

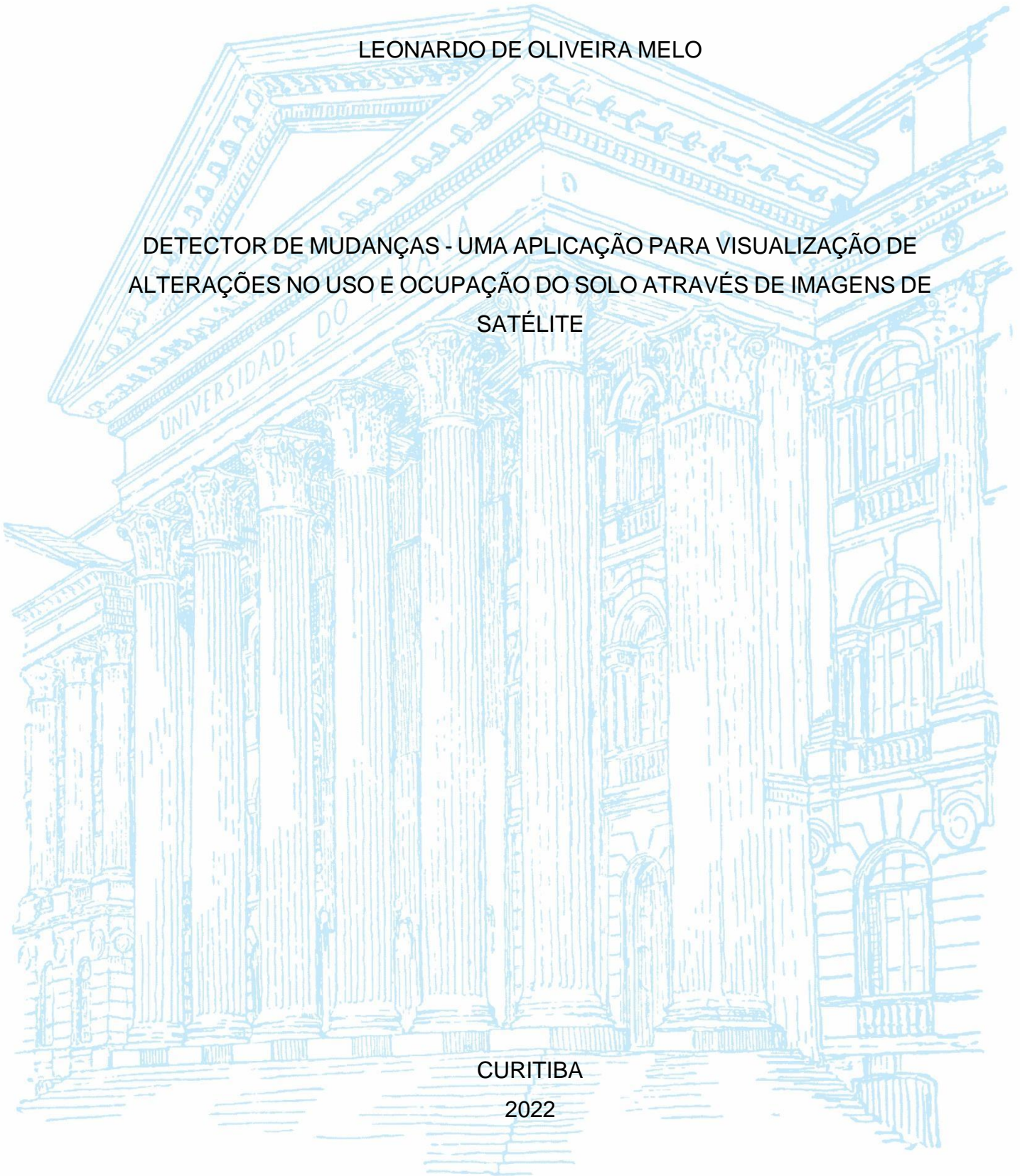
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LEONARDO DE OLIVEIRA MELO

DETECTOR DE MUDANÇAS - UMA APLICAÇÃO PARA VISUALIZAÇÃO DE
ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO ATRAVÉS DE IMAGENS DE
SATÉLITE

CURITIBA

2022



LEONARDO DE OLIVEIRA MELO

DETECTOR DE MUDANÇAS - UMA APLICAÇÃO PARA VISUALIZAÇÃO DE
ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO ATRAVÉS DE IMAGENS DE
SATÉLITE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Prof. Dr. Hideo Araki.

Coorientadora: Profa. Dra. Silvana P. Camboim.

CURITIBA

2022

Dedico este trabalho aos meus pais, que além de tudo me incentivaram nos estudos e sempre foram meu exemplo de pessoa, através de muito trabalho me proporcionaram a oportunidade de estudar em uma escola excelente, com princípios que me tornaram a pessoa que sou hoje e me permitiu o ingresso na universidade pública.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas forças para superar os obstáculos e me proporcionar saúde para vencer as etapas ao longo da graduação.

Aos meus pais, Aleoar Toledo Melo, Miriam de Oliveira Melo, por me proporcionarem todo o suporte, amor e apoio ao longo da minha vida e por me incentivarem a acreditar que todo esforço enfrentado seria recompensado em algum momento. Vocês foram minhas forças, meu empenho e meu modelo a ser seguido ao longo do caminho. Agradeço também ao meu irmão Fernando de Oliveira Melo, por sempre ter acreditado em mim e pelos conselhos e incentivos ao longo da minha vida. Da mesma forma agradeço a minha companheira de vida Mayra Sawaf, não só pela força para passar pelos momentos difíceis, mas por todo amor, companheirismo e paciência ao longo desses anos de graduação, entendendo minhas ausências e por estar sempre presente nos momentos em que eu precisei de apoio. Sem o suporte de toda minha família, jamais teria conseguido completar essa jornada.

Aos professores da Universidade Federal do Paraná, em especial aos da Engenharia Cartográfica e de Agrimensura em que tive a honra de ser aluno, vocês contribuíram na formação do profissional e pessoa que sou hoje. Agradeço aos meus orientadores, Prof. Dr. Hideo Araki e Prof^a. Dra. Silvana P. Camboim, por todos os ensinamentos, fundamentação, disposição em atender minhas dúvidas e por todo tempo disponibilizado para me orientar neste projeto e nas disciplinas ao longo da graduação, a vocês o meu agradecimento especial.

Agradeço a Constel Engenharia por todo apoio durante a graduação e realização deste trabalho e aos amigos que fiz ao longo desses anos trabalhando nessa instituição, em especial aos meus amigos Rafael Andreatta, Walisson Maicon e Henrik Costa, vocês são referência de profissional e de pessoa.

Aos meus amigos Bruno Calefi, Gabriel Weirich, Giovane Siqueira, Giordano Carraro, Minas Marcarov, Mateus Ricardo, Paulo Henrique, Rhuan Theodoro, Willian Ferreira, pela amizade e parceria construída ao longo desses anos compartilhando o mesmo objetivo, que por mais dificuldades enfrentadas, em conjunto tudo foi mais fácil e nos trouxe muitas histórias para compartilhar e certamente estarão marcadas na nossa história, com certeza vocês continuarão presentes na minha vida.

Aos que participaram direta ou indiretamente da minha formação, o meu muito obrigado.

“Chamamos este mundo de Terra, mas o nome verdadeiro é Mudança.”

(RICHARD BACH)

RESUMO

Com o avanço tecnológico, é cada vez mais difundido o acesso e obtenção de imagens de satélite, porém a extração de informações confiáveis sobre essas imagens, exige ainda muitos conhecimentos técnicos do operador, afastando a extração de informações sobre imagens orbitais, de usuários não especialistas na área e identificou-se também uma carência de conteúdo educacional nas plataformas desenvolvidas no cenário do sensoriamento remoto, para que o usuário entenda as operações que se realizam. Neste contexto, é proposta uma aplicação na web com visualização pelo *framework* Streamlit, utilizando API (*Application Programming Interface*) do Google Earth Engine para acesso ao catálogo de imagens e às diversas funcionalidades do sistema, com o objetivo de aproximar as ferramentas disponíveis, catálogo de imagens orbitais, operações com imagens através de um algoritmo de detecção de mudança na superfície da terra, disponibilizando ao usuário, uma plataforma que se possa realizar detecção de alterações entre imagens de satélite, com o uso do processamento em nuvem do *GEE*, sem necessidade de conhecimento de especialista.

Palavras-chave: Streamlit. Sensoriamento remoto. API. Detecção de mudança.

ABSTRACT

With technological advances, access to and obtaining satellite images is increasingly widespread, but the extraction of reliable information about these images still requires a lot of technical knowledge from the operator, preventing the extraction of information about orbital images from users who are not specialists in the field. area and a lack of educational content was also identified in the platforms developed in the remote sensing scenario, so that the user understands the operations that are carried out. In this context, a web application with visualization by the Streamlit framework is proposed, using the Google Earth Engine API (Application Programming Interface) to access the image catalog and the various features of the system, in order to approximate the available tools, catalog of orbital images, operations with images through an algorithm for detecting changes in the surface of the earth, providing the user with a platform that can detect changes between satellite images, using the GEE cloud processing, without the need for expert knowledge.

Keywords: Streamlit. Remote sensing. API. Change Detection.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PLATAFORMA MAPBIOMAS	25
FIGURA 2 - PLATAFORMA BRAZIL DATA CUBE	26
FIGURA 3 - SISTEMÁTICA DE PROJETO CARTOGRÁFICO	32
FIGURA 4 - ARQUITETURA DO SISTEMA	38
FIGURA 5 - DIAGRAMA DE CASOS DE USO	39
FIGURA 6 - DIAGRAMA DE CLASSES OMT-G.....	40
FIGURA 7 - FLUXOGRAMA DE INTERAÇÃO COM O USUÁRIO	41
FIGURA 8 - TRECHO DE CÓDIGO UTILIZADO NA PÁGINA INICIAL.	42
FIGURA 9 - FUNÇÃO IMPLEMENTADA PARA GEOCODIFICAÇÃO.....	42
FIGURA 10 - TESTES REALIZADOS NA PLATAFORMA DO GEE.....	43
FIGURA 11 - CÓDIGO IMPLEMENTADO PARA AS DETECÇÕES DE MUDANÇA.....	44
FIGURA 12 - LOGO DO PROJETO	44
FIGURA 13 - PÁGINA INICIAL.....	46
FIGURA 14 - "SABER MAIS".....	47
FIGURA 15 - PÁGINA PRINCIPAL DA APLICAÇÃO	48
FIGURA 16 - PÁGINA "SOBRE"	49
FIGURA 17 - QR CODE - DETECTOR DE MUDANÇAS	49
FIGURA 18 - LISTA DE REPRODUÇÃO NO YOUTUBE	50
FIGURA 19 - QR CODE - LISTA DE REPRODUÇÃO NO YOUTUBE	50
FIGURA 20 – EXEMPLO DE DEMARCAÇÃO DE ÁREA DE INTERESSE	52
FIGURA 21 – PARÂMETROS DEFINIDOS NO SISTEMA.....	52
FIGURA 22 - DIFERENÇA DE NDWI NA ORLA DE B.C.....	53
FIGURA 23 - DIFERENÇA DE NDVI NA ORLA DE B.C	53
FIGURA 24 - ÁREA DE INTERESSE, RESERVATÓRIO PASSAÚNA.....	54
FIGURA 25 - DIFERENÇA DE NDVI NO RESERVATÓRIO PASSAÚNA	55
FIGURA 26 - DIFERENÇA DE NDWI NO RESERVATÓRIO PASSAÚNA	55
FIGURA 27 – ÁREA DE INTERESSE NO RESERVATÓRIO IRAÍ.....	56
FIGURA 28 – DIFERENÇA DE NDVI NO RESERVATÓRIO IRAÍ.....	56
FIGURA 29 - DIFERENÇA DE NDWI NO RESERVATÓRIO IRAÍ.....	57
FIGURA 30 - UFV SÃO GONÇALO – PIAUÍ, EM 12/07/2015	57
FIGURA 31 - UFV SÃO GONÇALO – PIAUÍ, EM 14/09/2021	58
FIGURA 32 – RCEN NA ÁREA DA USFV SÃO GONÇALO.....	59

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - USUÁRIOS E SUAS NECESSIDADES.....	33
--	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DADOS DO MAPA	33
TABELA 2 - ZOOM DAS CAMADAS.....	34
TABELA 3 - CAMADAS E FONTES.....	35
TABELA 4 - INFORMAÇÕES DO LANDSAT 8.....	35
TABELA 5 - INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DO LANDSAT 8.....	36
TABELA 6 - SIMBOLOGIA PARA CADA CAMADA.....	36
TABELA 7 - LINKS IMPORTANTES	51

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

API	- Application Programming Interface
SRTM	- Shuttle Radar Topography Mission
NDVI	- Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	- Normalized Difference Water Index
GEE	- Google Earth Engine
URL	- Uniform Resource Locator
ANA	- Agência Nacional das Águas
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	OBJETIVO GERAL.....	18
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	DETECÇÃO DE MUDANÇAS	18
2.2	TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS	20
2.2.1	TÉCNICAS BASEADAS EM CLASSIFICAÇÃO	20
2.2.2	TÉCNICAS BASEADAS EM SIG.....	20
2.2.3	TÉCNICAS BASEADAS EM ANÁLISE VISUAL	21
2.2.4	TÉCNICAS BASEADAS EM TRANSFORMAÇÕES.....	21
2.2.5	TÉCNICAS COM UTILIZAÇÃO DE ÁLGEBRA	21
2.3	APLICAÇÃO WEB E CARTOGRAFIA	22
2.3.1	VANTAGENS DAS APLICAÇÕES WEB	22
2.3.2	TECNOLOGIAS NA IMPLEMENTAÇÃO DE APLICAÇÕES WEB	23
2.3.3	OUTRAS PLATAFORMAS WEB DISPONÍVEIS	24
2.3.3.1	MAPBIOMAS	24
2.3.3.2	BRAZIL DATA CUBE	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	MATERIAIS	26
3.1.1	MODELAGEM	26
3.1.2	IMPLEMENTAÇÃO.....	27
3.2	MÉTODOS	28
3.2.1	TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS	28

3.2.1.1	DIFERENÇA TEMPORAL DE NDVI	28
3.2.2	DIFERENÇA TEMPORAL DE NDWI.....	29
3.2.3	RCEN	30
3.3	PROJETO CARTOGRÁFICO	31
3.4	PROJETO DO SISTEMA.....	37
3.4.1	ARQUITETURA DO SISTEMA	37
3.4.2	DIAGRAMA DE CASOS DE USO.....	38
3.4.3	DIAGRAMA DE CLASSES ESPACIAL (OMT-G).....	39
3.4.4	FLUXOGRAMA DE INTERAÇÕES DO USUÁRIO	40
3.5	IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA.....	41
4	RESULTADOS	44
4.1	DESIGN DA PLATAFORMA.....	44
4.1.1	PÁGINA 'INICIAL'	45
4.1.2	PÁGINA 'DETECÇÃO DE MUDANÇA'	47
4.1.3	PÁGINA 'SOBRE'	48
4.1.4	RECURSOS ADICIONAIS.....	49
4.2.1	MONITORAMENTO DE MUDANÇAS NA ORLA	51
4.2.2	RESERVATÓRIOS DE ÁGUA	54
4.2.3	GRANDES OBRAS.....	57
5	CONCLUSÃO.....	60
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60

1 INTRODUÇÃO

As imagens orbitais provenientes de sensores embarcados em satélite, podem ser aplicadas em uma grande variedade de estudos e servem como referência para alguns. Com o avanço tecnológico, existem missões que lançam satélites para fins específicos no sensoriamento remoto, como monitoramento de queimadas, monitoramento climático, monitoramento hidrológico, entre outros. O que se pode observar em Borges et al (2015) é que existe um avanço nos sensores embarcados em satélites, permitindo gerar produtos com maior resolução espacial, ou seja, o nível de detalhamento que se pode enxergar nessas imagens tem sido cada vez melhores ao longo dos últimos anos. No presente existem ainda, diversas facilidades de acesso a essas imagens, através de plataformas como USGS Earth Explorer e Google Earth Engine (*GEE*), permitindo ao usuário aceder a imagens de várias épocas e regiões da Terra. Pode se destacar também que, com o desenvolvimento e aprimoramento da telecomunicação e o surgimento de ferramentas de processamento em nuvem como o *GEE*, possibilitaram que o usuário gerencie e trate um grande volume de dados em nuvem, não sendo necessário máquinas com grande capacidade de processamento, exigindo do usuário, apenas uma boa conexão com a internet. Com isso, as facilidades nesse cenário se ampliaram bastante, permitindo que um usuário com um pouco de conhecimento, crie soluções eficientes para problemas que em outro momento necessitariam de maior tempo aplicado e em muitas situações, para solução do problema do usuário, existem funções pré-programadas, não sendo necessário que o operador desenvolva novos códigos.

No cenário apresentado, existem também projetos como Brazil Data Cube e MapBiomas, que possibilitam o acesso a produtos de aplicações do sensoriamento remoto, disponibilizando mapas e estatísticas que permitem entender a dinâmica da cobertura terrestre na região imageada, além de outras funcionalidades. Neste contexto, uma aplicação de grande interesse é a utilização de imagens de satélite na detecção de mudanças ocorridas entre imagens, segundo Caldeira et al (2018), “realizar detecção de mudanças de características da superfície física da terra é importante para a compreensão tanto da dinâmica dos fenômenos quanto para a previsão dos impactos, bem como o apoio na tomada de decisões”. A dificuldade que se encontra no presente, é a abundância de dados existentes, tornando complexo

encontrar informações e realizar conclusões acerca delas, de maneira que se possa resolver problemas e tomar decisões.

Esse campo de pesquisa tem importância para estudos relacionados a mudanças temporais, visto que ao longo do tempo, alterações podem ser cíclicas, da própria natureza, ou também, podem ser causadas ou atenuadas pela ação do homem. A detecção de mudanças neste sentido, é um estudo que permite a percepção das mudanças ocorridas em relação ao tempo, e através de uma técnica de detecção adequada ao fenômeno estudado, é possível visualizar as mudanças ou a manutenção do fenômeno sobre a superfície de estudo e com isso enriquecer estudos sobre alterações na superfície da terra ou servir como referência para eles. Estudos de desmatamento ilegal, ocupações em áreas irregulares, análise de crescimento urbano, são alguns exemplos em que se pode empregar técnicas de detecção de mudança para extrair informações, desse modo, é interessante que profissionais como urbanistas, engenheiros ambientais e florestais, geógrafos, entre outros profissionais que atuam neste contexto, conheçam as técnicas de detecção de mudança. Foi identificado também que, apesar do crescimento de dados disponíveis no sensoriamento remoto nos últimos anos, com a implantação de novas plataformas viabilizando o acesso a coleções de imagens e produtos do sensoriamento remoto, ainda existe uma certa complexidade em encontrar e extrair informações para fins específicos, portanto o que se pretende também é desenvolver a aplicação como um recurso educacional para disseminar o conhecimento acerca dos processos envolvidos. O intuito de realizar este estudo, com um código aberto e livre, é também para contribuir com a sociedade, de forma a entregar um produto de conhecimentos adquiridos ao longo da formação, proporcionando desta forma um retorno para a sociedade, ao investimento realizado na universidade pública.

Com isso, o que se propõe neste trabalho é o desenvolvimento de uma aplicação na web, com consultas pré-programadas e utilizando três técnicas de detecção de mudança aplicadas em um par de imagens Landsat 8, de épocas distintas, permitindo que o usuário realize essa operação sem a necessidade de um *software* específico e nem de conhecimento de especialista.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é o desenvolvimento de uma aplicação web com o intuito de realizar detecção de mudanças na superfície da Terra através de imagens de satélite, utilizando os recursos do Google Earth Engine e do Streamlit e três técnicas de detecção de mudança.

1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos pretende-se:

- Com base na revisão da literatura, definir três métodos de detecção de mudança para implementar no sistema;
- Realizar o levantamento de requisitos e definição da linguagem de programação, *software*, *frameworks* e bibliotecas;
- Buscar dados disponíveis, definindo a coleção de imagens no *GEE* e dados geoespaciais que serão utilizados;
- Realizar projeto cartográfico e do sistema;
- Implementar a aplicação web;

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DETECÇÃO DE MUDANÇAS

A cobertura da Terra é dinâmica e ao longo do tempo existe uma variação de fenômenos que alteram a composição da crosta terrestre, sejam eles naturais ou antrópicos. Segundo Wagner & Zalewski (2009) as mudanças nos usos da terra devem ser levadas em consideração, especialmente quando é necessário tomada de decisões acerca do espaço de desenvolvimento urbano, para que desta forma esse desenvolvimento seja realizado de forma harmônica com a estética da paisagem e as relações ecológicas no meio sejam preservadas. Em Floriano (2007), as políticas de

gestão ambiental além de proporcionar proteção do ambiente natural com a gestão dos recursos, devem também orientar a solução de conflitos sociais, visando garantir o bem-estar social e que os recursos estejam disponíveis para as futuras gerações. Esse é também, um dos esforços englobados nos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável promovido pela Organização das Nações Unidas (ONU), visando promover entre outros propósitos, o crescimento econômico com sustentabilidade, protegendo a natureza, mas também viabilizando a geração de renda para os habitantes da região, além de medidas para combater as alterações climáticas e seus impactos.

Com isso, nota-se a importância de estudos relacionados ao meio ambiente, permitindo entender melhor a dinâmica dos fenômenos que alteram a superfície física da Terra e então, realizar uma melhor gestão dos recursos disponíveis e promover um crescimento sustentável das regiões, através de políticas de gestão ambiental. Neste contexto existem diferentes tipos de estudos para compor a política de gestão, contudo ressalta-se a importância de compreender melhor as mudanças ocorridas na superfície da Terra em diferentes épocas, a fim de verificar a efetividade de uma ação, ou até mesmo a sua ineficiência. Para isso, as técnicas de detecção de mudança fornecem resultados que podem atender essa demanda.

As técnicas de detecção de alterações conhecidas têm pontos positivos e negativos e não existe um modelo universal para detecção de alteração de todos os fenômenos, sendo necessário definir a técnica mais apropriada para se monitorar o fenômeno desejado. Segundo Arastoo e Ghazaryan (2013), para a seleção da melhor técnica de detecção de mudança, devem ser consideradas variáveis como a amplitude espectral, condições ambientais, tempo, custo, conhecimento técnico do analista, qualidade dos dados e os estudos relacionados a este tema, devem contemplar resultados de área e taxa de mudança, distribuição espacial das alterações e avaliar a exatidão dos resultados.

Para a implementação de um projeto de detecção de mudanças, segundo Lu et al. (2014), devem ser aplicadas as seguintes etapas:

- (1) Pré-processamento das imagens, realizando correções radiométricas, geométricas e atmosféricas, incluindo também uma ortorretificação das imagens;
- (2) Determinação de técnicas adequadas para o fenômeno a ser detectado;
- (3) Análise precisa das mudanças ocorridas;

A aplicação dessas etapas, envolve fatores que influenciam nas decisões a serem tomadas, como: Fenômeno envolvido, área de estudo, tempo e custo, qualidade das imagens disponíveis.

2.2 TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS

Para desenvolver um projeto de detecção de mudanças, é necessário aplicar uma técnica adequada ao fenômeno observado, e levar em consideração fatores anteriormente citados. Com isso, foi realizado uma revisão de literatura para definir as técnicas para utilizar neste projeto.

2.2.1 Técnicas baseadas em classificação

Segundo Lu et al. (2004), existem algumas técnicas que se enquadram nessa categoria de técnicas para detecção de mudança por classificação, podendo ser: comparação pós classificação, análise combinada espectro-temporal, detecção de mudanças não supervisionada, classificações baseadas em redes neurais, algoritmos que tratam da maximização da expectativa, entre outros. Caldeira et al. (2015), cita que devido à natureza desses métodos, o resultado da sua aplicação para o fim de detecção de mudança, depende de uma classificação de boa qualidade, portanto em abordagens supervisionadas implica em um treinamento de alta qualidade e que seja suficiente para caracterizar os tipos de ocorrências no que vai ser mapeado. Este autor cita ainda que, a técnica de detecção de alterações por pós-classificação de imagens, é uma técnica muito comum, porém como destacado em Lu et al. (2004) o histórico de dificuldades, no que diz respeito a classificação das imagens, é um indício que pode afetar diretamente os resultados da detecção de mudança.

2.2.2 Técnicas baseadas em SIG

De acordo com Hussain (2013), existe uma grande vantagem na utilização de abordagens de detecção de mudanças a partir do uso dos Sistemas de Informação geográfica (SIG), que diz respeito a capacidade de integrar dados de diversas fontes no projeto de detecção de mudança. Nessa abordagem, em geral são integrados dados vindos do sensoriamento remoto e dados provenientes de aplicações em SIG.

Porém, de acordo com Caldeira et al. (2015), devem ser considerados que os dados de origens distintas podem ter da mesma forma, precisões distintas e, formatos diferentes e eventuais diferenças, podem prejudicar os resultados da detecção de mudanças utilizando essa abordagem.

2.2.3 Técnicas baseadas em análise visual

Essa técnica inclui a análise visual e interpretativa de cenas de épocas distintas e posterior digitalização sobre as regiões de mudança. Essa abordagem exige conhecimento e experiência do intérprete, para que se consiga identificar elementos nas imagens. Segundo Lu et al. (2004), uma desvantagem da utilização deste método é o tempo necessário para aplicar essa abordagem na detecção de mudanças em grandes áreas. Ainda de acordo com o autor, utilizou-se amplamente essa abordagem em uma época em que os dados de satélites não eram disponibilizados com facilidade e a capacidade de processamento dos computadores era limitada, porém com o avanço tecnológico, essa abordagem caiu em desuso e o processamento digital de imagens substituiu gradualmente a abordagem de interpretação visual. Porém, ressalta-se que as técnicas de processamento de imagens de forma automática, nem sempre é possível, portanto, é necessário e essencial a interpretação visual até os dias de hoje.

2.2.4 Técnicas baseadas em transformações

As técnicas baseadas em transformações incluem a análise de componentes principais, *Tasseled Cap*, transformação de Gram-Schmidt e transformações Qui-quadrado. Uma das vantagens comuns a esses métodos é a redução na redundância espectral entre as bandas, enfatizando informações diferentes e não correlacionadas nas imagens derivadas. (CALDEIRA et al.; 2015)

2.2.5 Técnicas com utilização de álgebra

A abordagem de detecção de mudança por técnicas algébricas inclui a diferença de imagens, a regressão de imagens, razão de imagens, diferença entre imagens transformadas em índices de vegetação ou de água.

Os algoritmos nessa abordagem, tem necessidade de selecionar limiares para definir as áreas e são métodos relativamente simples e de fácil implementação e interpretação. Uma desvantagem dos métodos enquadrados nessa categoria para Lu et al. (2004) é a dificuldade em definir limiares adequados para identificar os domínios da alteração e, devem ser considerados aspectos como a seleção de bandas espectrais, imagens apropriadas ao aspecto de interesse na detecção.

2.3 APLICAÇÃO WEB E CARTOGRAFIA

Garcia (2012), estabelece que a definição de aplicação web consiste na manipulação dos dados visualizados na página por parte do usuário, com a inclusão de dados, para cumprir uma determinada função.

Segundo Noleto (2020), na área da tecnologia da informação, um dos temas mais promissores na atualidade é o desenvolvimento de aplicações na web, visto que com o avanço das tecnologias da computação e de telecomunicações, o acesso a internet e de facilidades computacionais tem avançado de modo a permitir a automatização de atividades humanas que outrora tinham necessidade de presença no local, como pagamentos, transferências de valores, reuniões de trabalho ou estudo, entre outras atividades. Existe também a tendência de incorporação de sistemas na web para o desenvolvimento de atividades em empresas, instituições educacionais e governamentais. Neste contexto, a demanda de criação, visualização, atualização e análises de dados também foram incorporados nas atividades destes usuários, e dentre os tipos de dados produzidos e ou consumidos pelos usuários, existem aqueles com um atributo espacial vinculado, o que estimula também, um campo de trabalho referente aos profissionais da cartografia.

2.3.1 Vantagens das aplicações web

Os computadores e smartphones comercializados atualmente, já possuem um browser instalado de forma nativa, o que traz uma grande vantagem no uso de aplicações web, uma vez que o usuário não tem necessidade de instalação de nenhum *software* adicional para acessar as funcionalidades da aplicação, o que evita a distribuição de várias cópias do *software* por usuário, mudando o conceito

tradicional. Outra vantagem é na manutenção, que ocorre apenas no servidor e são atualizadas instantaneamente no cliente. Garcia (2012)

A enorme disponibilidade de plataformas, ferramentas de desenvolvimento e comunidades de desenvolvedores que disponibilizam o código *open source*, torna possível que desenvolvedores iniciantes ou com pouca experiência na área, desenvolvam aplicações na web.

2.3.2 Tecnologias na implementação de aplicações web

Na computação, a palavra *framework* tem várias definições, para Fayad et al (1999b), um framework é um conjunto de classes que constitui um projeto abstrato para a solução de uma família de problemas. Para Buschmann et al. (1996), um *framework* define uma arquitetura para um conjunto de subsistemas e oferece os construtores básicos para criá-los. Pode ser entendido como uma coleção de códigos que possibilitam que o desenvolvedor tenha o suporte de configurações em uma estrutura básica no projeto, não sendo necessário partir do zero no início de um projeto. Em outras palavras, um *framework* representa a estrutura de projeto que suporta o desenvolvimento.

Neste contexto, existe um conjunto amplo de ferramentas disponíveis para auxílio do desenvolvedor e cabe ao responsável técnico definir quais ferramentas são úteis ao processo de desenvolvimento de cada projeto.

Dentre as ferramentas existentes para o desenvolvimento web, destacam-se as que pertencem à categoria de “*Frameworks Full Stack*”, como o Django e Springboot, que fornecem um modelo de arquitetura MVC (*Model-View-Controller*) e é mais indicado para desenvolver sistemas web do tipo REST (*Representation State Transfer*), que de modo simplificado é um sistema que disponibiliza ao usuário informações armazenadas em um banco de dados. No contexto atual, temos uma alta demanda por aplicações híbridas, que sejam acessadas tanto pela web quanto mobile, e neste contexto destaca-se a ferramenta Bootstrap, que disponibiliza ao desenvolvedor uma série de funcionalidades que permitem criar aplicações adaptáveis e que sejam utilizadas em celular, tablet, computador ou até mesmo monitor de TV, essa ferramenta é mais indicada para trabalhos com HTML5.

Neste cenário está inserido o Streamlit, que permite o desenvolvimento de uma aplicação web com conhecimento apenas do Python. Esse *framework* permite que o

desenvolvedor crie páginas interativas com funcionalidades visuais pré-programadas e solicitadas como funções do Python, além de simplificar o processo de implantação de uma aplicação, viabilizado pela Streamlit Cloud, que permite a implantação da aplicação por meio da manutenção de um repositório de desenvolvimento na nuvem (STREAMLIT, 2022). Para este trabalho, optou-se por utilizar como estrutura de código o Streamlit, uma vez que a comunicação entre o usuário e a base de dados se dá pela API do *GEE*, e considerando as facilidades no desenvolvimento de uma aplicação web.

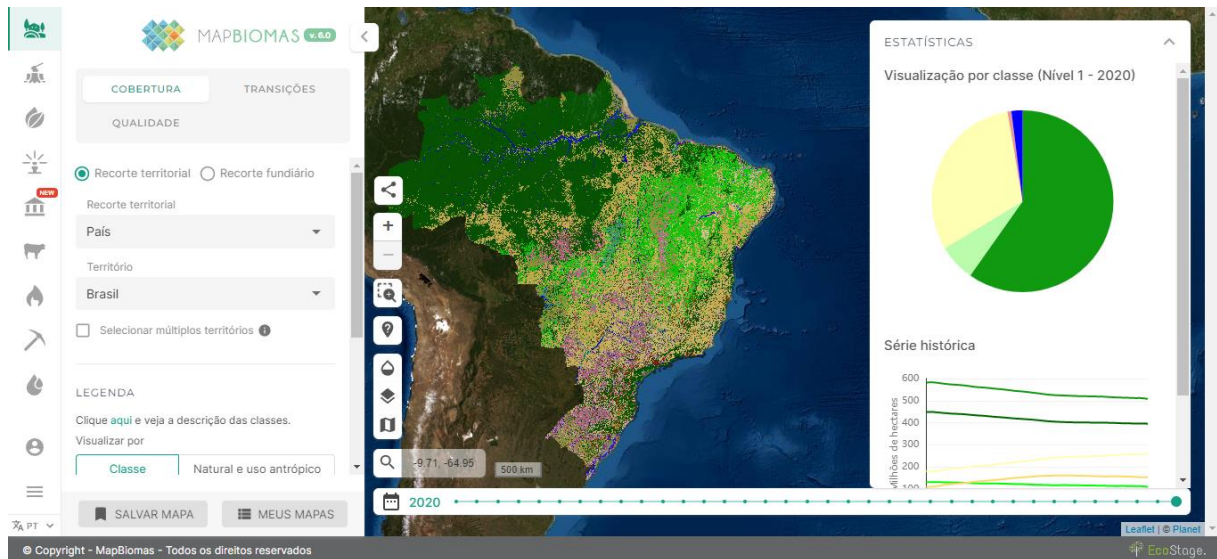
2.3.3 Outras plataformas web disponíveis

No contexto deste trabalho, destacam-se as plataformas MapBiomas e Brazil DataCube.

2.3.3.1 MapBiomas

O MapBiomas é um projeto multi-institucional que envolve universidades, organizações não governamentais e empresas privadas, com o objetivo de mapear periodicamente a cobertura do solo no país (MAPBIOMAS, 2022). Um dos objetivos do projeto é monitorar as mudanças na cobertura do solo. Todo o estudo do projeto é realizado através da computação em nuvem através do Google Earth Engine e envolve uma equipe multidisciplinar com especialistas em sensoriamento remoto, cientistas da computação e pesquisadores dos biomas do país.

FIGURA 1 - PLATAFORMA MAPBIOMAS



FONTE: Autor (2022)

2.3.3.2 Brazil Data Cube

O Brazil Data Cube é um projeto brasileiro de pesquisa e desenvolvimento coordenado pelo INPE (*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*). O projeto consiste em produzir e analisar grandes volumes de imagens de sensoriamento remoto, para isso o projeto modela os conjuntos de imagens como cubos de dados multidimensionais. O conjunto de imagens engloba todo território brasileiro. O projeto conta com uma plataforma computacional composta por *softwares* e ambientes de computação interativa. são utilizados algoritmos de IA (Inteligência artificial) e aprendizado de máquina, analisando séries temporais de imagens e produzindo mapas de uso e cobertura do solo a partir dos cubos de dados gerados.

FIGURA 2 - PLATAFORMA BRAZIL DATA CUBE



FONTE: Autor (2022)

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada uma revisão da literatura sobre o tema da detecção das alterações e a disponibilidade de recursos para implementação de aplicações web, o que permitiu estabelecer os materiais e métodos utilizados, os quais são apresentados nesta seção.

3.1 MATERIAIS

São apresentados os recursos utilizados para o projeto e implementação do sistema.

3.1.1 Modelagem

Para a modelagem do sistema, foram utilizados os seguintes recursos:

- *LucidChart*: Aplicativo web utilizado para construção de diagramas e fluxogramas;
- *OMT-G Designer*: Aplicativo web utilizado para construção do diagrama de classes espacial OMT-G;
- *Canva*: Plataforma web de designer gráfico utilizada para elaboração de figuras e edição de vídeos explicativos;

3.1.2 Implementação

Neste tópico são apresentados os recursos utilizados para o desenvolvimento do sistema, sendo eles:

- *Visual Studio Code (v.1.66.2)*: Ambiente de Desenvolvimento Integrado(IDE) é o *software* onde se desenvolvem as aplicações. O código é desenvolvido através de um editor de código-fonte, onde disponibiliza ao desenvolvedor algumas ferramentas úteis no processo de escrita do código, como: esquema de cores com destaque na sintaxe, preenchimento automático de recursos da linguagem específica e a conferência de bugs no momento da implementação. Esse *software* possibilita também economia de tempo na construção do código, com automatização de geração de código, eliminando a necessidade de digitar sequências inteiras de código, além de permitir uma organização do fluxo de trabalho.
- *Git (v.2.36.0)*: Sistema de Controle de Versão, utilizado para gerenciar alterações no código. A utilização do Git permite também que o trabalho seja realizado de forma mais rápida e inteligente mantendo registros sobre cada atualização no código. É uma ferramenta essencial para a implementação de um web aplicativo. Atualmente existem diversos sistemas de controle, sendo os mais conhecidos: Git, Mercurial, SVN e CVS;
- *GitHub (v.2.9.15)*: Plataforma de armazenamento de repositórios de código baseado em nuvem. Disponibiliza diversas ferramentas de controle e gestão de projetos e permite que o repositório seja compartilhado com outros desenvolvedores, facilitando a colaboração, onde desenvolvedores do mundo todo podem interagir e contribuir com o código do outro, além de servir como um portfólio para o profissional que atua nessa área, tornando o *GitHub* uma espécie de rede social para os desenvolvedores.
- *Streamlit Cloud*: Servidor Web utilizado para implantar a aplicação. Realiza a comunicação entre o *GitHub* e o *Streamlit Cloud*, permitindo que o código seja mantido no repositório do *GitHub*. Essa plataforma permite também o gerenciamento de acesso a aplicação, atualizações instantâneas e disponibiliza ferramentas de segurança de rede.

- *Streamlit (v1.5.0): Framework* de código aberto, que permite ao desenvolvedor criar aplicações da web apenas com conhecimento da linguagem de programação Python, sem a necessidade de conhecimento sobre front-end, back end, manipular rotas ou realizar solicitações e métodos HTTP.
- *Google Earth Engine API (v.0.1.296)*: O Google Earth Engine é uma plataforma utilizada por cientistas e organizações em pesquisas de sensoriamento remoto. Foi utilizado neste projeto a API, que disponibiliza acesso a algumas funcionalidades do sistema, algumas delas são: Processamento de dados na nuvem, acesso a coleções de imagens em território global, funções para processamento de imagens e espaço para armazenamento de dados.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Técnicas de detecção de mudanças

Com base na revisão da literatura realizada, foi possível estabelecer que, a abordagem que melhor se enquadra neste projeto é a detecção de mudança por abordagem algébrica, uma vez que permite automatizar o processo e são métodos de fácil implementação e interpretação. A seguir são apresentadas as técnicas utilizadas.

3.2.1.1 Diferença temporal de NDVI

O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), é a razão entre a diferença entre reflectâncias das bandas do infravermelho próximo e vermelho e pela soma das mesmas reflectâncias (Equação 4, Rouse et al., 1973).

$$NDVI = \frac{\rho_{Inear} - \rho_{red}}{\rho_{Inear} + \rho_{red}} \quad (1)$$

Segundo Caldeira et al (2015), o resultado de NDVI calculado resulta em um valor entre [-1:1], e a interpretação do valor se relaciona com a vegetação presente na imagem. Quanto mais o valor calculado se aproxima de 1, indica se que existe vegetação saudável na região e quanto mais próximo de -1, é um indicativo de que a

área corresponde a corpos d'água ou sombra. Valores próximos de 0 indicam que existe solo exposto ou construções, por exemplo (LIU, 2007).

São então calculados NDVIs para duas épocas distintas, e através da equação (2), calcula se a imagem de detecção:

$$NDVI_{detecção} = NDVI_{D2} - NDVI_{D1} \quad (2)$$

Assim como outras técnicas de detecção de mudanças, este método requer que seja realizado um pré-processamento das imagens para que ambas estejam comparáveis com relação ao tempo, sendo então aplicado a correção de atmosfera relativa nas imagens envolvidas no estudo (CALDEIRA ET AL, 2015).

3.2.2 Diferença temporal de NDWI

Segundo Pereira et al (2018), existem duas maneiras desenvolvidas para o cálculo do índice NDWI, onde:

“Apesar de possuir o mesmo nome, ressalta-se que o NDWI de Gao (1996) em uma definição diferenciada da apresentada por McFeeters. Como apresentado por Ji et al. (2009), embora o NDWI de McFeeters de Gao usem a mesma terminologia, os conceitos dos dois NDWIs são completamente diferentes. Na definição de Gao o NDWI é entendido como um método capaz de medir o teor de água líquida presente na vegetação. Ou seja, o método de McFeeters objetiva dar destaque ao delineamento de feições hídricas do terreno, enquanto o de Gao tem mais o propósito de acentuar a umidade presente na vegetação” (PEREIRA ET AL, 2018).

Através do modelo proposto por McFeeters (1996), calcula se o índice utilizando a faixa espectral que responde pela luz verde e o infravermelho próximo, desta forma é possível maximizar a reflectância de características da água, minimizar a baixa reflectância do infravermelho próximo em feições hídricas e aproveitar a alta

reflectância do infravermelho próximo nas feições de vegetação terrestre e do solo. A expressão proposta por McFeeters resulta em:

$$NDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{near}}{\rho_{green} + \rho_{near}} \quad (3)$$

De forma similar ao método de detecção por diferença de vegetação apresentado anteriormente, calcula-se NDWIs para duas épocas distintas, e através da equação (4), calcula-se a imagem de detecção:

$$NDWI_{detecção} = NDWI_{D2} - NDWI_{D1} \quad (4)$$

3.2.3 RCEN

Proposta por Maldonado et al. (2007), a técnica RCEN (*Radiometric Rotation Controlled by no change axis*), é fundamentada na regressão linear dos valores de radiometria dos locais de amostragem de não mudança. Utilizam-se os valores de ND (Número Digital) de duas imagens, uma na primeira data do período de detecção, outra na última data do período. Para a formação da equação de regressão dos pontos chamados de não mudança, é necessário o coeficiente angular da reta de regressão, obtida pela equação:

$$m = \tan(\theta) \quad (5)$$

Com isso, é necessário o valor de ND das imagens (I_{D1}, I_{D2}) e a origem de interceptação da reta O , e assim tem-se a equação de regressão dos pontos de não mudança, visto em Maldonado et al (2007):

$$I_{D2} = mI_{D1} + O \quad (6)$$

O parâmetro principal de rotação é o ângulo (θ) que é utilizado para obtenção da imagem residual (I_{res}) e da imagem de detecção ($I_{detecção}$), juntamente com os

valores digitais das imagens em I_{D1} , I_{D2} , através da equação (7) da transformação RCEN apresentada por Maldonado et al (2007).

$$\begin{pmatrix} I_{res} \\ I_{detecção} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{D1} \\ I_{D2} \end{pmatrix} \quad (7)$$

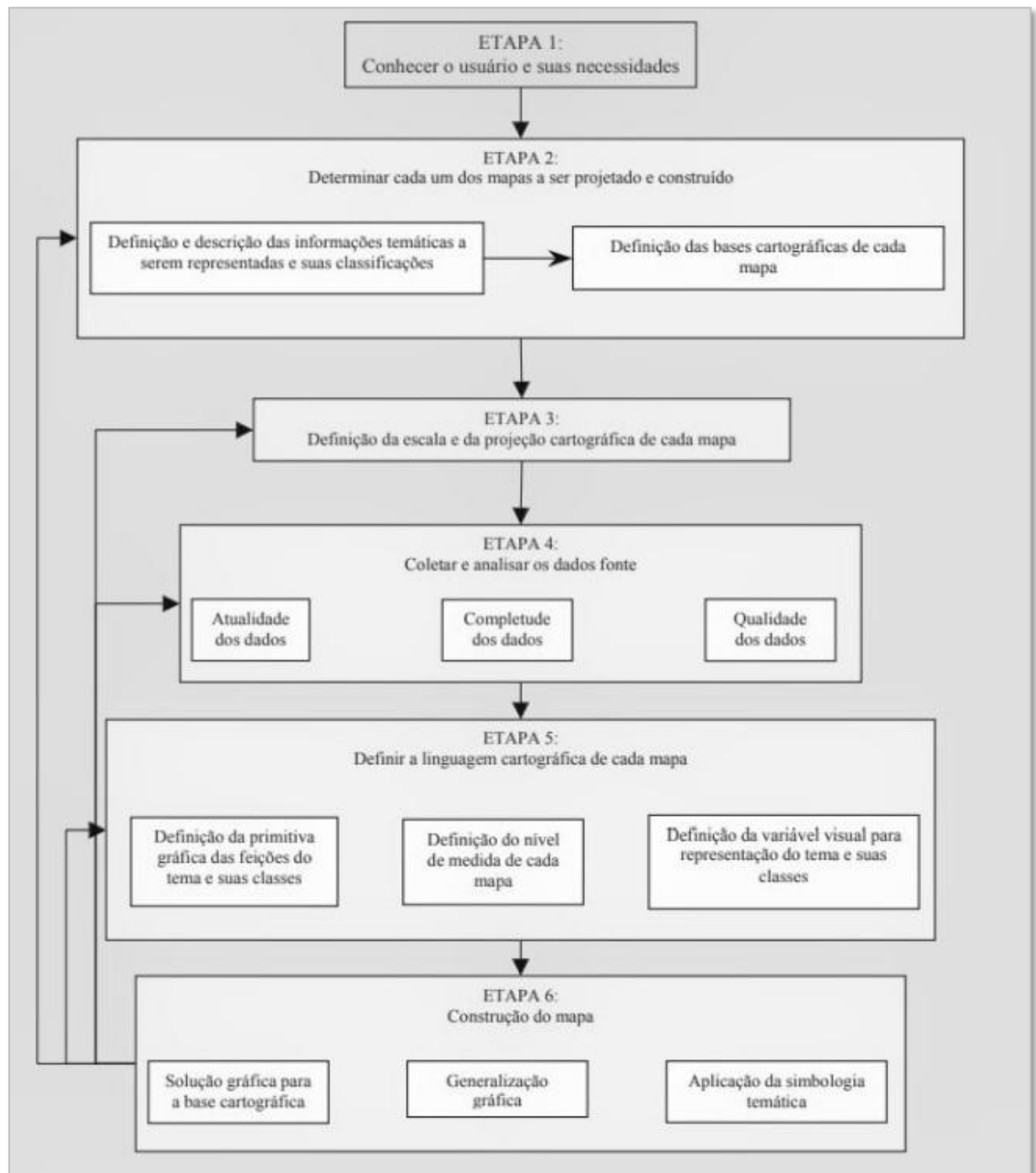
Segundo Caldeira et al (2018), a transformação RCEN representa em uma mesma banda espectral em datas diferentes, uma rotação de eixos ortogonais do espaço de valores radiométricos das imagens. A técnica resulta em duas imagens, sendo a imagem I_{res} não utilizada no processo de detecção. Para a obtenção da imagem $I_{detecção}$, que é a imagem de detecção de mudanças propriamente dita, pode se utilizar a equação que é dada por:

$$I_{detecção} = \cos \theta I_{D2} - \sin \theta I_{D1} \quad (8)$$

3.3 Projeto Cartográfico

Segundo Sluter (2008), o entendimento de que a criação e o uso de mapas são atividades integrantes de um mesmo processo chamado de comunicação cartográfica e que sua eficácia depende da percepção visual, alterou a forma de realização do projeto cartográfico. Na abordagem da autora, as etapas do projeto cartográfico devem seguir a sistemática definida na figura 7.

FIGURA 3 - SISTEMÁTICA DE PROJETO CARTOGRÁFICO



FONTE: Sluter (2008).

Seguindo a abordagem proposta por Sluter, neste estudo, foram elaborados quadros e tabelas contendo as informações de cada etapa dessa sistemática.

(1) Usuário e suas necessidades:

Dentre as plataformas disponíveis para a realização de análises com imagens de satélite, verificou-se a existência de uma grande quantidade de dados, que muitas vezes ao usuário iniciante são informações em excesso. Além disso, constatou-se a carência de disponibilização de informações acerca da metodologia empregada nas operações dentro das plataformas. Com isso decidiu-se focar em desenvolver uma página com vídeos explicativos sobre a metodologia para o tipo de usuário acadêmico ou para o profissional que não é especialista na área. Futuramente pretende-se desenvolver outras funcionalidades estatísticas na plataforma, bem como outros métodos e operações com imagens de satélite, para abranger mais categorias de usuários.

QUADRO 1 - USUÁRIOS E SUAS NECESSIDADES

<p>Usuários: Estudante de graduação, profissionais das áreas (Eng. Cartográfica, Arquitetura e Urbanismo, Geografia, Eng. Ambiental, Eng. Florestal), pessoas interessadas no assunto.</p> <p>Necessidades: Para esse núcleo de usuários, é interessante compor o mapa de detecção de mudanças com camadas adicionais, complementando a</p>

FONTE: Autor (2022).

(2) Tipo de mapa e dados:

Determinou-se se as informações a serem utilizadas no mapa, podendo ser dados temáticos ou de referência, com base nos possíveis interesses do usuário.

TABELA 1 - DADOS DO MAPA

Camada	Descrição	Tipo	Abrangência
Base cartográfica OSM	Mapa de referência	WMS	Mundial
Endereço Geocodificado	Endereço digitado pelo usuário	Vetorial	Local
Área de interesse	Área de interesse do usuário	Vetorial	Local
Imagem Landsat	Imagens das épocas utilizadas	Raster	Área de interesse do usuário

Imagem Detecção de mudança	Produto dos métodos de detecção de mudança empregados	Raster	Área de interesse do usuário
Hidrografia	Massas D'água	Vetorial	Nacional
Limite Municipal	Limite dos municípios do	Vetorial	Nacional

FONTE: Autor (2022).

(3) Escala e projeção:

A partir da determinação das informações a serem inseridas no mapa, permitiu a determinação da escala e da projeção cartográfica a ser utilizada. Um mapa web, possui um zoom que varia de [0:19], onde zero representa o mundo completo e dezenove representa o nível mais baixo e com maior grau de detalhamento da região (LEAFLET, 2022). Com isso, a partir de testes foi definido que, ao entrar na página, o mapa mostrado utilizará o nível 3 de zoom, centralizando na América do Sul.

Ao geocodificar um endereço, foi definido através de testes a utilização do nível 14 de zoom. A projeção cartográfica utilizada no mapa base do *OpenStreetMap* é a Web Mercator. Definido também o nível máximo e mínimo que o usuário pode utilizar nos mapas temáticos.

TABELA 2 - Zoom das camadas

Mapa	Zoom
Mapa inicial	3
Mapa Geocodificação	14
Mapa Detecção	13
Máximo	11
Mínimo	15

FONTE: Autor (2022).

(4) Coleta e análise de dados:

Com isso, realiza-se a pesquisa, coleta, armazenamento e análise dos dados, verificando sua integridade, atualidade e qualidade.

TABELA 3 - CAMADAS E FONTES

Camada	Fonte
Endereço Geocodificado	Usuário
Área de interesse	Usuário
Hidrografia	ANA
Limite Municipal	IBGE

FONTE: Autor (2022).

Com relação a camada de limite municipal, foi realizada uma união dos arquivos disponíveis no site do IBGE, de forma a unificar em um único arquivo todos os municípios brasileiros.

Com relação às imagens, neste projeto optou-se por utilizar a coleção de imagens da missão Landsat 8. O sensor embarcado nos satélites dessa missão, possuem as seguintes características:

TABELA 4 - INFORMAÇÕES DO LANDSAT 8

Banda	Descrição	Resolução	Comprimento de Onda
B1	<i>Coastal aerosol</i>	30 metros	0.43 - 0.45 μm
B2	Azul	30 metros	0.45 - 0.51 μm
B3	Verde	30 metros	0.53 - 0.59 μm
B4	Vermelho	30 metros	0.64 - 0.67 μm
B5	Infravermelho próximo	30 metros	0.85 - 0.88 μm
B6	Infravermelho de ondas curtas I	30 metros	1.57 - 1.65 μm
B7	Infravermelho de ondas curtas II	30 metros	2.11 - 2.29 μm
B8	Pancromática	15 metros	0.52 - 0.90 μm
B9	<i>Cirrus</i>	15 metros	1.36 - 1.38 μm
B10	Infravermelho térmico I, reamostrado de 100m para 30m	30 metros	10.60 - 11.19 μm
B11	Infravermelho térmico II, reamostrado de 100m para 30m	30 metros	11.50 - 12.51 μm

FONTE: Autor (2022).

O identificador da coleção utilizada é: "LANDSAT/LC08/C01/T1_RT_TOA" e segundo o Google Earth Engine (2022), se trata de uma coleção de nível I com reflectância de topo da atmosfera (TOA) calibrada com dados em tempo real, ainda

segundo a plataforma o modelo utilizado para a calibração realizada é o modelo empregado por Chander et al. (2009).

TABELA 5 - INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DO LANDSAT 8





Resolução Temporal	16 dias
Área Imageada	170 x 183 km
Resolução Radiométrica	16 bits
Disponibilidade	18/03/14 até o presente

FONTE: Autor (2022).

(5) Linguagem cartográfica:

Uma das etapas fundamentais no desenvolvimento de um projeto cartográfico é a definição da simbologia dos elementos do mapa, que devem intercomunicar, ressaltando o produto de maior interesse. Neste caso, como o intuito é verificar as mudanças nas imagens, a simbologia adotada na primitiva gráfica polígono foi idealizada sem preenchimento, para apenas delimitar as feições no mapa.

TABELA 6 - SIMBOLOGIA PARA CADA CAMADA

Camada	Primitiva gráfica	Simbologia
Endereço Geocodificado	Ponto	
Área de interesse	Polígono	
Hidrografia	Polígono	
Limite Municipal	Polígono	

FONTE: Autor (2022).

(6) Construção do mapa:

O mapa finalizado pode ser encontrado nos resultados, onde foram elaborados diversos exemplos.

3.4 Projeto do Sistema

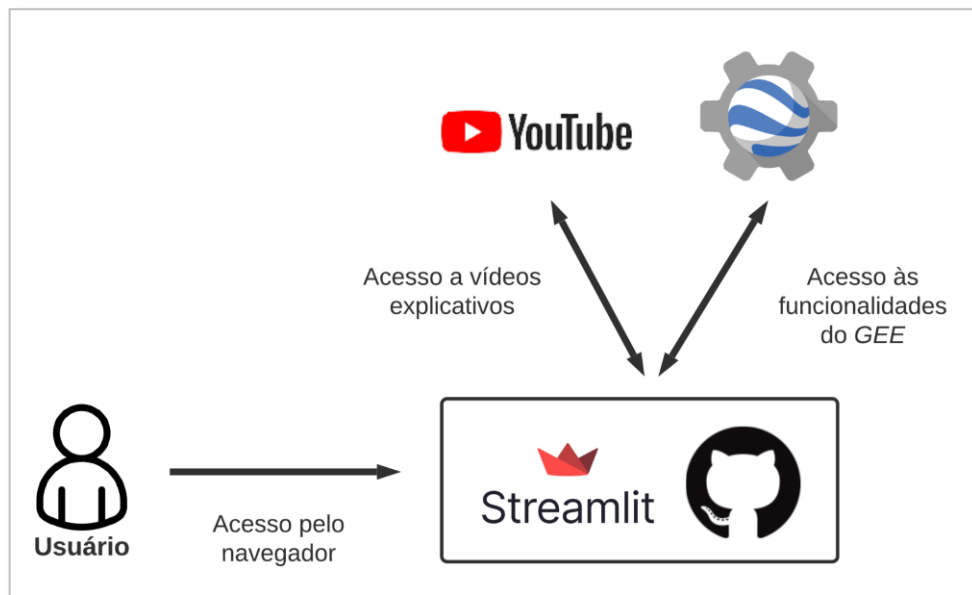
Para documentar as fases de desenvolvimento do sistema, utiliza-se a *UML(Unified Modeling Language)* ou Linguagem Unificada de Modelagem. A *UML* se trata de uma linguagem utilizada para orientar e documentar as fases do desenvolvimento, sendo um guia essencial para o desenvolvimento de projetos de sistemas. Uma vez que já definido os recursos a utilizar, pode-se realizar o mapeamento dos elementos do sistema, comunicação entre eles, processos e comportamentos. Nesta seção é apresentado a definição de usuário e a arquitetura do sistema através de um conjunto de modelos gráficos.

3.4.1 Arquitetura do sistema

A arquitetura de um sistema é a estrutura principal sob a perspectiva dos elementos que compõem esse sistema, ou seja, sua infraestrutura, sendo apresentados: interações, processos, restrições e comportamentos.

O usuário do sistema utilizará a aplicação web através de um navegador, visualizada pela estrutura do Streamlit, onde será requisitado ao servidor a estrutura do código, que se encontra em repositório no GitHub. O programa implementado utiliza uma *API* para acessar as funcionalidades do Google Earth Engine e realiza o acesso ao link de vídeos hospedados no Youtube através de função nativa do *Streamlit*. Abaixo pode ser o modelo entre as componentes do sistema.

FIGURA 4 - ARQUITETURA DO SISTEMA



FONTE: Autor (2022)

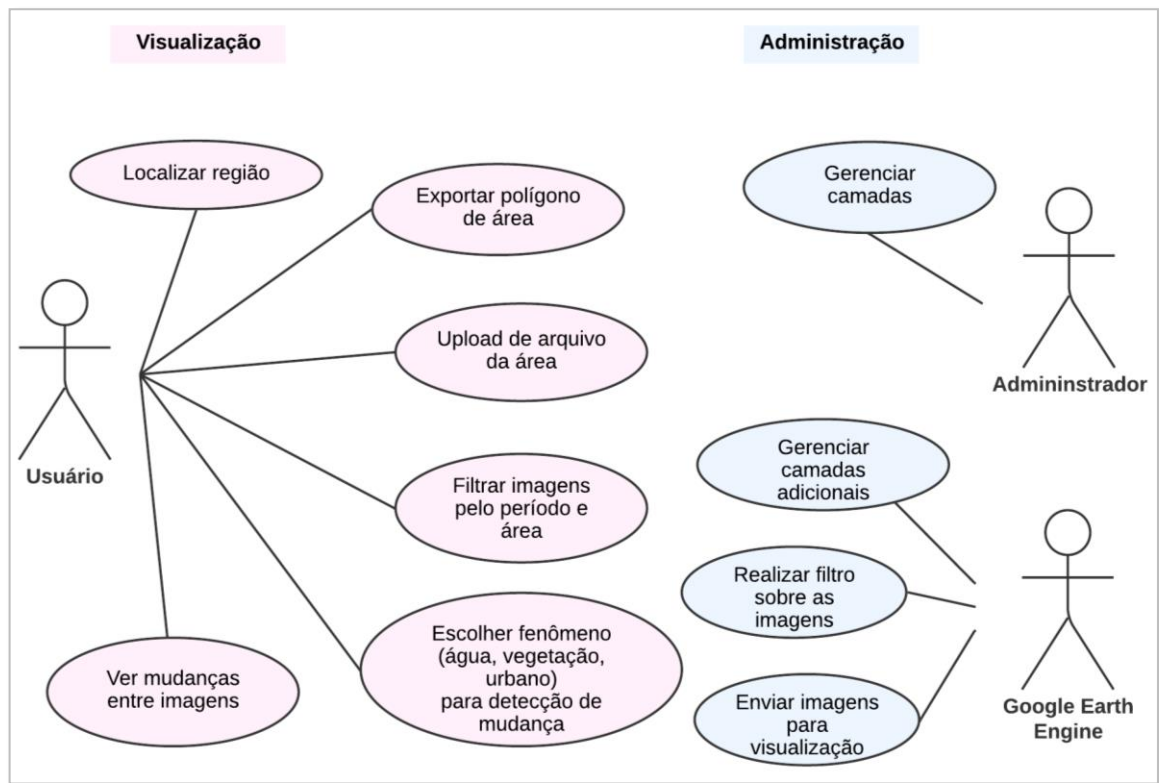
3.4.2 Diagrama de Casos de Uso

Esse diagrama documenta o sistema do ponto de vista do usuário, ou seja, descreve as principais funcionalidades do sistema e interações que ocorrem entre sistema e usuário. É composto pelas seguintes partes:

- Ator: Tipos de usuários que interagem no sistema, podendo existir mais de um usuário;
- Cenário: Ocorrência após a interação do usuário com o sistema;
- Caso de Uso: Funcionalidade realizada pelo usuário;
- Comunicação: Ligação entre o ator e o Caso de Uso;

Na figura a seguir é possível visualizar o diagrama de Caso de Uso para a aplicação web.

FIGURA 5 - DIAGRAMA DE CASOS DE USO



FONTE: Autor (2022).

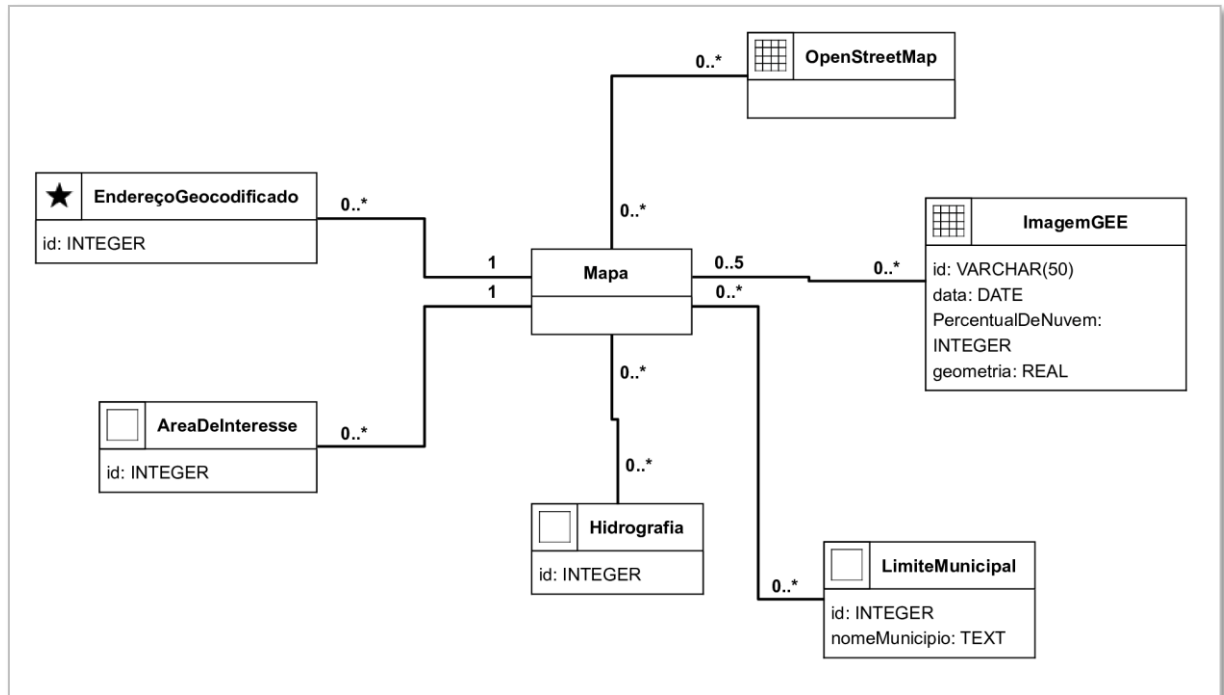
Os atores são um usuário geral, o administrador e o *GEE*, que interagem com o sistema de maneira distinta. O usuário pode realizar a localização de uma região através da geocodificação, desenhar e exportar um polígono através de ferramenta no mapa, realizar o upload de um arquivo de área e através do filtro de imagens pela geometria e data inseridas, visualizar a imagem de detecção de mudança através da seleção em uma lista que contém as camadas que podem compor o mapa.

3.4.3 Diagrama de classes espacial (OMT-G)

O diagrama de classes é um tipo de diagrama que representa a estrutura do sistema, pois relata os componentes que devem estar presentes no sistema. Os componentes desse diagrama, representam as classes modeladas, objetos e/ou interações entre classes e objetos, que serão programados. O diagrama OMT-G, é

um diagrama derivado do diagrama de classes, sendo ele uma edição de classes e relacionamentos espaciais ao modelo tradicional UML.

FIGURA 6 - DIAGRAMA DE CLASSES OMT-G



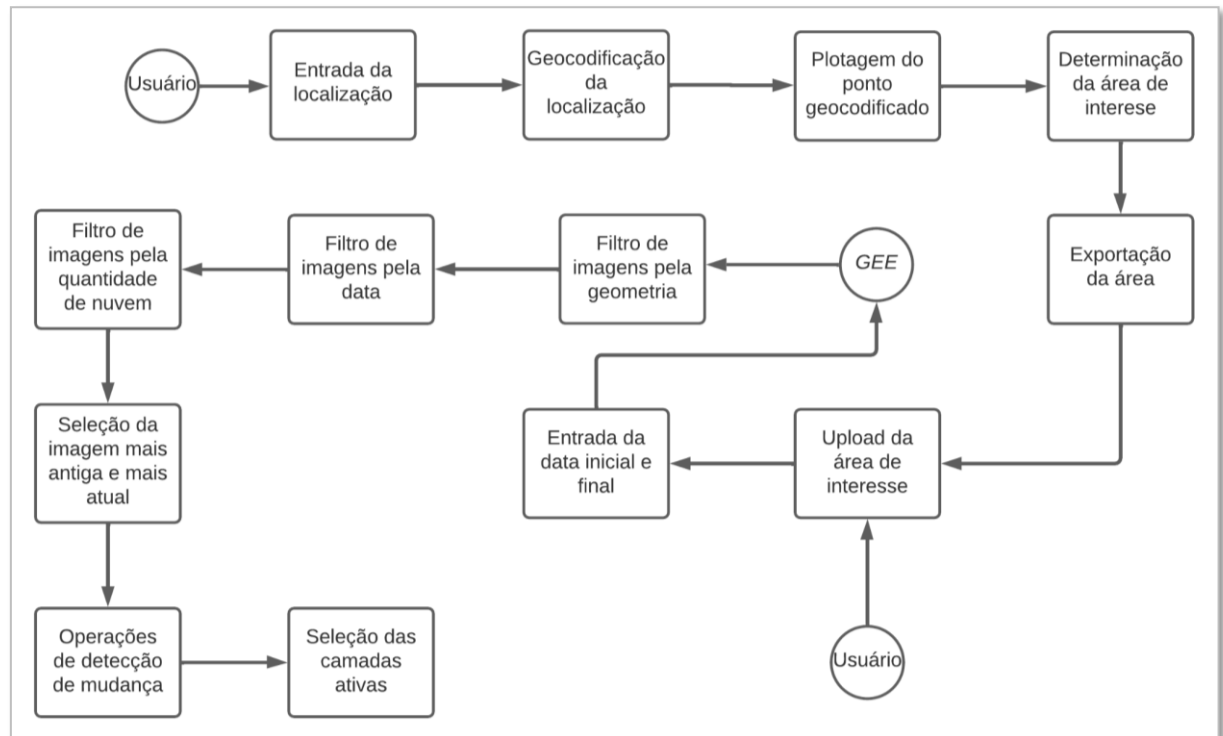
FONTE: Autor (2022).

Na figura (5), pode se observar os elementos que compõem o mapa, sendo eles o endereço Geocodificado que é gerado no sistema através de entrada de localização pelo usuário, a área de interesse que é definida pelo usuário, as camadas de hidrografia e limites municipais que são camadas complementares no mapa, as imagens provenientes do GEE e o mapa base do OpenStreetMap.

3.4.4 Fluxograma de interações do usuário

Este modelo relaciona um fluxo de interação do usuário com o sistema, onde o usuário pode iniciar a operação de detecção de mudança de duas formas, inserindo uma localização para aproximar o mapa ou inserindo um arquivo geojson com a área já definida anteriormente.

FIGURA 7 - FLUXOGRAMA DE INTERAÇÃO COM O USUÁRIO



FONTE: Autor (2022).

O fluxograma mostra as filtragens realizadas no sistema através dos parâmetros selecionados pelo usuário, sendo realizado filtro sobre a coleção de imagens do Landsat 8. O filtro inicial gera uma lista de identificadores contendo todas as imagens que intersectam a geometria inserida pelo usuário e após isso é realizado o filtro das imagens contidas dentro do período indicado pelo usuário e por fim, realiza-se o filtro por quantidade de nuvem, parâmetro este que foi fixado. O produto destes filtros é uma lista de identificadores das imagens, onde o algoritmo ordena a lista pela data e seleciona o primeiro e último item correspondente dessa lista. Com os identificadores das imagens, são realizadas então as operações com as imagens e geração do produto delas.

3.5 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

A estrutura do sistema foi implementada utilizando o Visual Studio como já mencionado, e nas figuras a seguir, podem ser visualizados trechos de código desenvolvidos para a aplicação.

FIGURA 8 - TRECHO DE CÓDIGO UTILIZADO NA PÁGINA INICIAL.

```

29 def inicio():
30
31     st.markdown("""<h5 style='text-align: justify; color: #31333F;'>
32     O que é:</h5>
33     """, unsafe_allow_html=True)
34
35     st.markdown("""<p style='text-align: justify; color: #31333F;'>
36     Detector de Mudanças é uma ferramenta que permite detectar mudanças na superfície da Terra através de imagens orbitais,
37     onde é possível detectar alterações entre duas épocas distintas de sua escolha.
38     </p>
39     """, unsafe_allow_html=True)
40
41
42
43     st.markdown("""<h6 style='text-align: justify; color: #31333F;'>
44     ✨ Disponível técnicas de detecção de mudanças para os seguintes fenômenos:
45     </h6>
46     """, unsafe_allow_html=True)
47     col01, col02, col03 = st.columns([1, 1, 1])
48     with col01:
49         # plot_image('vegetacao')
50         vegetacao = Image.open("./data/thumbnails/veg.png")
51         st.image(vegetacao, use_column_width=True)
52         with st.expander('Saber mais'):
53             st.markdown("Técnica de detecção por diferença de (NDVI)")
54             st.video("https://youtu.be/Vv09DKTAI20")
55

```

FONTE: Autor (2022).

A figura (8), apresenta um trecho do código implementado para a página inicial da aplicação.

FIGURA 9 - FUNÇÃO IMPLEMENTADA PARA GEOCODIFICAÇÃO.

```

12 def geolocator(keyword):
13     """
14     Esta função retorna um marcador para a aplicação.
15     """
16     if keyword:
17         locations = geemap.geocode(keyword)
18         if locations is not None and len(locations) > 0:
19             str_locations = [str(g)[1:-1] for g in locations]
20             location = st.selectbox("Selecione o local desejado:", str_locations)
21             loc_index = str_locations.index(location)
22             selected_loc = locations[loc_index]
23             lat, lon = selected_loc.lat, selected_loc.lng
24             marker = folium.Marker(location=[lat,lon],
25                                   popup=location,
26                                   icon=folium.Icon(color='red',
27                                                     icon='info-sign'))
28             if marker is not None:
29                 return marker, lon, lat

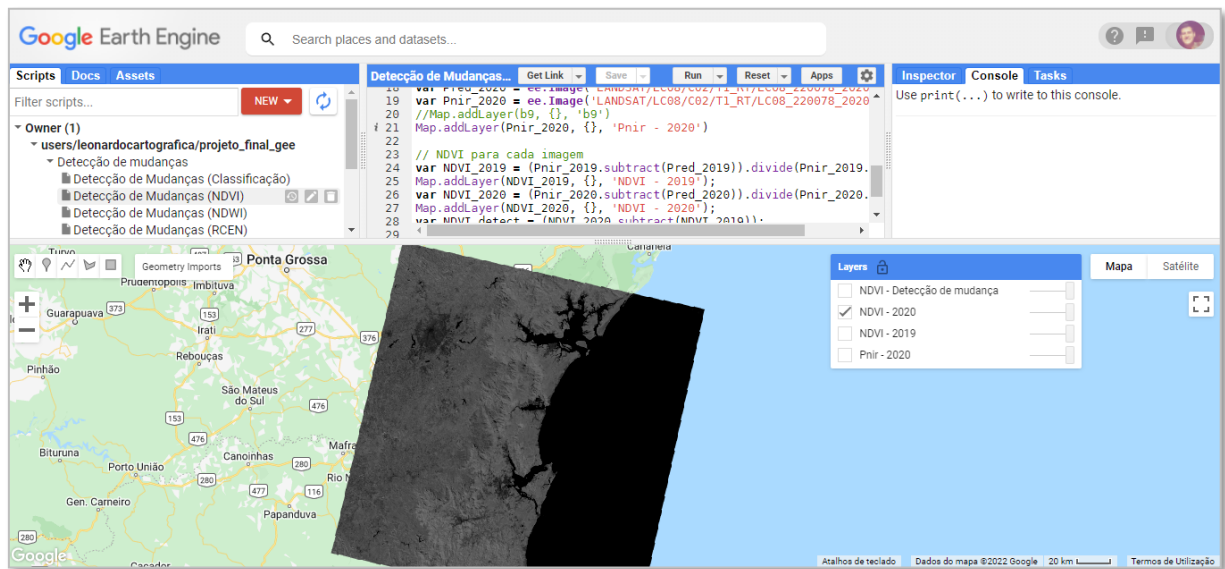
```

FONTE: Autor (2022).

A figura (9) apresenta uma função implementada para a realização da geocodificação de um endereço digitado pelo usuário, retornando um marcador com as coordenadas.

A implementação do código para a detecção de mudança foi realizada na plataforma do GEE, onde foram realizados testes de visualização na plataforma para validar a implementação.

FIGURA 10 - TESTES REALIZADOS NA PLATAFORMA DO GEE.



FONTE: Autor (2022).

Na figura anterior, observa-se a cena selecionada e transformada em NDVI para o ano de 2020.

A figura (11) apresenta a implementação das equações (1,2,3 e 4), utilizando funções algébricas do GEE e pode-se observar as bandas utilizadas nas técnicas de detecção também.

FIGURA 11 - CÓDIGO IMPLEMENTADO PARA AS DETECÇÕES DE MUDANÇA.

```

# Detecção de mudanças NDVI
Pnir0 = ee.Image(img0).select('B5')
red0 = ee.Image(img0).select('B2')
Pnir1 = ee.Image(img1).select('B5')
red1 = ee.Image(img1).select('B2')
NDVI_0 = (Pnir0.subtract(red0)).divide(Pnir0.add(red0))
NDVI_1 = (Pnir1.subtract(red1)).divide(Pnir1.add(red1))
NDVI_detect = (NDVI_1.subtract(NDVI_0))

# Detecção de mudanças NDWI
green0 = ee.Image(img0).select('B3')
green1 = ee.Image(img1).select('B3')
NDWI_0 = (green0.subtract(Pnir0)).divide(green0.add(Pnir0))
NDWI_1 = (green1.subtract(Pnir1)).divide(green1.add(Pnir1))
NDWI_detect = (NDWI_1.subtract(NDWI_0))

```

FONTE: Autor (2022).

4 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos na implementação do sistema de detecção de mudanças.

4.1 DESIGN DA PLATAFORMA

Para a definição do símbolo para representar o projeto, foi idealizado uma solução que remete aos recursos utilizados no projeto, a utilização da engrenagem ao redor de um globo terrestre faz alusão ao *GEE*, a lupa relaciona a análise, pesquisa e detecção. A figura (10) apresenta o símbolo construído para o projeto.

FIGURA 12 - LOGO DO PROJETO



FONTE: Autor (2022).

O cabeçalho da aplicação foi definido de forma a englobar o menu à esquerda, contendo as páginas: Inicial, detecção de mudança e sobre. Ao centro foi inserido um texto fazendo referência à finalidade da aplicação. Este cabeçalho faz parte de todas as páginas da aplicação.

4.1.1 Página 'inicial'

Na página inicial são encontradas informações acerca do propósito da plataforma, suas funcionalidades, descrevendo as técnicas utilizadas para detecção de mudanças de alguns fenômenos, informações sobre o projeto e explicações em forma de vídeos elaborados para orientar o usuário.

FIGURA 13 - PÁGINA INICIAL

Menu --

Selecione a página:

Página Inicial

Detecção de Mudança

Sobre

APLICAÇÃO WEB PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE IMAGENS DE SATÉLITE



O que é:

Detector de Mudanças é uma ferramenta que permite detectar mudanças na superfície da Terra através de imagens orbitais, onde é possível detectar alterações entre duas épocas distintas de sua escolha.

Disponível técnicas de detecção de mudanças para os seguintes fenômenos:



Saber mais +



Saber mais +



Saber mais +

Sobre o projeto

Este é um projeto desenvolvido como trabalho de conclusão de curso da Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, da Universidade Federal do Paraná. O objetivo da aplicação é disponibilizar ao usuário uma plataforma para detectar mudanças a partir de uma série temporal de imagens através do processamento de imagens em nuvem no Google Earth Engine e pode ser utilizado por alguém que deseje mapear mudanças entre épocas ou para uso educacional.

Página do Curso: [Eng. Cart. e de Agrim - UFPR](#)

Instituição



Vídeos:

Ver mais +

Esta aplicação utiliza as ferramentas:



GitHub



Streamlit



Google Earth
Engine

FONTE: Autor (2022).

Ao clicar no item 'Saber mais', são mostrados vídeos explicativos, que se encontram hospedados no youtube.

FIGURA 14 - "SABER MAIS"



FONTE: Autor (2022).

4.1.2 Página 'Detecção de Mudança'

Essa página é a aplicação propriamente dita, onde o usuário pode interagir com as funções estabelecidas no sistema, com o objetivo de realizar a detecção de mudanças.

FIGURA 15 - PÁGINA PRINCIPAL DA APLICAÇÃO

Menu

Selecione a página:

Página Inicial

Detecção de Mudança

Sobre

APLICAÇÃO WEB PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE IMAGENS DE SATÉLITE



Esta ferramenta permite que seja realizado a detecção de mudanças em uma área de interesse do usuário:

Para isso, siga o passo a passo ao lado ->

Digite o nome do local:

Curitiba

Selecione o local desejado:

Curitiba, Paraná

Selecione a data (inicial):

2019/01/01

Selecione a data (final):

2022/04/22

Quantidade de Imagens disponíveis nesse período:

O satélite faz a revisita a cada 16 dias e existe uma filtragem de nùvens, portanto a depender do período definido, pode ser encontrado uma baixa quantidade de imagens. As datas de imagens com visibilidade na região mais próximas do período definido são:

- 18/04/2019
- 25/05/2021

Selecione as camadas para carregar no mapa:

Choose an option

- 1 - Digite a localização para centralizar o mapa:
- 2 - Desenhe a área de interesse no mapa:
- 3 - Exporte a área de interesse :
- 4 - Faça o Upload do arquivo Geojson gerado :

... Siga os passos a esquerda.

Faça upload do arquivo com a área desejada:

Drag and drop file here

Limit 200MB per file • GEOJSON

Browse files

✓ Área carregada com sucesso



Informação sobre os dados do mapa: +

- Regiões com tom mais claro são áreas onde **houve** mudança.
- Regiões com tom mais escuro são áreas onde **não houve** mudança.

FONTE: Autor (2022).

4.1.3 Página 'Sobre'

Esta página foi desenvolvida para apresentar informações acerca do projeto, apresentando links para o GitHub e para o LinkedIn, possibilitando ao usuário, o contato com o desenvolvedor.

FIGURA 16 - PÁGINA "SOBRE"



FONTE: Autor (2022).

4.1.4 Recursos adicionais

Para facilitar o uso, compartilhamento e entendimento da aplicação, foram elaborados alguns recursos adicionais como vídeos e figuras. Abaixo pode ser visualizado o QR code para acesso a aplicação.

FIGURA 17 - QR CODE - DETECTOR DE MUDANÇAS

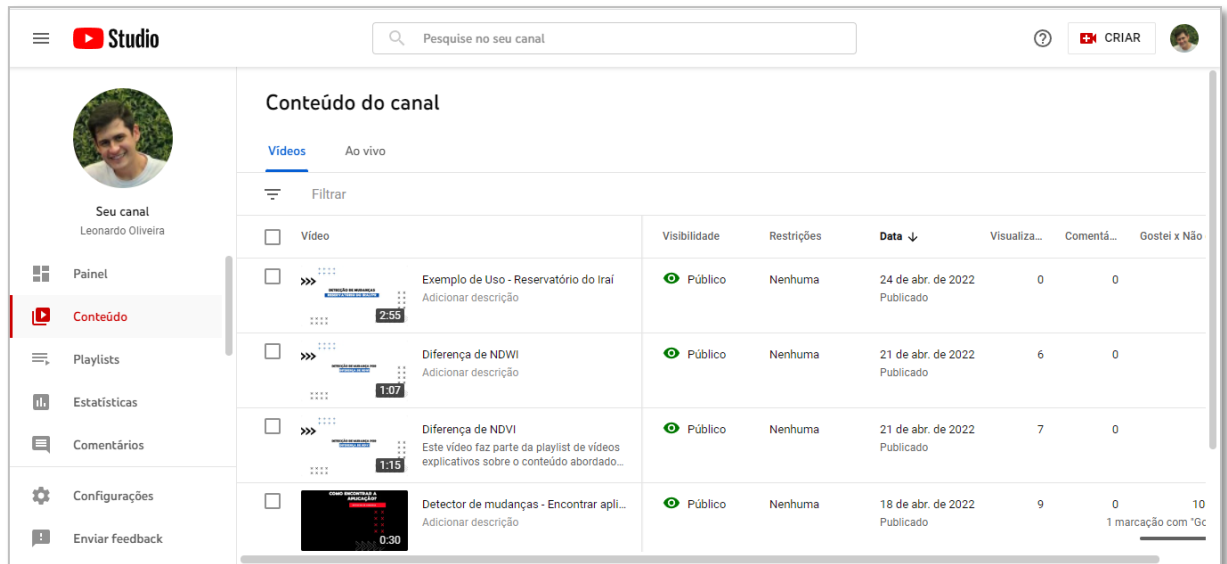


FONTE: Autor (2022).

Para atingir um dos objetivos educacionais do projeto, foram elaborados vídeos que abordam o conteúdo da plataforma desenvolvida, desde sua implementação, até a explicação dos métodos empregados e tutoriais de como utilizar a plataforma. Para

isso, os vídeos foram organizados em um canal no Youtube e disponibilizados através de uma lista de reprodução. Cada vídeo pode ser visualizado na própria plataforma Detector de Mudanças ou então, acessado via plataforma do Youtube.

FIGURA 18 - LISTA DE REPRODUÇÃO NO YOUTUBE



Video	Visibilidade	Restrições	Data ↓	Visualiza...	Comentá...	Gostei x Não
Exemplo de Uso - Reservatório do Iraí Adicionar descrição	Público	Nenhuma	24 de abr. de 2022 Publicado	0	0	
Diferença de NDWI Adicionar descrição	Público	Nenhuma	21 de abr. de 2022 Publicado	6	0	
Diferença de NDVI Este vídeo faz parte da playlist de vídeos explicativos sobre o conteúdo abordado...	Público	Nenhuma	21 de abr. de 2022 Publicado	7	0	
Detector de mudanças - Encontrar apli... Adicionar descrição	Público	Nenhuma	18 de abr. de 2022 Publicado	9	0	10 1 marcação com 'Gc'

FONTE: Autor (2022).

A figura a seguir indica o QR code para a *URL* da lista de reprodução do Youtube criada.

FIGURA 19 - QR CODE - LISTA DE REPRODUÇÃO NO YOUTUBE



FONTE: Autor (2022).

A tabela a seguir contempla as *URLs* resultantes do projeto.

TABELA 7 - LINKS IMPORTANTES

Descrição	URL
Aplicação	https://share.streamlit.io/leleoics/projeto_final/main/app.py
Repositório GitHub	https://github.com/leleoics/projeto_final.git
Lista de reprodução	https://youtube.com/playlist?list=PLdNRvN6Fa-UYrb87L6zi6-jJcLwE0_MYH

FONTE: Autor (2022).

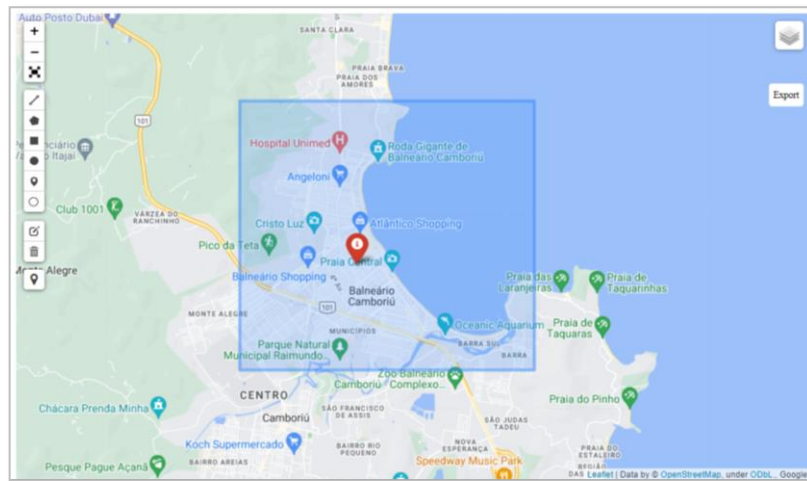
4.2 EXEMPLOS DE USO

Nesta seção são apresentados alguns exemplos de uso do sistema para detecção de mudanças em aplicações específicas.

4.2.1 Monitoramento de mudanças na orla

Durante o ano de 2021, uma grande obra de engenharia foi realizada na orla da praia de Balneário Camboriú a obra de alargamento da faixa de areia na cidade, um projeto da década de 90 que, porém, só foi colocado em prática no ano de 2021 (CNN Brasil, 2021). Uma das razões do porquê de a obra ter sido realizada é pelo fato de a cidade comportar muitos arranha-céus, o que fazia com que a faixa de areia passasse boa parte do dia coberta por sombra. Com a obra a faixa de areia quase triplicou de dimensão, passando de 25 para 70 metros. Acessando o sistema Detector de mudanças, pode se definir a área de interesse no entorno da orla de Camboriú, como visualizado na figura a seguir:

FIGURA 20 – EXEMPLO DE DEMARCAÇÃO DE ÁREA DE INTERESSE



FONTE: Autor (2022).

A partir dessa área, o sistema filtra as imagens Landsat 8 que se encontram dentro dessa geometria. Com isso o sistema solicita ao usuário que seja inserido o intervalo de data desejado e a partir disso existe outro filtro sobre as imagens carregadas anteriormente, selecionando delas as que se encontram dentro desse intervalo de datas. O sistema realiza uma última filtragem por condição de nuvem, selecionando as imagens que possuem uma baixa quantidade de nuvens. Abaixo podemos observar os parâmetros definidos neste estudo.

FIGURA 21 – PARÂMETROS DEFINIDOS NO SISTEMA

✓ Área carregada com sucesso

Selecione a data (inicial):

Selecione a data (final):

Quantidade de Imagens disponíveis nesse período:

O satélite faz a revisita a cada 16 dias e existe uma filtragem de núvens, portanto a depender do período definido, pode ser encontrado uma baixa quantidade de imagens. As datas de imagens com visibilidade na região mais próximas do período definido são:

- 04/04/2020
- 28/07/2021

Selecione as camadas para carregar no mapa:

DM - Água

Informação sobre os dados do mapa:

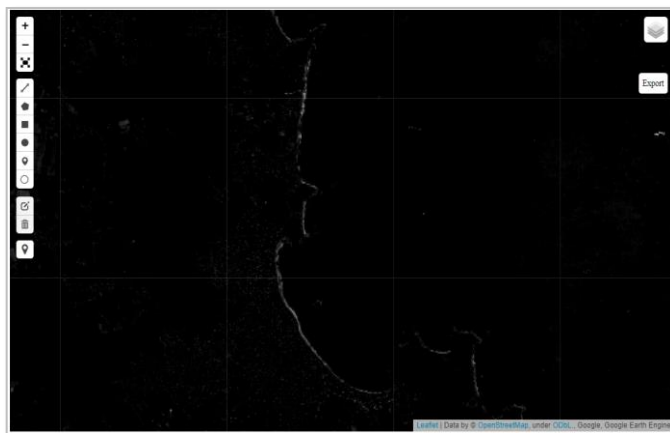
Regiões com tom mais claro são áreas onde **houve** mudança.

Regiões com tom mais escuro são áreas onde **não** houve mudança.

FONTE: Autor (2022).

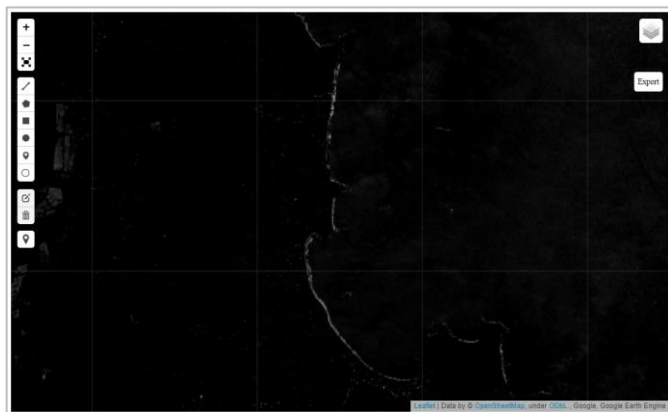
A partir dos parâmetros definidos anteriormente, o sistema seleciona as imagens mais antigas disponíveis deste intervalo e realiza o método de detecção de mudança. As regiões mais escuras indicam que não houve mudança de uma imagem para outra, enquanto as áreas mais claras indicam mudança, neste caso do índice da água. Abaixo podemos observar figuras do produto gerado para diferenciação de NDWI e NDVI respectivamente.

FIGURA 22 - DIFERENÇA DE NDWI NA ORLA DE B.C



FONTE: Autor (2022).

FIGURA 23 - DIFERENÇA DE NDVI NA ORLA DE B.C



FONTE: Autor (2022).

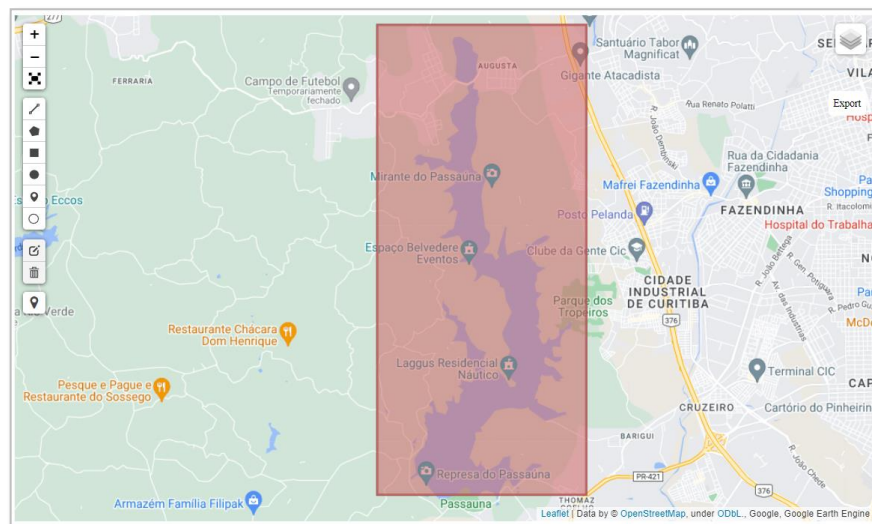
Como a obra na orla é recente tendo em vista o período das imagens, e que o sistema realiza diversos filtros nas imagens, a imagem mais nova que se conseguiu da região foi do período de 28 de agosto, período este que se dava o início das obras na região, portanto espera se que ao longo do ano de 2022, com a possibilidade de

filtrar imagens mais atuais, a diferença seja mais clara entre a imagem com a orla no estado antigo e no estado reformado. Contudo, nota-se a importância de entender os fenômenos que causam o processo erosivo nas faixas de areia das praias.

4.2.2 Reservatórios de água

O sistema implementado pode ser utilizado na detecção de mudanças nos entornos dos reservatórios de água, para isso foram realizados testes nos reservatórios do SAIC, utilizando o período de estiagem. Abaixo pode ser visualizado um exemplo realizado com o reservatório do Passaúna.

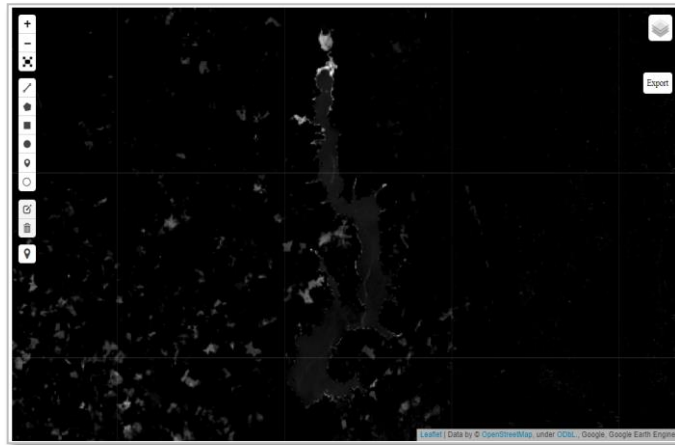
FIGURA 24 - ÁREA DE INTERESSE, RESERVATÓRIO PASSAÚNA



FONTE: Autor (2022).

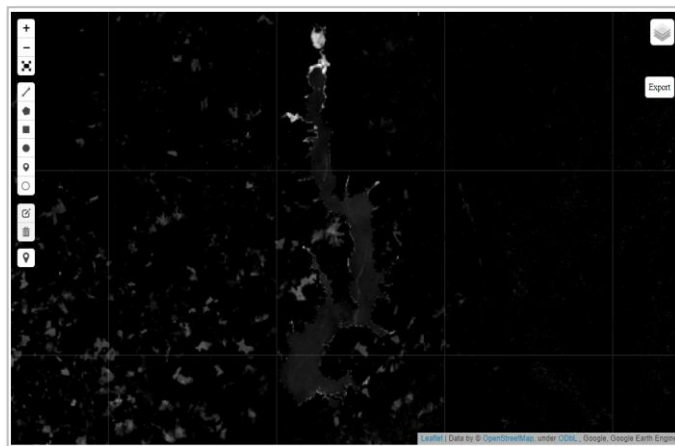
As figuras a seguir mostram o resultado da detecção de mudanças pelo método da diferença de vegetação e de água, respectivamente.

FIGURA 25 - DIFERENÇA DE NDVI NO RESERVATÓRIO PASSAÚNA



FONTE: Autor (2022).

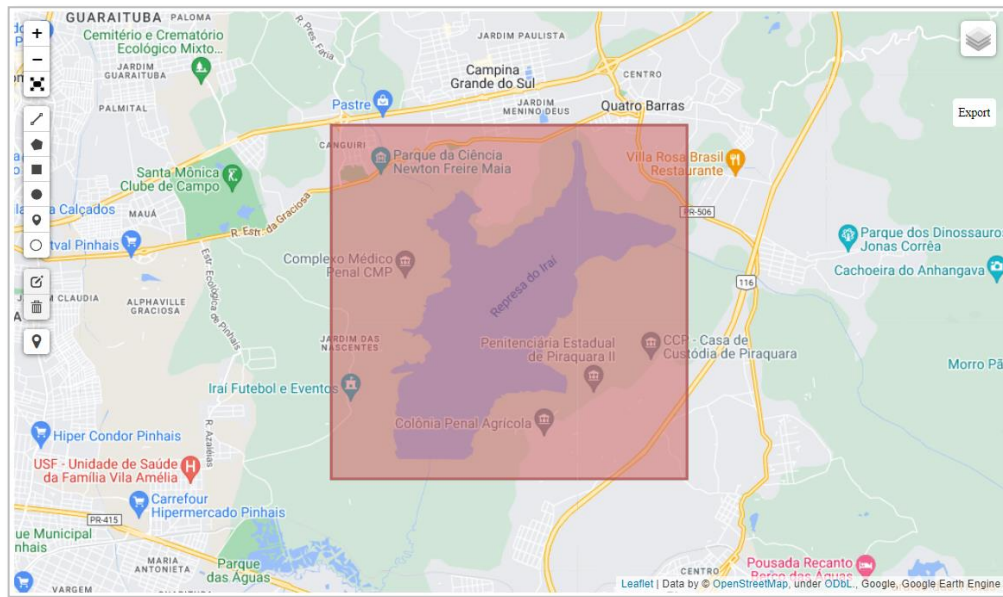
FIGURA 26 - DIFERENÇA DE NDWI NO RESERVATÓRIO PASSAÚNA



FONTE: Autor (2022).

De forma similar foi realizado o mesmo estudo para o reservatório do Iraí, como descrito abaixo.

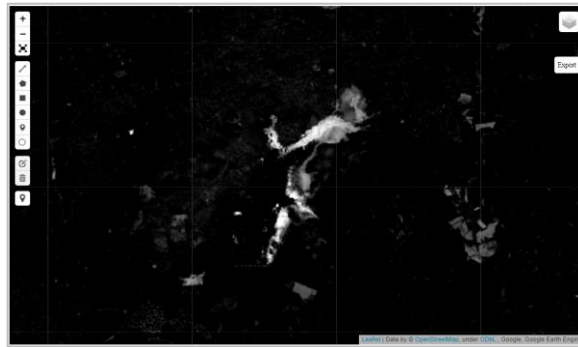
FIGURA 27 – ÁREA DE INTERESSE NO RESERVATÓRIO IRAÍ



FONTE: Autor (2022).

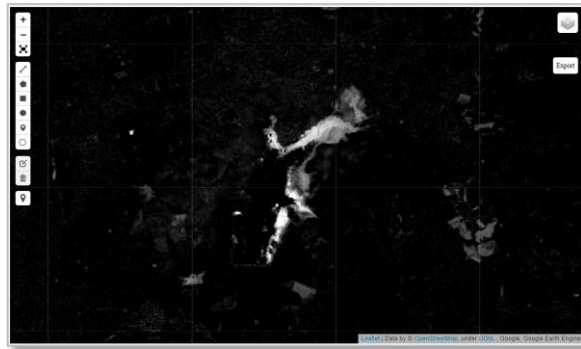
As figuras a seguir mostram o resultado da detecção de mudanças pelo método da diferença de vegetação e de água, respectivamente.

FIGURA 28 – DIFERENÇA DE NDVI NO RESERVATÓRIO IRAÍ



FONTE: Autor (2022).

FIGURA 29 - DIFERENÇA DE NDWI NO RESERVATÓRIO IRAÍ



FONTE: Autor (2022).

4.2.3 Grandes obras

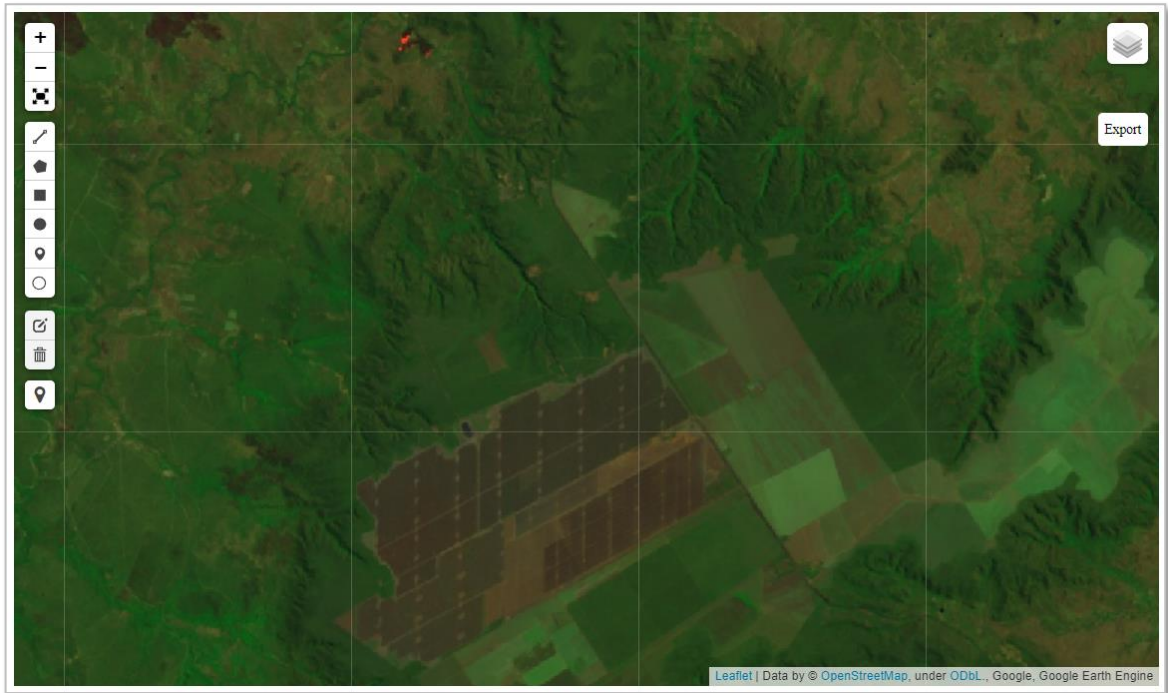
No contexto das obras rodoviárias de grande porte, como a construção de rodovias, indústrias, usinas solares, é possível detectar as alterações também a partir do método RCEN. Neste exemplo é possível visualizar a construção da Usina Solar de São Gonçalo do Gurguéia, no Piauí.

FIGURA 30 - UFV SÃO GONÇALO – PIAUÍ, em 12/07/2015



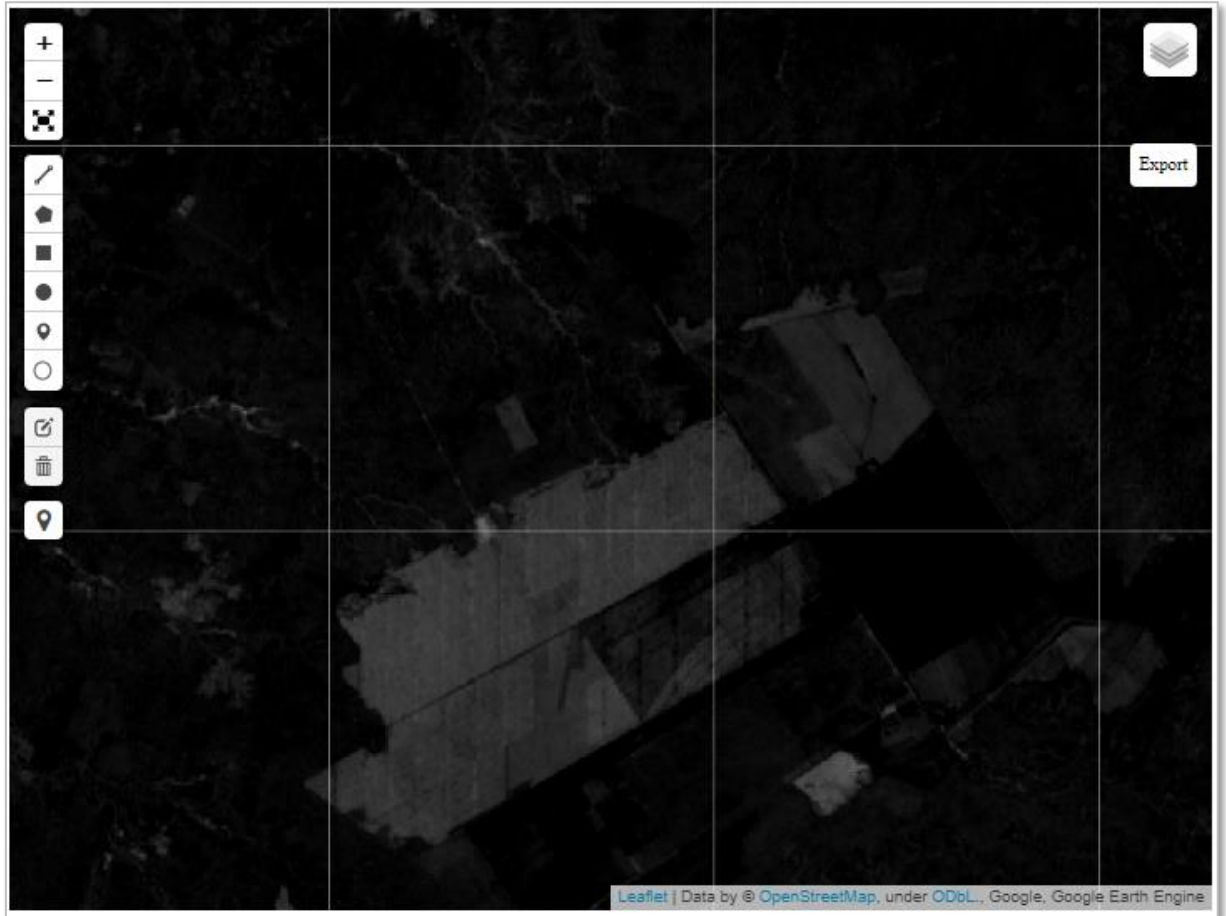
FONTE: Autor (2022).

FIGURA 31 - UFV SÃO GONÇALO – PIAUÍ, em 14/09/2021



FONTE: Autor (2022).

FIGURA 32 – RCEN NA ÁREA DA USFV SÃO GONÇALO



FONTE: Autor (2022).

5 CONCLUSÃO

A proposta geral desse trabalho foi o desenvolvimento de uma aplicação web com o intuito de realizar detecção de mudanças na superfície da Terra com imagens de satélite da missão Landsat 8, utilizando as facilidades do Google Earth Engine e do Streamlit. Com isso assume-se que o objetivo geral do trabalho foi concluído com êxito, uma vez que foi implementado o projeto. Destaca-se também que o código deste projeto pode ser encontrado no GitHub através do link disponível na tabela (7), permitindo dessa forma que o projeto seja colaborativo, onde qualquer pessoa que identifique alguma necessidade pode implementar novas funcionalidades. Em geral o sistema implantado se mostrou apropriado para utilização na detecção de mudanças para grandes feições, uma vez que a resolução espacial do sensor embarcado nos satélites da missão Landsat 8 é de 30 metros, o que prejudica a detecção de mudanças em feições menores, uma vez que a detecção é realizada pixel a pixel, portanto podem ser implementadas melhorias na utilização de outros satélites, por exemplo.

Uma das etapas mais importantes no desenvolvimento de um sistema, é a realização de testes com diversos usuários, entendendo as suas demandas específicas e corrigindo possíveis *bugs* e implementando melhorias no sistema. Destaca-se que nesse projeto, os testes com usuário não foram realizados, uma vez que o desenvolvimento do projeto se estendeu no prazo, ocupando espaço dessa etapa importante no projeto, dessa forma, o sistema foi testado apenas pelo desenvolvedor.

Por fim, destaca-se a importância do desenvolvimento de projetos utilizando uma política colaborativa, contribuindo dessa forma com o desenvolvimento de novos projetos e auxiliando na disseminação do conhecimento.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para continuação do projeto, recomenda-se a utilização dos sensores Landsat de missões anteriores no sistema, como Landsat 5 e 7, aumentando dessa forma a disponibilidade temporal de imagens. Como melhoria na resolução espacial, pode ser

empregado também a utilização dos sensores da missão Sentinel, com resolução espacial melhor se comparada aos da missão Landsat.

Recomenda-se também, melhorias na filtragem das nuvens nas imagens, aperfeiçoando o produto resultante da detecção de mudanças, visto que em muitos casos as nuvens presentes em uma imagem, são percebidas como mudanças pelo algoritmo, o que pode ser atenuado se aplicado uma classificação no produto da detecção, indicando ao usuário o que é nuvem na imagem.

REFERÊNCIAS

CALDEIRA, C. R. T.; GALO, M.; IMAI, N. N.; GALO, M. de L. B. T.; HASEGAWA, J. K.; AMORIM, A.; SHIMABUKURO, M. H.; PINTO, M. S. **Detecção de mudanças de forma automática no entorno de reservatórios: estudo de caso.** Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/46508>.> Acesso em: 27 mar. 2022.

SIQUEIRA et al. **Viabilidade da Computação em Nuvem Aplicada ao Processamento Digital de Imagens Como Suporte a Análises Temporais Empregando séries Landsat.** Disponível em: <http://www.cbcg.ufpr.br/home/wp-content/uploads/2018/06/0706t_8_Siqueira_etal2018_XCBCG.pdf.> Acesso em: 27 mar. 2022.

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

UFPE. **Conceito: Arquitetura de sistema.** Disponível em: <https://www.cin.ufpe.br/~gta/rup-vc/core.base_rup/guidances/concepts/system_architecture_5F3B1E17.html.> Acesso em: 27 mar. 2022.

BORGES et al. **Sensoriamento Remoto: Avanços e Perspectivas.** Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229116/23515>> Acesso em: 27 mar. 2022.

PUC RIO. **Framework: Conceitos Gerais.** Disponível em: <https://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0410823_06_cap_02.pdf> Acesso em: 20 mar. 2022.

CNN. **Antes e depois das obras na praia central de Camboriú.** Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/veja-antes-e-depois-das-obras-na-praia-central-de-balneario-camboriu->

