



UFC

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

JONATHAN DE SOUSA LIMA

**ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA DE UMA
MICROBACIA NO MUNICÍPIO DE FORTIM - CE, ATRAVÉS DA COMPARAÇÃO
DE DUAS METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO DA TERRA**

FORTALEZA

2023

JONATHAN DE SOUSA LIMA

ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA DE UMA MICROBACIA
NO MUNICÍPIO DE FORTIM - CE, ATRAVÉS DA COMPARAÇÃO DE DUAS
METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO DA TERRA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cely Martins Santos de Alencar

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L698a Lima, Jonathan de Sousa.

Análise temporal do uso e cobertura da terra de uma microbacia no município de Fortim – CE, através da comparação de duas metodologias de mapeamento da terra / Jonathan de Sousa Lima. – 2023.
77 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Cely Martins Santos de Alencar.

1. Uso e cobertura da terra. 2. Sensoriamento remoto. 3. Geoprocessamento. I. Título.

CDD 628

JONATHAN DE SOUSA LIMA

ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA DE UMA MICROBACIA
NO MUNICÍPIO DE FORTIM - CE, ATRAVÉS DA COMPARAÇÃO DE DUAS
METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO DA TERRA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental
do Centro de Tecnologia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Ambiental.

Aprovado em: 19/06/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Cely Martins Santos de Alencar (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Meire e Marcos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pelo dom da vida, por seu amor, fidelidade e por mostrar que a todo instante está comigo.

Aos meus pais, Meire e Marcos, por todo amor e confiança. Obrigado por toda a dedicação, por acreditarem em mim e nos meus sonhos, e principalmente pelo exemplo de pais, amigos e profissionais que vocês são.

À minha avó materna, Maria Braga e ao meu irmão, Kauan, por estarem presentes todos os dias, proporcionando momentos de muita confusão e também de muita alegria.

Aos amigos do Ensino Médio, que felizmente me acompanham até hoje, Jeová, Maria e Mateus. Agradeço por todos os relatos de vida, conversas de Whatsapp sem propósito, encontros esporádicos na minha casa, e por sempre acreditarem e esperarem o melhor de mim, um dia estaremos todos formados e teremos orgulho dos profissionais que seremos.

Aos amigos do curso de Engenharia Ambiental, Adriano, Aline, Anny, Ester, Lucas, Natália e Natascha. Foram muitos momentos de dificuldades e frustração na graduação, mas juntos aprendemos com eles e nos tornamos acadêmicos e profissionais melhores, também houveram muitos momentos felizes e memoráveis na UFC, e vocês com certeza são responsáveis por eles.

A professora Cely, por me apresentar a disciplina de Geoprocessamento, que me deu um novo rumo na graduação e carreira profissional. Agradeço por sempre se mostrar disponível e também por aceitar ser a orientadora desse projeto, suas orientações e acompanhamento foram essenciais para o êxito desse trabalho de conclusão de curso.

Aos professores participantes da banca, Cleiton Silveira e Ronaldo Stefanutti, por aceitarem o convite e pelas valiosas observações e sugestões.

Agradeço a Santiago & Cintra Consultoria (SCCON) pela oportunidade única de estagiar na área de Sensoriamento Remoto, por proporcionar um ambiente de trabalho tão amigável e positivo, e por ser responsável por um projeto tão importante que colabora para o monitoramento e preservação dos nossos biomas.

“Confia ao Senhor tuas obras, e teus
pensamentos serão estabelecidos.”

(Provérbios 16:3)

RESUMO

O uso e cobertura da terra são elementos essenciais para entendermos a dinâmica e a transformação dos espaços terrestres, logo a obtenção de informações detalhadas e precisas sobre esses espaços é uma condição necessária para as atividades de planejamento e tomada de decisões, e os mapas de uso e cobertura da terra são instrumentos que auxiliam a cumprir essa função. A presente pesquisa tem como principal objetivo utilizar ferramentas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para análise do uso e cobertura da terra de uma microbacia localizada no município de Fortim-CE, através da comparação dos dados de uso e cobertura da terra disponibilizados pela plataforma MapBiomias e de uma classificação supervisionada realizada com imagens dos satélites *Landsat 5* e *8*. Foram encontradas quatro classes para a área de estudo em todos os anos analisados, sendo elas: vegetação, agropecuária, áreas não vegetadas e corpos d'água. A principal divergência encontrada nos mapeamentos foram as áreas não vegetadas localizadas na parte nordeste da microbacia, o método utilizado pelo MapBiomias conseguiu localizar com mais precisão a área urbana, enquanto a classificação supervisionada confundiu as classes de áreas não vegetadas e agropecuária. Outro ponto de divergência entre os métodos foi a identificação da CE-040, o MapBiomias não conseguiu delimitar o contorno da rodovia, enquanto a classificação supervisionada obteve sucesso em identificar o seu contorno. As metodologias apresentaram similaridades principalmente nas áreas de vegetação e corpos d'água, essa similaridade também foi identificada em algumas áreas localizadas de agropecuária.

Palavras-chave: uso e cobertura da terra; sensoriamento remoto; geoprocessamento.

ABSTRACT

Land use and land cover are essential elements for understanding the dynamics and transformation of terrestrial spaces. Therefore, obtaining detailed and accurate information about these spaces is a necessary condition for planning and decision-making activities, and land use and land cover maps are instruments that assist in fulfilling this function. The main objective of this research is to use Geoprocessing and Remote Sensing tools to analyze the land use and land cover of a micro-watershed located in the municipality of Fortim-CE, by comparing the data provided by the MapBiomias platform with a supervised classification performed using Landsat 5 and 8 satellite images. Four classes were found for the study area in all analyzed years: vegetation, agriculture, non-vegetated areas, and water bodies. The main discrepancy found in the mappings was the non-vegetated areas located in the northeastern part of the micro-watershed. The method used by MapBiomias was able to more accurately locate the urban area, while the supervised classification confused the classes of non-vegetated areas and agriculture. Another point of divergence between the methods was the identification of CE-040. MapBiomias failed to delineate the contour of the highway, while the supervised classification successfully identified its contour. The methodologies presented similarities, especially in vegetation and water body areas, this similarity was also identified in some agricultural areas.

Keywords: land cover and use; remote sensing; geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema representativo dos elementos fundamentais do sensoriamento remoto.....	20
Figura 2 – Divisores de água superficiais e subterrâneos.....	24
Figura 3 – Visão geral da plataforma <i>Google Earth Engine</i>	25
Figura 4 – Histórico do projeto <i>Landsat</i>	29
Figura 5 – Mapa de localização.....	32
Figura 6 – Organograma das atividades do projeto.....	34
Figura 7 – Complemento OpenTopography DEM Downloader.....	37
Figura 8 – MDE delimitado para a área de estudo.....	37
Figura 9 – Mapa hipsométrico do município de Fortim - CE.....	39
Figura 10 – Direção de drenagem.....	40
Figura 11 – Microbacia e drenagem.....	41
Figura 12 – Microbacia e drenagem suavizadas.....	41
Figura 13 – Mapa de localização da microbacia.....	42
Figura 14 – Script para download da cobertura e uso da terra.....	43
Figura 15 – Parâmetros de download dos dados MapBiomas.....	44
Figura 16 – Legenda e paleta de cores utilizadas no MapBiomas coleção 7.....	45
Figura 17 – Cobertura e uso da terra com dados MapBiomas.....	46
Figura 18 – Cobertura e uso da terra com dados MapBiomas reclassificados	48
Figura 19 – Critérios de pesquisa utilizados na plataforma USGS.....	49
Figura 20 – Conjuntos de dados utilizados na plataforma USGS.....	50
Figura 21 – Resultados apresentados pela plataforma USGS.....	50
Figura 22 – Código Utilizado para download das imagens <i>Landsat</i>	51
Figura 23 – <i>Band Set</i> referente às imagens do <i>Landsat 8</i>	52

Figura 24 – Composições de bandas <i>Landsat</i> mais comuns.....	53
Figura 25 – Mapa de cor verdadeira referente ao ano 2020.....	54
Figura 26 – Mapa de cor falsa referente ao ano 2020.....	55
Figura 27 – Amostras de treinamento.....	56
Figura 28 – Mapa de comparação entre os métodos no ano 2000.....	58
Figura 29 – Mapa de comparação entre os métodos no ano 2010.....	61
Figura 30 – Mapa de comparação entre os métodos no ano 2020.....	64
Figura 31 – Análise temporal com dados MapBiomias.....	68
Figura 32 – Análise temporal com os dados da classificação supervisionada.....	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação dos métodos no ano 2000.....	59
Gráfico 2 – Comparação dos métodos no ano 2010.....	62
Gráfico 3 – Comparação dos métodos no ano 2020.....	65
Gráfico 4 – Análise temporal com dados MapBiomias.....	69
Gráfico 5 – Análise temporal com dados da classificação supervisionada.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Características básicas do <i>Landsat 5</i>	27
Tabela 2	– Informações básicas do <i>Landsat 5</i>	27
Tabela 3	– Características básicas do <i>Landsat 8</i>	28
Tabela 4	– Informações básicas do <i>Landsat 8</i>	28
Tabela 5	– Base de Dados.....	35
Tabela 6	– Classes mapeadas e reclassificadas.....	47
Tabela 7	– Imagens <i>Landsat</i> adquiridas.....	51
Tabela 8	– Áreas e porcentagem obtidas pelas metodologias no ano 2000.....	59
Tabela 9	– Áreas e porcentagem obtidas pelas metodologias no ano 2010.....	62
Tabela 10	– Áreas e porcentagem obtidas pelas metodologias no ano 2020.....	65
Tabela 11	– Áreas e porcentagens obtidas pelo MapBiomias.....	69
Tabela 12	– Áreas e porcentagens obtidas pela classificação supervisionada.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ERTS	<i>Earth Resource Technology Satellite</i>
ETM	<i>Enhanced Thematic Mapper</i>
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDE	Modelo Digital de Elevação
MSS	<i>Multispectral Scanner System</i>
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
RBV	<i>Return Beam Vidicon</i>
SCP	Classificação Semi-automática
SHP	Shapefile
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SR	Sensoriamento Remoto
SRC	Sistemas de Referência de Coordenadas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

Δ Delta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Sensoriamento Remoto	20
2.2	Geoprocessamento	21
2.3	Uso da terra x Cobertura da terra	21
2.4	Importância do planejamento do uso da terra	22
2.5	Bacias hidrográficas	22
2.6	Delimitação de bacias hidrográficas	23
2.7	Projeto MapBiomas	24
2.8	Google Earth Engine	25
2.9	Projeto Landsat	26
2.10	Classificação digital de imagens	29
3	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1	Material	31
3.1.1	Área de Estudo	31
3.2	Metodologia	33
3.2.1	Organograma das atividades desenvolvidas	34
3.2.2	Procedimentos metodológicos	35
3.2.2.1	Base de dados	35
3.2.2.2	Pré-processamento	36
3.2.2.3	Aquisição e tratamento do modelo digital de elevação	36
3.2.2.4	Delimitação da microbacia e rede de drenagem	40
3.2.2.5	Aquisição dos dados MapBiomas de cobertura e uso da terra	43
3.2.2.6	Tratamento dos dados MapBiomas de cobertura e uso da terra	47
3.2.2.7	Aquisição dos dados Landsat	49
3.2.2.8	Classificação supervisionada	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1	Comparação das metodologias no ano 2000	57
4.2	Comparação das metodologias no ano 2010	56
4.3	Comparação das metodologias no ano 2020	59
4.4	Análise temporal com dados MapBiomas	62

4.5	Análise temporal com dados da classificação supervisionada.....	66
5	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

O uso e cobertura da terra são elementos essenciais para entendermos a dinâmica e a transformação dos espaços terrestres. É na superfície terrestre que ocorrem diversas transformações no meio físico, tanto numa dimensão espacial como temporal, que podem evidenciar mudanças de origem natural ou antrópica no decorrer do tempo. As sociedades, estão estabelecidas nesta superfície terrestre, onde as mudanças de uso e cobertura da terra são dinâmicas, respondendo a diversidade de atividades socioeconômicas de uma população em um determinado tempo, seja no âmbito agrícola ou urbano (DÚRAN, 2020).

Apesar do uso da terra variar bastante em todo o mundo, o resultado final é praticamente o mesmo, a aquisição de recursos naturais para satisfazer as necessidades humanas o que torna o meio ambiente degradado (FOLEY et al., 2005). Para Guimarães, Valladares e Martins (2016), essa degradação se torna mais evidente na região semiárida do Estado do Ceará, porque ela apresenta, de forma geral, solos rasos e pedregosos e uma estação seca bem definida que dificulta o uso da terra para o manejo agrícola e causa lentidão e retardo na regeneração da vegetação natural.

Assim, a obtenção de informações detalhadas e precisas sobre o espaço geográfico é uma condição necessária para as atividades de planejamento e tomada de decisões. Os mapas de uso e cobertura da terra são instrumentos que auxiliam a cumprir essa função, constituindo-se em mecanismos bastante adequados para promoverem o desenvolvimento sustentável do ponto de vista ambiental, e são indispensáveis para o planejamento local e regional da área de estudo (DA COSTA; MENESES; SANO, 2007).

Segundo Rosa (1993), realizar o levantamento do uso e ocupação da terra é um dos objetivos do programa de Sensoriamento Remoto (SR). A utilização de técnicas de SR integradas a Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permite o mapeamento, o monitoramento e a análise das mudanças de uso e cobertura da terra com maior frequência, maior detalhamento e melhor precisão, o que é essencial para o entendimento do processo de ocupação e do planejamento de ações para conservação e uso sustentável do solo.

Em função disso, este trabalho possui o intuito de utilizar ferramentas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para análise do uso e cobertura da terra de uma microbacia localizada no município de Fortim-CE, através da comparação de duas metodologias de mapeamento do solo, sendo elas o projeto MapBiomas que disponibiliza dados de uso e cobertura da terra e de uma classificação supervisionada realizada com imagens dos satélites *Landsat 5* e *8*.

O município de Fortim-CE foi selecionado como objeto de estudo por conta da escassez de trabalhos relacionados às áreas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, principalmente estudos voltados para análise da cobertura e uso da terra e sua evolução no decorrer dos anos. A microbacia foi utilizada a fim de limitar a área de estudo, reduzindo assim a quantidade de classes e possibilitando identificá-las com mais clareza, além facilitar as análises por conta da redução de tempo de processamento e espaço para armazenamento, já que pela metodologia do MapBiomias, existem cerca de 19 coberturas e usos da terra para o município de Fortim.

Diante dos aspectos já citados, esse trabalho foi desenvolvido com os objetivos:

Objetivo Geral

O presente estudo busca utilizar ferramentas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para realizar uma análise temporal da cobertura e uso da terra de uma microbacia, através da comparação dos dados do projeto MapBiomias e de uma classificação supervisionada.

Objetivos Específicos

- Expor a importância das ferramentas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para análises de cobertura e uso da terra.
- Delimitar a microbacia estudada através do Modelo Digital de Elevação (MDE);
- Determinar quais classes de cobertura e uso da terra e suas respectivas áreas compõem o território analisado nos anos 2000, 2010 e 2020;
- Comparar os resultados dos dois métodos e apontar suas similaridades e possíveis motivos das divergências entre eles;
- Avaliar a qualidade da classificação supervisionada realizada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sensoriamento Remoto

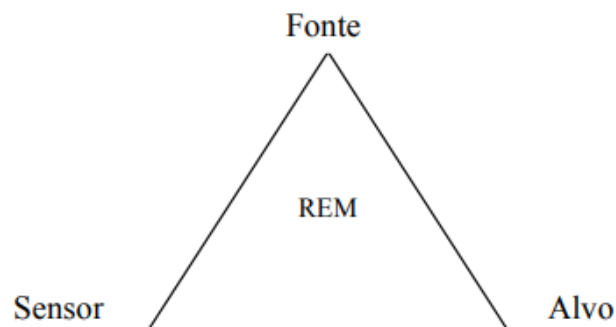
O termo Sensoriamento Remoto apareceu pela primeira vez na literatura científica em 1960 e significava simplesmente a aquisição de informações sem contato físico com os objetos (NOVO; PONZONI, 2001).

A definição mais conhecida ou clássica deste termo é: Sensoriamento remoto é uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto. Já uma definição mais científica seria: SR é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Na figura 1, estão representados os quatro elementos fundamentais das técnicas de SR, sobre a interação desses quatro elementos Novo e Ponzoni (2001) dizem que,

No centro do triângulo, encontra-se a radiação eletromagnética (REM), que é o elemento de ligação entre todos os demais que se encontram nos vértices. São eles, a fonte de REM, que para o caso da aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo dos recursos naturais, é o Sol (pode ser também a Terra para os sensores passivos de micro-ondas e termais, podem ser antenas de micro-ondas para os sistemas radares); o sensor, que é o instrumento capaz de coletar e registrar a REM refletida ou emitida pelo objeto, que também é denominado alvo, e que representa o elemento do qual se pretende extrair informação.

Figura 1 – Esquema representativo dos elementos fundamentais do sensoriamento remoto



Fonte: Novo e Ponzoni (2001)

2.2 Geoprocessamento

Para Câmara, Davis e Monteiro (2001, p. 1), o termo geoprocessamento denota:

A disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica, permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

É costume dizer-se que Geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar, que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). Dessa forma o Geoprocessamento pode auxiliar na tomada de decisões em diversas áreas, como planejamento urbano, gestão ambiental, segurança pública, agricultura, transporte, saúde, entre outras.

2.3 Uso da terra x Cobertura da terra

De acordo com Jensen (2009), o termo uso da terra refere-se ao modo como a terra é usada pelos seres humanos. Já a cobertura da terra, refere-se aos materiais biofísicos encontrados sobre a superfície terrestre.

Para Campbell (1997), o uso da terra é geralmente ligado às atividades humanas sobre uma extensão da superfície terrestre, de forma mais abrangente, mostrando as relações entre os seres humanos e sua interação com o meio ambiente.

Sobre a cobertura da terra, afirma Campbell (1997, p. 335),

A cobertura da terra é geralmente designada como a cobertura vegetal natural e antropogênica. Entretanto, no sentido lato, a cobertura da terra designa a evidência visível do seu uso, incluindo feições da vegetação e ausência de vegetação, por exemplo, floresta densa, solo nu, terra arada, estrutura urbana.

Enquanto o uso de uma floresta pode ser uma área de proteção ambiental ou uma área que serve para a retirada de madeira, a cobertura de uma floresta seria ela própria, ou mais especificamente uma floresta densa ou secundária, dependendo das evidências observadas.

2.4 Importância do planejamento do uso da terra

As informações de uso e cobertura da terra de um determinado território são relevantes para os mais variados estudos e aplicações, porque faz a ligação entre os elementos físicos e os sociais (NOGUEIRA, 2008).

Para Rodrigues (2000), a análise do uso e cobertura da terra, através de informações obtidas pelo sensoriamento remoto, é de grande utilidade para o planejamento e administração da ocupação ordenada e racional do meio físico, além de possibilitar avaliar e monitorar a preservação de áreas de vegetação natural. Para a autora, o Sensoriamento Remoto é uma ferramenta de grande valia para auxiliar o homem na caracterização do meio físico, biótico e de áreas submetidas ao processo de antropização.

As informações oriundas do SR podem ser utilizadas por governos, urbanistas, cientistas e demais profissionais que tomam decisões sobre o uso e manejo da terra, a fim de colaborar para o monitoramento da expansão urbana em áreas verdes, mudanças do uso e cobertura da terra, monitoramento e planejamento de atividades agrícolas, identificação de áreas suscetíveis a desastres naturais, dentre outras atividades.

2.5 Bacias hidrográficas

As bacias hidrográficas, sub-bacias e microbacias são conceitos importantes para o estudo e a gestão dos recursos hídricos. Elas ajudam a compreender o comportamento da água e sua distribuição em uma determinada região, colaborando para o planejamento e a implementação de medidas de conservação, proteção e manejo sustentável dos recursos hídricos.

Segundo Tucci (2001), bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Esta área de captação natural é composta basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório.

Para Viessman, Harbaugh e Knapp (1972), a bacia hidrográfica é descrita como uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água tal que toda vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída.

Dentro de uma bacia hidrográfica, podem existir subdivisões conhecidas como sub-bacias. As sub-bacias são áreas menores que compõem a bacia hidrográfica principal. Elas são delimitadas por divisores de água secundários, que são elevações menores dentro da bacia principal. Para Faustino (1996), as sub-bacias possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km².

Além disso, existem as microbacias, que são subdivisões ainda menores dentro das sub-bacias. As microbacias são áreas muito pequenas, geralmente com alguns quilômetros quadrados de extensão. Segundo Faustino (1996), a microbacia possui toda sua área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia, várias microbacias formam uma sub-bacia, sendo a área de uma microbacia inferior a 100 km².

2.6 Delimitação de bacias hidrográficas

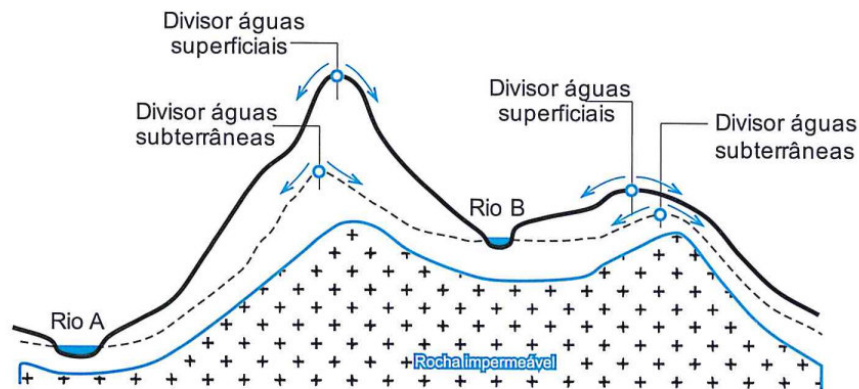
Uma bacia hidrográfica normalmente é definida por um curso d'água, um ponto ou seção transversal desse curso de água, que pode ser chamado de exutório, e por informações de relevo. Com informações obtidas de um mapa topográfico, é possível identificar os divisores de água (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Sobre os divisores d'água Collischonn e Dornelles (2013, p. 21), afirmam,

O divisor de águas é uma linha imaginária sobre o relevo que divide o escoamento das águas da chuva. A partir do divisor de águas o escoamento é divergente. Este divisor, identificado a partir das informações de altitude, é chamado de divisor de águas superficiais (topográfico), porque está baseado na hipótese que a água da chuva escoar sobre a superfície do solo. A água que infiltra no solo, por outro lado, pode seguir um escoamento que depende das rochas que existem no subsolo. Rochas impermeáveis no subsolo, por exemplo, podem dar origem a um divisor de águas subterrâneas.

Na figura 2, é possível observar um exemplo de divisores de água superficiais e subterrâneos.

Figura 2 – Divisores de água superficiais e subterrâneos



Fonte: Collischonn e Dornelles (2013)

A caracterização de bacias hidrográficas tradicionalmente é baseada em mapas topográficos, dessa forma, os Sistemas de Informações Geográficas desempenham um papel importante na delimitação de bacias, pois permitem a análise e manipulação de dados topográficos, oriundos de modelos digitais de elevação, e a criação de mapas de altitude e de curvas de nível.

O MDE armazena dados topográficos em uma matriz, onde cada elemento contém o valor que corresponde a altitude local, essa é a forma de representação de relevo mais utilizada para extrair informações que serão utilizadas em estudos hidrológicos.

2.7 Projeto MapBiomias

O projeto MapBiomias é uma rede colaborativa, constituída por ONGs (Organizações não governamentais), universidades e startups de tecnologia, que tem como propósito apresentar as transformações do território brasileiro por meio da ciência, e tornar acessível o conhecimento sobre a cobertura e o uso da terra, a fim de colaborar para a conservação e o manejo sustentável dos recursos naturais, como forma de combate às mudanças climáticas (MAPBIOMAS, 2023).

De forma geral, os mapas anuais de cobertura e uso da terra do MapBiomias são produzidos a partir da metodologia baseada na classificação pixel a pixel de imagens dos satélites Landsat. Todo processo é feito com extensivos algoritmos de *machine learning* através da plataforma GEE (*Google Earth Engine*) que oferece imensa capacidade de processamento na nuvem (MAPBIOMAS, 2023).

Os dados disponibilizados pela plataforma Mapbiomas colaboram para as mais variadas aplicações científicas. Júnior e Silveira (2021), propõe em seu estudo discutir como as mudanças no uso e cobertura do solo se relacionam com a infiltração e escoamento superficial na bacia hidrográfica do açude castanhão localizado no sul do Ceará. Já Rosa (2017), realiza no seu trabalho uma comparação entre as metodologias do MapBiomas e do Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica produzido pela SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com o intuito de se identificar qual a mais apropriada para o mapeamento da Mata Atlântica.

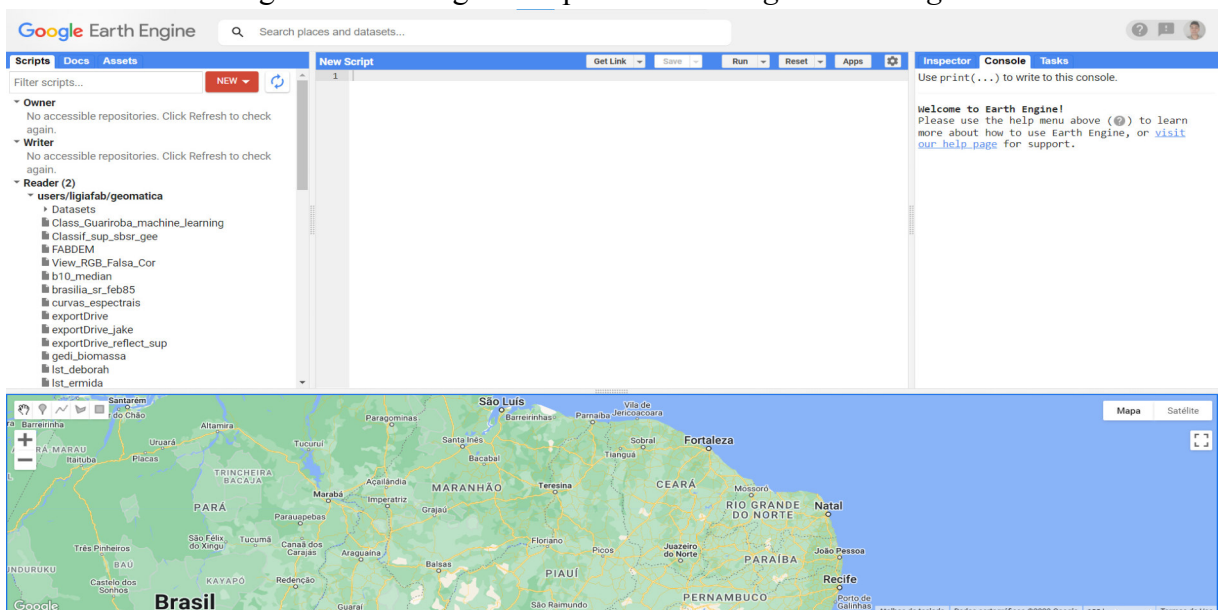
2.8 Google Earth Engine

O *Google Earth Engine* (GEE) é uma plataforma de análise geoespacial baseada em nuvem desenvolvida pelo *Google*. O GEE combina um catálogo de vários *petabytes* de imagens de satélite e conjuntos de dados geoespaciais com recursos de análise em escala planetária (GORELIC et al., 2017).

Os dados disponibilizados pela plataforma podem ser utilizados para fins comerciais e governamentais, atividades com finalidades acadêmicas e de pesquisa podem utilizar os serviços do GEE de forma gratuita, sendo necessário apenas um cadastro.

O GEE disponibiliza uma ampla variedade de dados geoespaciais, incluindo imagens de satélite de vários sensores, como *Landsat*, *Sentinel-2*, *MODIS* dentre outros.

Figura 3 – Visão geral da plataforma *Google Earth Engine*



Fonte: elaborado pelo autor.

Com o *Google Earth Engine*, os usuários podem realizar uma variedade de análises geoespaciais, como classificação de imagens, detecção de alterações, análise de séries temporais e modelagem espacial. Dessa forma, o GEE pode ser amplamente utilizado em várias áreas como: Monitoramento ambiental, conservação da biodiversidade, agricultura, planejamento urbano e gerenciamento de desastres (GORELIC et al., 2017).

Os serviços disponibilizados pelo GEE colaboram para as mais variadas aplicações científicas. Pereira et al.(2018), propõe em seu estudo uma análise multitemporal para detecção de variações de áreas inundadas no Pantanal. Já Carvalho, Filho e Dos Santos (2021), realizam um estudo de caso em uma unidade de conservação para se analisar o uso e cobertura da terra através do GEE.

2.9 Projeto Landsat

Em 1967, a Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA), iniciou o programa denominado *Earth Resource Technology Satellite* (ERTS), que posteriormente, em 1975, passaria a se denominar *Landsat*. Esse programa resultou no lançamento de oito satélites com uma diversidade de sistemas de sensoriamento remoto construídos para adquirir informação dos recursos da Terra (JENSEN, 2009).

Os responsáveis em grande parte pelo gerenciamento do programa foram a NASA e o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). O primeiro satélite foi lançado em 1972 e foi denominado *Landsat 1*. Levou dois instrumentos a bordo, as câmeras *Return Beam Vidicon* (RBV) e *Multispectral Scanner System* (MSS). Esses mesmos instrumentos estavam a bordo do *Landsat 2*, lançado em 1975 e do *Landsat 3*, lançado em 1978 (EMBRAPA, 2023).

Conforme a Embrapa (2023), o *Landsat 4* começou a operar em 1982, com o MSS e também com o sensor *Thematic Mapper* (TM), projetado para dar suporte às pesquisas nas mais diversas áreas temáticas, especializado em recursos naturais. Dois anos mais tarde entraria em órbita o *Landsat 5*, com os mesmos instrumentos do *Landsat 4*.

As tabelas 1 e 2 trazem algumas características básicas do satélite *Landsat 5*.

Tabela 1 – Características básicas do *Landsat 5*

Satélite Landsat 5					
Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica
<i>TM (Thematic Mapper)</i>	(B1) AZUL	0.45 - 0.52 μm	30 m	16 dias	8 bits
	(B2) VERDE	0.52 - 0.60 μm			
	(B3) VERMELHO	0.63 - 0.69 μm			
	(B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.76 - 0.90 μm			
	(B5) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.55 - 1.75 μm	120 m		
	(B6) INFRAVERMELHO TERMAL	10.4 - 12.5 μm	30 m		
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.08 - 2.35 μm			

Fonte: Adaptada Embrapa (2023)

Tabela 2 – Informações básicas do *Landsat 5*

Landsat 5	
Instrumento/Sensor	<i>MSS</i> (até Ago/1995) e <i>TM</i>
Instituição Responsável	<i>NASA</i>
País	Estados Unidos
Situação Atual	Inativo (22/11/2011)
Lançamento	01/03/1984
Altitude	705 km
Inclinação	98,20°
Órbita	Quase-Polar, Heliossíncrona
Faixa Imageada	185 Km
Tempo de Duração da Órbita	98,20 min
Horário da Passagem	09h / 11h
Período de Revisita	16 dias
Resolução Espacial	<i>MSS</i> : 80 m <i>TM</i> : 30 m

Fonte: Adaptada INPE (2023)

Após os satélites *Landsat 4* e *5* terem superado suas vidas úteis, foi lançado o sexto satélite da série, porém este não obteve êxito em atingir a órbita terrestre devido a ocorrência de falhas durante o lançamento. O *Landsat 6* foi projetado com o sensor *Enhanced Thematic Mapper* (ETM), com configurações semelhantes ao seu antecessor, inovando na inclusão da banda 8 pancromática com 15 metros de resolução espacial (EMBRAPA, 2023).

Sobre o lançamento do sétimo e oitavo satélite, a Embrapa (2023) diz que:

O sensor ETM evoluiu para o sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) lançado em 1999 a bordo do *Landsat 7*, que conseguiu melhorar a acurácia do sistema, manteve os mesmos intervalos espectrais, ampliou a resolução espacial da banda 6 (infravermelho termal) para 60 metros, além de tornar a banda pancromática operante e permitir a geração de composições coloridas com 15 metros de resolução. A continuidade da série ocorreu em 2013, com o satélite *Landsat 8* que opera com os instrumentos *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). O sensor OLI deu continuidade aos produtos gerados a partir dos sensores TM e ETM+, a bordo das plataformas anteriores, além de incluir duas novas bandas espectrais, uma projetada para estudos de áreas costeiras e outra para detecção de nuvens do tipo cirrus.

As tabelas 3 e 4 trazem algumas características básicas do satélite *Landsat 8*.

Tabela 3 – Características básicas do *Landsat 8*

Satélite Landsat 8					
Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica
OLI (Operational Land Imager)	(B1) COSTAL	0.433 - 0.453 μm	30 m	16 dias	12 bits
	(B2) AZUL	0.450 - 0.515 μm			
	(B3) VERDE	0.525 - 0.600 μm			
	(B4) VERMELHO	0.630 - 0.680 μm			
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.845 - 0.885 μm			
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.560 - 1.660 μm			
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.100 - 2.300 μm			
	(B8) PANCROMÁTICO	0.500 - 0.680 μm	15 m		
	(B9) Cirrus	1.360 - 1.390 μm	30 m		

Fonte: Adaptada Embrapa (2023)

Tabela 4 – Informações básicas do *Landsat 8*

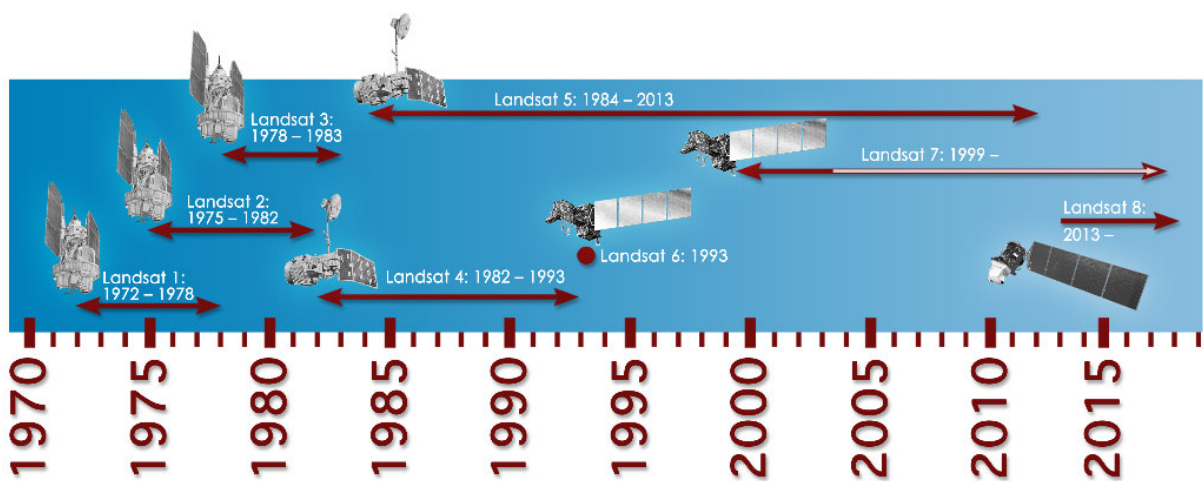
<i>Landsat 8</i>	
Instrumento/Sensor	<i>OLI e TIRS</i>
Instituição Responsável	<i>NASA</i>
País	Estados Unidos
Situação Atual	Ativo
Lançamento	02/11/2013
Altitude	705 Km
Inclinação	98,2°
Órbita	Circular, Polar, Heliossíncrona
Faixa Imageada	185 Km
Tempo de Duração da Órbita	99 min.

Horário da Passagem	10h / 12h
Período de Revisita	16 dias
Resolução Espacial	Pancromático: 15 m
Resolução Espacial	Multiespectral: 30 m
Resolução Espacial	Termal: 100 m reamostrada para 30 m

Fonte: Adaptada INPE (2023)

A figura 4 mostra o histórico da missão *Landsat*, apresentando cada satélite com seu ano de lançamento e tempo de vida útil.

Figura 4 – Histórico do projeto *Landsat*



Fonte: INPE (2023)

2.10 Classificação digital de imagens

Segundo Dainese (2001), a classificação digital de imagens orbitais consiste no estabelecimento de um processo de decisão no qual um grupo de pixels é definido como pertencente a uma determinada classe ou um tema que descreve um objeto no mundo real.

Os métodos de classificação digital podem ser agrupados em função da presença ou não de uma fase de treinamento onde o analista interage com o computador.

Sobre os métodos de classificação Assad e Sano (1998, p. 353), afirmam que,

O método é dito não-supervisionado quando o classificador não utiliza a priori nenhum conhecimento sobre as classes existentes na imagem e define, sem a interferência do analista, a estratificação da cena, atribuindo a cada pixel uma determinada classe. O método de classificação

é considerado supervisionado quando existe um conhecimento prévio de algumas áreas em que se deseja trabalhar, o que permite a seleção de amostras de treinamento confiáveis.

Por fim, os dois métodos podem ser usados simultaneamente, a fim de minimizar as desvantagens inerentes de cada método, obtendo-se assim, uma maior eficiência na caracterização dos alvos nas imagens. Tal método é conhecido como classificação híbrida (ASSAD; SANO, 1998).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Área de Estudo

A área de estudo desta pesquisa corresponde a uma microbacia de área de 5,859 km² e perímetro de 11,469 km, pertencente ao Rio Jaguaribe. A microbacia está posicionada especificamente na parte leste do município de Fortim, que está situado no nordeste cearense e localizado a 111 km de Fortaleza, a capital do estado do Ceará. O município faz limite com o Oceano Atlântico e com os municípios de Beberibe e Aracati, situa-se nas latitudes 4° 27' 07" e longitudes 37° 47' 50", e possui uma área de 278,8 km² (IPECE, 2017).

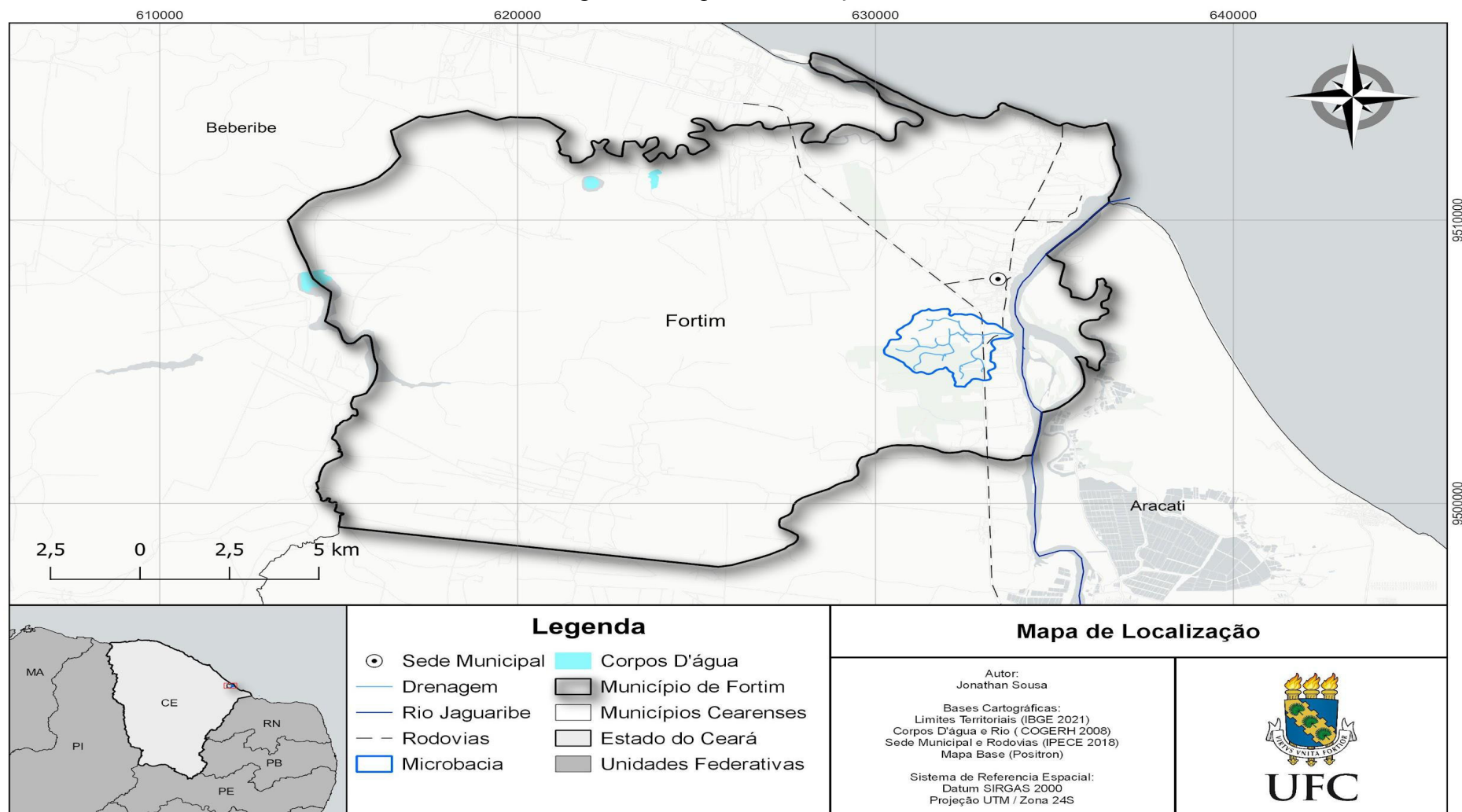
Com relação aos aspectos climáticos, segundo o Ipece (2017), o município apresenta um clima tropical quente semi-árido, pluviosidade de 1435,4 mm, temperatura média de 26° a 28°, com um período chuvoso concentrado nos meses de janeiro a maio.

Já no tocante aos componentes ambientais, Fortim possui seu relevo composto por tabuleiros pré-litorâneos e planície litorânea, seu solo é constituído por areias quartzosas distróficas, areias quartzosas marinhas, solonchak, solonetz solodizado. Sua vegetação é formada por complexo vegetacional da zona litorânea, floresta mista dicotillo-palmácea e floresta perenifólia paludosa marítima (IPECE, 2017).

Sobre os aspectos socioeconômicos Leite (2016), diz que, a administração pública juntamente ao setor de comércio são as áreas que geram mais empregos no município e que a economia é baseada no extrativismo animal, por meio da pesca tradicional de peixes e da lagosta, agricultura do caju e coco, além do turismo, que tem se tornado uma fonte de renda para as famílias locais.

A figura 5 apresenta a microbacia estudada, localizada no município de Fortim-CE, também é mostrado a drenagem da microbacia, a sede municipal e a principal rodovia que se estende pelo município.

Figura 5 – Mapa de localização



Fonte: elaborada pelo autor

3.2 Metodologia

Para a elaboração do presente estudo foi adotada a pesquisa exploratória, que de acordo com Lakatos e Marconi (2003, p. 188), objetiva a formulação de questões ou de um problema, com a finalidade de desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com um ambiente, fato ou fenômeno. Na pesquisa exploratória emprega-se geralmente procedimentos sistemáticos para as análises de dados e pode-se obter descrições tanto quantitativas quanto qualitativas do objeto de estudo (LAKATOS; MARKONI, 2003).

No que se refere à finalidade, as análises desenvolvidas se enquadram como uma pesquisa aplicada, pois há um interesse pela aplicação, utilização e consequências práticas dos conhecimentos. Destina-se a aplicar os conhecimentos científicos para a solução dos mais variados problemas individuais ou coletivos (ASSIS, 2009).

Quanto aos procedimentos técnicos, de acordo com Gil (2008), este estudo se caracteriza como um Estudo de Caso já que realiza uma análise profunda e exaustiva de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado. No caso dessa pesquisa o objeto analisado são as mudanças de cobertura e uso da terra na microbacia selecionada.

A princípio foi realizado um levantamento bibliográfico e obteve-se informações da área de estudo e demais temáticas abordadas na pesquisa, tais como: Sensoriamento remoto, geoprocessamento, bacias hidrográficas, missão *Landsat*, *Google Earth Engine*, cobertura e uso da terra, projeto MapBiomas, técnicas de classificação de imagens, e classificação supervisionada.

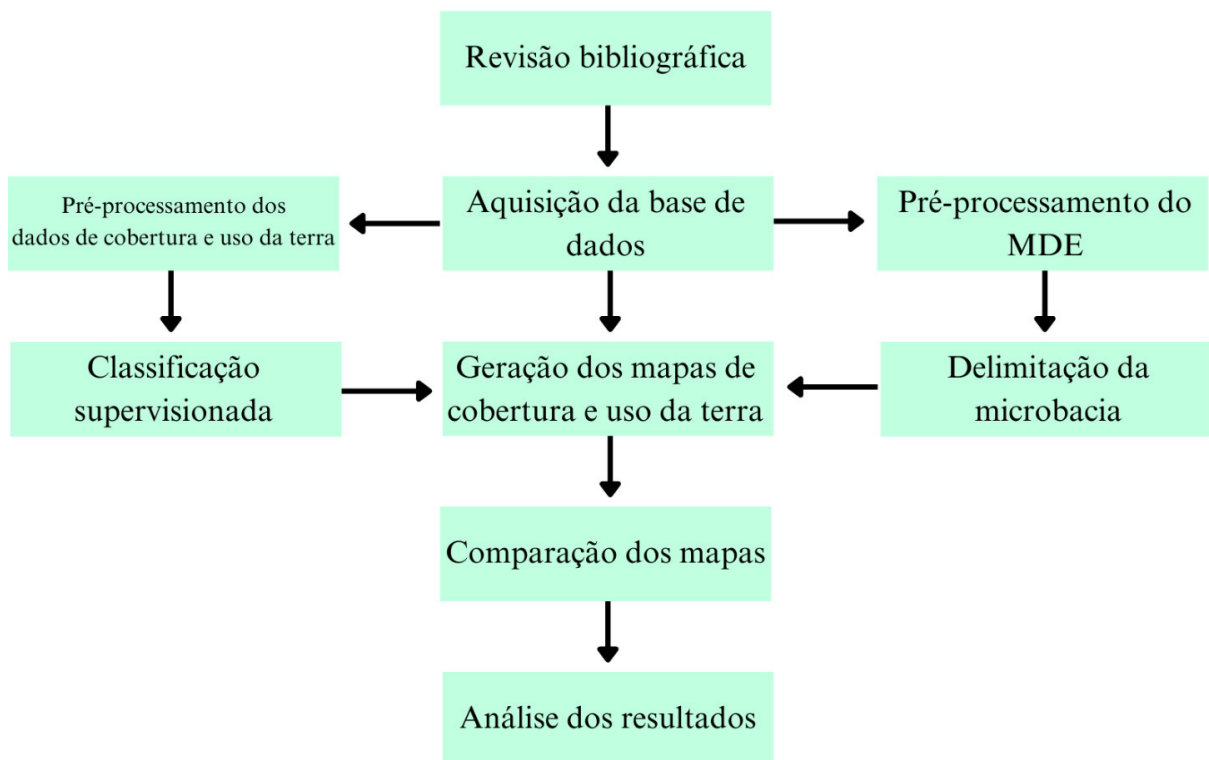
A elaboração deste estudo baseia-se no uso de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto com o objetivo de realizar uma análise temporal da cobertura e uso da terra de uma microbacia, através da comparação de duas metodologias de mapeamento de cobertura do solo.

Desta forma, o presente trabalho foi estruturado em: Introdução, onde são apresentados o tema e o problema investigado, junto com uma contextualização e delimitação do assunto; a justificativa e os objetivos. A pesquisa é desenvolvida e aprofundada nas seções fundamentação teórica, metodologia e discussão dos resultados. Por fim, será exposta a conclusão que irá apresentar uma síntese do estudo e identificar se os objetivos propostos foram ou não atingidos.

3.2.1 Organograma das atividades desenvolvidas

A figura 6 apresenta o organograma de trabalho. As atividades desta pesquisa se iniciaram com uma pesquisa bibliográfica sobre o objeto de estudo, que é a microbacia contida no município de Fortim-CE, também foi levantado informações acerca da necessidade de se conhecer a cobertura e uso da terra e de como as ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto auxiliam e possibilitam a realização deste tipo de análise. A segunda etapa consistiu no levantamento da base de dados para a elaboração dos produtos cartográficos. Na terceira etapa do projeto, os mapas de cobertura e uso da terra foram elaborados, com os dados disponibilizados pelo projeto MapBiomas e pela classificação supervisionada, a elaboração dos mapas foi realizada com o auxílio do software Quantum GIS (QGIS), versão 3.22.5. Por fim, foi feita a comparação dos produtos gerados por cada metodologia, a fim de se analisar suas similaridades e possíveis discrepâncias, também foi mostrada a evolução temporal da área de estudo segundo cada metodologia.

Figura 6 – Organograma das atividades do projeto



Fonte: elaborada pelo autor.

3.2.2 Procedimentos metodológicos

3.2.2.1 Base de dados

Existem vários métodos de aquisição de dados para o mapeamento, cada um com finalidade de produzir mapas específicos, assim é necessário conhecer bem o aspecto relacionado à confiabilidade dos dados utilizados.

A vista disso, para a construção dos mapas deste estudo, foi feita a aquisição de dados georreferenciados utilizando sites e plataformas que disponibilizam dados territoriais e ambientais, além de complementos do software QGIS 3.22.5. Os dados adquiridos estavam no formato vetorial e raster (matricial). Para Nogueira (2008), um vetor é um arquivo que tem os seus limites definidos por uma série de pontos e suas conexões. Já os arquivos rasters, tem os seus limites definidos por *pixels*, ou seja, uma grade regular de tamanho específico.

A tabela 5 apresenta quais dados foram utilizados neste trabalho, quais os seus respectivos formatos, fontes e datas de aquisição ou elaboração.

Tabela 5 – Base de Dados

Dado	Formato	Fonte	Data
Corpos D'água	Vetorial	COGERH	2008
Drenagem		r.watershed	2023
Microbacia		r.water.outlet	2023
Limites Territoriais		IBGE	2021
Sedes Municipais		IPECE	2018
Rios		COGERH	2008
Rodovias		IPECE	2018
MDE	Raster	Open Topography	2023
Cobertura e Uso da Terra		GEE	23/08/2000
Cobertura e Uso da Terra		MapBiomias	2000
Cobertura e Uso da Terra		GEE	15/05/2010
Cobertura e Uso da Terra		MapBiomias	2010
Cobertura e Uso da Terra		GEE	15/09/2020
Cobertura e Uso da Terra		MapBiomias	2020

Fonte: elaborada pelo autor.

3.2.2.2 Pré-processamento

Os shapefiles e rasters adquiridos estavam nos mais diversos SRC (Sistemas de Referência de Coordenadas), sendo necessário reprojeter todas as camadas para o SRC utilizado no projeto. Para realizar as mudanças de Datum foram utilizadas as ferramentas “Reprojeter coordenadas” para arquivos rasters e “Reprojeter camadas” para as camadas vetoriais. Sabendo que algumas das análises propostas necessitavam de cálculos de área, foi selecionado o Datum SIRGAS 2000 / Zona UTM 24S, que engloba todo o estado do Ceará e consequentemente o município de Fortim e a área de estudo, também é um sistema métrico o que permite a realização de cálculos da área dos shapefiles e a contagem dos valores dos *pixels* com suas respectivas áreas.

Além disso, nem todos os arquivos estavam no tamanho adequado da área de estudo, sendo necessário recortá-los. Os algoritmos usados nessa etapa foram o “Recortar” para camadas vetoriais e “Recortar raster pela camada de máscara” para os dados matriciais.

Por fim as cores, largura e tipo do traço, sombreamento, dentre outras propriedades de simbologia foram alteradas a fim de melhorar a organização e compreensão dos produtos finais.

3.2.2.3 Aquisição e tratamento do modelo digital de elevação

Delimitação e caracterização de bacias hidrográficas usualmente utilizam de informações topográficas. O MDE é um arquivo que possui esse tipo de informação, já que armazena dados topográficos em uma matriz onde cada pixel corresponde a altitude daquele respectivo local.

A primeira etapa na delimitação da área de estudo foi adquirir o MDE com o complemento OpenTopography DEM Downloader, que disponibiliza diversos modelos digitais de elevação e permite seu download após um cadastro.

Figura 7 – Complemento OpenTopography DEM Downloader

OpenTopography DEM Downloader



This plugin downloads DEM from OpenTopography.org

This plugin will download DEMs from OpenTopography.org for user selected extent only

DEMs:

1. SRTM 90m
2. SRTM 30m
3. ALOS World 3D 30m
4. SRTM GL1 Ellipsoidal 30m
5. Global Bathymetry SRTM15+ V2.1
6. Copernicus Global DSM 30m
7. Copernicus Global DSM 90m
8. NASADEM Global DEM
9. Europe DTM 30m
10. GEDI L3 Grid 1km

** Get an API Key from OpenTopography.org to download the DEMs

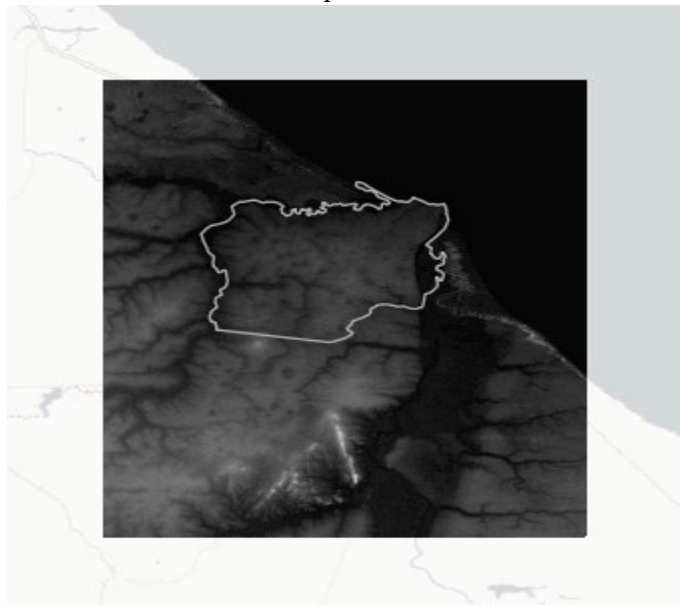
★★★★★ 10 voto(s) de classificação, 25256 baixados

Categoria	Raster
Marcadores	dem , opentopography
Mais informações	página inicial rastreador de problemas repositório do código
Autor	Kyaw Naing Win
Versão instalada	2.0
Versão disponível (estável)	2.0 atualizado em seg fev 27 11:18:31 2023

Fonte: elaborada pelo autor.

O uso do plugin necessita apenas que o usuário selecione qual MDE vai utilizar e delimite a área de download. Neste projeto foi selecionado o Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 30m e a área de download foi selecionada com o auxílio do arquivo SHP (Shapefile) do município de Fortim - CE.

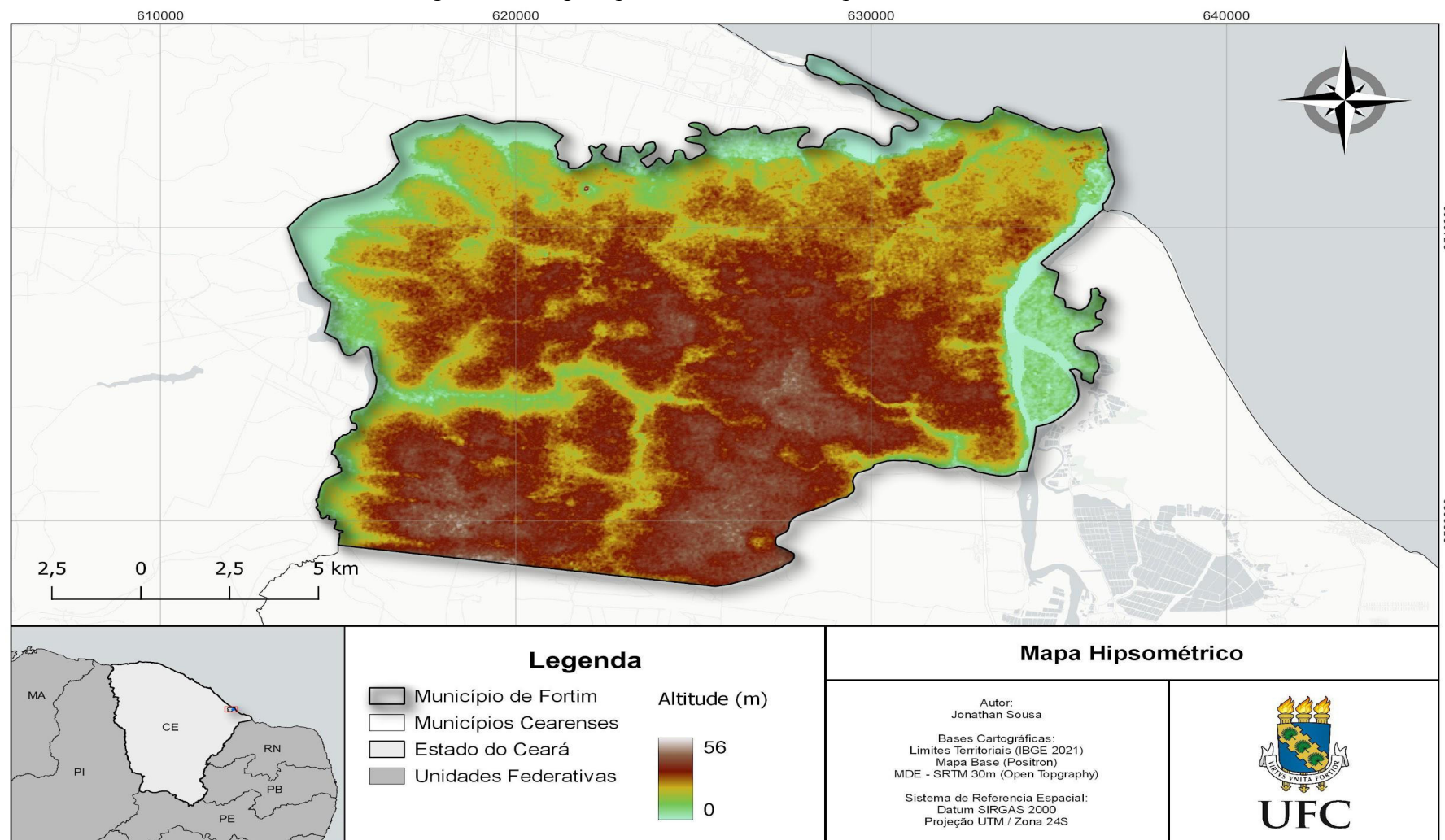
Figura 8 – MDE delimitado para a área de estudo



Fonte: elaborada pelo autor

Com o MDE pré-processado, foi elaborado o mapa hipsométrico presente na figura 9, que representa as altitudes classificadas desde o menor até o maior valor de altitude existente. Nele notamos que a altitude máxima encontrada em Fortim é 56 metros, e que esses pontos mais elevados estão localizados principalmente nas partes sul, sudoeste e centro da cidade. Já os pontos mais baixos que se aproximam de 0 estão localizados no curso do Rio Jaguaribe e nas extremidades do município.

Figura 9 – Mapa hipsométrico do município de Fortim - CE



Fonte: elaborado pelo autor

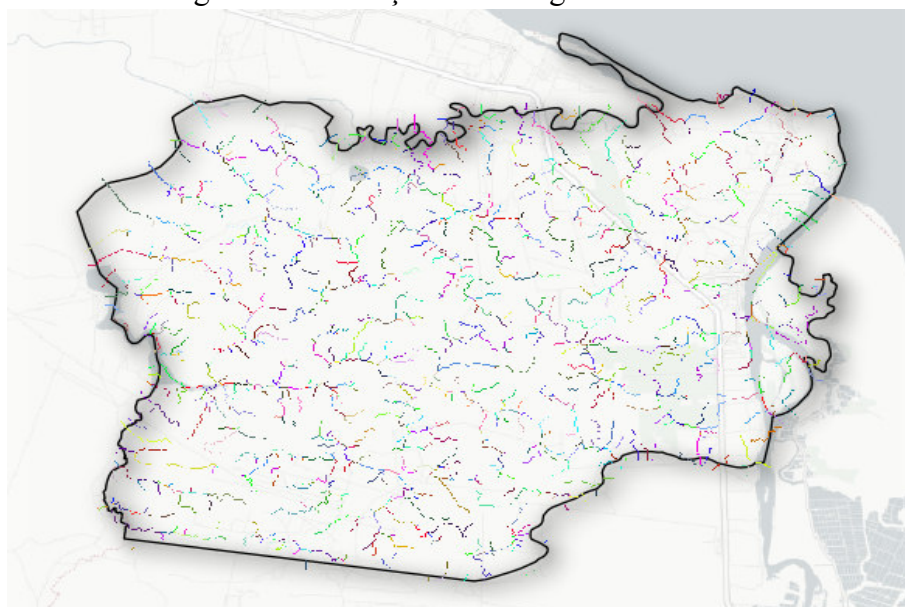
3.2.2.4 Delimitação da microbacia e rede de drenagem

Nesta etapa foi utilizado o algoritmo “r.watershed”, que é um programa de análise de bacias hidrográficas do software QGIS. Para o funcionamento adequado dessa ferramenta é exigido que o usuário selecione um arquivo raster contendo informações de elevação, nesse caso foi utilizado o MDE trabalhado anteriormente. Também é pedido que se insira um valor de tamanho mínimo do exterior da bacia hidrográfica, segundo Santos (2020), quanto maior o valor selecionado, maior será o tamanho das bacias hidrográficas geradas, o que pode comprometer a qualidade da rede de drenagem gerada, logo é indicado a escolha de um valor no intervalo de 100 a 300.

Neste trabalho foi escolhido o valor de 200 para o tamanho mínimo do exterior da bacia hidrográfica. Os demais parâmetros que o algoritmo possui são opcionais e não foram utilizados ou não foram alterados.

Dentre os produtos que podem ser gerados pela ferramenta estão direção de drenagem, bacias hidrográficas, meias-bacias, segmento de fluxo, comprimento da declividade, dentre outros produtos. Nesta etapa os únicos arquivos gerados foram direção de drenagem e segmento de fluxo, e ambos estavam no formato matricial.

Figura 10 – Direção de drenagem



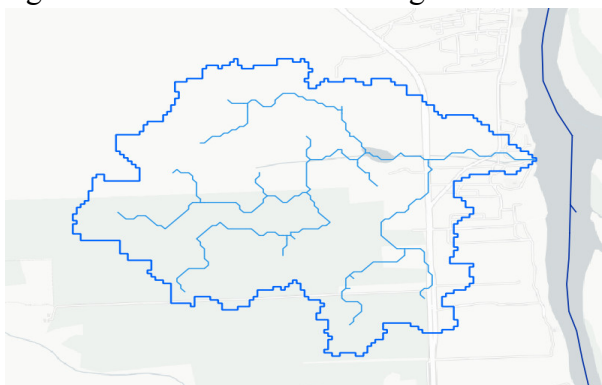
Fonte: elaborado pelo autor.

A delimitação da microbacia foi realizada através da ferramenta “r.water.outlet” que tem como função a criação de bacias hidrográficas. Como parâmetros é pedido o arquivo

de segmento de fluxo e as coordenadas do exutório. O exutório da bacia estudada foi localizado através do auxílio das demais camadas utilizadas no projeto.

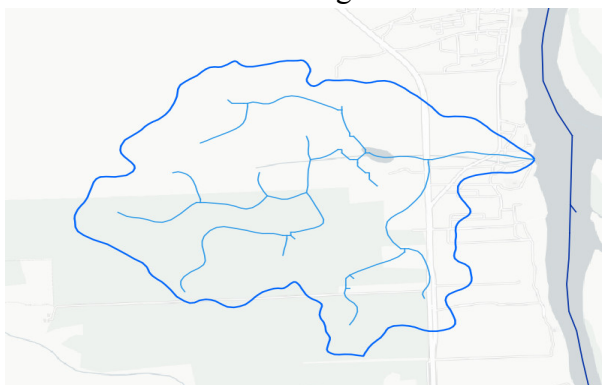
Tanto a microbacia como a drenagem geradas estavam no formato raster e foram convertidas para vetores através do algoritmo “r.to.vect”. Porém os vetores ainda eram oriundos de procedimentos que utilizavam arquivos matriciais como base, logo o produto gerado possui um formato geométrico e retilíneo, seguindo o comportamento dos *pixels*. Para tornar as formas da microbacia e drenagem mais próximas da realidade, foi utilizado a ferramenta “v.generalize” que tem como objetivo suavizar as formas de arquivos vetoriais.

Figura 11 – Microbacia e drenagem



Fonte: elaborado pelo autor.

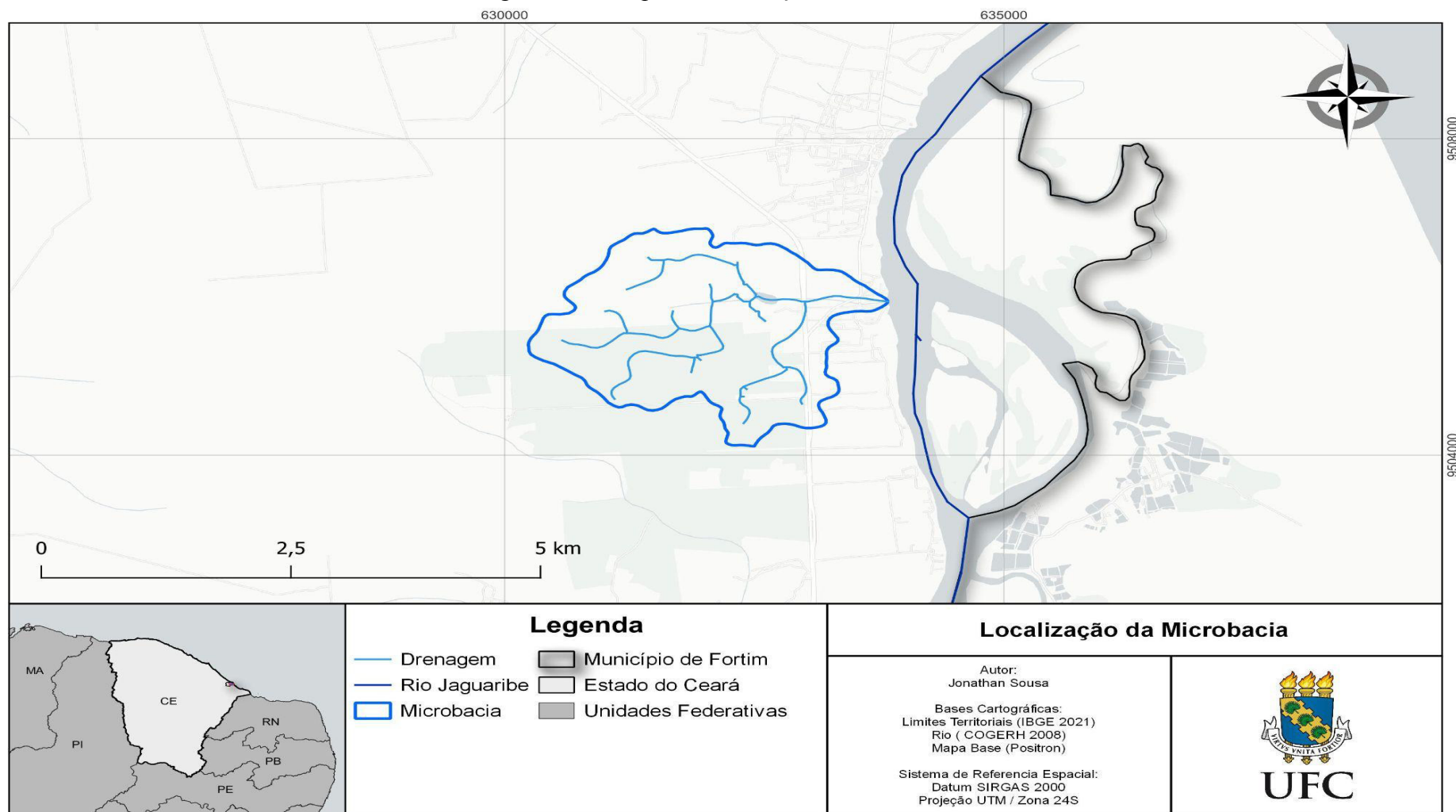
Figura 12 – Microbacia e drenagem suavizadas



Fonte: elaborado pelo autor.

Após essas etapas o mapa de localização da microbacia foi gerado e com o auxílio da calculadora de campo foram encontrados os valores correspondentes a sua área e perímetro, que foram 5,859 km² e 11,469 km respectivamente.

Figura 13 – Mapa de localização da microbacia



Fonte: elaborado pelo autor

3.2.2.5 Aquisição dos dados MapBiomias de cobertura e uso da terra

As informações de cobertura e uso da terra do MapBiomias foram acessadas através do GEE, a ferramenta apresenta as vantagens de ter os códigos preparados e permitir que o usuário realize o download por estado, bioma, município ou qualquer outra geometria desejada. Diferentemente do download realizado pela própria plataforma do MapBiomias que só permite ao usuário adquirir a cobertura e uso da terra dos biomas completos, o que aumentaria o tempo de download e memória para realizar os pré-processamentos necessários. O link de acesso do script de download estava disponível no site da plataforma MapBiomias.

Figura 14 – Script para download da cobertura e uso da terra

```

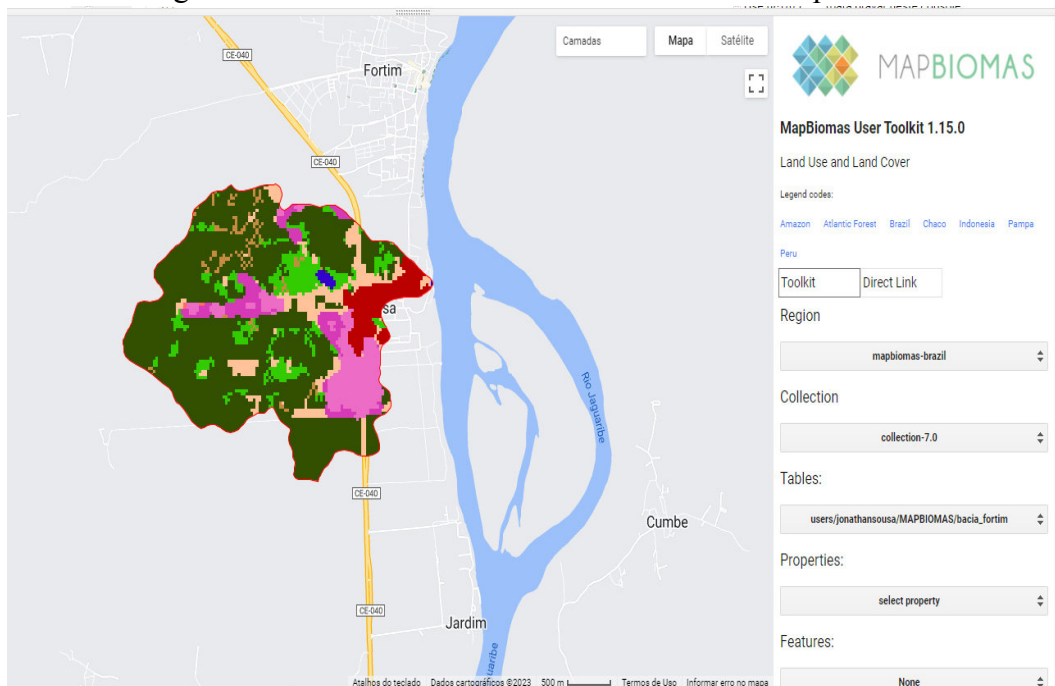
roteiros Documentos Ativos mapbiomas-user-toolkit-lulc.js
62 -
63 -
64 -
65 -
66 -
67 -
68 -
69 -
70 -
71 -
72 -
73 -
74 -
75 -
16 -
17 -
18 -
19 -
20 -
21 -
22 -
23 -
24 -
25 -
26 -
27 -
28 -
29 -
30 -
31 -
32 -
33 -
34 -
35 -
36 -
37 -
98 -
99 -
100 -
101 -
102 -
103 -
104 -
105 -
/**
 * Converte um objeto complexo em coleção de recursos
 * @param obj
 */
convert2table : função (obj) {
  obj = ee.Dicionário (obj) ;
  var classesAndAreas = ee.List ( obj . get ( 'grupos' ) ) ;
  var tableRows = classesAndAreas . mapa (
    função ( classAndArea ) {
      classAndArea = ee.Dictionary ( classAndArea ) ;
      var classId = classAndArea . get ( 'classe' ) ;
      var area = classAndArea . get ( 'soma' ) ;
      var tableColumns = ee.Feature ( null )
        . set ( 'classe' , classId )
        . set ( 'área' , área ) ;
      retornar tabelaColunas ;
    } ) ;
  return ee.FeatureCollection ( ee.List ( tableRows ) ) ;
} ,
/**
 * Calcular área atravessando um mapa de cobertura (desmatamento, mapbiomas)
 * e um mapa da região (estados, biomas, municípios)
 * @param imagem
 * @param território
 * @param geometria
 * @param escala
 * @param fator
 */
calcular : função (objeto) {
  var redutor = ee.Reducer.sum ( ) . grupo ( 1 , 'classe' ) . grupo ( 1 , 'território' )
  var pixelArea = ee.Image.pixelArea ( ) . divide ( objeto . fator ) ;
  var territoriosData = pixelArea . addBands ( objeto . território ) . addBands ( objeto .

```

Fonte: elaborada pelo autor.

Após o programa ser rodado, foram exibidos os parâmetros a serem selecionados para download dos raster de cobertura e uso da terra. Com os parâmetros definidos, os arquivos foram baixados em formato raster e iam para uma pasta selecionada no *Google Drive*.

Figura 15 – Parâmetros de download dos dados MapBiomias



Fonte: elaborada pelo autor.

Para a área de estudo selecionada, o MapBiomias apresentou 9 classes de cobertura e uso da terra, e em todas as datas analisadas as 9 classes apareciam, ou seja, nenhuma cobertura e uso surgiu ou desapareceu durante o período de 2000 a 2020.

Foi elaborado um mapa com os dados originais do MapBiomias no ano de 2020 para exemplificar as 9 classes encontradas (Figura 17). A legenda e simbologia do mapa foi baseada no arquivo de códigos das classes de legenda e paleta de cores utilizadas no MapBiomias coleção 7, esse mesmo estilo foi adotado em todos os mapas de uso e cobertura da terra elaborados, inclusive nos mapas oriundos da análise supervisionada.

Figura 16 – Legenda e paleta de cores utilizadas no MapBiomias coleção 7

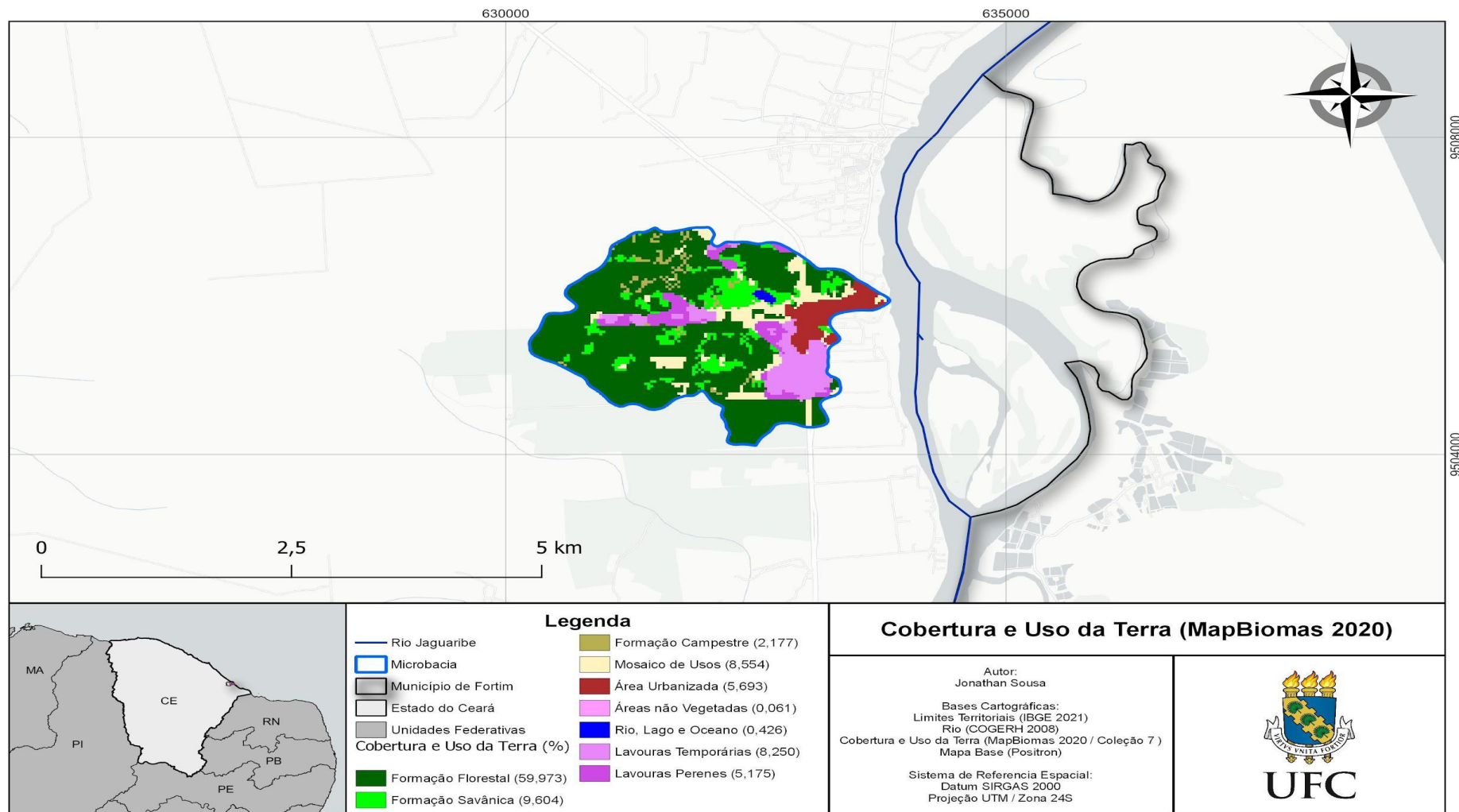


Codes of the legend classes and color palette used in MapBiomias Collection 7

COLEÇÃO 7 - CLASSES	COLLECTION 7 CLASSES	NEW ID	Color number	
1. Floresta	1. Forest	1	#129912	
1.1 Formação Florestal	1.1. Forest Formation	3	#006400	
1.2. Formação Savânica	1.2. Savanna Formation	4	#00ff00	
1.3. Mangue	1.3. Mangrove	5	#687537	
1.4. Restinga Arborizada	1.4. Wooded Sandbank Vegetation	49	#6b9932	
2. Formação Natural não Florestal	2. Non Forest Natural Formation	10	#bbfcac	
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	2.1. Wetland	11	#45c2a5	
2.2. Formação Campestre	2.2. Grassland	12	#b8af4f	
2.3. Apicum	2.3. Salt Flat	32	#968c46	
2.4. Afloramento Rochoso	2.4. Rocky Outcrop	29	#ff8C00	
2.5 Restinga Herbácea	2.5. Herbaceous Sandbank Vegetation	50	#66ffcc	
2.6. Outras Formações não Florestais	2.5. Other non Forest Formations	13	#bdb76b	
3. Agropecuária	3. Farming	14	#ffffb2	
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15	#ffd966	
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18	#e974ed	
3.2.1. Lavoura Temporária	3.2.1. Temporary Crop	19	#d5a6bd	
3.2.1.1. Soja	3.2.1.1. Soybean	39	#c59ff4	
3.2.1.2. Cana	3.2.1.2. Sugar cane	20	#c27ba0	
3.2.1.3. Arroz (beta)	3.2.1.3. Rice	40	#982c9e	
3.2.1.4. Algodão (beta)	3.2.1.4. Cotton (beta)	62	#660066	
3.2.1.5. Outras Lavouras Temporárias	3.2.1.5. Other Temporary Crops	41	#e787f8	
3.2.2. Lavoura Perene	3.2.2. Perennial Crop	36	#f3b4f1	
3.2.2.1. Café	3.2.1.1. Coffee	46	#cca0d4	
3.2.2.2. Citrus	3.2.1.2. Citrus	47	#d082de	
3.2.1.3. Outras Lavouras Perenes	3.2.1.3. Other Perennial Crops	48	#cd49e4	
3.3. Silvicultura	3.3. Forest Plantation	9	#935132	
3.4. Mosaico de Usos	3.4. Mosaic of Uses	21	#fff3bf	
4. Área não Vegetada	4. Non vegetated area	22	#ea9999	
4.1. Praia, Duna e Areal	4.1. Beach, Dune and Sand Spot	23	#dd7e6b	
4.2. Área Urbanizada	4.2. Urban Area	24	#af2a2a	
4.3. Mineração	4.3. Mining	30	#8a2be2	
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	4.4. Other non Vegetated Areas	25	#ff99ff	
5. Corpo D'água	5. Water	26	#0000ff	
5.1. Rio, Lago e Oceano	5.1. River, Lake and Ocean	33	#0000ff	
5.2 Aquicultura	5.2. Aquaculture	31	#29eee4	
6. Não observado	6. Non Observed	27	#D5D5E5	

Fonte: MapBiomias

Figura 17 – Cobertura e uso da terra com dados MapBiomias



Fonte: elaborada pelo autor.

3.2.2.6 Tratamento dos dados MapBiomias de cobertura e uso da terra

O método de classificação supervisionada não permitia que fossem identificadas todas as classes que foram encontradas pelo MapBiomias, logo para possibilitar a comparação entre as duas metodologias, os rasters do MapBiomias foram reclassificados em 4 classes.

A reclassificação dos rasters foi feita com o auxílio do algoritmo “r.reclass” que cria um novo arquivo raster cujos valores dos pixels são baseados em uma reclassificação. O algoritmo necessita que o usuário diga quais valores do arquivo raster se quer alterar e qual o será o novo valor.

A tabela 6 mostra as classes mapeadas pelo MapBiomias com o seu respectivo ID, o ID se refere ao valor único contido em cada pixel e esse valor representa um tipo de uso. Basicamente foi dito ao algoritmo que os pixels com valores 3,4 e 12 iriam receber o valor de 1 e assim sucessivamente.

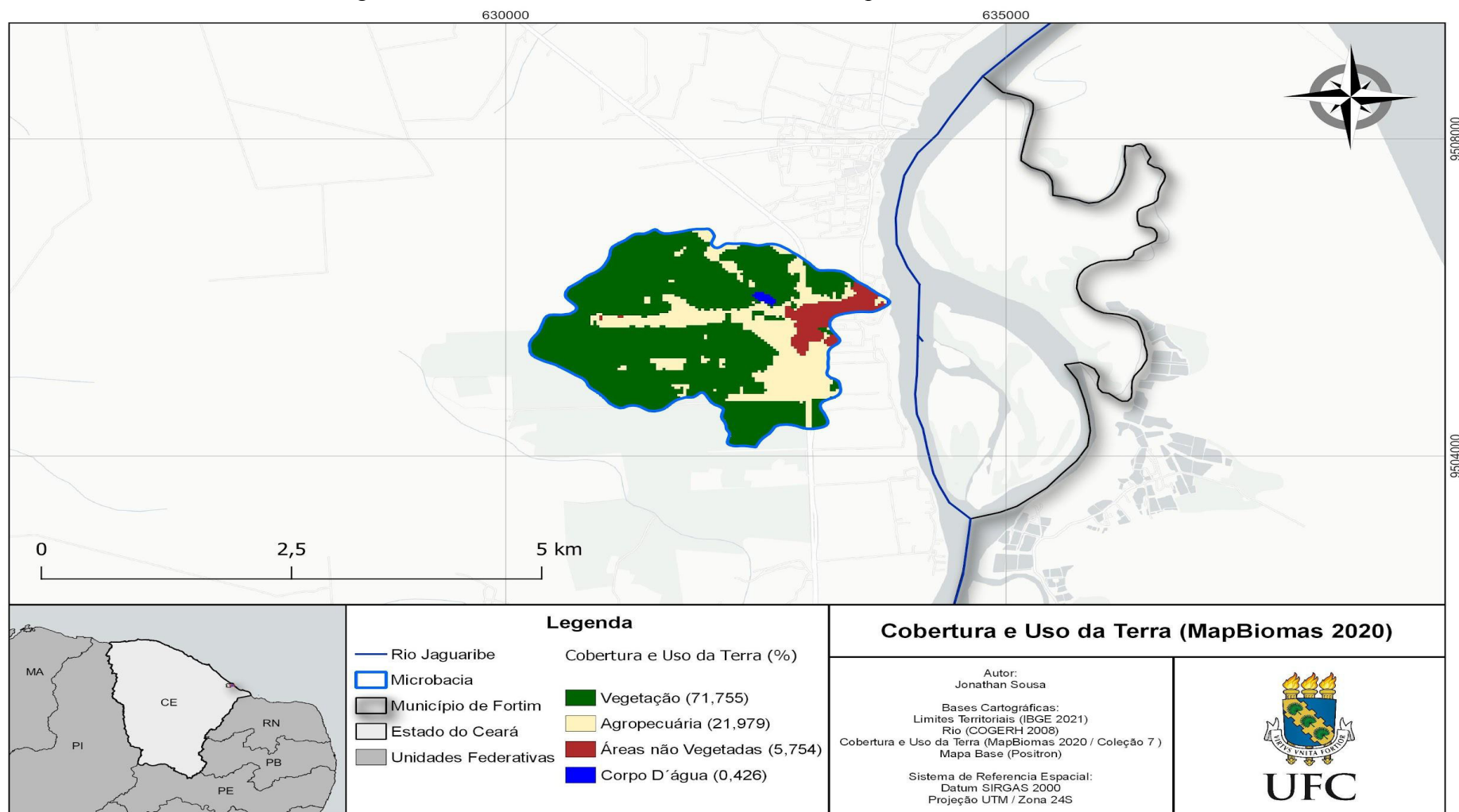
Tabela 6 – Classes mapeadas e reclassificadas

Classes MapBiomias	ID	Classes Reclassificadas	ID
Formação Florestal	3	Vegetação	1
Formação Savânica	4		
Formação Campestre	12		
Mosaico de Usos	21	Agropecuária	2
Outras Lavouras Temporárias	41		
Outras Lavouras Perenes	48		
Área Urbanizada	24	Área não Vegetada	3
Outras Áreas Não Vegetadas	25		
Rio, Lago e Oceano	33	Corpo D'água	4

Fonte: elaborada pelo autor.

A figura 18, apresenta um mapa referente ao ano de 2020 para exemplificar como ficou a cobertura e uso da terra após a reclassificação.

Figura 18 – Cobertura e uso da terra com dados MapBiomias reclassificados



Fonte: elaborada pelo autor.

3.2.2.7 Aquisição dos dados Landsat

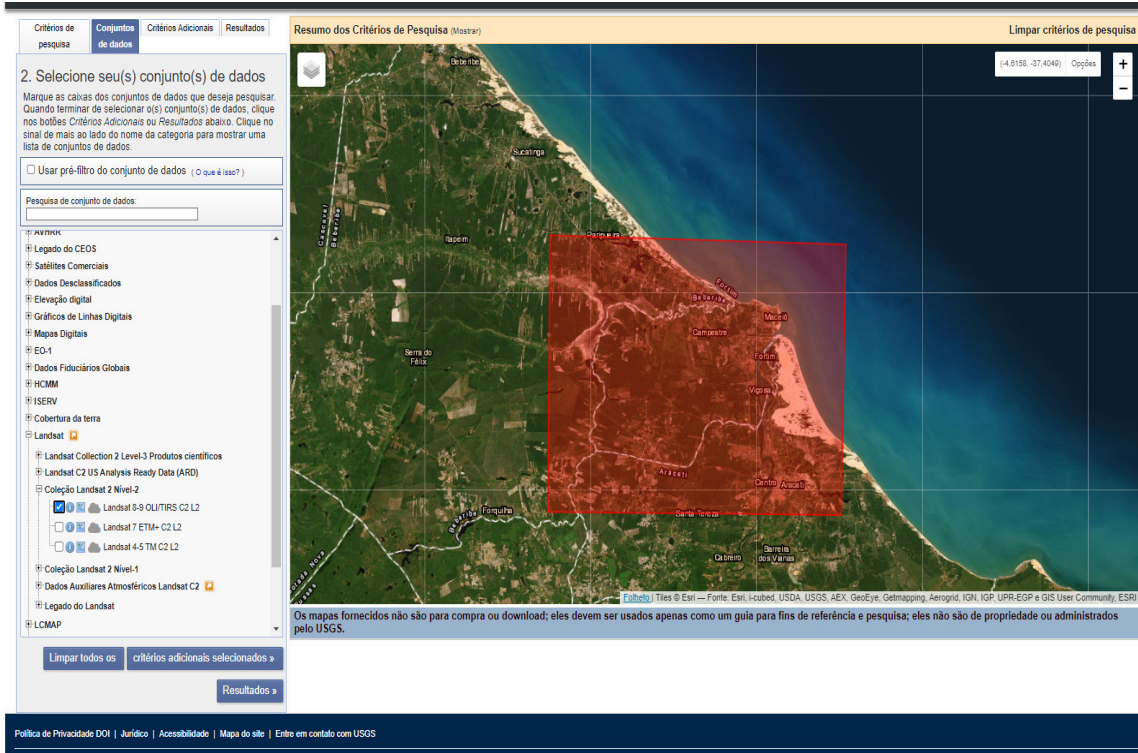
A classificação supervisionada foi realizada com imagens *Landsat 5* e *8* por conta da resolução espacial e temporal, gratuidade e também por serem as imagens utilizadas pelo projeto MapBiomás.

A plataforma USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos) foi utilizada para adquirir os parâmetros das imagens que se queria adquirir através do GEE. Como critérios de pesquisa de imagens, foi delimitado as coordenadas da geometria da área de download e selecionado o período de busca das imagens, o conjunto de dados escolhido foram os dos satélites *Landsat 5* e *8*. Já na aba de resultados foram exibidos as imagens disponíveis para os parâmetros selecionados e escolhidas quando possível as imagens com menor índice de nuvens na área de estudo e que foram captadas de preferência nos meses de agosto, setembro e outubro por questões climáticas e de sazonalidade.

Figura 19 – Critérios de pesquisa utilizados na plataforma USGS

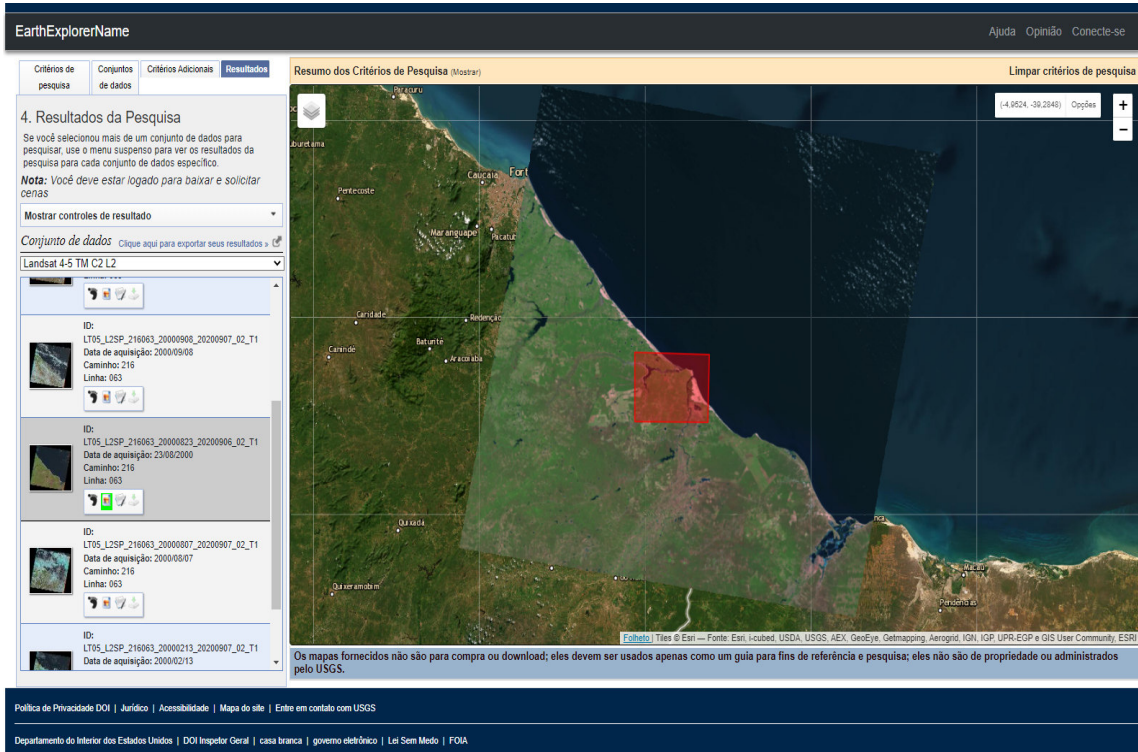
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 20 – Conjuntos de dados utilizados na plataforma USGS



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 21 – Resultados apresentados pela plataforma USGS



Fonte: elaborada pelo autor.

O USGS permite que através de um cadastro e após a seleção dos parâmetros o usuário realize o download dos dados que são disponibilizados pela plataforma, porém esse método de aquisição das imagens não foi utilizado por conta da impossibilidade de selecionar quais bandas se deseja baixar, sendo necessário baixar os arquivos na sua integralidade, aumentando o tempo de download e espaço necessário para o armazenamento.

As imagens *Landsat* utilizadas neste estudo foram baixadas através do GEE, o código de programação exigia que o usuário selecionasse o ID da imagem, satélite, bandas desejadas e coordenadas da geometria da área, todas essas informações foram coletada na plataforma USGS, após rodar o código as imagens baixadas iam para a pasta selecionada no *Google Drive*. A tabela 00 apresenta quais imagens foram baixadas, de qual satélite e data de captura.

Figura 22 – Código Utilizado para download das imagens *Landsat*

```

1 // Imagem cortada para a área, em um único arquivo (camada), raw (DN), todas as bandas
2
3
4 //alterar os números que vêm depois de LC08_ (pegar no EarthExplorer)
5 var landsat = ee.Image('LANDSAT/LC08/C01/T1/LC08_222076_20200504')
6   .select(['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7']);
7
8 // Create a geometry representing an export region.
9 // coordenadas da área (longitude esquerda, latitude inferior,
10 // longitude direita, latitude superior)
11 var geometry = ee.Geometry.Rectangle([-51.3264, -23.4117, -50.9657, -23.1891]);
12
13
14
15 // Export the image, specifying scale and region.
16 // alterar apenas o description
17 Export.image.toDrive({
18   image: landsat,
19   description: 'L8_ldna_20200504',
20   scale: 30,
21   region: geometry
22 });
23
24 //clicar em Run, depois em aba Tasks

```

Fonte: Batista (2020).

Tabela 7 – Imagens *Landsat* adquiridas

ID da Imagem	Satélite	Data de aquisição
LT05_L1TP_216063_20000823_20200906_02_T1	Landsat 5	23/08/2000
LT05_L1TP_216063_20100515_20200824_02_T1	Landsat 5	15/05/2010
LC08_L1TP_216063_20200915_20200919_02_T1	Landsat 8	15/09/2020

Fonte: elaborada pelo autor.

3.2.2.8 Classificação supervisionada

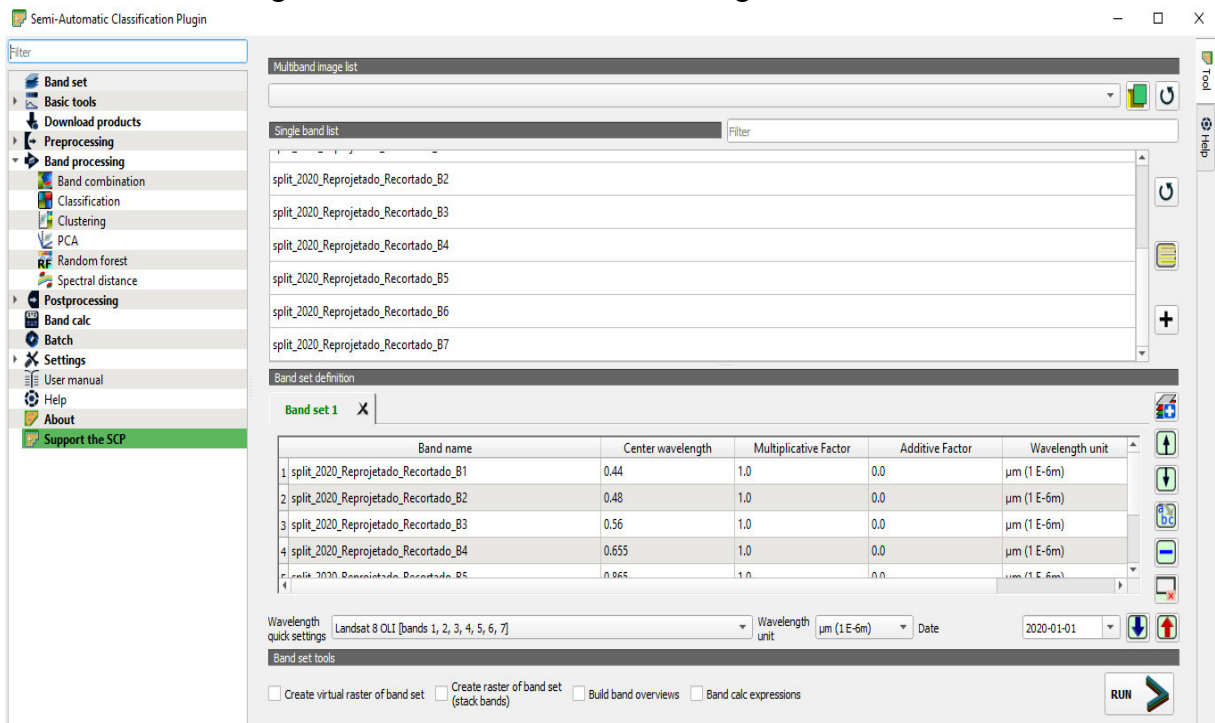
Esta etapa do projeto foi desenvolvida através do *Plugin* de Classificação Semi-automática (SCP), que realiza a classificação supervisionada de imagens de sensoriamento remoto, fornecendo ferramentas para download, pré-processamento e pós-processamento de imagens (QGIS, 2023).

As imagens *landsat* adquiridas eram multi bandas, sendo que para realizar a classificação era necessário que as bandas estivessem separadas, para isso foi utilizada a ferramenta de pré-processamento “*Split raster bands*”.

Após a separação das bandas, cada arquivo raster foi adicionado ao *band set* do plugin, que é a aba que permite a definição do conjunto de bandas que será utilizado na classificação supervisionada, além de permitir a seleção do comprimento de onda referente aos satélites que forneceram as imagens.

Para a classificação da cobertura e uso da terra em cada ano selecionado foi repetido o processo de separação de bandas e criação do *band set*.

Figura 23 – *Band Set* referente às imagens do *Landsat 8*



Fonte: elaborada pelo autor.

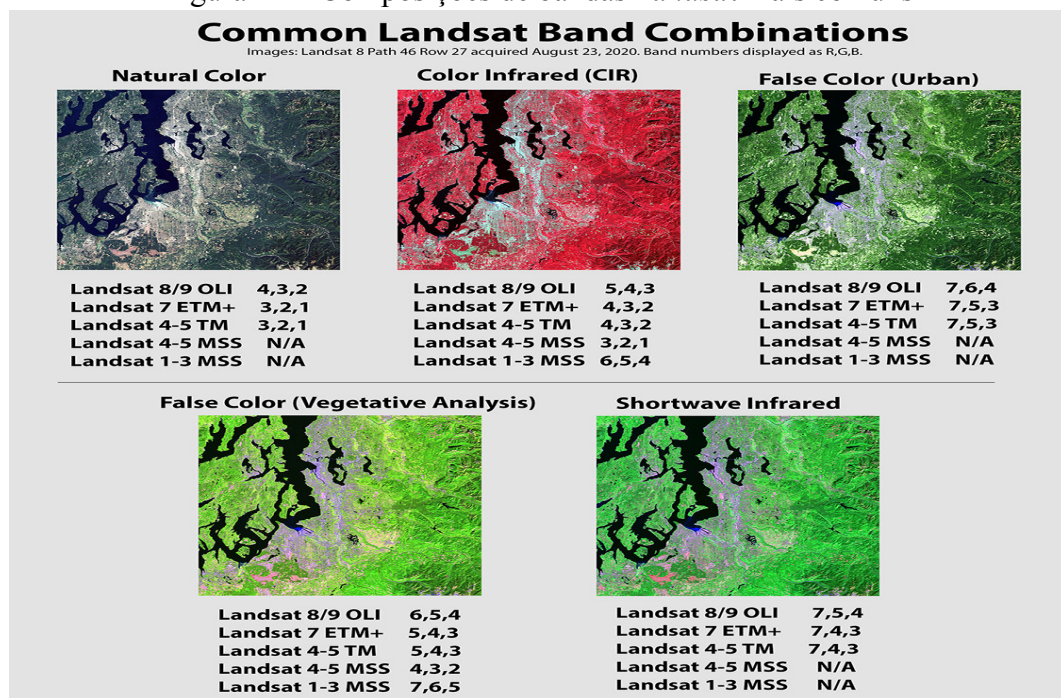
Após a criação do *band set* o usuário poderia selecionar quais bandas queria utilizar para criar uma composição. Segundo o site Eos Data Analytics (2023), durante o procedimento de classificação é possível selecionar uma ou várias características das bandas do satélite *Landsat* para criar uma imagem mais clara devido às necessidades específicas dos diferentes tipos de pesquisas, é possível usar imagens de cores falsas para melhorar a aparência visual dos dados.

As bandas vermelha, verde e azul foram combinadas para criar um mapa de cor natural, com o objetivo de visualizar a área de estudo (Figura 25). Essa composição não permitiu identificar os elementos que compõem a área de maneira eficiente, logo não foi utilizada para realizar a classificação supervisionada.

A composição que mais apresentou contraste entre as classes foi a infravermelho médio, infravermelho próximo e vermelho, esta composição permitiu identificar com mais precisão todos os elementos da área de estudo, principalmente as classes agropecuária e áreas não vegetadas. Em vista disso, essas foram as bandas utilizadas para a classificação, conforme a figura 26.

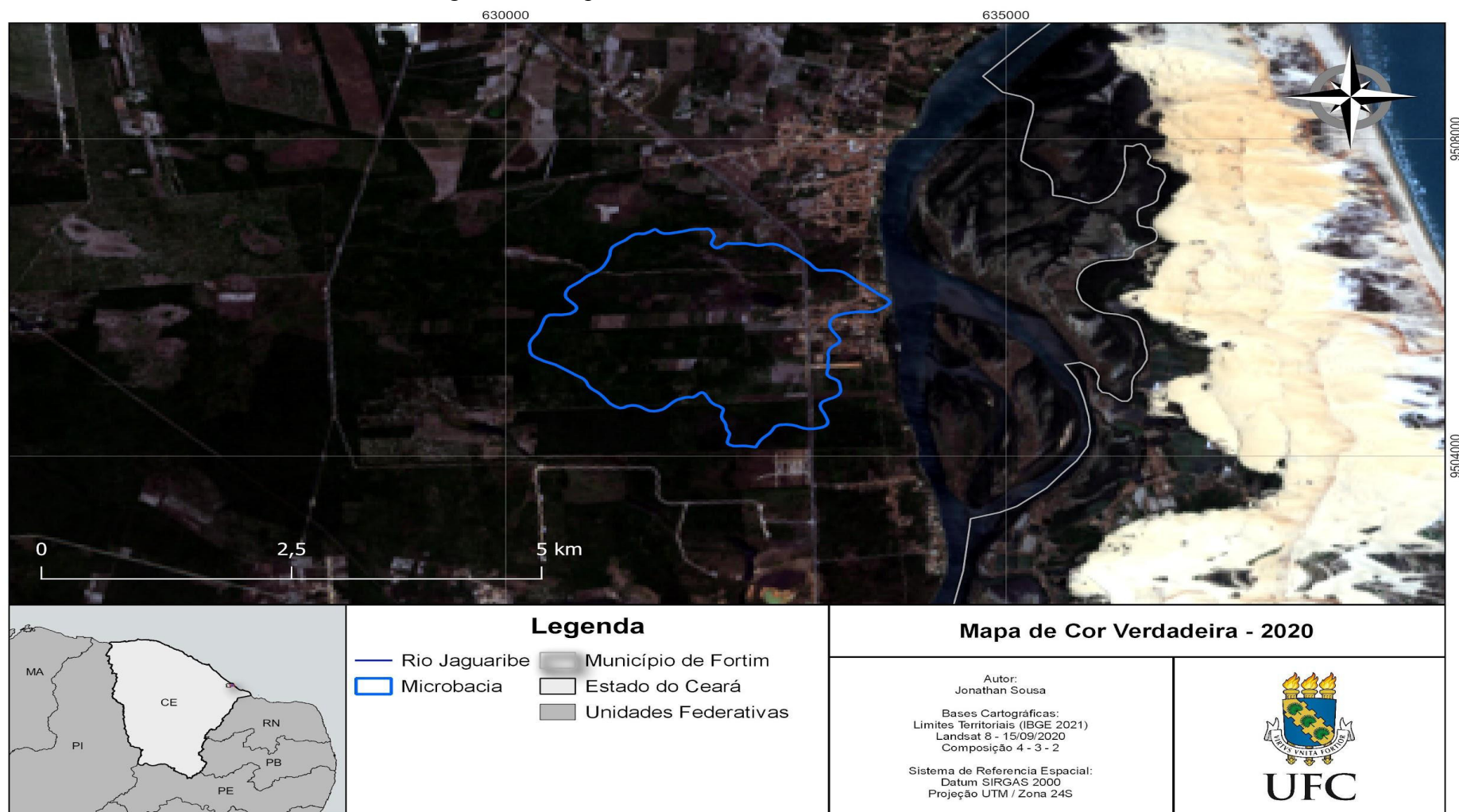
A figura 24 apresenta as composições de banda mais comuns para os satélites da missão *Landsat*, segundo a USGS (2021), as composições 6,5,4 para o *Landsat 8*, e 5,4,3 para o *Landsat 5*, é uma combinação falsa cor apropriada para a análise de vegetação.

Figura 24 – Composições de bandas *Landsat* mais comuns



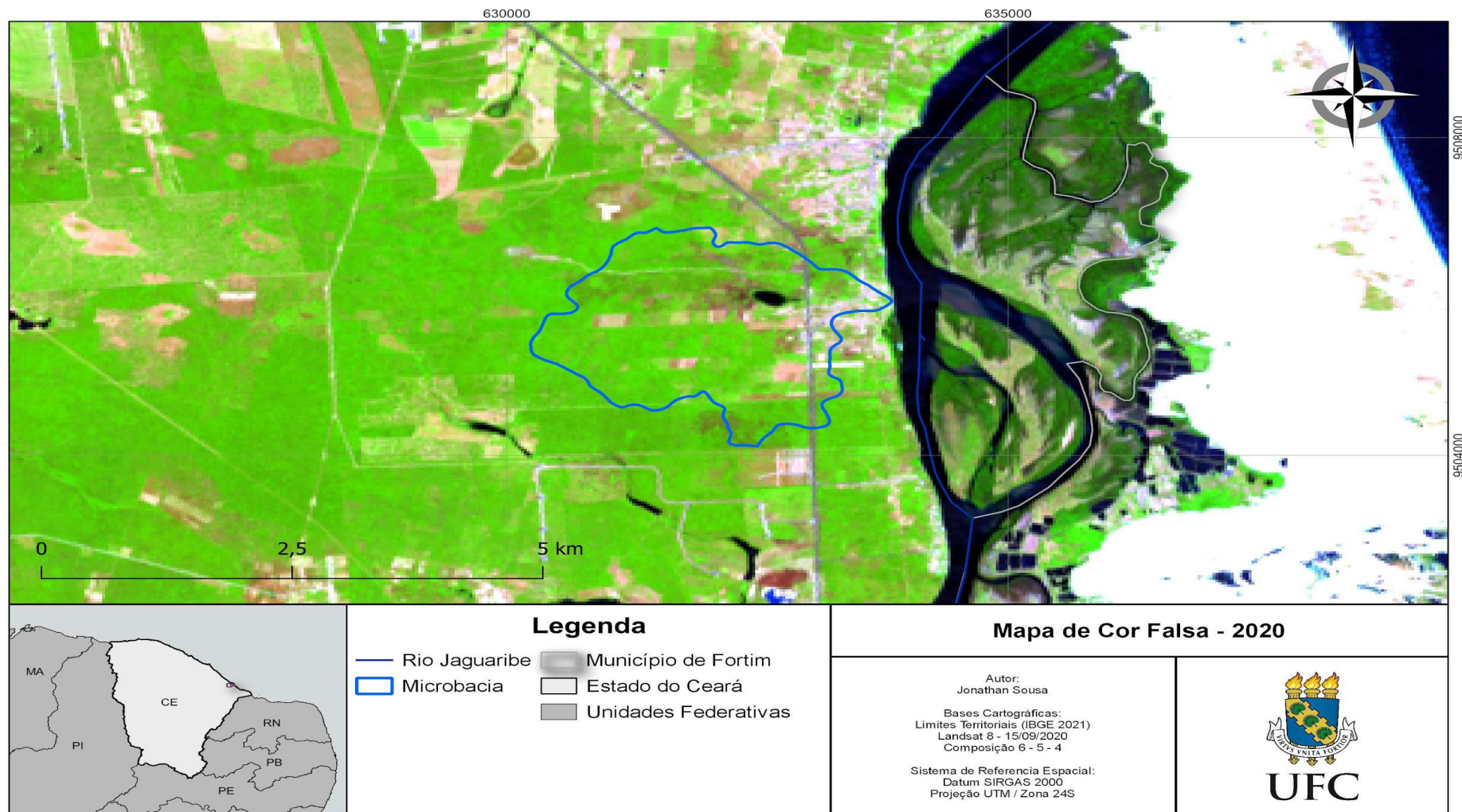
Fonte: USGS (2021)

Figura 25 – Mapa de cor verdadeira referente ao ano 2020



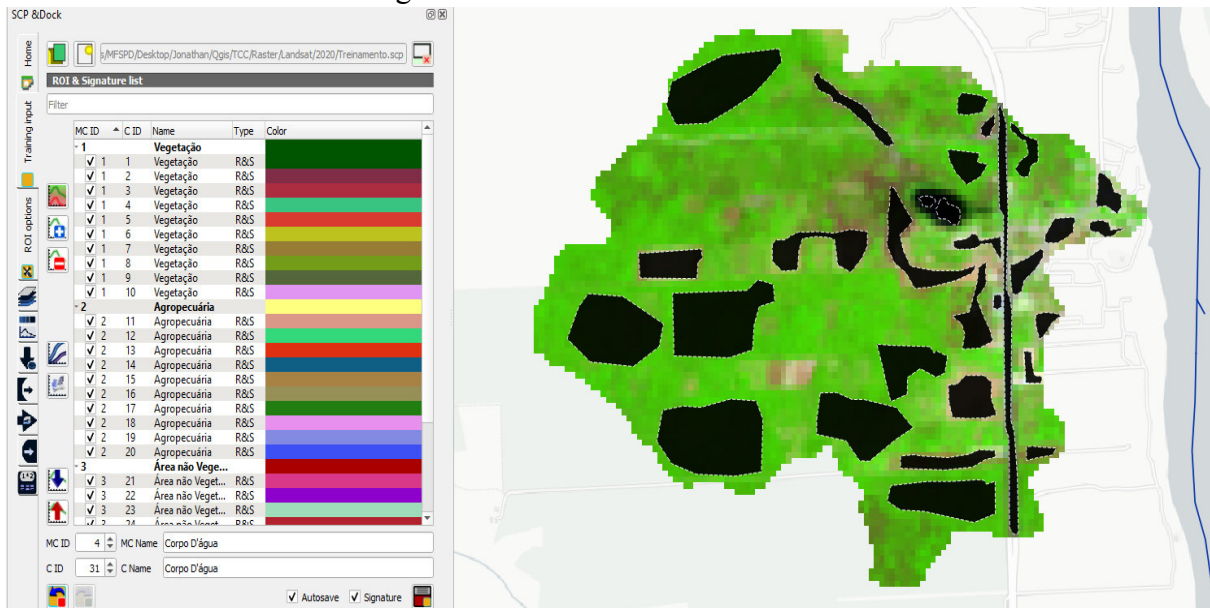
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 26 – Mapa de cor falsa referente ao ano 2020



Em seguida foi iniciado a fase de treinamento, onde foram colhidas diversas amostras referentes às classes desejadas, em cada classificação supervisionada realizada foram selecionadas cerca de 30 amostras, sendo 10 para a classe de vegetação, 10 para agropecuária, 8 para áreas não vegetadas e 2 para corpos d'água.

Figura 27 – Amostras de treinamento



Fonte: elaborada pelo autor.

Após a etapa de treinamento, foi realizada a classificação supervisionada com as amostras colhidas. O método de classificação utilizado foi a distância mínima, que conforme Cohen e Carvalho (2015), é um algoritmo utilizado na classificação supervisionada, onde para cada amostra é designada uma classe em função da sua maior proximidade em relação unicamente a média do valor dos pixels nas amostras de treinamento.

O método de distância mínima conseguiu classificar a cobertura e uso da terra em toda a área de estudo, diferentemente dos outros algoritmos disponíveis no complemento SCP

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Comparação das metodologias no ano 2000

Conforme a figura 28, é possível notar que ambas as metodologias identificaram áreas similares, principalmente para as classes de vegetação, agropecuária e corpos d'água.

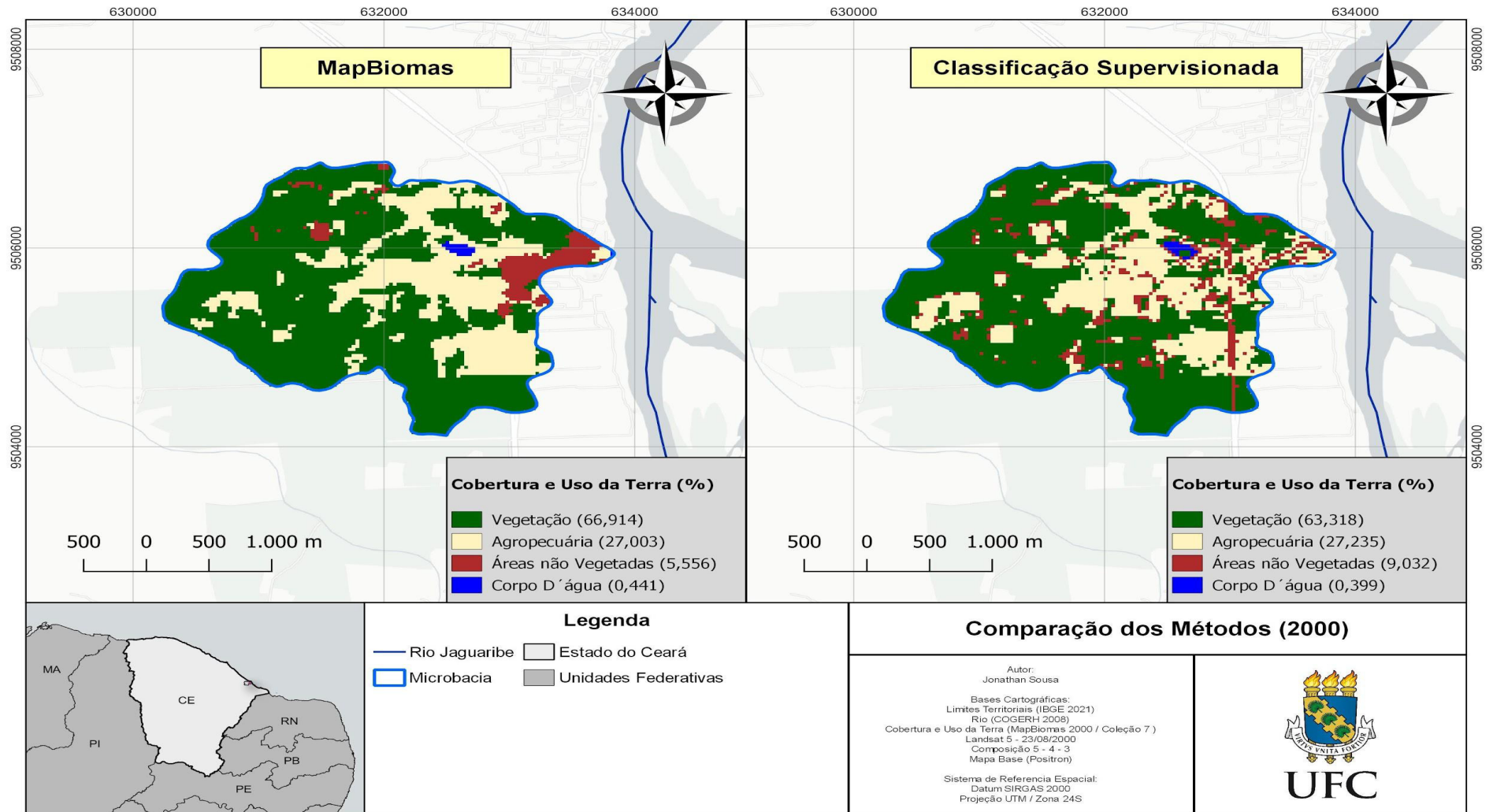
As maiores divergências dos mapeamentos foram as áreas não vegetadas localizadas na parte nordeste da área de estudo, o método utilizado pelo MapBiomias conseguiu localizar com mais precisão a área urbana, já na classificação supervisionada houve uma confusão entre as classes de agropecuária e áreas não vegetadas, isso se deve à similaridade dos valores dos pixels dessas duas classes, além disso as áreas urbanas possuem dificuldades naturais de serem identificadas por conta da sua heterogeneidade.

A classificação realizada pelo plugin classificou alguns pixels espalhados principalmente na parte mais ao sul da área de estudo como áreas não vegetadas, esse comportamento não foi identificado pelo MapBiomias, essas discrepâncias podem ser dadas pela diferença de sazonalidade das imagens utilizadas em cada metodologia e também por erros da classificação supervisionada por conta das similaridades entre as áreas.

No seu mapeamento o MapBiomias não conseguiu identificar a Rodovia CE-040, inclusive boa parte dela foi classificada como vegetação e agropecuária. Já a classificação supervisionada conseguiu identificar boa parte do seu contorno e o classificou como área não vegetada.

O corpo d'água classificado pelo SCP possui uma área um pouco inferior a do MapBiomias, isso se deu por que a imagem *Landsat* utilizada possuía alguns pixels verdes localizados nesse corpo d'água, que provavelmente eram algum tipo de vegetação aquática. Questões de sazonalidade também explicam a diferença entre os corpos d'água identificados

Figura 28 – Mapa de comparação entre os métodos no ano 2000



Fonte: elaborado pelo autor

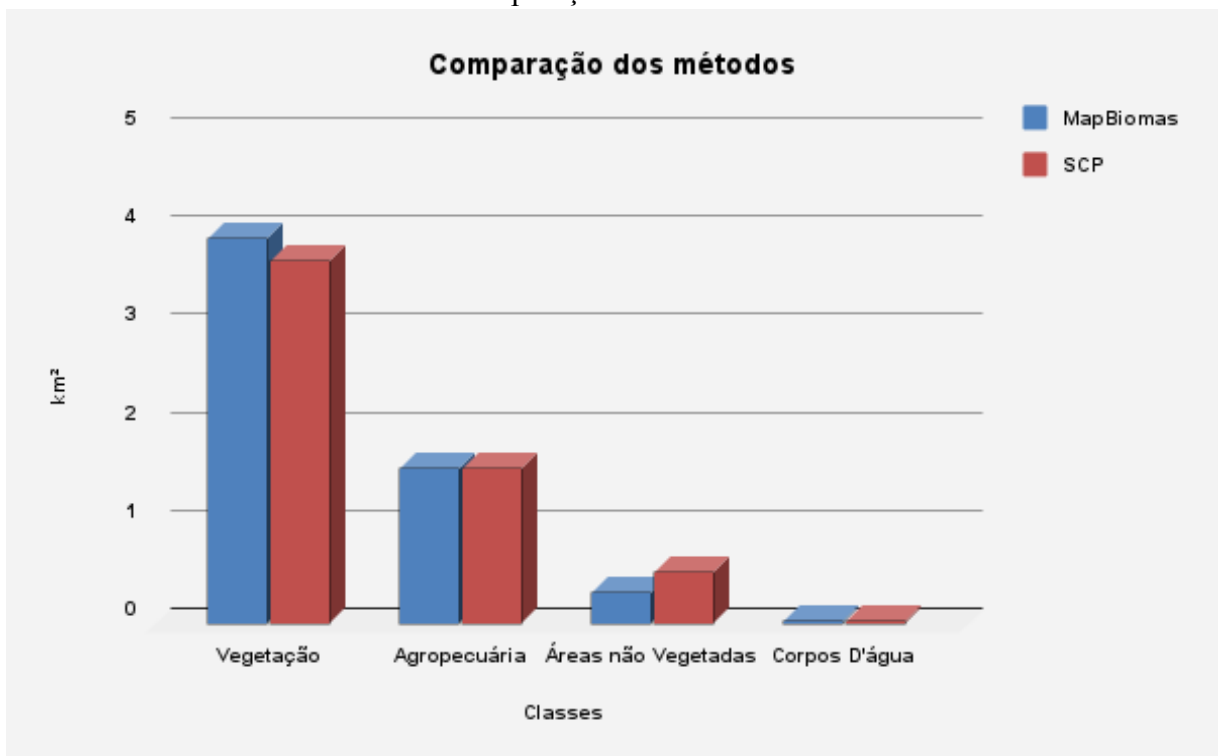
Quando observamos as tabelas e gráficos, notamos que ambos os métodos identificaram valores semelhantes, sendo as maiores diferenças nas classes vegetação e áreas não vegetadas. O SCP identificou uma classe de vegetação um pouco menor e uma classe de áreas não vegetadas levemente superior às encontradas pelo MapBiomias.

Tabela 8 – Áreas e porcentagem obtidas pelas metodologias no ano 2000

Classe	MapBiomias		SCP		Δ	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Vegetação	3,921	66,914	3,71	63,318	0,211	3,596
Agropecuária	1,582	27,003	1,596	27,235	0,014	0,232
Áreas não Vegetadas	0,326	5,556	0,529	9,032	0,203	3,476
Corpos D'água	0,026	0,441	0,023	0,399	0,003	0,042

Fonte: elaborada pelo autor.

Gráfico 1 – Comparação dos métodos no ano 2000



Fonte: elaborada pelo autor.

4.2 Comparação das metodologias no ano 2010

Observando o mapa de comparação dos métodos referente ao ano de 2010 é possível notar que as classes de vegetação e corpos d'água possuem um contorno similar nas duas metodologias, essa similaridade também é identificada em algumas áreas localizadas de agropecuária.

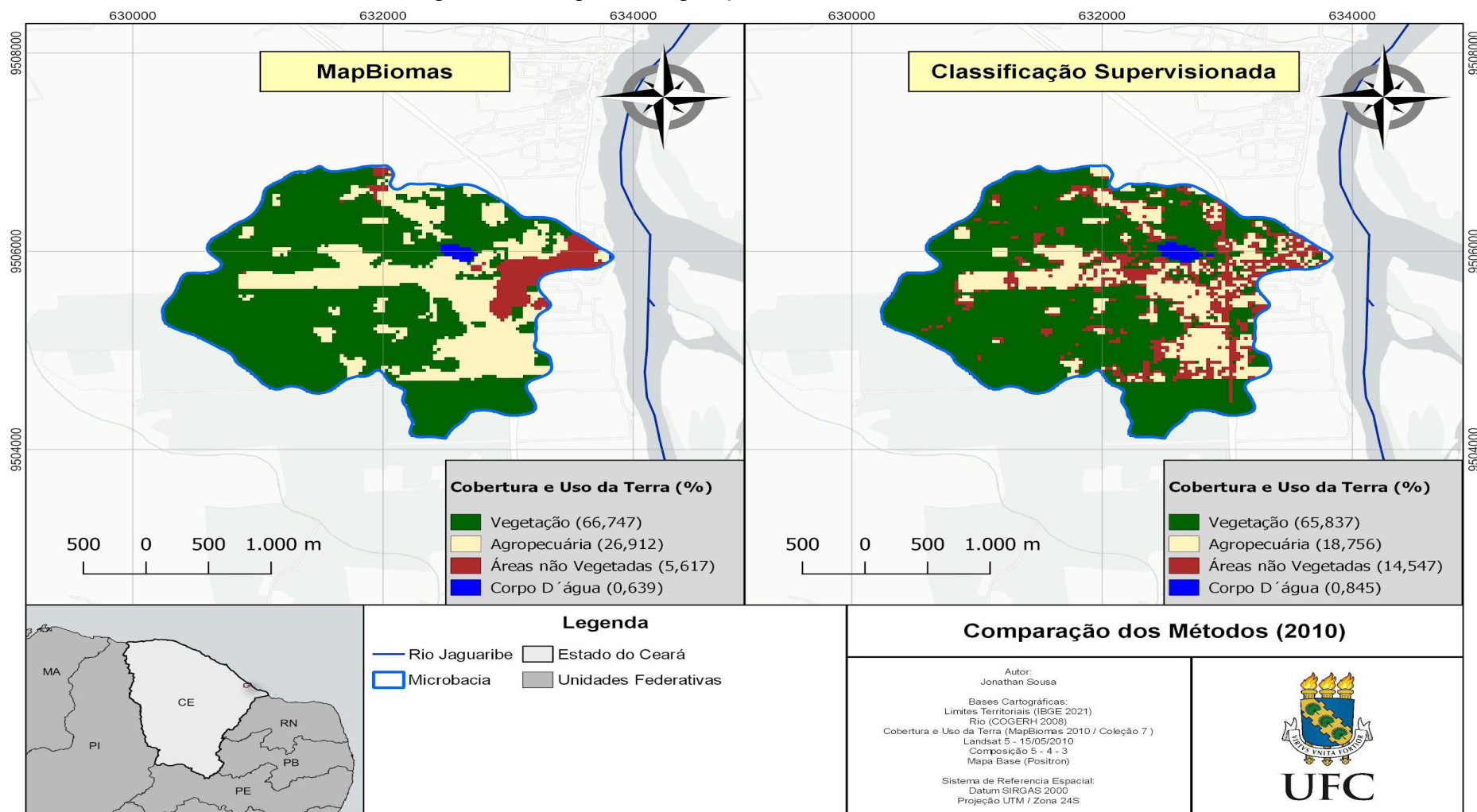
Novamente as maiores divergências dos mapeamentos foram as áreas não vegetadas localizadas na parte nordeste da área de estudo, o método utilizado pelo MapBiomias conseguiu localizar com mais precisão a área urbana, já na classificação supervisionada houve uma confusão entre as classes de agropecuária e áreas não vegetadas.

O produto obtido pelo SCP classificou diversos *pixels* espalhados na área de estudo como áreas não vegetadas, esse comportamento não foi identificado pelo MapBiomias, essas discrepâncias podem ser dadas pela diferença de sazonalidade das imagens utilizadas em cada metodologia e também por erros da classificação supervisionada por conta das similaridades entre as áreas.

Repetindo o comportamento do ano 2000, o MapBiomias não obteve sucesso em identificar a CE-040, nem mesmo o seu contorno, incluindo a rodovia em áreas classificadas como vegetação e agropecuária. Já a classificação supervisionada conseguiu identificar seu contorno e o classificou como área não vegetada.

O corpo d'água classificado pelo SCP possui uma área levemente superior à do MapBiomias, isso se dá por conta de questões de sazonalidade e diferença das datas das imagens utilizadas em cada metodologia.

Figura 29 – Mapa de comparação entre os métodos no ano 2010



Fonte: elaborada pelo autor

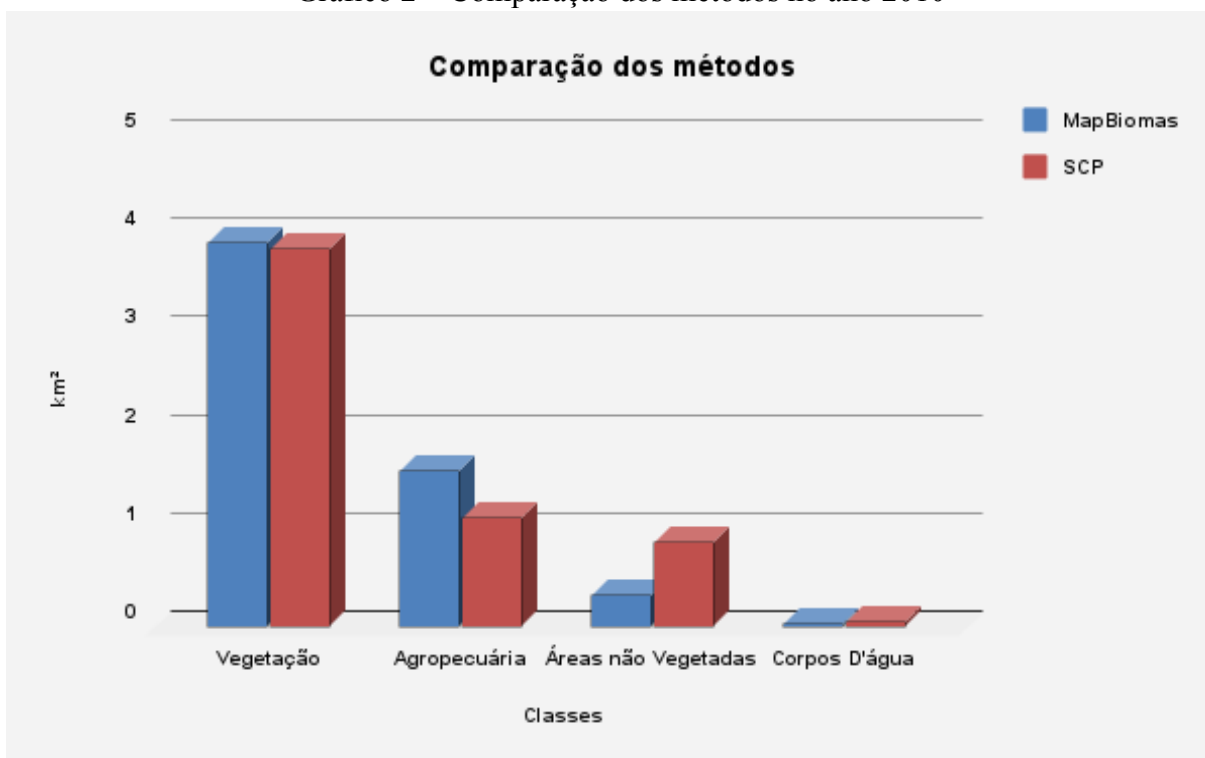
Quando observamos as tabelas e gráficos referentes ao ano 2010, notamos que ambos os métodos identificaram valores semelhantes para as classes vegetação e corpos d'água, já as classes agropecuária e áreas não vegetadas apresentaram as maiores discrepâncias. A classificação supervisionada obtida apresentou uma classe de agropecuária inferior e uma classe de áreas não vegetadas superior às apresentadas pelo MapBiomias.

Tabela 9 – Áreas e porcentagem obtidas pelas metodologias no ano 2010

Classe	MapBiomias		SCP		Δ	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Vegetação	3,911	66,747	3,857	65,837	0,054	0,910
Agropecuária	1,577	26,912	1,099	18,756	0,478	8,156
Áreas não Vegetadas	0,329	5,617	0,852	14,547	0,523	8,930
Corpos D'água	0,037	0,639	0,049	0,845	0,012	0,206

Fonte: elaborada pelo autor.

Gráfico 2 – Comparação dos métodos no ano 2010



Fonte: elaborada pelo autor.

4.3 Comparação das metodologias no ano 2020

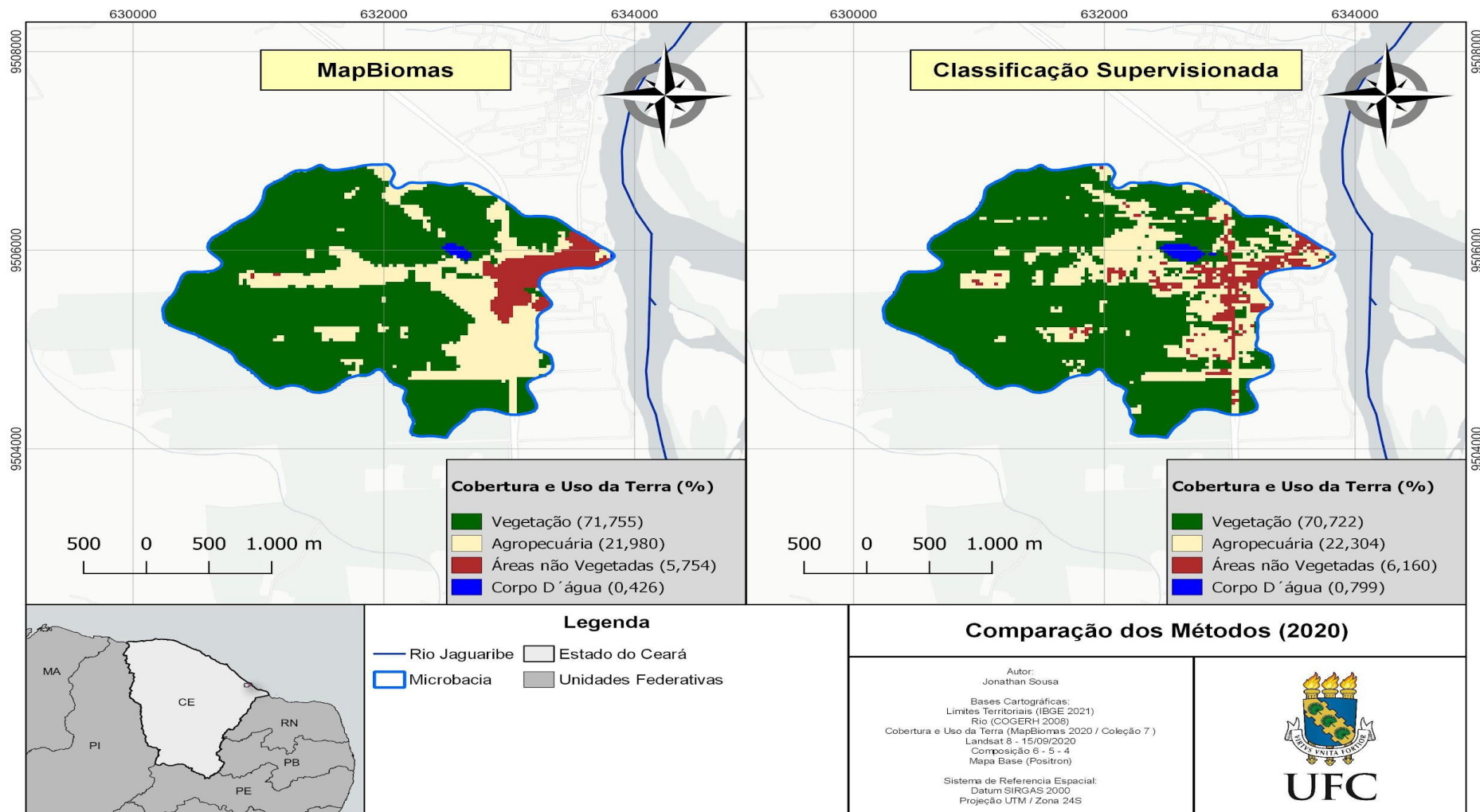
De acordo com a figura 30, ambas as metodologias apresentaram algumas áreas similares, especialmente nas classes de vegetação, agropecuária e corpos d'água

Por mais uma vez as maiores divergências dos mapeamentos foram as áreas não vegetadas localizadas na parte nordeste da área de estudo, o método utilizado pelo MapBiomias conseguiu localizar com mais precisão a área urbana, já na classificação supervisionada houve uma confusão entre as classes de agropecuária e áreas não vegetadas.

Em 2020, o MapBiomias conseguiu identificar parte do contorno da rodovia CE-040, e o classificou como agropecuária e áreas não vegetadas. O plugin também reconheceu os contornos da rodovia, porém desta vez parte da CE-040 foi classificada como agropecuária, ainda assim o produto da classificação supervisionada apresenta mais *pixels* de área não vegetadas na rodovia do que o produto disponibilizado pelo MapBiomias.

O corpo d'água classificado pelo SCP possui uma área superior à do MapBiomias, isso se dá por conta de questões de sazonalidade e diferença das datas das imagens utilizadas em cada metodologia.

Figura 30 – Mapa de comparação entre os métodos no ano 2020



Fonte: elaborada pelo autor

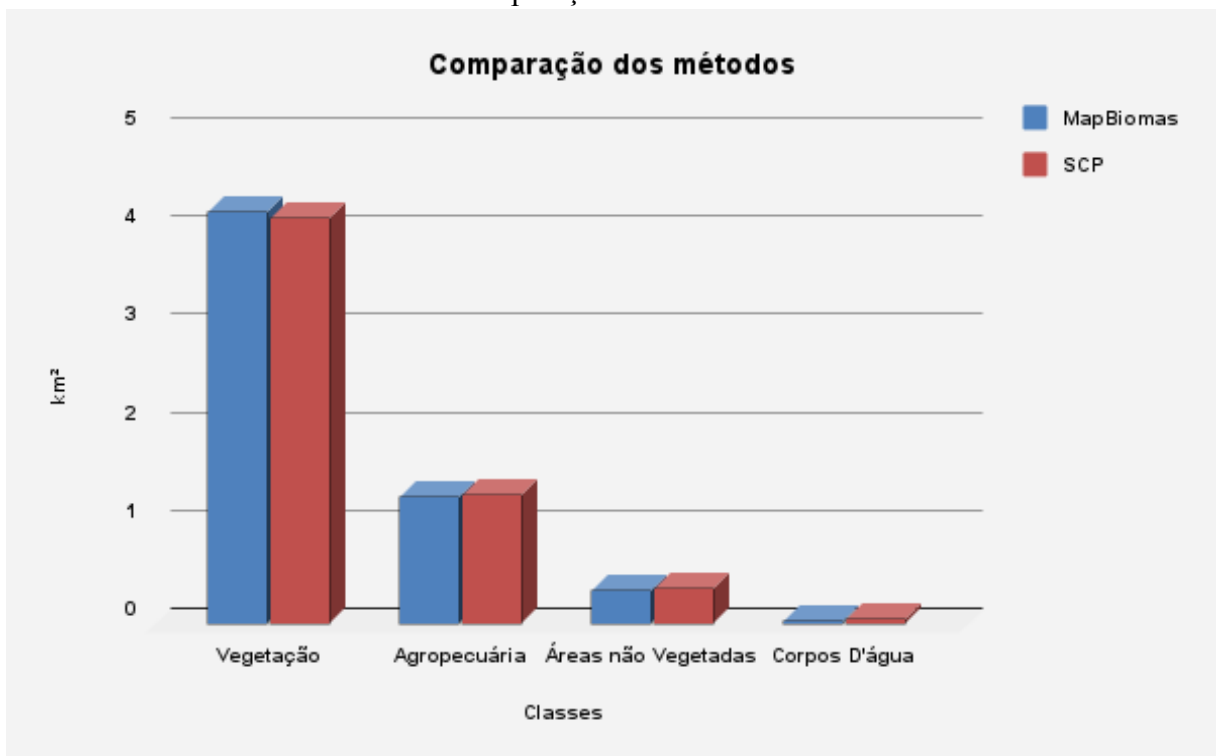
Observando as tabelas e gráficos da comparação de metodologias do ano 2020, percebemos que os dois métodos identificaram valores semelhantes para todas as classes, sendo as maiores diferenças nas classes vegetação e áreas não vegetadas. O SCP identificou uma classe de vegetação levemente menor e uma classe de áreas não vegetadas levemente superior às encontradas pelo MapBiomas.

Tabela 10 – Áreas e porcentagem obtidas pelas metodologias no ano 2020

Classe	MapBiomas		SCP		Δ	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Vegetação	4,204	71,755	4,144	70,722	0,060	1,033
Agropecuária	1,288	21,980	1,307	22,304	0,019	0,324
Áreas não Vegetadas	0,337	5,754	0,361	6,16	0,024	0,406
Corpos D'água	0,025	0,426	0,047	0,799	0,022	0,373

Fonte: elaborada pelo autor.

Gráfico 3 – Comparação dos métodos no ano 2020



Fonte: elaborada pelo autor

4.4 Análise temporal com dados MapBiomias

Analisando a área de estudo, percebe-se que pela metodologia do MapBiomias a classe de vegetação aumentou no decorrer do anos, enquanto a classe de agropecuária reduziu.

Nota-se que a classe áreas não vegetadas, que contém a área urbana cresceu lentamente no período analisado, esse crescimento acompanha a evolução populacional que ocorreu no município de Fortim. Segundo o IBGE, no ano 2000 a população total do município era cerca de 12.082 habitantes, já em 2010 essa população aumentou para 14.817 habitantes e a estimativa para 2020 era de 16.631 habitantes.

Percebe-se que o método utilizado pelo MapBiomias não conseguiu identificar por completo a rodovia CE-040, sendo que nos anos 2000 e 2010 nem mesmo o contorno da rodovia foi detectado, nessas datas a área que pertence a rodovia foi classificada como vegetação e agropecuária. Já no ano de 2020 o mapeamento detectou parte do seu contorno, porém ainda classificou a sua maior parte como agropecuária.

A classe de corpos d'água basicamente não apresentou grandes mudanças no período estudado, apenas no ano de 2010 houve um leve aumento da área da classe, isso pode ter se dado pela imagens que estavam disponíveis e que foram utilizadas para formar o mosaico pela metodologia do MapBiomias.

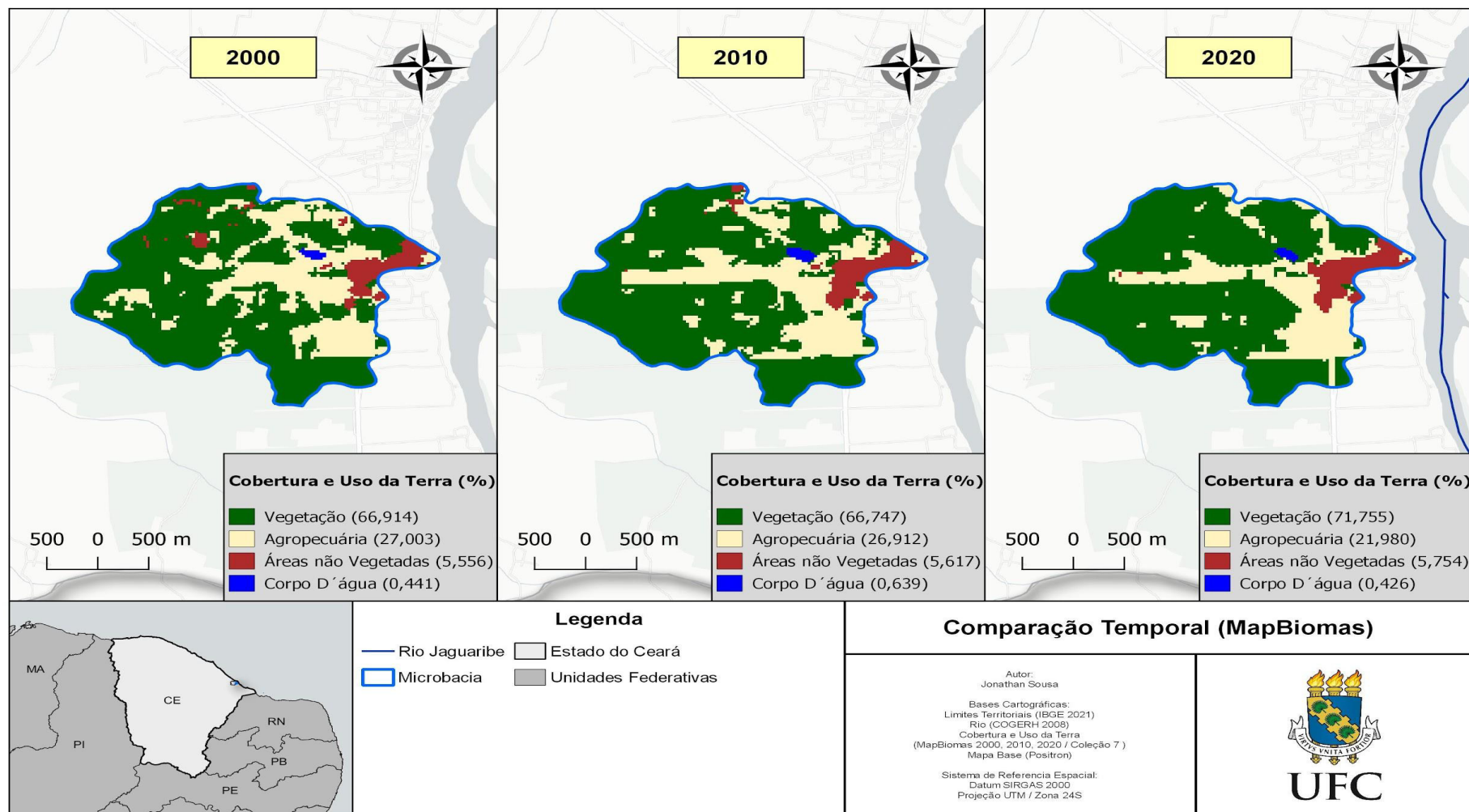
Conforme apresentado no mapa de evolução temporal constata-se que a área analisada nesta pesquisa se manteve estável no decorrer dos anos, não apresentando mudanças ou degradações significativas, seja pela remoção da vegetação natural para implantação de áreas de agropecuária ou crescimento da área urbana.

Apenas com os dados oriundos do projeto MapBiomias não é possível afirmar com um elevado grau de exatidão que houve uma recuperação da vegetação da área e uma redução da classe de agropecuária, já que é comum que certas áreas degradadas de acordo com o período analisado tenham passado por uma regeneração e assim podem ter sido classificadas como vegetação.

Estudos de cobertura e uso da terra através de ferramentas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto são muito relevantes e a disponibilidade de imagens gratuitas e softwares que permitem sua análise viabilizam esse tipo de estudo, porém, nenhum mapeamento da cobertura e uso da terra de forma remota está livre de erros, sendo ainda necessário estudos de campo para validar os resultados obtidos.

Segundo Jensen (2009), a ciência do sensoriamento remoto tem limitações. Talvez a maior limitação é que geralmente ela é superestimada. O SR não fornecerá todas as informações necessárias à condução das pesquisas físicas, biológicas ou das ciências sociais. Ele simplesmente provê alguma informação espacial, espectral e temporal de valor, de uma forma a cooperar para a eficiência e viabilidade econômica de pesquisas.

Figura 31 – Análise temporal com dados MapBiomias



Fonte: elaborada pelo autor

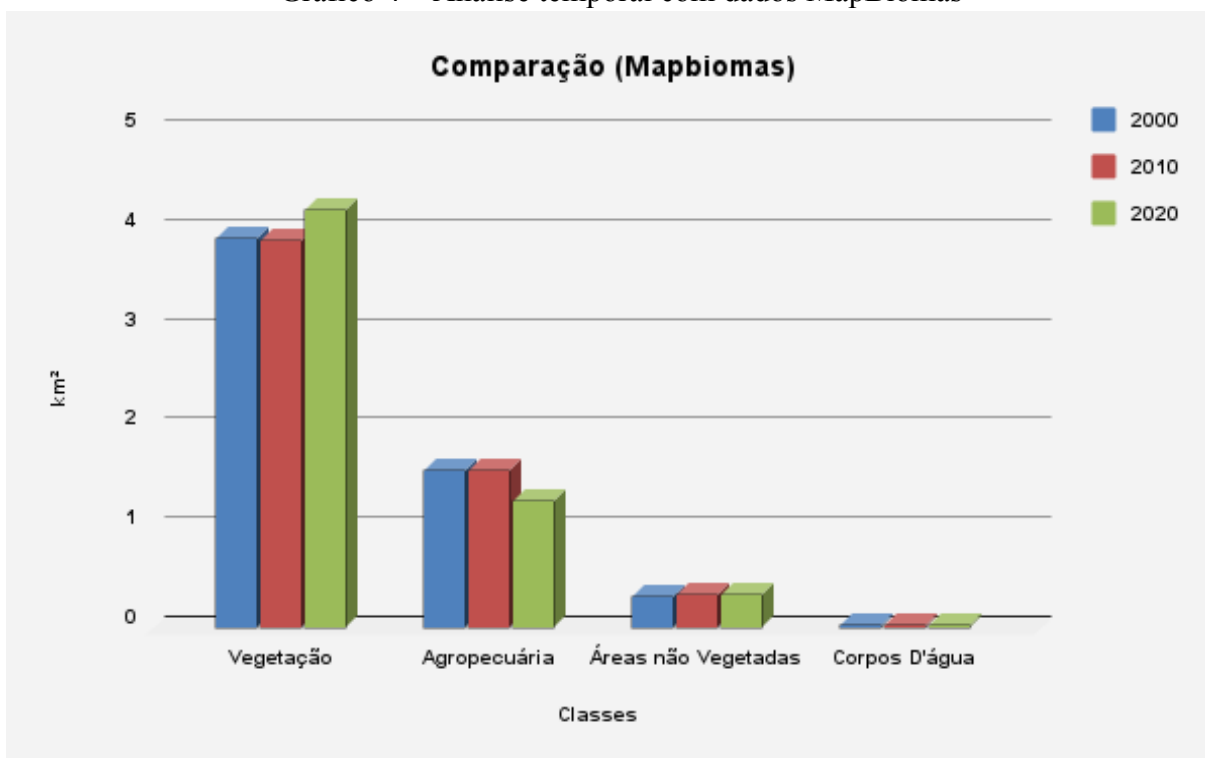
De acordo com as tabelas e gráficos, há uma estabilização na classe de vegetação de 2000 a 2010, porém em 2020 nota-se um aumento de área. A classe agropecuária também se manteve estável de 2000 a 2010, mas em 2020 houve uma redução na área da classe. As áreas não vegetadas cresceram lentamente a cada data analisada. Por fim os corpos d'água se mantiveram estáveis, tendo apenas um leve aumento de área em 2010.

Tabela 11 – Áreas e porcentagens obtidas pelo MapBiomas

Classe	2000		2010		2020	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Vegetação	3,921	66,914	3,911	66,747	4,204	71,755
Agropecuária	1,582	27,003	1,577	26,912	1,288	21,980
Áreas não Vegetadas	0,326	5,556	0,329	5,617	0,337	5,754
Corpos D'água	0,026	0,441	0,037	0,639	0,025	0,426

Fonte: elaborada pelo autor.

Gráfico 4 – Análise temporal com dados MapBiomas



Fonte: elaborada pelo autor.

4.5 Análise temporal com dados da classificação supervisionada

Analisando os produtos obtidos pelo plugin e os comparando com os dados disponibilizados pelo MapBiomas, é possível perceber que as classes de vegetação e corpos d'água obtiveram sucesso em serem classificadas, algumas áreas localizadas de agropecuária também foram bem definidas.

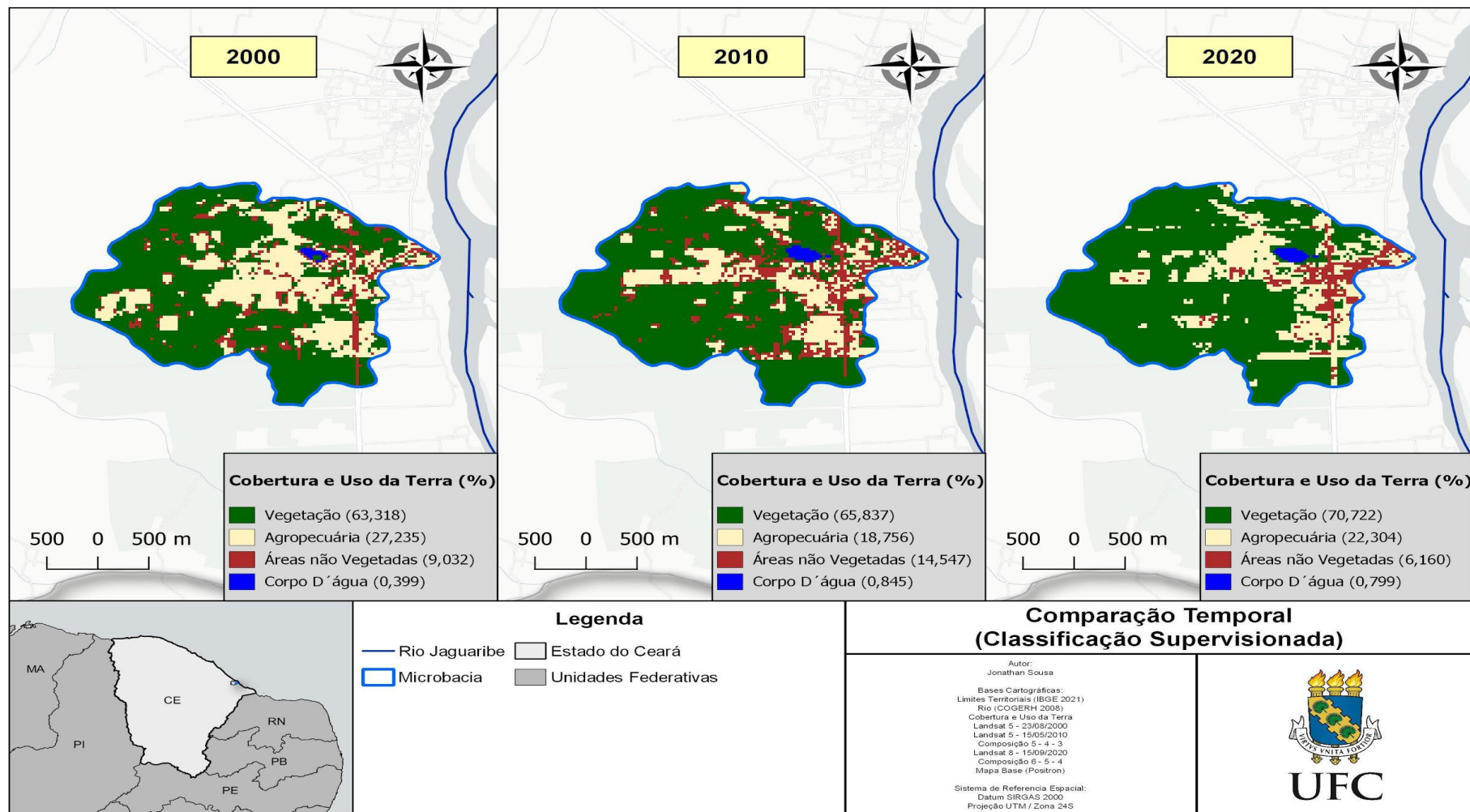
Por conta da similaridade entre os *pixels* de agropecuária e áreas não vegetadas, houve uma confusão na classificação dessas duas classes, que pode ser observada com maior clareza analisando a parte nordeste da área de estudo, onde o plugin SCP não conseguiu localizar com precisão a área urbana. Além da similaridade entre os pixels, outro fator que pode ter colaborado para essas falhas de classificação, são as dificuldades naturais de identificação que as áreas urbanas apresentam por serem heterogêneas e possuírem muitos elementos.

A classificação supervisionada realizada no ano de 2010 possui mais pontos de áreas não vegetadas espalhados pela sua área do que as classificações feitas para o ano de 2000 e 2020, o fato da única imagem disponível para a classificação supervisionada em 2010 ter sido capturada no mês de maio, que faz parte do período chuvoso da área de estudo pode ter colaborado para essa divergência.

Nota-se que nos três períodos analisados a classificação supervisionada obteve sucesso em detectar a rodovia CE-040, principalmente nos anos 2000 e 2010, onde a maior parte do contorno da rodovia foi classificado como área não vegetada. Em 2020, apesar da parte inferior da rodovia contida na área de estudo ter sido classificada como agropecuária, ainda é possível identificar o seu contorno com clareza.

A classe corpo d'água está estável no decorrer dos anos, apesar de que no ano 2000 sua área é um pouco inferior as áreas obtidas nos demais anos, questões de sazonalidade podem explicar essa diferença, além de que é possível notar que alguns *pixels* da sua área foram classificados como vegetação, isso pode ter se dado por conta que a imagem utilizada possuía algum tipo de vegetação aquática no seu espelho d'água.

Figura 32 – Análise temporal com os dados da classificação supervisionada



Fonte: elaborada pelo autor.

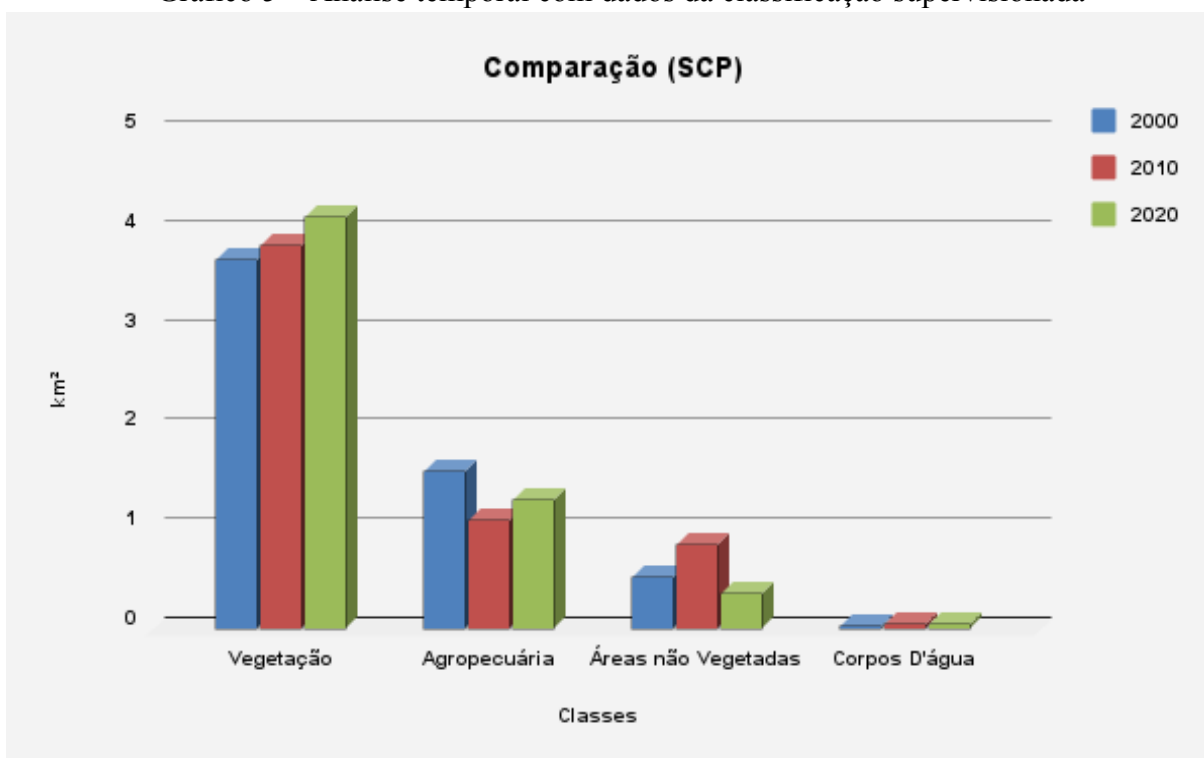
De acordo com as tabelas e gráficos abaixo, há um aumento da área de vegetação no decorrer das décadas, e uma redução das áreas de agropecuária, principalmente no ano de 2010. Os dados obtidos pelo SCP mostram uma classe de áreas não vegetadas instável no decorrer dos anos, aumentando em 2010 e tendo uma grande redução em 2020. Por fim os corpos d'água se mantiveram estáveis em 2010 e 2020, porém tendo uma área inferior no ano 2000.

Tabela 12 – Áreas e porcentagens obtidas pela classificação supervisionada

Classe	2000		2010		2020	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Vegetação	3,710	63,318	3,857	65,837	4,144	70,722
Agropecuária	1,596	27,235	1,099	18,756	1,307	22,304
Áreas não Vegetadas	0,529	9,032	0,852	14,547	0,361	6,160
Corpos D'água	0,023	0,399	0,049	0,845	0,047	0,799

Fonte: elaborada pelo autor.

Gráfico 5 – Análise temporal com dados da classificação supervisionada



Fonte: elaborada pelo autoR

5 CONCLUSÃO

A partir desta pesquisa, foi possível notar a importância das técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, para o mapeamento e avaliação do uso e cobertura da terra e delimitação de bacias hidrográficas através de modelos digitais de elevação.

Essas técnicas colaboraram para a aquisição de dados da plataforma MapBiomas e dos satélites *Landsat 5* e *8* e possibilitaram a sua manipulação para a geração de mapas de cobertura e uso da terra que proveram informações quantitativas e qualitativas da área de estudo para diversas análises. Além disso, permitiram a delimitação da microbacia juntamente com sua rede de drenagem e a obtenção de informações de área e perímetro.

Ambas as metodologias apresentaram quatro classes para a área de estudo em todos os anos analisados, sendo elas: vegetação, agropecuária, áreas não vegetadas e corpos d'água. Assim notou-se que no período estudado nenhuma nova classe surgiu e nenhuma classe foi extinta. As áreas de cada classe foram encontradas para ambos os métodos e em todos os anos analisados.

Percebe-se que pela metodologia do MapBiomas a classe de vegetação aumentou no decorrer do anos, enquanto a classe de agropecuária reduziu. Nota-se também que a área urbana que está presente na classe de áreas não vegetadas, cresceu lentamente no período analisado.

A classificação supervisionada também apontou para o aumento da classe de vegetação, enquanto para a classe agropecuária há uma grande redução de 2000 para 2010 e um crescimento de 2010 para 2020, já a classe áreas não vegetadas apresentou um grande aumento de 2000 para 2010 e uma súbita redução de 2010 para 2020. Esse comportamento nas classes de agropecuária e áreas não vegetadas se deve a falhas da classificação supervisionada por conta das similaridades entre as áreas.

Os mapas de comparação entre os métodos apresentaram similaridades principalmente nas áreas de vegetação e corpos d'água, essa similaridade também foi identificada em algumas áreas localizadas de agropecuária.

A principal divergência encontrada nos mapeamentos foram as áreas não vegetadas localizadas na parte nordeste da microbacia, o método utilizado pelo MapBiomas conseguiu localizar com mais precisão a área urbana, já na classificação supervisionada houve uma confusão entre as classes de agropecuária e áreas não vegetadas, essa divergência se deve

à similaridade dos valores dos pixels dessas duas classes, além disso as áreas urbanas possuem dificuldades naturais de serem identificadas por conta da sua heterogeneidade.

Outro ponto de divergência nos mapeamentos foi a identificação da rodovia CE-040, o Mapbiomas não conseguiu delimitar o contorno da rodovia nos anos 2000 e 2010, sendo que em 2020 parte do contorno foi identificado mas classificado na classe agropecuária. Já a classificação supervisionada conseguiu identificar boa parte do seu contorno e o classificou como área não vegetada, principalmente nos anos 2000 e 2010.

Diante desses aspectos é possível notar a relevância tanto da plataforma MapBiomas, que disponibiliza dados de uso e cobertura da terra de forma anual e para todo o território brasileiro, como das imagens *Landsat* que são disponibilizadas a cada 16 dias e podem ser utilizadas para diversas aplicações, dentre elas, classificação do uso e cobertura da terra. Ambos os dados são gratuitos e confiáveis, permitindo que governos e tomadores de decisões sobre o manejo da terra, monitorem e analisem as mudanças de uso e cobertura da terra com maior frequência, maior detalhamento e melhor precisão, e assim planejem ações para conservação e uso sustentável do solo.

Para próximos estudos no município de Fortim-CE, sugere-se selecionar uma área de estudo mais dinâmica, onde seja possível observar com mais clareza no decorrer do tempo a redução da vegetação em prol do crescimento de áreas de agropecuária, crescimento urbano, ou a recuperação da vegetação.

Também indica-se alterar alguns parâmetros a fim de tornar a classificação supervisionada mais eficiente, como: analisar uma área onde as classes ali contidas tenham seus *pixels* bem caracterizados, utilizar imagens com uma maior resolução espacial para que as amostras de treinamento sejam o mais fidedigna possível à classe selecionada, imagens com uma resolução temporal melhor para se poder selecionar imagens pertencente ao mesmo período e sem a influência de nuvens, sombras e opacidade, e utilizar outros plugins de classificação, métodos de classificação e algoritmos.

REFERÊNCIAS

ASSAD, Eduardo Delgado; SANO, Edson Eyji. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília, EMBRAPA-CPAC, 1998.

ASSIS, Maria Cristina de. **Metodologia do Trabalho Científico**. 3. ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2009.

BATISTA, Ligia. 2020. 1 vídeo (18:32 min). **Download de imagem com Google Earth Engine**. Publicado pelo canal Ligia Batista, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=mUej4XhZSIU>. Acesso em: 01 Abril 2023.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel V. **Introdução a ciência da Geoinformação**, 2001. Repositório da URLib: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 28 março 2023, 02:28..

CAMPBELL, James B. **Land use and cover inventory**. Manual of photographic interpretation. 2 ed. Maryland: ASPRS, 1997.

CARVALHO, Wesley dos Santos; FILHO, Fernando Jorge Corrêa Magalhães; DOS SANTOS, Thayene Lima dos. **Uso e cobertura do solo utilizando a Plataforma Google Earth Engine (GEE): Estudo de caso em uma Unidade de Conservação / Land use and land cover using the Google Earth Engine Platform (GEE): Case study in a Conservation Unit**. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 15280–15300, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n2-243. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/24622>. Acesso em: 14 maio 2023, 19:30.

COHENCA, Daniel; CARVALHO, Raquel. **Comparação de métodos de classificação OBIA, Máxima Verossimilhança e Distância Mínima em imagem OLI/Landsat-8 em área de alta diversidade de uso do solo**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. João Pessoa, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Anais, 2015.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia: para engenharia e ciências ambientais**. 2. ed. Porto Alegre: Coleção ABRH, 2013.

DA COSTA, Milton Araújo Filho; MENESES, Paulo Roberto; SANO, Edson Eyji. **Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite**. Rev. Bras. Cartogr, v. 59, 2007.

DAINESE, Renata Cilene. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não supervisionada e análise visual**. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2001. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/90651>>.

DURÁN, Gloria Yamileth Bolívar. **Análise multitemporal de uso e cobertura da terra nas planícies costeiras do baixo Jaguaribe e de Camocim no estado do Ceará com fins de determinação de mudanças e relações com a instalação de parques eólicos**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

EMBRAPA. **Landsat**. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso em: 28 março 2023, 02:28.

EOS. **Bandas De Landsat 8: Combinações de imagens de satélite**. Disponível em:

<https://eos.com/pt/blog/bandas-de-landsat-8/>. Acesso em: 03 junho 2023, 02:13.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FOLEY, J. A; DEFRIES, R.; ASNER, G. P; BARFORD, C; BONAN, G; CARPENTER, S. R; SNYDER, P. K. **Global consequences of land use**. *science*. v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GORELICK, N; HANCHER, M; DIXON, M; ILYUSHCHENKO, S; thau, D; MOORE, R. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone.** *Remote Sensing of Environment.* v. 202, p. 18-27, 2017.

GUIMARAES, Clécia Cristina Barbosa; VALLADARES, Gustavo Souza; MARTINS, Claudia Miranda. **Uso da terra e declividade no sertão central do Ceará, Brasil.** *Revista Nordestina de Biologia,* v. 24, n. 1, p. 3-18, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Landsat.** Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em: 28 março 2023, 02:27.

IPECE. **PERFIL MUNICIPAL 2017 FORTIM.** . Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Fortim_2017.pdf. Acesso em: 15 abril 2023, 01:05.

JENSEN, John R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres. 2. ed. São Paulo: Parêntese, 2009.

JÚNIOR, Antonio Duarte Marcos; SILVEIRA, Cleiton da Silva. **Mudança no uso e cobertura do solo e escoamento superficial na bacia hidrográfica do açude Castanhão.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XXIV., 21 a 26 nov. 2021, Belo Horizonte-MG. Anais[...], Belo Horizonte-MG., 2021.

LEITE, Nicolly Santos. **Zoneamento paisagístico das falésias do litoral de Fortim/Ceará:** subsídios ao planejamento e à gestão ambiental. Dissertação (Mestrado em geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2016.

MAPBIOMAS. **O Projeto.** Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 02 maio 2023, 00:13.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia científica.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

NOGUEIRA, Ruth E. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 2008.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes; PONZONI, Flávio Jorge. **INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO**. São José dos Campos , 2001.

PEREIRA, Gabriel Henrique de Almeida; JÚNIOR, Clóvis Cechim; FRONZA, Giovani; DEPPE, Flavio. **Uso da plataforma Google Earth Engine para análise multitemporal de imagens SAR para detecção de variações de áreas inundadas no Pantanal**. Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, Jardim, 2018. p. 274-282.

QGIS. **Repositório de plugins QGIS Python**. Disponível em:

<https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/>. Acesso em: 08 abril 2023, 23:54.

RODRIGUES, A. C. M. **Mapeamento Multitemporal do uso e cobertura do solo do município de São Sebastião-SP, utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM- Landsat e HRV-SPOT**. São José dos Campos: INPE, 94p. 2000.

ROSA, M. R. **Comparação e análise de diferentes metodologias de mapeamento da cobertura florestal da mata atlântica**. Boletim Paulista de Geografia, [S. l.], n. 95, p. 25–34, 2017.

SANTOS, A. R. 2020. 1 vídeo (33:57 min). **Aula 25 - Delimitação de bacias hidrográficas no GRASS com o QGIS**. Publicado pelo canal Mundo da Geomática, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Gh3eKVTEHLM&list=PL551njkDL5YqvMzc4sBlK8wK LhH2d18-z&index=25>. Acesso em: 01 Abril 2023.

TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia, ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

USGS. **Quais são as melhores bandas espectrais do Landsat para uso em minha pesquisa?**. Disponível em:

<https://www.usgs.gov/media/images/common-landsat-band-combinations>. Acesso em: 03 junho 2023, 18:52.

VISSMAN, J. W.; HARBAUGT, T. E. e KNAPP. J. W. **Introduction to Hydrology**. New York: Intext educational, 1972. 415 p.