ÁREA CONSTRUÍDA E MÉTRICAS RELEVANTES 59
4.2 ANÁLISES 60

5 CONCLUSÕES 62
5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS 62
5.2 CONCLUSÃO 62

REFERÊNCIAS 64

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A gestão patrimonial, no âmbito do Exército Brasileiro (EB), tem por finalidade superintender as atividades relacionadas à administração de seus bens imóveis, abrangendo Próprios Nacionais Residenciais (PNR), quartéis, campos de instrução e outros patrimônios jurisdicionados ao Comando do Exército, bem como o patrimônio ambiental dessas áreas. Tais incumbências competem à Diretoria de Patrimônio Imobiliário e Meio Ambiente (DPIMA, 2015), órgão de apoio técnico-normativo-consultivo do Departamento de Engenharia e Construção (DEC).

Indo ao encontro dessa incumbência, a Diretoria de Obras Militares (DOM) tem a missão de superintender as atividades de obras militares, construindo e mantendo a infraestrutura de que a Força Terrestre necessita para alcançar seus objetivos estratégicos e apoiar a família militar (DOM, 2022). Para isso, o exército brasileiro possue o OPUS (Sistema Unificado do Processo de Obras), um Sistema de apoio à decisão que suporta as funcionalidades de planejamento, programação, acompanhamento, fiscalização, controle, gerência e execução de obras e serviços de Engenharia de todas as atividades dos macroprocessos analísticos do Sistema de Obras Militares (SOM), tanto no nível executivo quanto gerencial e estratégico.

A administração desses bens envolve normatização, regularização, utilização e manutenção de bens imóveis e do patrimônio ambiental associado. Atualmente há uma série de legislações e normas que regularizam o monitoramento, gerenciamento e construção desses imóveis. Dentre eles, as Normas para Elaboração e Apresentação dos Planos Diretores (Port nº 005-DEC, de 23 Jul 80), que aprova as instruções reguladoras para elaboração, alteração e atualização de Planos Diretores de Organização Militar (PDOM) do Exército, documento que contém a descrição, a planta de situação, a indicação do estágio de construção, a relação das obras a realizar, as prioridades, os custos, tudo referente a um conjunto – aquartelamento, vila residencial ou outra qualquer edificação (DEC, 2019).

Além disso, como forma de proteção da vegetação nativa, o PDOM deve estar conforme as incumbências exigidas pelo Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651, de 25 de maio de 2012) e demais legislações ambientais, que estabelecem, dentre outros fatores, normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal. Dentre estas legislações, exemplifica-se o 12º (décimo segundo), que prevê os percentuais mínimos de área com cobertura de vegetação nativa em relação à área do imóvel, como descrito a seguir:

"Art. 12. Todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, sem prejuízo da aplicação das normas sobre as Áreas de Preservação Permanente, observados os seguintes percentuais mínimos em relação à área do imóvel, excetuados os casos previstos no art. 68 desta Lei: (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).

I. localizado na Amazônia Legal:

   a) 80% (oitenta por cento), no imóvel situado em área de florestas;
   b) 35% (trinta e cinco por cento), no imóvel situado em área de cerrado;
   c) 20% (vinte por cento), no imóvel situado em área de campos gerais;

II. localizado nas demais regiões do País: 20% (vinte por cento).

(...)"

Como motivação para o presente trabalho, o entendimento de que o monitoramento dos imóveis resguarda não só a segurança física do patrimônio, por meio de processos como identificação de queimadas, danos à infraestrutura, desmatamentos e ocupações ilegais; como também sua segurança legal e administrativa, por meio da análise da conformidade ambiental do uso do imóvel com as normas e legislações ambientais vigentes, e do auxílio na tomada de decisão no planejamento estratégico, e da atualização de vetores de áreas construídas e de obras.

Nesse Contexto, o Sensoriamento Remoto (SR) surge como uma poderosa ferramenta geoespacial para auxiliar e otimizar esses processos. Seu uso permite o imageamento espacial da área a ser monitorada, devido à frequência na aquisição de dados, que apresenta significativa cobertura de áreas extensas, coleta não intrusiva e ágil de dados, e havendo rapidez na disponibilidade de informações.

A partir das imagens adquiridas por Sensoriamento Remoto, é possível extrair geoinformações de interesse, sendo tais insumos considerados como significativa fonte de informações que auxiliarão no processo de tomada de decisão, tanto em relação aos imóveis existentes, como a obras a serem realizadas.

1.2 Requisitos a serem atendidos

Deseja-se, com o presente trabalho, entregar uma solução eficaz, econômica e contínua que auxilie o monitoramento da conformidade de imóveis e obras do EB com legislações ambientais vigentes e auxiliar na atualização dos vetores do sistema OPUS.

Para isso, empregou-se o software livre QGIS, de interface amigável, e dados de SR públicos de livre acesso. Sua utilização, por ser um software de código aberto, permite

personalizações e integrações com outras ferramentas, atendendo ao requisito de maior flexibilidade no processamento de dados e na geração de relatórios.

Além disso, o acesso a dados de sensoriamento remoto público garante a atualização contínua e gratuita das informações geoespaciais, essencial para o acompanhamento e a fiscalização de grandes áreas de forma eficiente. Assim, assegura-se o cumprimento da legislação ambiental, ao mesmo tempo, em que se otimiza o uso de recursos financeiros e tecnológicos.

Nesse sentido, o presente trabalho visa apresentar ao gestor ferramentas para otimizar a gestão dos imóveis com soluções de baixo custo e eficientes para o acompanhamento do patrimônio gerido.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Apresentar um conjunto de procedimentos que utilizem produtos de Sensoriamento Remoto para supervisionar a conformidade e atualização patrimonial do EB, no tocante a imóveis e obras, em relação a legislações ambientais e ao planejamento estratégico das obras militares.

1.3.2 Objetivos específicos

- Estabelecer condições técnicas norteadoras aos gestores de imóveis do EB no âmbito da conformidade ambiental;
- Estabelecer condições técnicas para atualização de vetores referentes a áreas construídas e obras
- Demonstrar o uso de ferramentas geoespaciais livres para auxiliar a tomada de decisões relativas à gestão de imóveis.

1.4 Justificativa e Contribuição do projeto

A justificativa do presente trabalho é apresentar como a utilização do sensoriamento remoto para a gestão patrimonial pode auxiliar a DPIMA e a DOM na orientação das OM no âmbito da gestão estratégica dos bens imóveis e obras da União jurisdicionados ao Comando do Exército, otimizando processos, aumentando a segurança e promovendo a preservação ambiental.

Como contribuição, procura-se permitir aos gestores de OM a prática do conhecimento adquirido sobre sensoriamento remoto voltado para auxiliar a gestão patrimonial

dos imóveis de sua responsabilidade, facilitando o processo de tomada de decisões no tocante ao seu devido monitoramento, considerada uma das incumbências dos gestores.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão explicados conceitos e teorias relacionadas ao desenvolvimento do presente trabalho

2.1 Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto é uma tecnologia essencial para a aquisição de imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre. Ele se baseia na captação e registro da energia refletida ou emitida pela superfície, utilizando sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas (como balões e aeronaves) e orbitais (satélites artificiais). O termo "sensoriamento"refere-se à aquisição desses dados por meio dos sensores, enquanto o termo "remoto"destaca a aquisição a distância, ou seja, sem contato físico direto entre o sensor e os objetos na superfície terrestre, como ilustrado na Figura 1. Além da aquisição de dados, o Sensoriamento Remoto também engloba o processamento, análise e interpretação dessas informações, desempenhando um papel crucial na obtenção de conhecimento sobre a Terra e seus recursos (FLORENZANO, 2007).

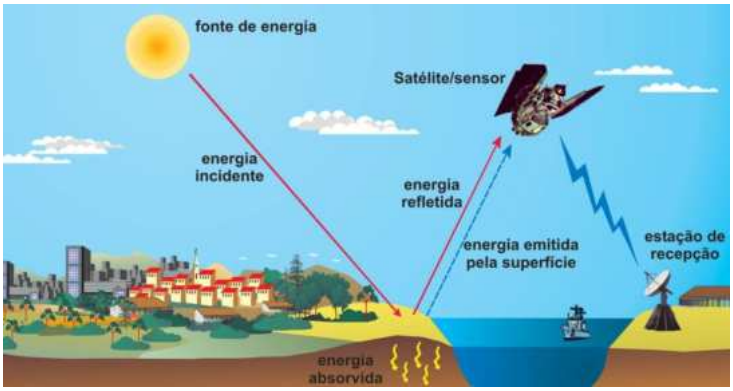


Figura 1 – Aquisição de imagens por sensoriamento remoto
Fonte: (FLORENZANO, 2007)

Na Figura 1, pode-se visualizar a representação do Sol, que incide sua luz sobre a superfície terrestre. A energia solar, ao ser refletida pela superfície, é direcionada em direção ao sensor, onde é captada e registrada. Vale ressaltar que, dependendo do tipo de sensor utilizado, também é possível captar e registrar a energia emitida pela própria superfície da Terra. É importante observar que, ao percorrer sua trajetória, a energia passa pela atmosfera, a qual exerce interferência na energia final registrada pelo sensor. Essa interação com a atmosfera pode afetar a qualidade e a precisão dos dados obtidos no sensoriamento remoto.

Sua característica não intrusiva e a habilidade de fornecer imagens periódicas de diferentes ambientes conferem ao sensoriamento remoto uma posição de destaque em comparação com outras metodologias de coleta de dados sobre recursos naturais. (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019).

As imagens de sensoriamento remoto são estruturadas matricialmente e compostas por pixeis (*picture elements*), menores elementos não divisíveis de uma imagem digital. Cada píxel, localizado em uma linha e uma coluna da matriz, possui um valor de brilho associado - em geral, associado ao nível de cinza (NC). A união dos pixeis forma a imagem.

Cada característica dos alvos está associada às chamadas resoluções, que evidenciam aspectos fornecidos pelo sensor imageador. Geralmente, cada sensor específico é projetado com configurações e resoluções para atender alguma demanda. Ao todo são quatro resoluções: Resolução espacial, relacionada à capacidade em descrever as características geométricas dos alvos e constitui a distância de captura entre dois pixeis consecutivos. Resolução espectral, medida pela quantidade de bandas espectrais. Quantos mais bandas houver, mais detalhada será a resposta espectral da imagem. Resolução radiométrica, relacionada com a capacidade do sensor de discretizar níveis de cinza, ou seja, quantos mais níveis de cinza, maior a resolução radiométrica. Resolução temporal. refere-se à frequência com que o sensor é capaz de adquirir imagens de um determinado local (FLORENZANO, 2007).

2.1.1 Imagens ópticas

Dentro do escopo do sensoriamento remoto foram criados sensores ditos não fotográficos, denominados de sensores imageadores multiespectrais, visando a aquisição de dados da Terra a partir do espaço. Sensores imageadores multiespectrais são dispositivos eletro-ópticos que podem captar diversas imagens da superfície terrestre ao mesmo tempo, abrangendo desde a faixa de espectro de luz visível (sensores ópticos) azul até a região termal (sensores termais) (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Os sensores imageadores multiespectrais fornecem dados digitalizados, podem ser operados de plataformas espaciais por meio de satélites e podem captar imagens em uma ampla gama de comprimentos de onda, com diversas bandas espectrais. Essas características tornam o uso desses sensores amplo, prático e versátil (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Os sensores ópticos são, em sua totalidade, sensores passivos - isto é - captam a radiação solar refletida ou transmitida pelo alvo, ou a radiação emitida naturalmente por ele. Dessa forma, a aquisição de imagens ópticas são dependentes de condições climáticas e do livre caminho da luz solar entre o alvo e o sensor. Em contrapartida, imagens ópticas permitem uma melhor interpretação visual e maior resolução espectral devido à sua capacidade de detecção multiespectral. A Figura 2 mostra uma imagem de sensoriamento

remoto óptico da costa do Parque Nacional de Matang em Perak, Malásia em cores falsas. Em laranja-escuro estão as áreas de mangue, com as manchas amarelas indicando corte raso por aldeias onde a terra é mais seca.

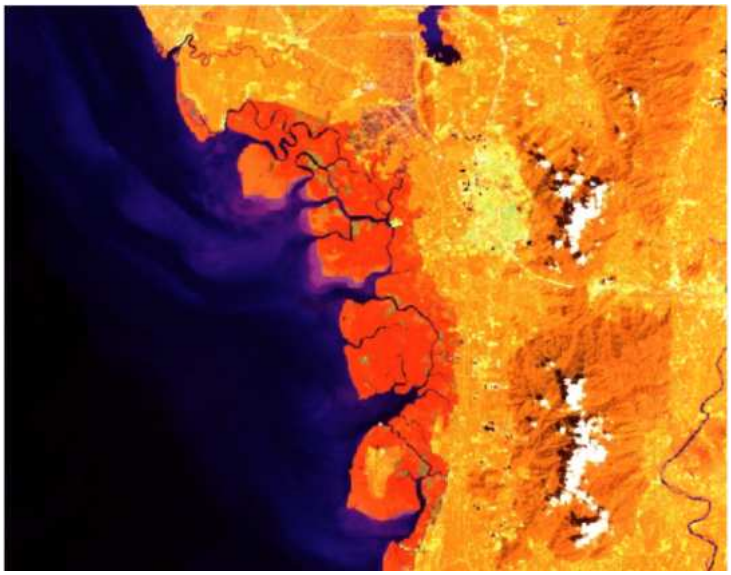


Figura 2 – Imagem óptica em falsa cor da costa do Parque Nacional de Matang em Perak, Malásia

Fonte: *US Geological Survey* (USGS, 2019)

2.1.2 Imagens SAR (*Synthetic Aperture Radar* - Radar de Abertura Sintética)

As regiões espectrais do visível e do infravermelho da luz solar representam apenas uma fração do sensoriamento remoto, conhecida como a faixa dos sensores ópticos. Enquanto imagens térmicas podem ser obtidas da radiação eletromagnética emitida pela própria Terra, as imagens de radar das micro-ondas podem ser adquiridas com o uso de fontes de radiação construídas pelo ser humano. Essa distinção permite dividir os sensores imageadores orbitais em três classes principais: sensores ópticos que utilizam a radiação eletromagnética solar como fonte; sensores térmicos que se baseiam na radiação emitida pela Terra; e sensores de radar que dependem de fontes artificiais de radiação que refletem na superfície imageada (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A tecnologia SAR é um sistema ativo, no qual são emitidos pulsos de energia, sendo registrado o retroespalhamento ocorrido na superfície analisada. Particularmente, o sistema SAR opera na faixa do micro-ondas (de 0,8 cm a 120 cm). As bandas espectrais do SAR são descritas no Quadro 1. Usualmente as bandas utilizadas no sensoriamento são selecionadas conforme a penetrabilidade no respectivo material, e quanto maior o comprimento de onda, maior a capacidade do sinal em penetrar em copas de árvores. A penetração em copas de árvores também depende da biomassa e da estrutura da vegetação, e o grau de umidade do solo também afeta o sensoriamento (APLICAÇÕES, 2020).

A polarização das energias emitidas e retroespalhadas é um parâmetro importante

no sensoriamento por radar. Antena pode ser configurada para transmitir e receber componentes elétricos dos sinais em um plano perpendicular à direção de propagação, de modo que, geralmente, os radares são concebidos para operar nos planos horizontal (H) e vertical (V). À medida que o sinal sofre alterações em sua polarização ao atingir a área adquirida, um sensor SAR utiliza diferentes combinações da polarização, sendo representadas por duas letras, sendo a primeira referente à onda emitida e a segunda ao sinal retroespalhada. Sinais representados por HH e HV são chamados de co-polarizados (*like-polarized*), e sinais HV e VH são sinais de polarização cruzada (*cross-polarized*). A partir da combinação de polarizações é possível criar composições em cores RGB das imagens.

Quadro 1 – Bandas de comprimento de onda utilizadas em radar

Banda	K	X	C	S	L	P
Comprimento (cm)	0.8 a 2.5	2.5 a 3.8	3.8 a 7.5	7.5 a 15	15 a 60	60 a 120

As imagens por radar, diferentes das imagens ópticas, ignoram a cobertura de nuvem e não depende da incidência da luz solar para visualização da área. Além disso, as diferentes penetrabilidades dos comprimentos de onda permitem desenvolver produtos como os modelos digitais de elevação, e a partir disso calcular a altura das copas das árvores. Em contrapartida, a interpretação visual das imagens SAR é comprometida, como pode ser observado na Figura 3, que mostra uma imagem de radar de sensoriamento remoto da mesma região dá Figura 2. Em cinza mais escuro estão as áreas de mangue, com as manchas brancas indicando corte raso por aldeias onde a terra é mais seca e carece de complexidade vertical.

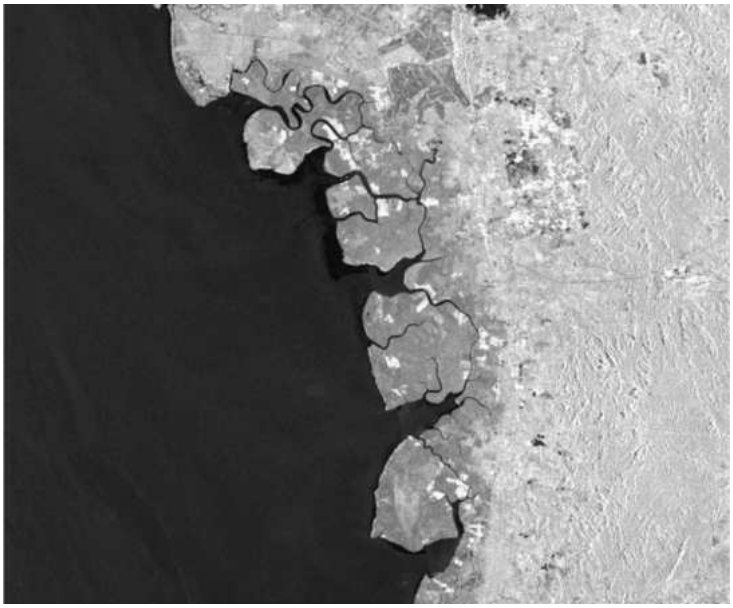


Figura 3 – Imagem Radar da costa do Parque Nacional de Matang em Perak, Malásia
Fonte: *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA, 2016)

Dessa forma, a capacidade das imagens SAR de detectar variações na textura e composição dos materiais, combinada com a riqueza de detalhes espectrais fornecidos pelas imagens ópticas, permite uma análise mais completa e abrangente das características geoespaciais de cada área. A Figura 4 ilustra a diferença visual entre os dados SAR e ópticos, destacando como cada tipo de imagem capta informações complementares.

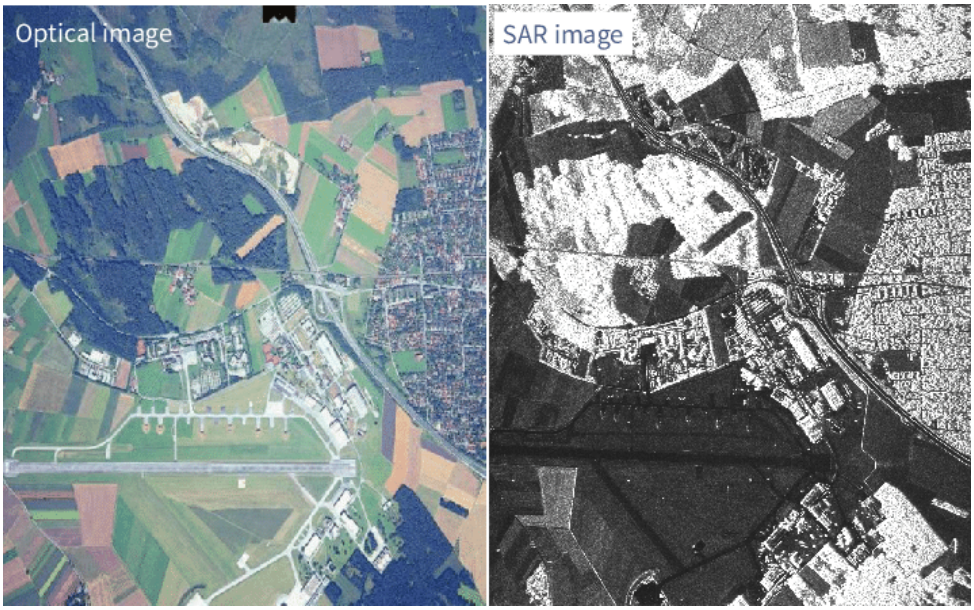


Figura 4 – Comparação visual entre Imagem Óptica e SAR (banda L), respectivamente
Fonte: (LEY; D'HONDT; HELLWICH, 2018)

2.2 Processamento Digital de Imagens

Processamento Digital de Imagens consiste no tratamento de imagens buscando melhorar a visualização e criar condições para analisar características de interesse (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019). Nesse sentido, o processamento visa reduzir o efeito de ruídos e de cobertura de nuvem (para imagens ópticas). Para imagens coloridas, são definidos dois tipos de processamento, o processamento de imagens em falsa cor e o processamento de imagens de cor verdadeira. O primeiro envolve a atribuição de cores a diferentes níveis de cinza de acordo com um critério específico, e as imagens resultantes podem ser tanto multiespectrais quanto pancromáticas. O segundo busca manipular a verdadeira cor das imagens.

2.2.1 Pré Processamento

2.2.1.1 Filtragem

A filtragem de imagens é um processo usado para melhorar a qualidade das imagens, remover ruídos e realçar características específicas. Isso é feito aplicando filtros matemáticos que alteram os valores dos píxeis. Existem diferentes tipos de filtros, como

filtros de suavização para reduzir transições abrutas, filtros de realce, que buscam conferir nitidez a bordas e detalhes da imagem. Também há filtros que buscam reduzir a presença de ruídos na imagem, e filtros projetados para detectar bordas.

2.2.1.2 NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um índice amplamente utilizado na área de sensoriamento remoto e monitoramento ambiental para medir a saúde da vegetação em uma determinada área. Seu cálculo é feito da forma a seguir:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \tag{2.1}$$

No qual:

- NIR - Infravermelho próximo
- RED - Vermelho

O NDVI, que utiliza as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, é fundamentado na medição da absorção da luz solar pela clorofila presente na vegetação. Seu valor será elevado quando a refletância na banda do vermelho é baixa, indicando uma vegetação com bastante clorofila, e, portanto, saudável. Assim, vegetações saudáveis e com a maior presença de clorofila torna a vegetação mais absorvedora da faixa do vermelho e refletora no infravermelho próximo, enquanto a vegetação estressada tem menor absorção no espectro vermelho e menor reflexão no infravermelho próximo (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2015).

No presente contexto, o NDVI pode ser utilizado para auxiliar a coleta de amostras para a classificação, uma vez que torna as classes de vegetação mais evidentes. Valores negativos são obtidos principalmente de água e nuvens, e valores mais próximos a zero são obtidos de rochas e solo exposto. Valores entre 0 e 0,1 geralmente são áreas vazias de rochas ou areia, e valores de 0,2 a 0,6 representam arbustos e prados, enquanto valores de 0,6 a 0,8 indicam florestas temperadas e tropicais. Dessa forma, valores que destoam em relação à formação do solo podem indicar regiões danificadas (BARBOSA; CARVALHO; CAMACHO, 2017).

2.2.1.3 *Pansharpening*

Pansharpening é um processo de fusão de imagens multiespectrais com imagens pancromáticas para criar uma imagem colorida de maior resolução (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019). Um dos algoritmos utilizados de *pansharpening* consiste na substituição de componentes resultantes da transformação RGB para HSI. As componentes HSI são

calculadas a partir das bandas multiespectrais selecionadas, de modo que as componentes matiz (H) e saturação (S) são reamostradas para a quantidade de pixels disponíveis da imagem pancromática. Assim, a componente Intensidade (I), da composição HSI é substituída pela banda pancromática, e é posteriormente retornada para a composição RGB. Assim, a composição assume a resolução da banda pan, porém é possível notar um efeito de "borramento" decorrente da redução do tamanho do pixel (figura 5).

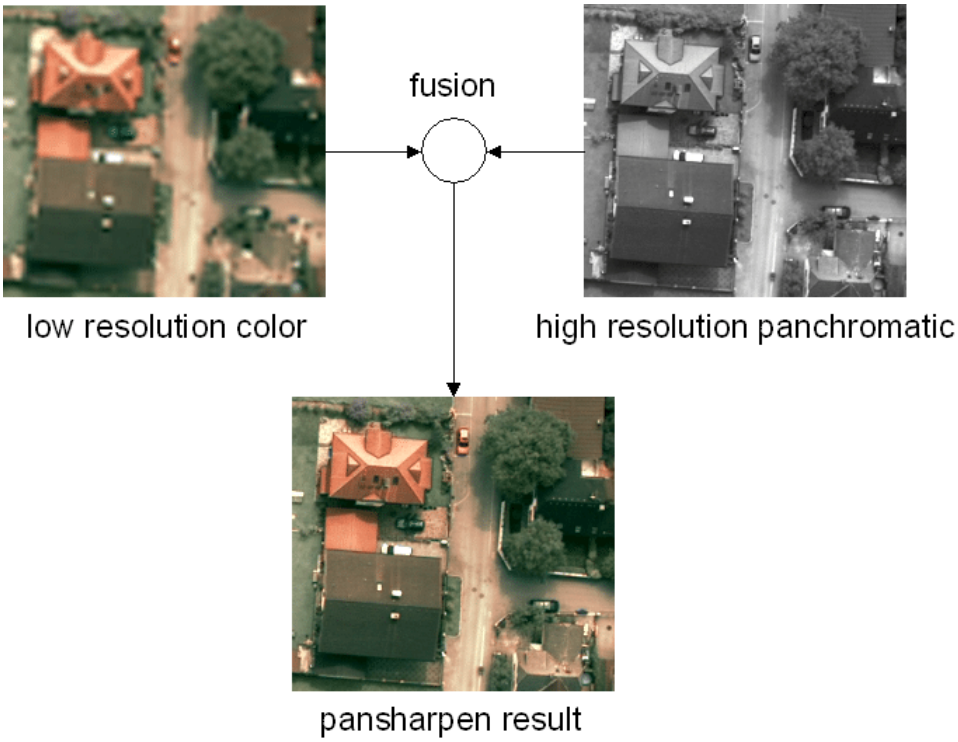


Figura 5 – Exemplo de uma imagem aérea com 295 × 269 pixels e uma diferença de resolução de um fator 4 sofrendo pansharpening.
Fonte: (PERKO, 2004)

2.2.2 Classificação

A classificação de imagens é o processo de associar píxeis de uma imagem a classes específicas que representam objetos ou características reais, com água, solo e floresta. Isso é feito com base nos valores digitais dos píxeis, como o nível de cinza (NC) em cada banda. O objetivo é facilitar a identificação e análise desses objetos, fornecendo uma representação visual clara das diferentes classes presentes na imagem.

O processo de classificação envolve duas etapas principais:

- **Treinamento:** Seleção de píxeis representativos das classes de interesse e criação de regras de decisão. Isso pode ser feito com supervisão do usuário ou por algoritmos computacionais. A Figura 6 exemplifica a extração de amostras em uma imagem.

- **Rotulação:** Aplicação das regras de decisão para atribuir a cada píxel da imagem uma classe específica. Isso resulta em uma imagem temática, onde cada classe é destacada por uma cor distinta, com visto na Figura 7, na qual apresenta como classe floresta primária (verde-escuro), floresta modificada (verde-claro), pastagem (vermelho), solo exposto (rosa) e agricultura (agricultura).

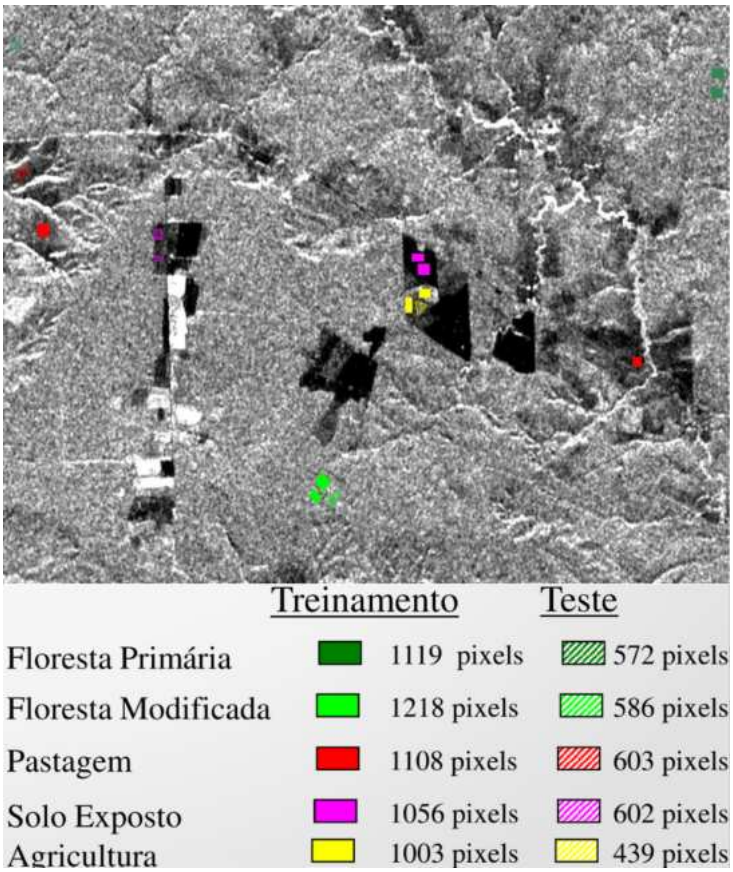


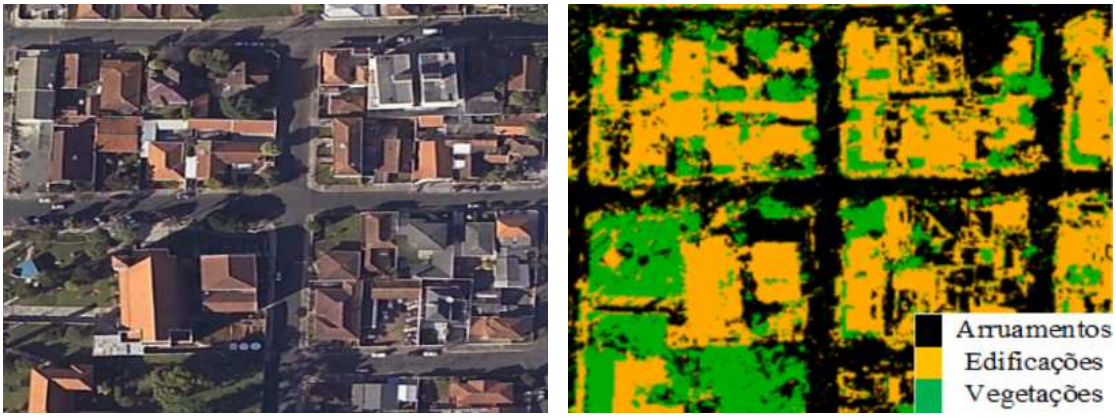
Figura 6 – Exemplo de coleta de amostras para treinamento em imagem SAR
Fonte: Fornecido pelo orientador

Dados de sensoriamento remoto podem ser analisados em cenários no qual o usuário dispõe ou não do conhecimento da verdade de campo acerca da área imageada. No processo de classificação de imagens, duas técnicas principais são utilizadas, as ditas supervisionadas e as não supervisionadas, que se distinguem conforme a presença ou ausência de amostras rotuladas, respectivamente. (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019).

A classificação supervisionada envolve o treinamento de um modelo com um conjunto de imagens rotuladas, onde cada imagem é associada a uma categoria ou classe específica, de forma que o modelo aprende a mapear características das imagens, como cores, texturas e formas. Após o treinamento, o modelo classifica novas imagens não rotuladas, identificando a classe mais provável com base no aprendizado anterior. Exemplos de algoritmos utilizados incluem redes neurais convolucionais (CNNs - *Convolutional Neural Network*) e Máquinas de Vetores de Suporte (SVM - *Support Vector Machine*).

A classificação não-supervisionada é usada para detectar padrões em conjuntos de imagens não rotuladas utilizando métricas definidas pelo operador. Em técnicas como Média-K (*K-means*) e Agrupamento Hierático (*clustering*), o algoritmo baseia-se na análise de agrupamentos, identificando píxeis com características espectrais semelhantes. É desejável especificar o número de clusters, ou seja, o número de classes possíveis na área de estudo. Mediante um limiar estabelecido pelo operador, também define-se quais concentrações de píxeis devem ser tratadas como grupos distintos (VENTURIERI; SANTOS, 1998).

A partir da classificação busca-se extrair informações relativas a padrões e objetos homogêneos, tendo como objetivo reconhecer alvos e fazer análises qualitativas (a atribuição do rótulo) e quantitativas (determinar a quantidade presente). O resultado da classificação é uma imagem onde os píxeis são rotulados com cores referentes à sua classe (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019). A Figura 7 mostra um exemplo de imagem supervisionadamente classificada.



(a) Imagem Óptica (b) Imagem Classificada

Figura 7 – Exemplo de Classificação supervisionada de Imagem.
Fonte: Cedido pelo orientador.

3 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Neste capítulo, é feita a abordagem metodológica do projeto, na qual é apresentado um fluxograma das etapas a serem seguidas. As etapas também são detalhadas, na sequência, bem como a área de estudo e os insumos utilizados no processamento.

3.1 Descrição geral

Para o monitoramento do imóvel, foi necessário ter em posse sua localização e o objeto e/ou aspecto de monitoramento. A partir disso, foi proposta uma metodologia na qual foi entregue uma imagem classificada da OM, bem como métricas importantes no gerenciamento do patrimonio ou obra, como área construída e área florestada.

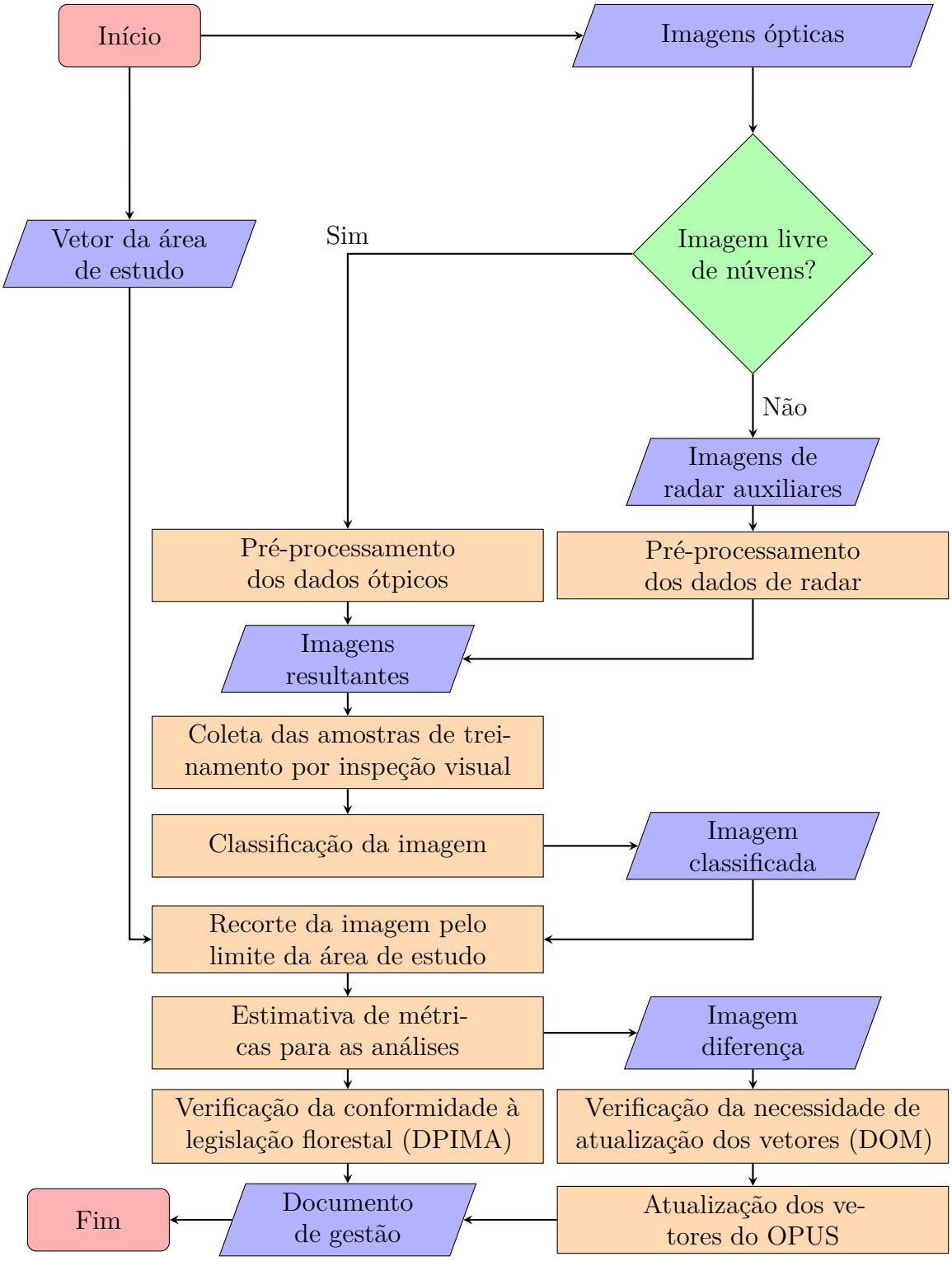


Figura 8 – Fluxograma da metodologia.

3.2 Área de estudo e dados utilizados

Foram utilizados dois biomas brasileiros como área de estudo, Cerrado e Mata Atlântica, cada um deles com características únicas de vegetação e clima, ajudando a estabelecer uma metodologia ampla e geral para o gerenciamento patrimonial.

O clima do Cerrado é principalmente definido pela presença de duas estações bem distintas: uma estação seca, que ocorre de maio a setembro, e uma estação chuvosa, que ocorre de outubro a abril. Já sua vegetação é classificada em três formações vegetais, savânicas, campestres e florestais. As formações florestais têm a predominância de árvores altas. Já as formações savânicas possuem árvores e arbustos espalhados sobre plantas semelhantes a grama. E, finalmente, as formações campestres, que lembram campos sem árvores, ocorrendo apenas plantas rasteiras (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008). Assim sendo, com exceção às formações florestais, o clima e a flora do Cerrado unem característica que permitem um bom aproveitamento das imagens ópticas, ao possuírem poucos elementos que comprometam a visada da câmera.

Já Mata Atlântica, assim chamada pela sua proximidade com o Oceano Atlântico, se estende pela costa leste do Brasil, abrangendo estados das regiões sul, sudeste, centro-oeste e nordeste. A sua formação climática é predominantemente influenciada pela grande umidade do ar transportada pelos ventos marinhos, os quais, ao se elevarem para altitudes mais frias, precipitam-se como chuvas ao longo das costas (FRANKE et al., 2005). Perto do litoral, a Mata Atlântica possui uma formação vegetal chamada de Floresta ombrófila, caracterizada pelo denso florestamento. Dessa forma, a análise deste bioma exige técnicas de imageamento como o radar, que não depende da ausência de nuvens e tem poder de penetrabilidade na vegetação.

Além disso, a Mata Atlântica é o bioma mais ameaçado do Brasil devido ao seu estado de desmatamento, no qual mais de 93% de área florestal não existe mais (MYERS et al., 2000). Assim, a gestão adequada dessas áreas pode auxiliar no monitoramento do desmatamento e outras práticas que degradam o meio-ambiente.

Para a análise do Cerrado, foi utilizado como área de estudo o Comando de Artilharia do Exército (Cmdo Art Ex), localizada em Formosa–GO, como o patrimônio do Exército a ser estudado. Subordinado ao Comando Militar do Planalto (CMP), o Cmdo Art Ex é a organização do Exército Brasileiro responsável por sua artilharia estratégica, composta de baterias de lançadores múltiplos de foguetes Astros. Localizado no maior centro de treinamento do Exército do país, o Forte Santa Bárbara, sua área conta com 115 mil hectares (Figura 9a).

Já representando a Mata Atlântica, tem-se o Parque Histórico Nacional dos Guararapes (PHNG), localizado no município de Jaboatão dos Guararapes, na Região Metropolitana de Recife–PE. Em seu interior se encontra o Morro dos Guararapes, cenário das Batalhas dos Guararapes. Estas batalhas foram cruciais durante a Insurreição Pernambucana, que resultou na expulsão dos holandeses do Nordeste brasileiro, sendo reconhecidas como o marco inicial do Exército Brasileiro. Com 363 hectares, o Parque Histórico Nacional dos Guararapes foi fundado em 19 de abril de 1971 e é atualmente gerido pela Fundação Cultural Exército Brasileiro (FunCEB).

(a) Forte Santa Bárbara (Formosa-GO)

(b) Parque Histórico Nacional dos Guararapes (Recife-PE)

Figura 9 – Áreas de estudo
Fonte: Google Imagens

3.3 *Software* e *plugins* utilizado

Para a execução do procedimento foi utilizado o *software* QGIS. O QGIS é um *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto que permite a criação, visualização, edição e análise de dados geoespaciais. Para os processos empregados no presente trabalho, foi utilizada a versão 3.34.

Dentre as diversas ferramentas, complementos e *plugins* do QGIS, foi necessário utilizar principalmente o *Semi-Automatic Classification Plugin*, que permite a classificação supervisionada de imagens de sensoriamento remoto, disponibilizando ferramentas para download, pré-processamento e pós-processamento de imagens. A versão utilizada foi a 8.2.2.

3.4 Descrição das etapas

Para o cumprimento do objetivo do projeto, foi proposto um conjunto de procedimentos que visa desenvolver uma imagem classificada do uso e cobertura do solo a partir de produtos de Sensoriamento Remoto. A partir do resultado da classificação, a extração das áreas de cada classe vão permitir que o gestor supervisione a conformidade e atualização patrimonial do EB, no que tange legislações ambiental, como o Código Florestal, e ao planejamento estratégico das obras militares.

O principal problema da classificação de cobertura do solo com dados ópticos é a impossibilidade de se visualizar através de certos elementos. Por isso, para a obtenção da imagem classificada foi, primeiramente, verificado se há presença de nuvens que abrangem o terreno. Dependendo desta presença, o procedimento deve ser acrescido de algumas etapas, conforme apresentado na Figura 8.

Caso não haja presença de nuvens, o operador realiza o pré-processamento para a imagem permitir uma fácil interpretação visual, para que então seja possível coletar as amostras de treinamento. De posse das amostras de treinamento, é possível, a partir das ferramentas que serão apresentadas, classificar a imagem e gerar as estimativas das métricas para as análises. Por fim, os gestores, seja da DPIMA, seja da DOM, utilizam esses dados para elaborar um documento de gestão a ser apresentado às autoridades competentes.

Caso contrário, isto é, caso haja nuvens nos dados ópticos que impossibilitam a visualização total ou parcial da região abordada, será necessário obter imagens auxiliares de radar, tendo em vista seu poder de penetração em nuvens, que serão utilizadas para complementar as imagens ópticas. Com isso, o operador deve realizar novamente um pré-processamento combinando os dados ópticos com os dados SAR adquiridos, para ser possível a interpretação visual da cena para a coleta das amostras.

Destaca-se que, devido à necessidade de ter se adicionar mais etapas, é importante recorrer às imagens de radar apenas em último caso. Para evitar esse caminho, recomenda-se a busca por imagens de outras datas ou fontes alternativas.

3.4.1 Obtenção dos dados

As entradas para o início dos procedimentos são as imagens ópticas e de radar (se necessário) e o vetor da área de estudo, os quais devem ser obtidos conforme as etapas a seguir:

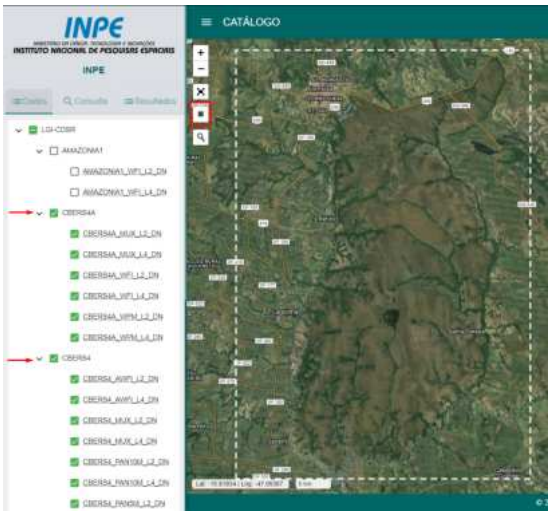
3.4.1.1 Obtenção das bandas de dados ópticos

Imagens ópticas de satélites podem ser obtidas gratuitamente a partir do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2023), que possui imagens de diversos satélites brasileiros como o Amazonia1 e o CBERS4A. Contudo, em prol de se aumentar as possibilidades de imagens, recomenda-se também outras fontes de imagens ópticas como o Banco de Dados Geográficos do Exército (BDGEX, 2024) e o site da Copernicus (COPERNICUS, 2024), uma iniciativa da União Europeia que desenvolveu a chamada missão Sentinel para fornecer dados e informações sobre observação da Terra, mais especificamente, a missao Sentinel-2, na qual se utiliza sensores ópticos. Nesse procedimento, abordaremos a obtenção das bandas a partir do site do INPE.

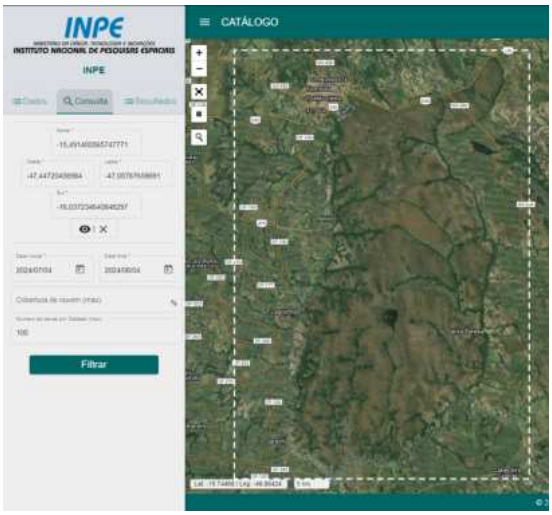
Se for necessário utilizar os dados de radar para complementar as imagens ópticas, é imprescindível que estas sejam adquiridas pelo Sentinel-2, pois assim é possível garantir a mesma resolução espacial para os dois dados, condição importante para as etapas propostas.

A partir do catálogo de imagens do INPE, selecione a área de estudo (a partir de um retângulo) e os satélites dos quais as imagens desejadas são oriundas, recomenda-se o

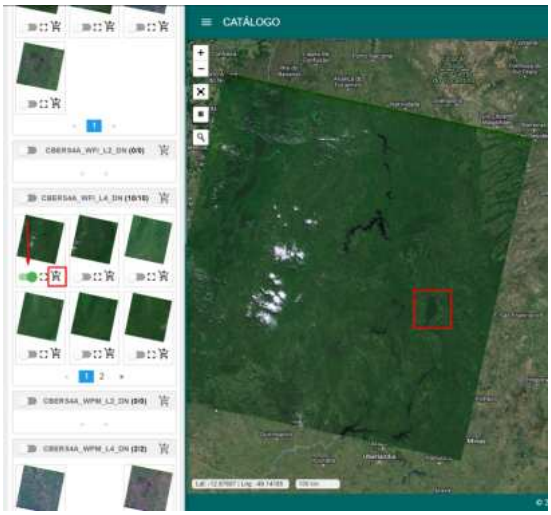
CBERS, que possui 8 metros de resolução espacial e é abrangente no território brasileiro (Figura 10a). Feito isso, na aba "Consulta" filtre os dados preenchendo a data inicial e final na qual a imagem foi retirada, e selecione a cobertura máxima de nuvens como 100% (Figura 10b). Em seguida, selecione a imagem que enquadre totalmente a área de estudo adicionando-a no "carrinho" (Figura 10c). Priorize imagens menores, por requererem menos poder computacional. Por fim, faça o *download* das bandas azul, verde, vermelha e NIR (infravermelho próximo).



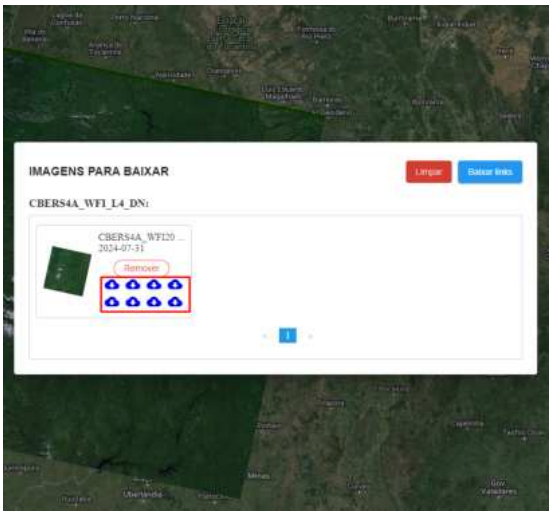
(a) Passo 1



(b) Passo 2



(c) Passo 3



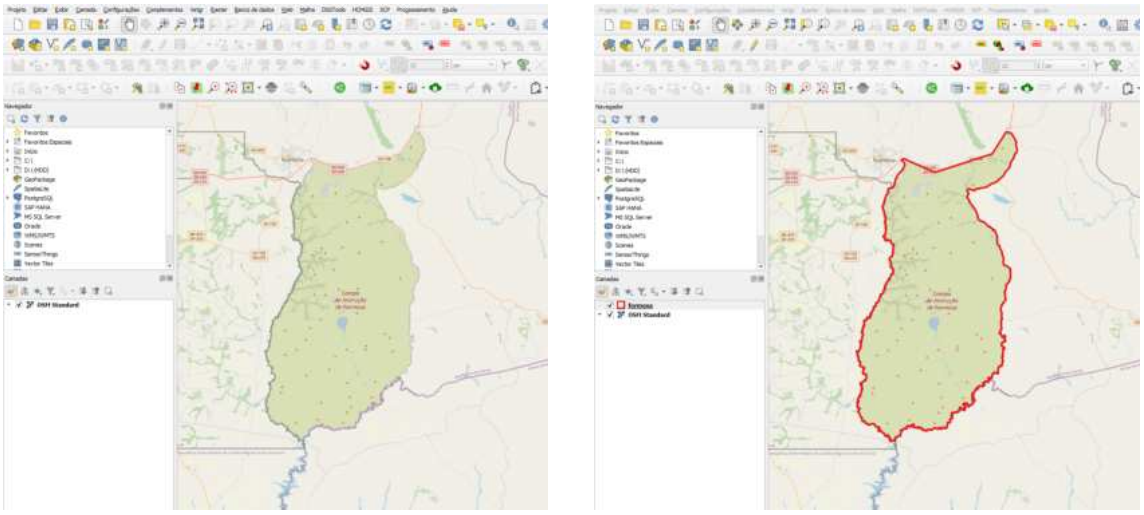
(d) Passo 4

Figura 10 – Passo a passo da obtenção das bandas pelo catálogo de imagens do INPE
Fonte: Autores

3.4.1.2 Obtenção do vetor área de estudo

O vetor da área de estudo pode ser retirada do OPUS. Porém, caso não se tenha acesso ao sistema, pode ser feito a vetorização manual do mesmo a partir do QGIS. Para isso, foi aberto o QGIS com uma camada de referência da área de estudo que contenha

uma boa visualização do contorno da área, podendo ser uma imagem óptica, radar ou até mesmo o OSM (*OpenStreetMap*), com indicado na Figura 11.



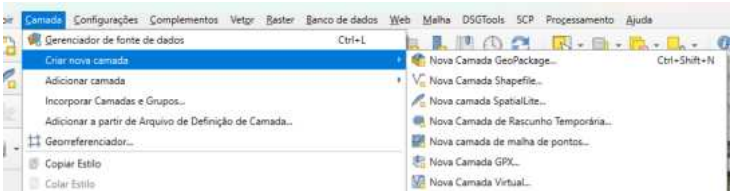
(a) Camada OSM para a vetorização (b) Camada vetorial da área de estudo

Figura 11 – Processo de vetorização

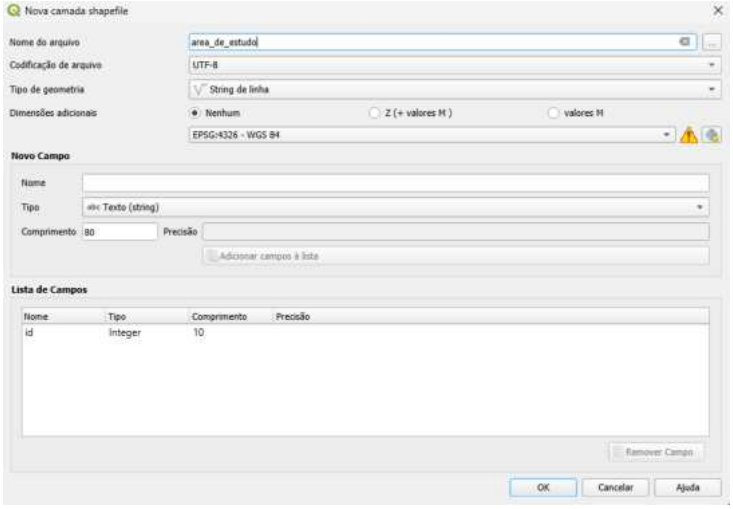
Fonte: Autores

A vetorização foi feita utilizando o modo de edição da camada com a ferramenta adicionar linha, e com a ferramenta de aderência para fechar o contorno. Dessa forma, foi criada uma camada vetorial (Figura 12a), selecionada a geometria tipo linha e "Adicionar Linha" (Figura 12b). Por fim, foi criado o contorno da região manualmente (Figura 12c).

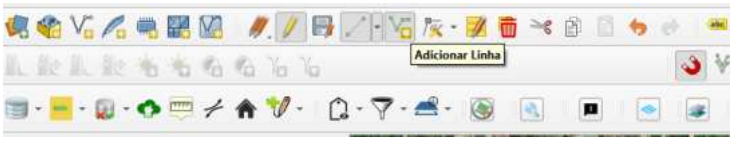
A partir do contorno, foi utilizada a ferramenta de processamento "Linhas para Polígonos", para transformar o contorno em uma camada do tipo polígono, e dessa forma recortar o raster de entrada pela extensão da área de estudo, chegando na Figura 11b.



(a) Passo 1: Criar uma camada vetorial



(b) Passo 2: Selecionar geometria tipo linha



(c) Passo 3: Adicionar linha

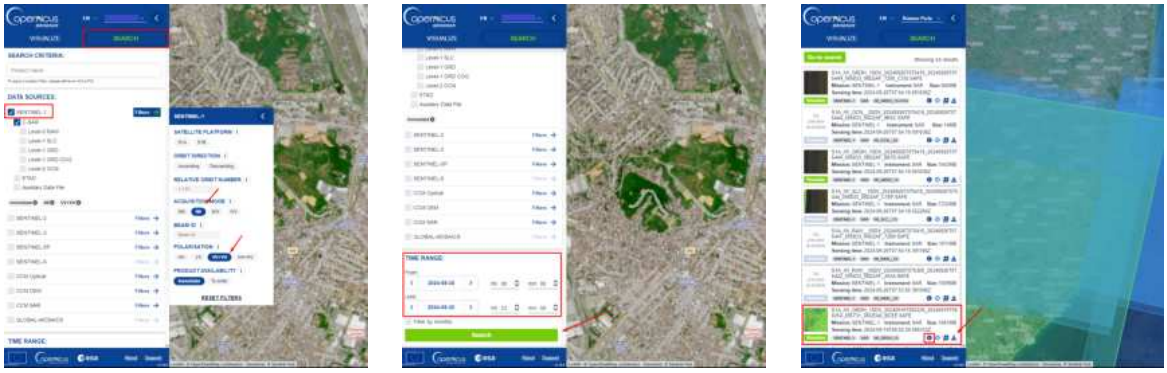
Figura 12 – Passo a passo da obtenção vetorização da área de estudo
Fonte: Autores

3.4.1.3 Obtenção das imagens auxiliares de radar

Este passo é necessário apenas caso não tenha sido encontradas imagens ópticas sem nuvens na região de interesse e que se adequem às necessidades do projeto.

Imagens de radar podem ser obtidas gratuitamente pelo site da Copernicus, iniciativa que também desenvolveu a missão Sentinel-1, que utiliza um radar de abertura sintética (SAR), capaz de captar imagens da Terra em alta resolução, independentemente das condições climáticas ou de iluminação no qual foi baseado o tutorial a seguir.

Para acessar a imagens do Copernicus é necessário se cadastrar e criar uma conta. Feito isso o operador realiza a busca selecionando imagens do Sentinel-1 e filtrando os resultados conforme ilustrado na Figura 13a. Após selecionar o intervalo de tempo no qual o dado foi adquirido e clique em "*Search*". Depois basta realizar o *download* da imagem que mais se adequa às necessidades do projeto, conforme mostra a Figura 13.



(a) Passo 1 (b) Passo 2 (c) Passo 3

Figura 13 – Passo a passo da obtenção da imagem de radar via site do Copernicus
Fonte: Autores

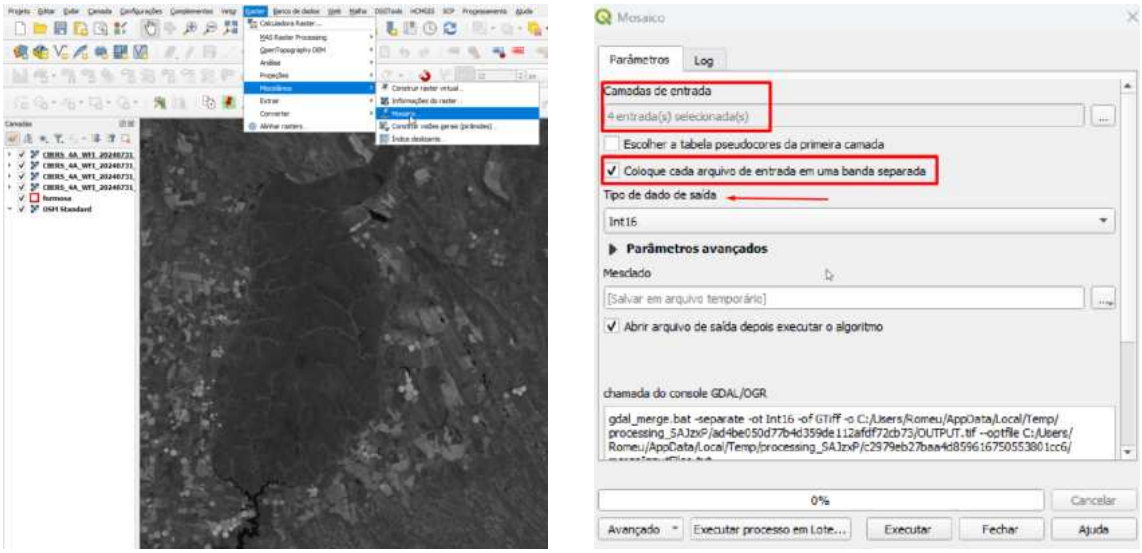
O principal desafio desta etapa foi encontrar imagens de radar com boa resolução devido à pequena extensão do Parque. Como não havia presença de nuvens, as etapas de processamento de imagens de radar foram aplicadas ao Forte Santa Bárbara, uma área com maior extensão, o que resultou em uma pequena escala cartográfica.

3.4.2 Pré-processamento dos dados

O pré-processamento dos dados é composto de três etapas: composição das bandas ópticas e componentes SAR (se necessário), cálculo do NDVI, que pode ser feito em qualquer ordem, e fusão de imagens.

3.4.2.1 Composição das bandas ópticas e componentes SAR

Para combinar as bandas ópticas e SAR, foi utilizada a ferramenta 'Mosaico', disponível nas opções 'Raster' e 'Miscelânea' do software QGIS, conforme ilustrado na Figura 14a e preenchida conforme a Figura 14b. Para os dados ópticos selecionou-se as 4 camadas referentes às 4 bandas (vermelho, azul, verde e infravermelho). Já para o caso em que se utilizou dados SAR, as camadas foram a banda vermelha e a NIR do Sentinel-2, e a componente de polarização VH do Sentinel-1, conforme recomendado pelo artigo "*Synthetic aperture radar (SAR) based classifiers for land applications in Germany*" (SURESH et al., 2016). Para ambos os casos, foi selecionada a opção que coloca cada arquivo de entrada (bandas) em uma banda separada na camada resultante.

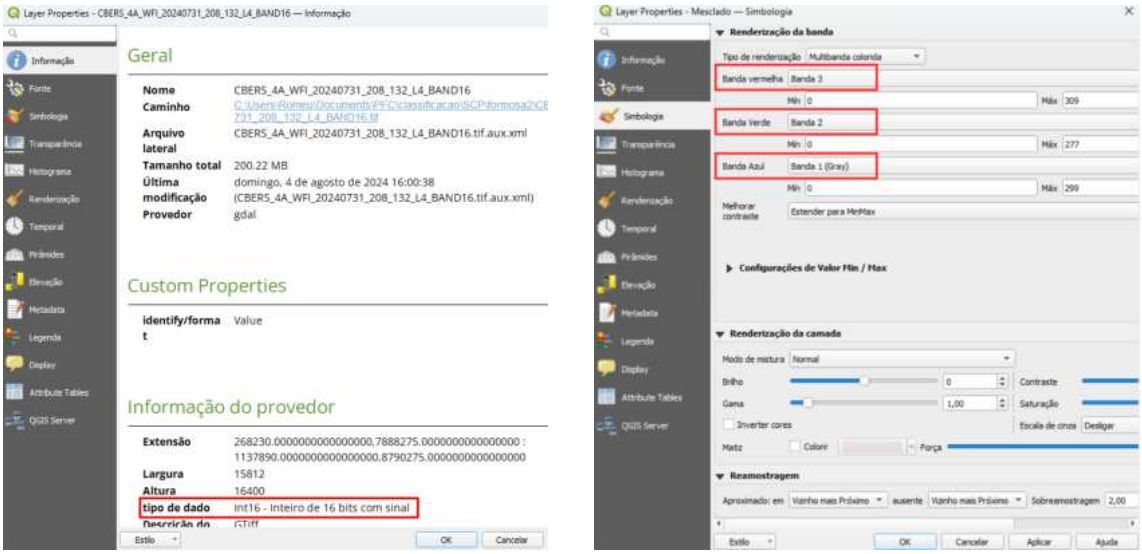


(a) Passo 1: Mosaico (b) Passo 2: Preenchimento

Figura 14 – Composição das bandas

Fonte: Autores

Para o preenchimento do "Tipo de dado de saída" foi necessário conferir as características dos dados das bandas baixadas, acessando "informação" em "propriedades" de uma delas, como mostra a Figura 15a. Foi executada a ferramenta e, por fim, alterada a simbologia da camada de saída conforme a Figura 15b, isso contribuiu para uma interpretação visual mais clara.



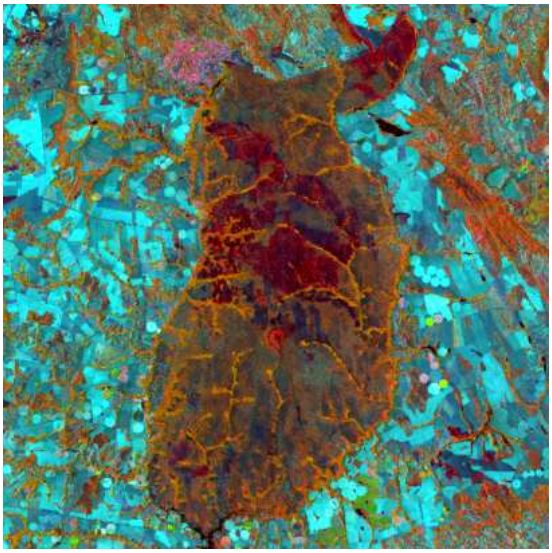
(a) Tipo de dado dos arquivos de entrada (b) Composição com cores verdadeiras

Figura 15 – Informações importantes das bandas de entrada

Fonte: Autores

Resultando nas imagens da Figura 16 e 17.

(a) Bandas ópticas (cor verdadeira): RGB composto por Banda 3, Banda 2, Banda 1 para imagens do CBERS-4A



(b) Bandas ópticas e componente SAR: RGB composto por Vermelho e NIR do Sentinel-2 e Sentinel-1 (VH)

Figura 16 – Resultados das composições do Forte Santa Bárbara

Fonte: Autores

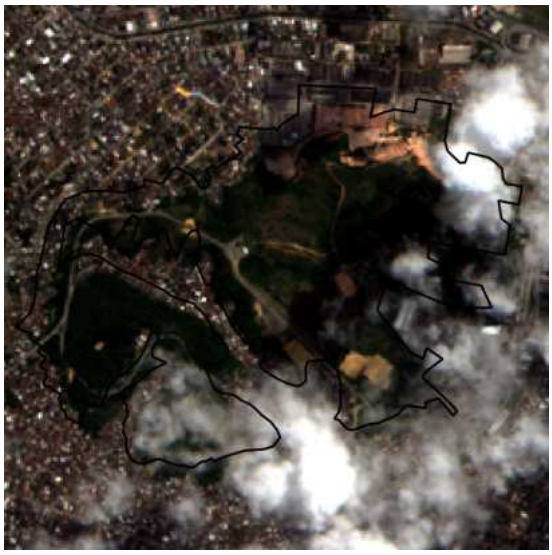


Figura 17 – Resultado da composição de bandas ópticas (cor verdadeira): RGB composto por Banda 3, Banda 2, Banda 1 para imagens do CBERS-4A, Parque Nacional Histórico dos Guararapes

Fonte: Autores

3.4.2.2 Cálculo do NDVI

Foi utilizado o NDVI como auxílio para a coleta das amostras, uma vez que esse índice permite evidenciar a diferença das classes conforme o valor calculado, conforme descrito na teoria. Para calculá-lo, deve-se utilizar a ferramenta "Calculadora Raster" (figura 18) no QGIS.

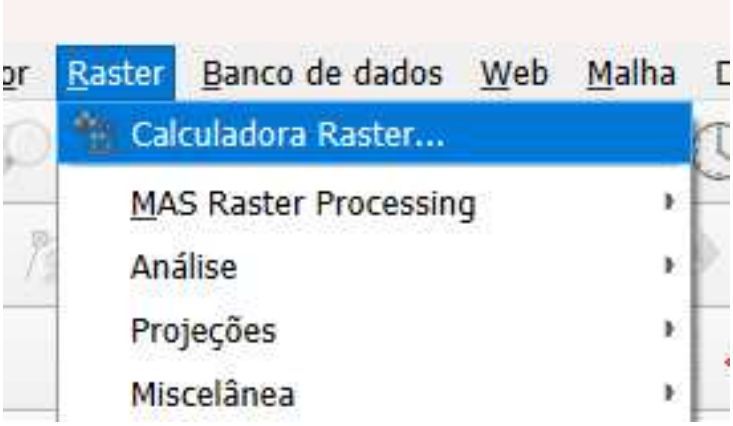


Figura 18 – Seleção da ferramenta calculadora Raster.
Fonte: Autores

Aqui foi escrita a equação correspondente ao cálculo do NDVI, e esolheu-se um caminho de saída do arquivo. Na interface da calculadora, pode-se atribuir quaisquer nomes onde se escreve a equação, e selecionar o nome da variável escolher e clicar no nome da camada, e assim a camada será substituída na equação. No caso das imagens do CBERS-4A, a banda 4 é a banda do Infravermelho Próximo, e a banda 3 corresponde ao vermelho (figura 19).

Para efeito de metodologia, foi considerado que vegetações saudáveis, conforme o (BARBOSA; CARVALHO; CAMACHO, 2017), serão consideradas a "Floresta Nativa" referenciada no Código Florestal.

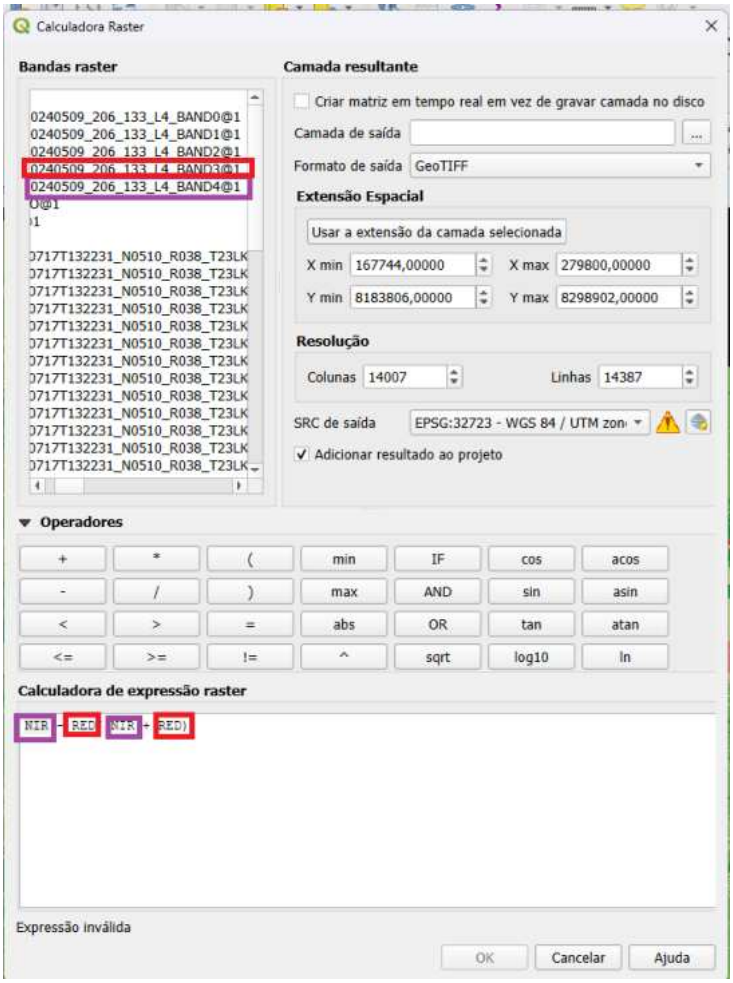


Figura 19 – Calculadora Raster.
Fonte: Autores

Após executar a ferramenta, foi exportada a camada referente ao NDVI. Recomenda-se acessar a aba "Propriedades" na camada, e atribuir a composição das cores para cada intervalo conforme o recomendável na literatura (figura 20).

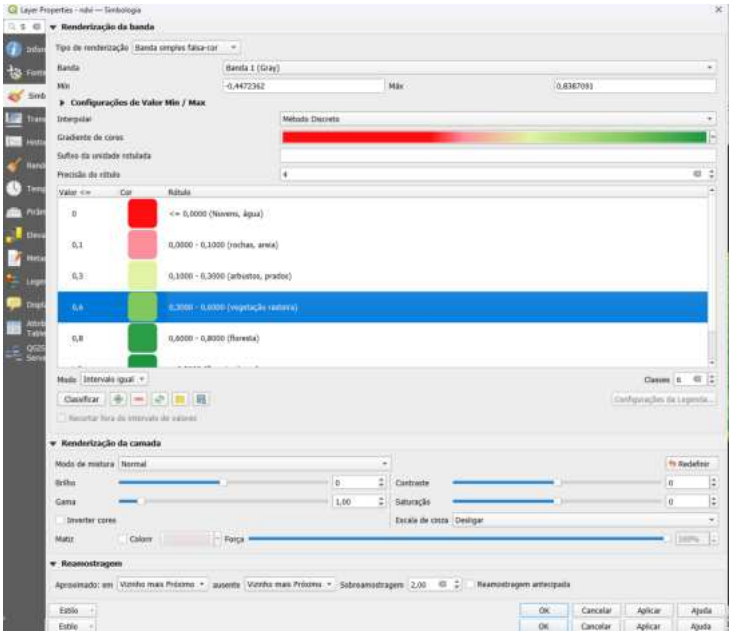
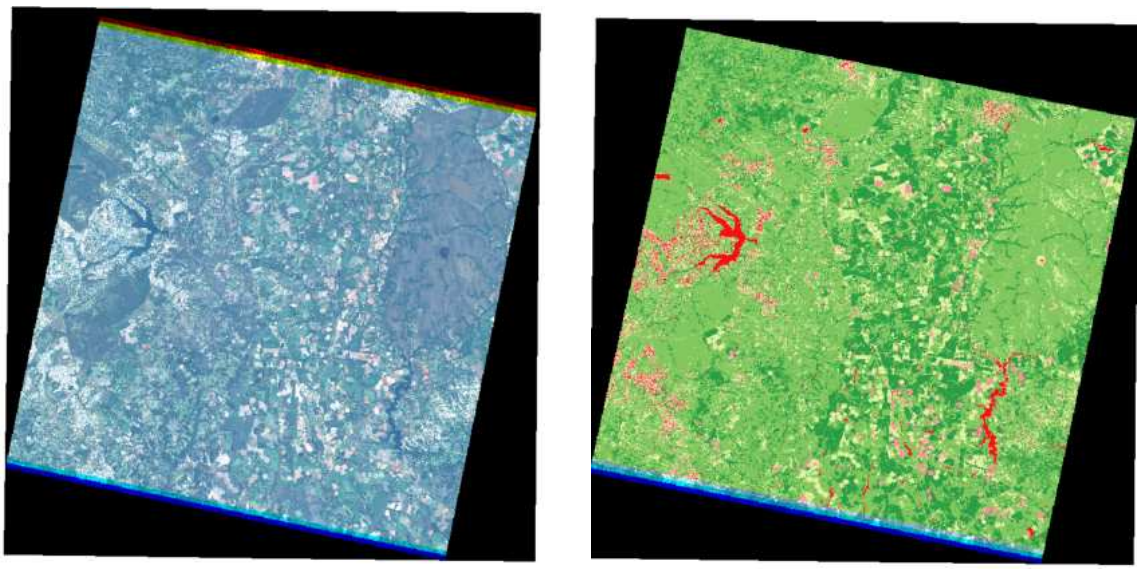


Figura 20 – Escolha da composição das cores do NDVI.
Fonte: Autores

Como resultado, obteve-se a Figura 21b. As características do solo e de corpos hídricos foram realçadas, facilitando a interpretação. As duas camadas da Figura 21 foram utilizadas em conjuntos para uma melhor definição das amostras de treinamento. Na imagem 22, por exemplo, vemos que o NDVI permite inferir que a área central da imagem representa hidrografia seca.



(a) Imagem em composição verdadeira (b) Imagem do NDVI

Figura 21 – Antes e depois do cálculo do NDVI
Fonte: Autores

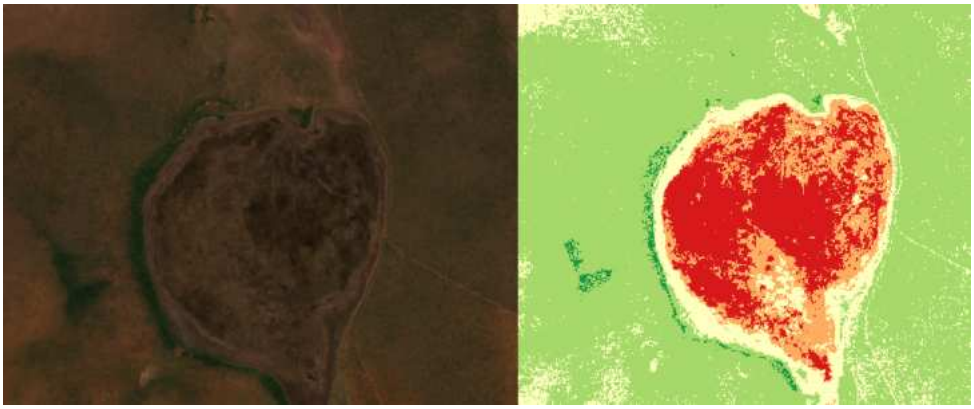
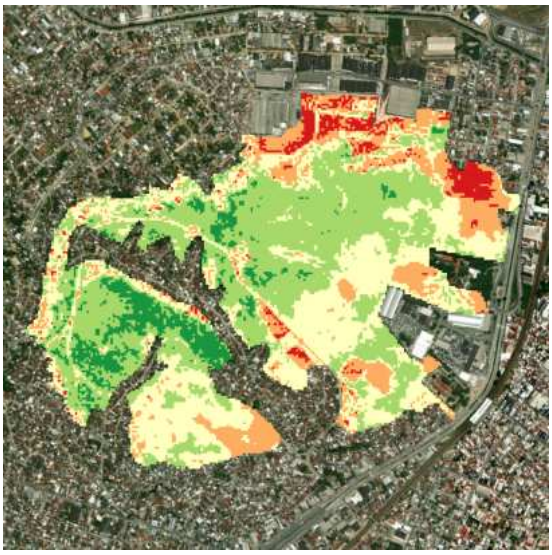


Figura 22 – Composição em Cor Verdadeira e NDVI calculado.
Fonte: Autores

Esse passo encontrou limitações para o caso de se utilizar dados SAR (Figura 16b), tendo em vista que só se utiliza bandas ópticas para gerá-lo (bandas RED e NIR), portanto as regiões obstruídas pelas nuvens continuaram obstruídas, conforme Figura 23. Porém, ainda se recomenda a execução desse passo, pois ele trará informações complementares ao resto da cena.

(a) Banda 3 (red) CBERS-4a do Parque Histórico Nacional dos Guarapes



(b) Camada NDVI do Parque Histórico Nacional dos Guarapes

Figura 23 – Efeito das nuvens na camada NDVI (Parque Histórico Nacional dos Guarapes)
Fonte: Autores

3.4.2.3 Fusão de imagens

Visando aumentar a resolução espacial sem perder as propriedades espectrais obtidas na imagem mesclada, foi feita a fusão da imagem resultante da composição colorida feita na etapa da Seção 3.4.2.1 com a banda 0 do CBERS4A, correspondente a banda pancromática, que tem resolução de 2 metros.

Para isso, foi utilizado a ferramenta “Pansharpening” no QGIS, na qual é necessário adicionar uma camada referente ao conjunto de dados espectrais, isto é, a camada mesclada (composição colorida), e um conjunto de dados pancromáticos, banda 0 do CBERS4A, conforme Figura 24.

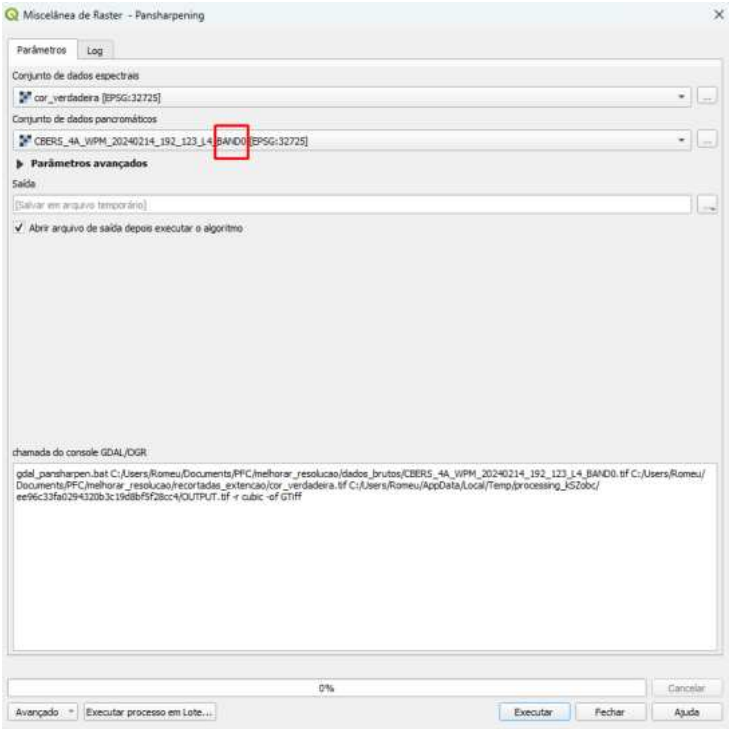


Figura 24 – Passo a passo para a utilização da ferramenta Pansharpening (GDAL)
Fonte: Autores

O resultado do processo está presente na Figura 25.

(a) Composição colorida resolução 8m

(b) Composição colorida resolução 2m (imagem fusionada)

Figura 25 – Parque Histórico Nacional dos Guararapes em diferentes resoluções
Fonte: Autores

Vale destacar que esse procedimento requer grande poder de processamento computacional, sua execução é recomendada apenas em casos que a área de estudo é pequena a ponto de sua boa visualização ficar comprometida em uma imagem de resolução de 8 metros, ocorrendo no caso do Parque Histórico Nacional dos Guararapes, cuja extensão não passa de 2 km.

3.4.3 Coleta das amostras de treinamento

Para essa etapa, espera-se que o operador tenha adquirido uma ou mais imagens que o permitam realizar a coleta de amostras por inspeção, são elas: imagem óptica em composição verdadeira de 8 ou 2 metros de resolução, imagem NDVI, imagem com componente de radar, cada qual com seu uso e características. A imagem do CBERS-4A utilizada data de 09/05/2024.

Para o processo de treinamento foi necessária a escolha de amostras, realizada através do *plugin Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP).

Na interface do plugin, foram selecionadas as bandas da classificação, conforme a Figura 26. É importante considerar que a escolha das bandas depende da imagem utilizada para a inspeção visual e segue o Quadro 2.

Quadro 2 – Bandas utilizadas no SCP para cada imagem resultante

Imagem resultante do pré-processamento	**Bandas utilizadas**
Imagem óptica em composição verdadeira de 8 m de resolução	• CBERS4A banda 1 (Azul) • CBERS4A banda 2 (Verde) • CBERS4A banda 3 (Vermelho) • CBERS4A banda 4 (NIR)
Imagem óptica em composição verdadeira de 2 m de resolução	• CBERS4A banda 1 (Azul) • CBERS4A banda 2 (Verde) • CBERS4A banda 3 (Vermelho) • CBERS4A banda 0 (Pancromática)
Imagem com componente VH de radar	• Sentinel-2 banda 4 (Vermelho) • Sentinel-2 banda 8 (NIR) • Sentinel-1a componente VH

Fonte: Autores.

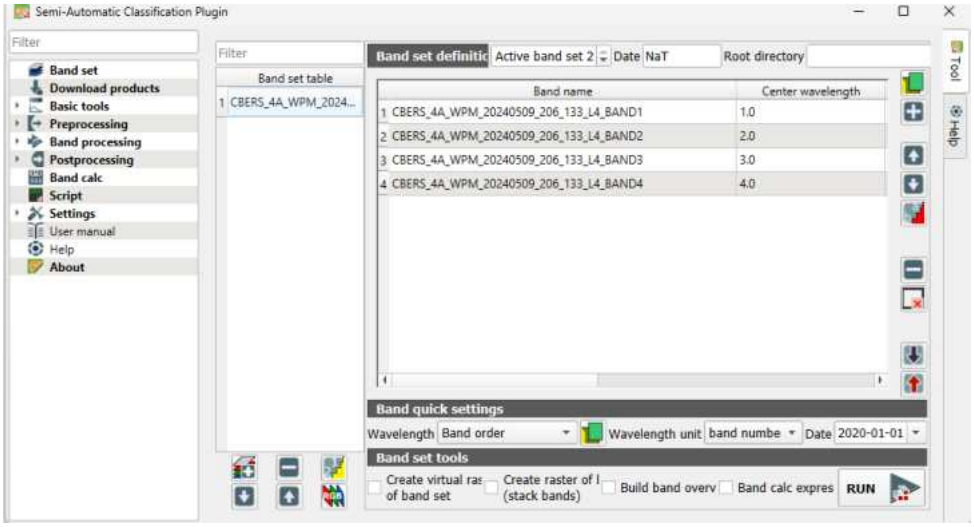


Figura 26 – Seleção das bandas.
Fonte: Autores

A partir dessa imagem foi feita a amostragem, selecionando o maior número de amostras possível (Figura 27). As classes utilizadas foram floresta nativa, vegetação rasteira, solo exposto, área construída e hidrografia, podendo essas classes serem alterada conforme a necessidade. Nessa etapa, tinha-se a imagem "original" (seja ela a óptica em composição de cores verdadeiras, ou a SAR) e o NDVI para auxiliá-lo na identificação das classes e coleta das amostras.

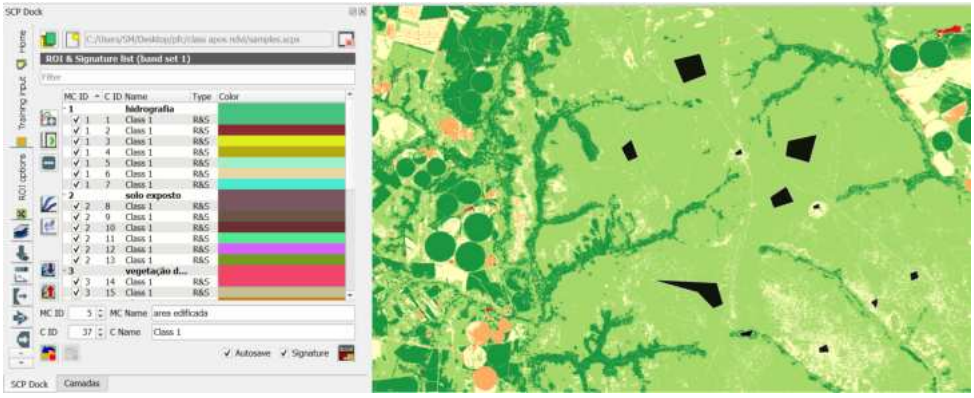
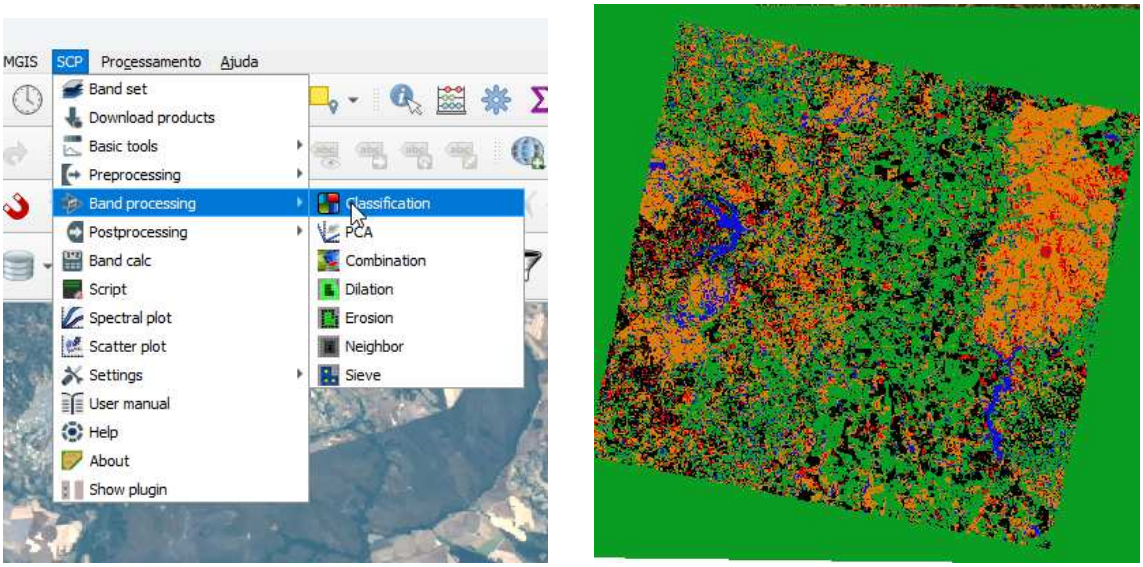


Figura 27 – Amostragem das classes.
Fonte: Autores

3.4.4 Classificação da imagem

Para a classificação, o programa foi executado conforme a Figura 28a resultando na Figura 28b.



(a) Execução do SCP (b) Imagem classificada por Distância Mínima

Figura 28 – Execução e resultado da classificação pelo SCP

Fonte: Autores

3.4.5 Recorte da imagem pelo limite da área de estudo

Agora bastou recortar pela moldura da área de estudo, visando gerar métricas à percentagem de cada classe com relação apenas à área de interesse. Foram obtido resultados tanto pelo método de Distância Mínima, utilizado por possuir maior exatidão global (SILVA; BETIOL; SANO, 2008). conforme Figura 29.

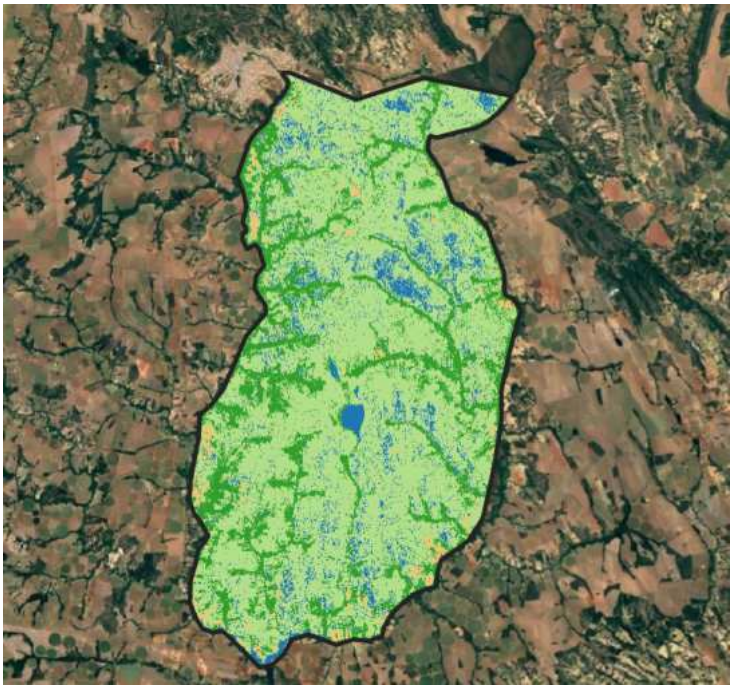


Figura 29 – Forte Santa Bárbara classificado por Distância Mínima.

Fonte: Autores

É importante ressaltar que após o recorte, a camada pode não apresentar a simbologia determinada anteriormente. Nesse caso, foi importado o arquivo QML gerado na classificação nas propriedades da imagem. Para isso, basta abrir as propriedades da imagem, selecionar o estilo e aplicar na imagem conforme Figura 30.

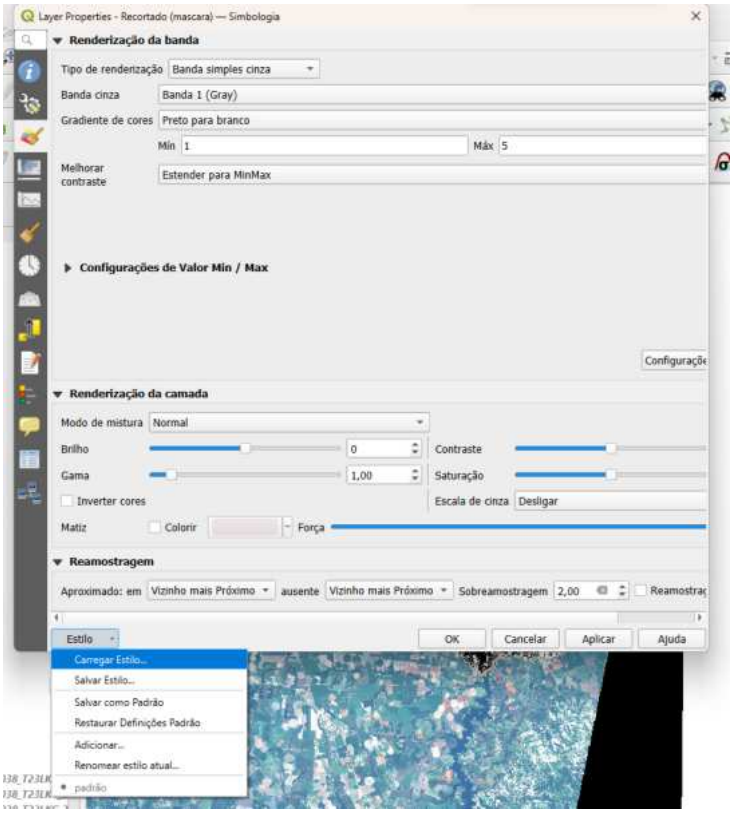


Figura 30 – Aplicação do QML da classificação.
Fonte: Autores

3.4.6 Estimativa de métricas para as análises

Após a classificação, foi possível computar a quantidade de píxeis para cada classe, e, portanto, a área de cada uma acessando "*Classification Report*" em "*Postprocessing*". Os resultados obtidos se encontram nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Relatório de métricas da classificação do Forte Santa Bárbara

Classe	**Soma de Pixels**	**Área** (km^2)	**Porcentagem**
Floresta nativa	2 896 852	18,54	16.51%
Vegetação rasteira	9 484 945	60,70	54.06%
Área construída	176 276	1,13	1.00%
Solo exposto	4 797 218	30,70	27.34%
Hidrografia	191 531	12,26	1,09%

Tabela 2 – Relatório de métricas da classificação do PHNG

Classe	**Soma de Pixels**	**Área (km^2)**	**Porcentagem**
Floresta nativa	115 208	460832	35,47%
Vegetação rasteira	111 697	446788	34,39%
Área construída	20 068	80272	6,18%
Solo exposto	26 739	106956	8,23%
Asfalto	51 074	204296	15,73%

3.4.7 Verificações com base nos resultados

A análise das métricas permite realizar as seguintes verificações:

3.4.7.1 Verificação da conformidade à legislação florestal (DPIMA)

Esta etapa visou verificar se o patrimônio em questão está consoante com o Artigo 12 do Código Florestal, conforme mencionado na Seção 1.1.

No caso do Forte Santa Bárbara, foi verificado a ausência de conformidade ambiental, por apresentar porcentagem de floresta nativa menor que 20%. Por outro lado, o Parque Histórico Nacional de Guararapes encontra-se conforme a legislação no quesito área de Floresta nativa, apresentando 35,47% desta classe.

3.4.7.2 Verificação da necessidade de atualização dos vetores (DOM)

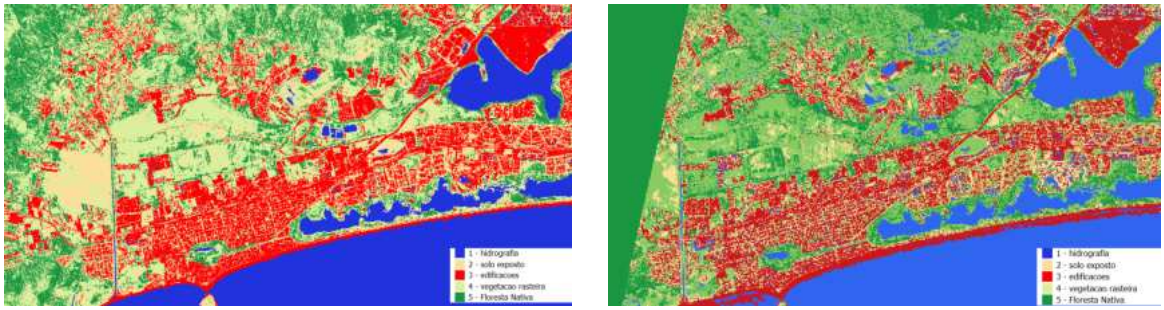
Esta etapa visou verificar se houve ou não alteração de área construída na área do patrimônio ao longo do tempo, para, com isso, auxiliar no processo de atualização dos vetores contídos no sistema OPUS.

A análise a seguir foi feita para exemplificar essa alteração, utilizando duas imagens situadas no bairro Recreio dos Bandeirantes, na cidade do Rio de Janeiro, datadas de 19/02/2020 e 19/08/2024, ambas provenientes do satélite CBERS-4A (figura 31). Essa área foi escolhida por passar por um processo intenso de urbanização nos últimos anos, permitindo visualizar claramente a utilização da metodologia para a verificação de alteração de área construída.

(a) Bairro Recreio dos Bandeirantes em 2020. (b) Bairro Recreio dos Bandeirantes em 2024.

Figura 31 – Composições em cor verdadeira do bairro Recreio dos Bandeirantes.
Fonte: Imagens do CBERS-4A

Conforme o restante da metodologia, foi feita classificação da imagem utilizando a composição em cor verdadeira e o NDVI como referências para a coleta de amostras (figura 32).



(a) Bairro Recreio dos Bandeirantes em 2020. (b) Bairro Recreio dos Bandeirantes em 2024.

Figura 32 – Área construída no bairro Recreio dos Bandeirantes classificadas por Distância Mínima.
Fonte: Autores

Para calcular a diferença matricial das imagens, foi utilizada a calculadora de raster novamente, semelhante ao cálculo do NDVI. Foi escrita a subtração das camadas na interface da calculadora (figura 33) e nomeada a diferença matricial. Foi feita a diferença da classificação da imagem mais recente da imagem mais antiga. Ao executar a ferramenta foi gerada uma camada resultado da subtração das imagens da classificação.

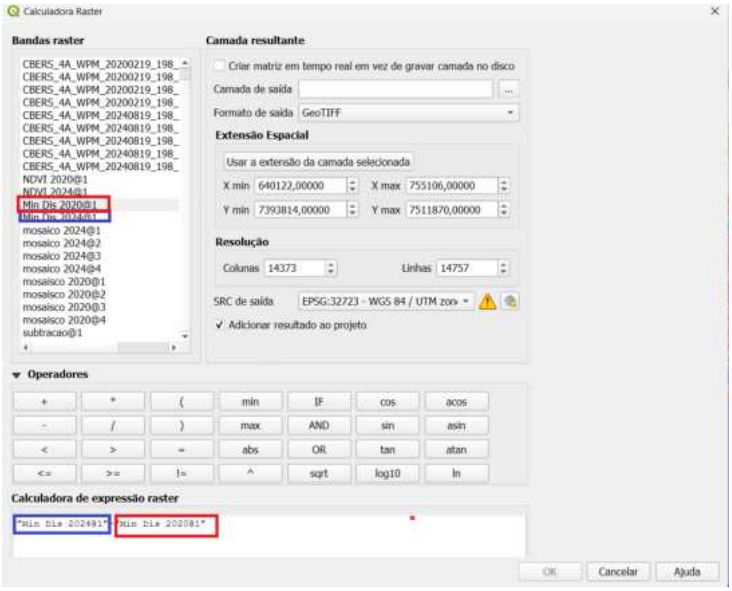


Figura 33 – Diferença Matricial na Calculadora Raster.
Fonte: Autores

Agora para verificar as alterações de área construída deve-se remover os valores que não correspondem a alteração na área construída (figura 34). Na imagem pode-se verificar que os valores -1 e 1 correspondem a alterações na vegetação, e o valor 0 significa alteração nenhuma na imagem.

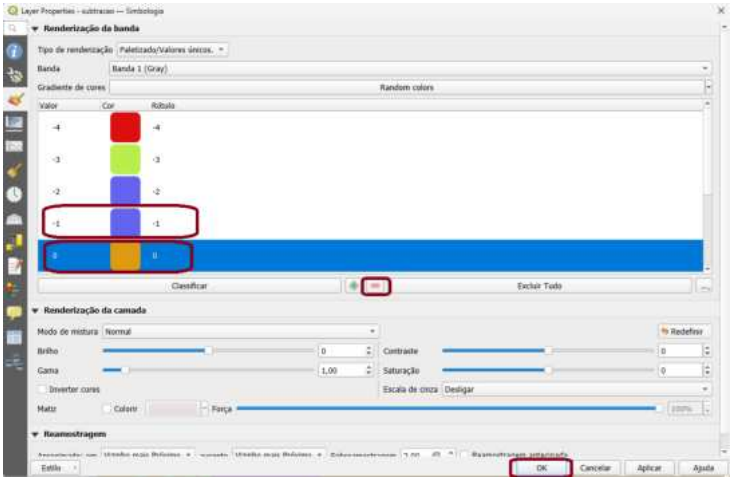


Figura 34 – Geração da diferença matricial.
Fonte: Autores

Assim, a diferença matricial é colocada sobre a imagem de 2020, para de modo que as alterações de área construída ficam visíveis sobre a camada mais anterior. No caso das cores utilizadas, as alterações aparecem em roxo, e ao analisar as imagens nas duas datas, é possível ver que foram construídas novas edificações na Figura 35. Na imagem as alterações foram circuladas em vermelho para melhor visualização.

Figura 35 – Alteração de área construída.
Fonte: Autores

Assim, pode-se a necessidade de se atualizar os vetores de áreas construídas e de obras. Essa atualização pode ser necessária por diversos fatores como avanço de obras e demolição de edificações. Uma vez verificado essa necessidade, realiza-se a atualização no banco de vetores do sistema OPUS.

3.4.8 Elaboração de documento de gestão

Após a verificação da conformidade, o gestor possuirá informações que o auxiliarão a elaborar os devidos relatórios de gestão patrimonial, nos quais poderá ser evidenciada a necessidade de confecção de planos de prevenção e contenção de danos caso sejam observadas perdas de Florestas Nativas maiores do que os limiares permitidos pelo Código Florestal.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Por fim, foi obtido um conjunto de procedimentos que emprega produtos de Sensoriamento Remoto para monitorar a conformidade e a atualização dos patrimônios do Exército Brasileiro, segundo o Código Florestal e o planejamento estratégico das obras militares. Tais procedimentos foram descritos de forma que um operador possa replicá-lo para a sua própria área de interesse de maneira prática e gratuita. Assim, o gestor possui uma ferramenta poderosa para auxiliar a gestão patrimonial.

O conjunto de procedimentos permite:

- Obter dados ópticos e de radar gratuitamente;
- Obter vetores manualmente;
- Realizar pré-processamento de imagens para melhor interpretação visual, contendo:
  - Composição de bandas (ópticas e radar);
  - Obtenção da imagem NDVI; e
  - Aumento de resolução de imagem multiespectral.
- Realizar a classificação supervisionada para Uso e Cobertura do Solo;
- Extrair métricas das classes; e
- Obter uma imagem que evidencia alteração de área construída.

Por meio desses procedimentos, obtiveram-se os seguintes resultados:

4.1 Resultados obtidos

4.1.1 Imagens pré-processada

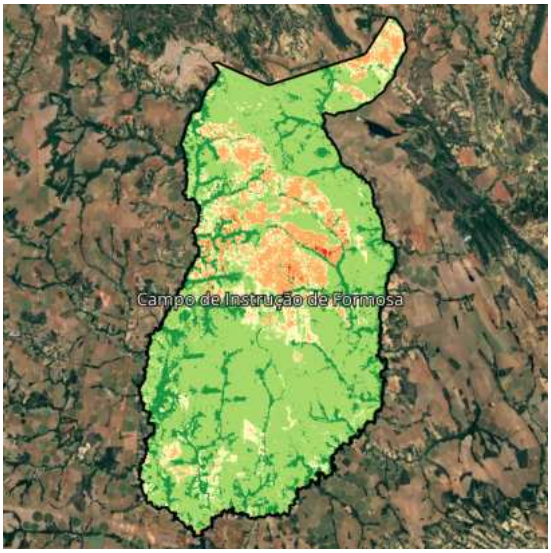
Foram produzidas as composições em cor verdadeira das áreas de estudo utilizando as imagens de satélite do CBERS-4A na resolução de 8 m e na resolução de 2m utilizando fusão de imagens (figuras 42b e 42b), bem como os NDVI (figuras 37b 37). O desafio desta etapa foi encontrar imagens de radar de alta resolução, adequadas à pequena extensão do Parque. Por esse motivo, mesmo sem a presença de nuvens, as etapas relacionadas às imagens de radar foram realizadas no Forte Santa Bárbara, devido à sua maior extensão.

(a) Forte Santa Bárbara.

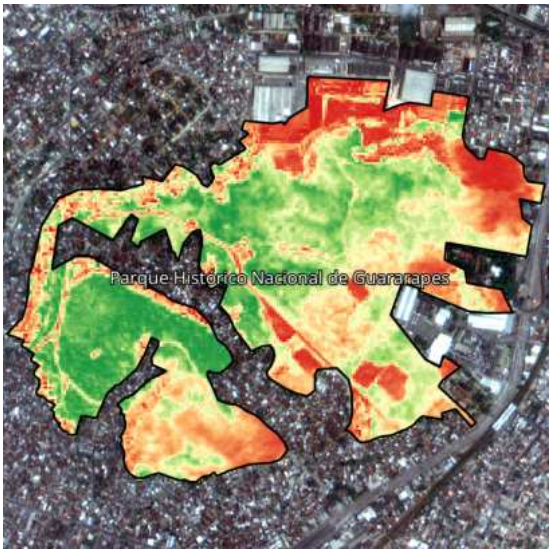
(b) Parque Histórico Nacional dos Guararapes.

Figura 36 – Composição em cor verdadeira das áreas de estudo

Fonte: Autores



(a) Campo de Instrução de Formosa.



(b) Parque Histórico Nacional dos Guararapes.

Figura 37 – Imagem NDVI

Fonte: Autores

Por fim, foi gerado uma imagem do Campo Instrução de Formosa composta pelas bandas 4 (vermelha) e 8 (NIR) do Sentinel-2 e componente VH do Sentinel-1a (Figura 38).

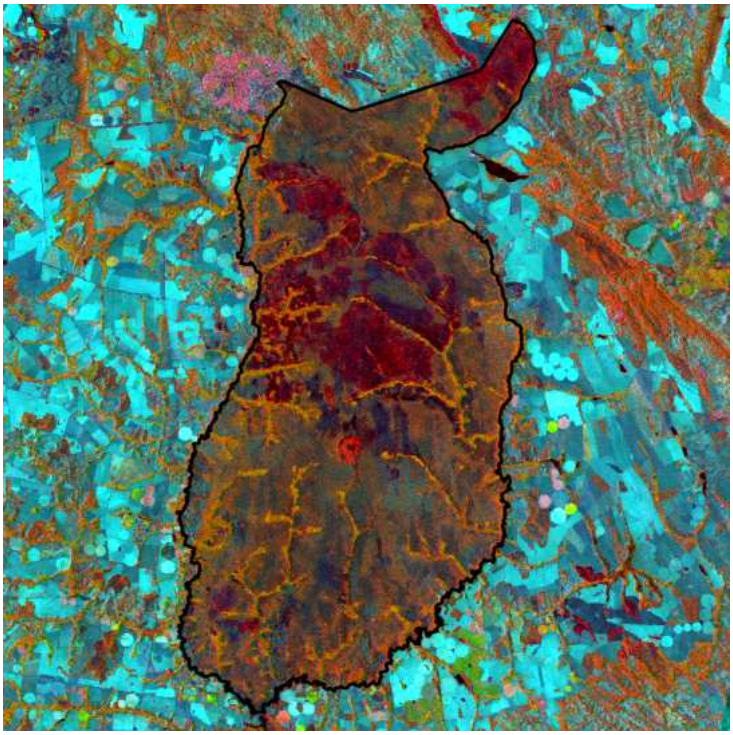


Figura 38 – Campo Instrução de Formosa com componentes radar
Fonte: Autores

4.1.2 Imagens classificadas e métricas

Foram produzidas as imagens classificadas por mínima distãncia, por haver maior precisão global (SILVA; BETIOL; SANO, 2008) (figuras figuras 39, 40 e 41).

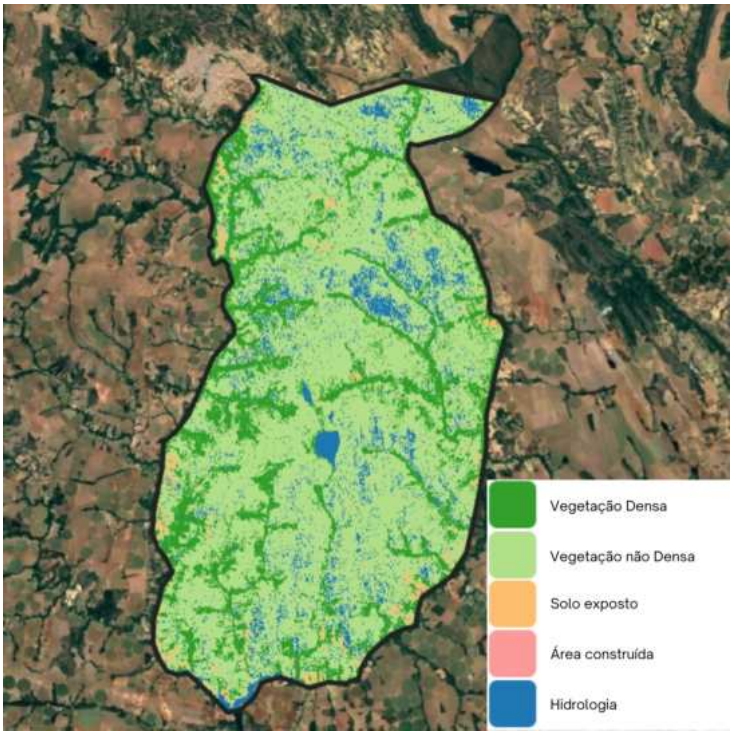


Figura 39 – Imagem classificada do Forte Santa Bárbara utilizando dados ópticos de 8 m de resolução.

Fonte: Autores

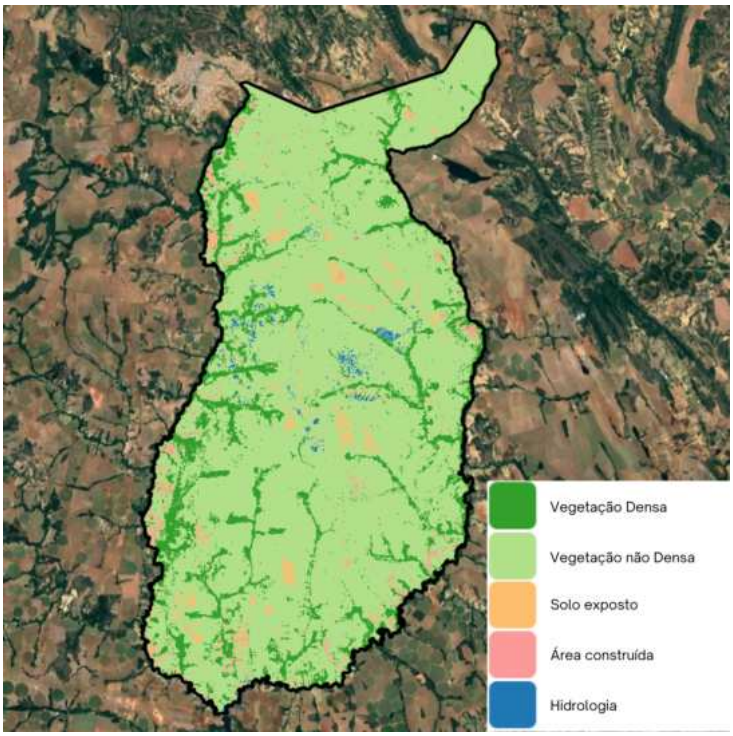


Figura 40 – Imagem classificada do Forte Santa Bárbara utilizando componente VH de dados SAR.

Fonte: Autores

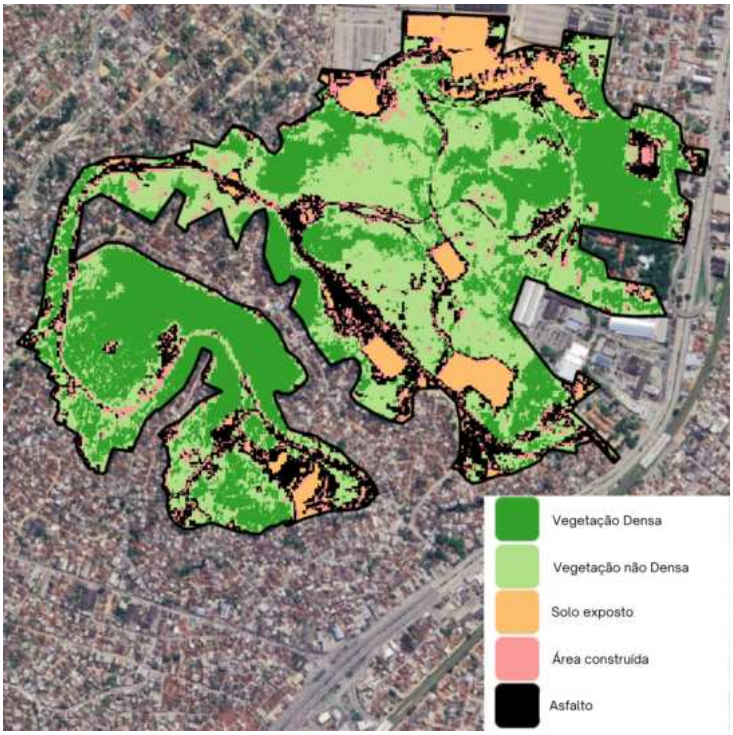


Figura 41 – Imagem classificada do Parque Histórico Nacional dos Guararapes utilizando dados ópticos de 2 m de resolução.

Fonte: Autores

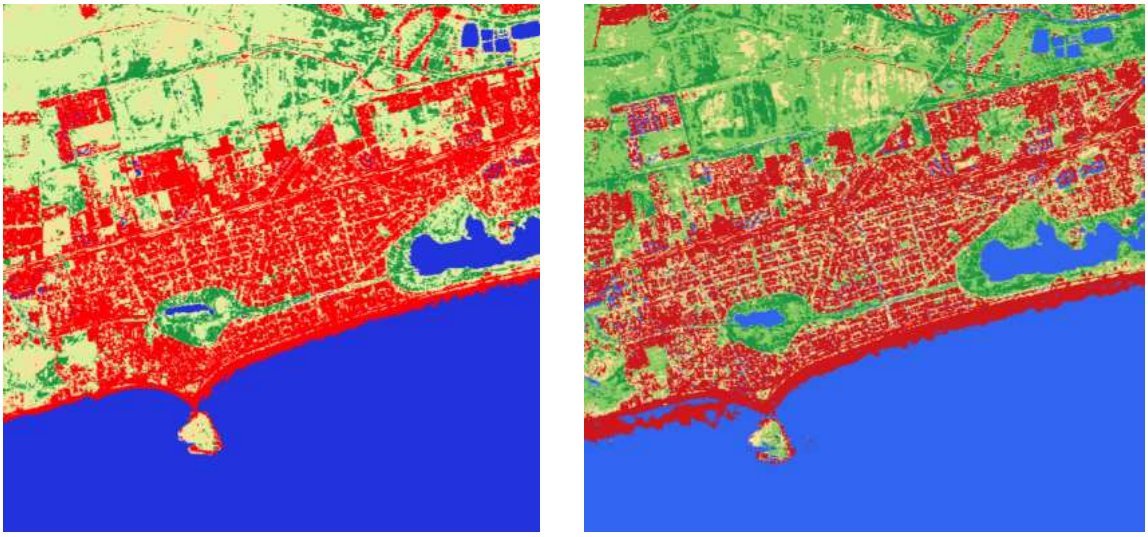
Também foi calculado os valores de floresta nativa para análise comparativa com o Código Florestal.

Tabela 3 – Valores percentuais da área de floresta nativa de cada área em cada método

Área de estudo	**Porcentagem de Vegetação Densa**
Forte Santa Bárbara	16,51%
Forte Santa Bárbara (radar)	14,46%
PHNG	35,47%

4.1.3 Imagem diferença de área construída e métricas relevantes

Foi gerada a imagem resultante da diferença entre as classificações (figura 42) em épocas diferentes no bairro Recreio dos Bandeirantes, na cidade do Rio de Janeiro, para demonstrar a verificação da alteração de área construída (figura 43). Essa área foi escolhida por haver bastante alteração, diferente dos campos estudados.



(a) Classificação em 2020. (b) Classificação em 2024.

Figura 42 – Classificação da imagem em épocas diferentes (Recreio dos Bandeirante)
Fonte: Autores

Figura 43 – Alteração de área construída.
Fonte: Autores

4.2 Análises

- NDVI como auxílio na classificação: O NDVI se mostrou uma ferramenta bastante útil para destacar áreas vegetadas e auxiliar na coleta de amostras para a classificação supervisionada. Ele permitiu uma melhor distinção entre as densidades da vegetação e as outras classes, permitindo uma coleta mais precisa das amostras.

- Visualização da alteração de área construída: A análise temporal de imagens de satélite permitiu detectar alterações em áreas urbanas utilizando a sobreposição da imagem diferença entre as classificações e a composição em cor verdadeira., detectando novas construções. Esse recurso foi aplicado, por exemplo, no bairro Recreio dos Bandeirantes, onde foi observada expansão de áreas construídas entre 2020 e 2024, demonstrando a eficácia da metodologia na detecção de mudanças no uso do solo.

- Porcentagem de Floresta Nativa: verificou-se que o Forte Santa Bárbara, em ambas as classificações, possuem porcentagem de floresta nativa menor que a requisitada pelo código florestal, podendo gerar um alertar quanto ao uso sustentável da floresta. O Parque Histórico Nacional Guararapes apresentou conformidade e possui percentual acima do mencionado no Código Florestal.

- Pansharpening: o método de fusão de imagens se mostrou uma ferramenta eficaz e útil para o aumento da resolução da imagem, permitindo a melhor visualização da área, como observado no Parque Nacional Histórico Guararapes (figura 25).

5 CONCLUSÕES

5.1 Sugestões de Trabalhos Futuros

- Integração de Inteligência Artificial na Classificação de Imagens: verificar a eficácia de algoritmos de aprendizado de máquina para automatizar a classificação de imagens de satélite, melhorando a precisão e rapidez no monitoramento de mudanças em áreas construídas e vegetação.
- Estudo Comparativo entre Técnicas de Sensoriamento Remoto e dos métodos de classificação: Comparar o desempenho de diferentes tecnologias de sensoriamento remoto (ótica, radar, lidar) na detecção de alterações de solo e vegetação em diferentes biomas, bem como a utilização de diferentes técnicas de classificação, analisando os peculiaridades de cada bioma.
- Verificar a possibilidade de capacitar gestores e usuários do OPUS em sensoriamento remoto, criando um curso online no Centro de Educação a Distância do Exército (CEADEx) voltado para essa área.
- Verificar a possibilidade de implementar a confeccção relatórios periódicos baseados em sensoriamento remoto verificando alterações na vegetação e em área construída.

5.2 Conclusão

O presente trabalho analisou como o uso de produtos de sensoriamento remoto pode auxiliar a gestão patrimonial de imóveis. Ao integrar essas tecnologias com uma metologia prática permitiu o desenvolvimento de procedimentos para a detecção de alteração de área construída e o monitoramento da degradação da vegetação. O uso de imagens de satélite possibilitou o acompanhamento temporal de grandes áreas, minimizando a necessidade de visitas físicas, podendo resultar em economias significativas de tempo e recursos.

Com o uso de ferramentas de classificação de imagens de satélite, foi possível monitorar grandes áreas sem a necessidade de visitas frequentes ao local, reduzindo custos e tempo. A capacidade de acompanhar mudanças no solo e na vegetação ao longo do tempo proporcionaria aos gestores uma visão clara e detalhada das transformações ocorridas, permitindo uma atuação mais ágil e precisa. Nesse sentido, o operador do opus e o gestor podem ter uma visualização de possíveis alterações no terreno sem a necessidade de empregar recursos para se deslocar ao local estudado, e também ter nas mãos uma ferramenta que pode gerar um alerta em termos de alterações ambientais.

Essa metodologia não só moderniza a administração de bens, mas também contribui para a sustentabilidade, ao permitir um monitoramento contínuo e não invasivo das áreas. O resultado é uma gestão mais inteligente e integrada, que aproveita tecnologias de sensoriamento remoto para proteger o patrimônio e o meio ambiente de forma eficiente e econômica. Portanto, este trabalho oferece uma "pontapé"para integrar a gestão patrimonial com a cartografia e o sensoriamento remoto.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. *Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas.* [S.l.]: Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008., 2008.

APLICAÇÕES, P. d. I. e. State-of-the-art of radar remote sensing: fundamentals, sensors, image processing, and applications. *Rev. Bras. Cartogr*, v. 72, n. 50th, 2020.

BARBOSA, A. H. da S.; CARVALHO, R. G. de; CAMACHO, R. G. V. Aplicação do ndvi para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na região serrana de martins e portalegre–estado do rio grande do norte. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 33, p. 128–143, 2017.

BDGEX. *Banco de Dados Geográficos do Exército*. 2024. 28 apr. de 2024. Disponível em: <https://bdgex.eb.mil.br/bdgexapp/mobile>.

COPERNICUS. *Copernicus Browser*. 2024. 28 apr. de 2024. Disponível em: <https://dataspace.copernicus.eu>.

DEC, D. D. O. M. *Plano Diretor de OM*. 2019. 27 jul. de 2019. Disponível em: <http://www.dom.eb.mil.br/index.php/s2-projetos/aprovacao-de-projetos2>.

DOM. *Missão e Visão de Futuro*. 2022. 11 apr. de 2022. Disponível em: <http://www.dom.eb.mil.br/index.php/missao-visao-de-futuro>.

DPIMA. *EXCELÊNCIA NA GESTÃO DO PATRIMÔNIO IMOBILIÁRIO E DO MEIO AMBIENTE*. 2015. 26 apr. de 2015. Disponível em: <http://www.dpima.eb.mil.br/index.php/en/home>.

FLORENZANO, T. G. *Iniciação em sensoriamento remoto*. [S.l.]: Oficina de Textos, 2007.

FRANKE, C. R. et al. Mata atlântica e biodiversidade. Edufba, 2005.

INPE. *Catálogo de Imagens do INPE*. 2023. 04 ago. de 2024. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>.

JAXA. *Japan Aerospace Exploration Agency*. 2016. 01 dec. de 2016. Disponível em: <https://global.jaxa.jp>.

LEY, A.; D'HONDT, O.; HELLWICH, O. Regularization and completion of tomosar point clouds in a projected height map domain. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, v. 11, p. 1–11, 04 2018.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. d. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. *Universidade de Brasília, Brasília*, 2012.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, Nature Publishing Group, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2000.

PERKO, R. *Computer Vision for Large Format Digital Aerial Cameras*. Tese (Doutorado), 10 2004.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. *Sensoriamento remoto da vegetação*. [S.l.]: Oficina de textos, 2015.

SILVA, G.; BETIOL, G. M.; SANO, E. E. Análise comparativa de quatro métodos de classificação supervisionada para a discriminação de fitofisionomias de cerrado. *Geografia, Ensino & Pesquisa*, v. 12, n. 1, p. 3935–3947, 2008.

SURESH, G. et al. Synthetic aperture radar (sar) based classifiers for land applications in germany. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Copernicus GmbH, v. 41, p. 1187–1193, 2016.

USGS. *Science for a change world*. 2019. 30 set. de 2019. Disponível em: <https://www.usgs.gov>.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. dos. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: ASSAD, ED; SANO, EE (Ed.). Sistema de informações geográficas . . . , 1998.

ZANOTTA, D. C.; FERREIRA, M. P.; ZORTEA, M. *Processamento de imagens de satélite*. [S.l.]: Oficina de Textos, 2019.