

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geografia

ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA A PARTIR DO  
MÉTODO DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS E USO DE TÉCNICAS DO GOOGLE  
EARTH ENGINE (GEE)

Fernanda da Costa Rezende

Prof. Dr. Roberto Braga (orientador)

Rio Claro (SP)

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Câmpus de Rio Claro

FERNANDA DA COSTA REZENDE

ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA  
TERRA A PARTIR DO MÉTODO DE DETECÇÃO DE  
MUDANÇAS E USO DE TÉCNICAS DO GOOGLE EARTH  
ENGINE (GEE)

Trabalho de Graduação apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção dos graus de Bacharelado e licenciatura em Geografia.

Rio Claro - SP

2023

R467a

Rezende, Fernanda da Costa

Análise temporal do uso e cobertura da terra a partir do método de detecção de mudanças e uso de técnicas do Google Earth Engine (GEE) / Fernanda da Costa Rezende. -- Rio Claro, 2023

42 p. : tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado e licenciatura - Geografia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Roberto Braga

1. Análise temporal. 2. Classificação supervisionada. 3. Google Earth Engine (GEE). I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

FERNANDA DA COSTA REZENDE

ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA  
TERRA A PARTIR DO MÉTODO DE DETECÇÃO DE  
MUDANÇAS E USO DE TÉCNICAS DO GOOGLE EARTH  
ENGINE (GEE)

Trabalho de Graduação apresentado ao  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
- Câmpus de Rio Claro, da Universidade  
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,  
para obtenção dos graus de Bacharelado e  
licenciatura em Geografia.

Comissão Examinadora

Roberto Braga (orientador)

Danilo Marques Magalhães

Cenira Maria Lupinacci

Rio Claro, 28 de Novembro de 2023.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

Dedico este trabalho aos meus pais.

## AGRADECIMENTOS

E é por meio destas poucas páginas que certifico minha finalização do curso que não poderia ter escolhido melhor. À Geografia. Em primeiro de tudo, é a ela quem devo meus mais sinceros agradecimentos. Conhecer essa ciência é o que me motivou a chegar até aqui e o que ainda vai me motivar muito ao longo da minha passagem pela vida. Muito obrigada por abrir os meus olhos, por esquentar meu coração, por me proporcionar adrenalina e infinitas sensações de prazer!

Agradeço à minha família querida que sempre e sempre esteve ao meu lado. Meus pais, Petúlia e Alexandre, e minhas irmãs, Daniela e Luísa. Não poderia deixar de citar a Krup, minha cachorra que se foi enquanto eu estava longe. As pessoas que eu mais amo neste mundo e que as palavras não serão suficientes para tamanho respeito e gratidão. Também agradeço aos meus parentes, em especial o meu tio Ronaldo e minha tia Paula, por sempre terem me ajudado quando precisei.

Agradeço à República Frô por ter sido essencial ao longo dos meus anos de graduação, cada momento dessa fase foi de grande importância para a minha formação pessoal e acadêmica.

Agradeço a tuma da Geografia 60, vou sentir uma saudade imensa de todos os meus colegas e de todos os churrascos da turma. Tenho um carinho muito especial por cada um deles e ficarão guardados para sempre em meu coração.

Agradeço às verdadeiras amizades que me acompanharam até o final desta linda jornada na cidade de Rio Claro: Grazi, Petú, Tonhão, Jenni, Bibio, Sus e Esquerda. A eles dedico muita gratidão, amor e carinho.

Um agradecimento especial, ao meu amor, melhor amigo e companheiro, Gabriel – Pizzi, por estar comigo nos melhores e piores momentos de todo este processo de conclusão de curso, sempre me dando forças e me apoiando da melhor maneira. O amor baseado na presença e na simplicidade do carinho.

Por fim, agradeço ao meu professor e orientador Roberto Braga por me acompanhar no processo de conclusão deste curso. Agradeço à minha colega Mariana Dias por ter me ajudado imensamente em assuntos voltados ao Trabalho de Conclusão de Curso. Agradeço a todos os professores que tive o prazer em conhecer e à Universidade Estadual Paulista por ter me proporcionado tamanha experiência de vida!

“Com as palavras de Neruda, também olho contemplando e ouço perscrutando o mundo todo, por terra, mar e ar, com as duas metades da minha alma. A metade da experiência e a outra metade da vivência, sempre mergulhadas no néctar da Geografia. Sempre alimentadas pelas cores das montanhas e das planícies, pelos aromas das florestas e dos cerrados, pelos sabores significantes das cidades e dos campos, pela vibração e transparência dos ventos, das nuvens e dos ares, pela fluidez das águas dos rios e dos mares, pelo brilho e beleza das flores e dos frutos, pelas texturas culturais e humanistas, pelo encanto telúrico dos bichos e animais, enfim pelos sentimentos e afeição das pessoas e das gentes” (OLIVEIRA, L. 2013).

## RESUMO

A região da cava de mineração de argila, de interesse e domínio do Grupo Cristofolletti, situada no distrito de Batovi - RC se expandiu significativamente, e vem sofrendo com intenso processo de mudanças. Tais processos advém de possíveis impactos gerados por atividades industriais da área, as quais, conseqüentemente, podem ocasionar problemas à sociedade do entorno. O avanço das tecnologias de sensoriamento remoto, especialmente, as técnicas de programação proporcionadas pelo *Google Earth Engine (GEE)*, vem ampliando as aplicações tecnológicas dentro das demandas da Geografia. Posto isso, o objetivo deste trabalho visa realizar uma análise temporal do uso e cobertura da terra a partir do método de detecção de mudanças, levantando as principais e mais nítidas mudanças ocorridas ao longo do tempo em decorrência da exploração mineral por meio da produção de mapas de classificação supervisionada da região da cava de mineração de argila de Batovi-RC, a partir de técnicas de programação.

Três palavras-chave: Análise temporal, Classificação supervisionada e Google Earth Engine (GEE).

## **ABSTRACT**

The region of the clay mining pit, of interest and domain of the Cristofolletti Group, located in the district of Batovi - RC has expanded significantly, and has been suffering from an intense process of changes. Such processes arise from possible impacts generated by industrial activities in the area, which, consequently, can cause problems for the surrounding society. The advancement of remote sensing technologies, especially the programming techniques provided by the Google Earth Engine (GEE), has been expanding technological applications within the demands of Geography. That said, the objective of this work aims to carry out a temporal analysis of land use and coverage using the change detection method, identifying the main and clearest changes that have occurred over time as a result of mineral exploration through the production of maps of supervised classification of the Batovi-RC clay mining pit region, using programming techniques.

Key words: Temporal analysis, Supervised classification and Google Earth Engine (GEE).

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo .....	16
Figura 2 – Comparação entre pixels dos mosaicos da Landsat 8 e da PLANET no ano de 2023 .....	19
Figura 3 – Página de basemaps do site da PLANET.....	20
Figura 4 – Aba “ASSETS” para importação de arquivos na plataforma do GEE.....	21
Figura 5 – Script das variáveis geradas para a classificação supervisionada corresponde ao ano de 2016 .....	21
Figura 6 - Script das variáveis geradas para a classificação supervisionada corresponde ao ano de 2023 .....	22
Figura 7 – Área de estudo representada na imagem de 2016 e 2023.....	22
Figura 8 – Script do processo de coleta das amostras .....	23
Figura 9 - Resultado da coleta de amostras da imagem de 2016.....	23
Figura 10 - Resultado da coleta de amostras da imagem de 2023.....	24
Figura 11 – Script de inserção de cores referentes às respectivas classes.....	25
Figura 12 – Tabela dos códigos das cores cores utilizadas e suas respectivas classes.....	25
Figura 13 – Script representando a aplicação do ‘filtro espacial’ .....	27
Figura 14 – Comparação da classificação sem o “filtro espacial” e com o ‘filtro espacial’ .....	28
Figura 15 – Script representando a exportação da classificação da imagem TIFF .....	28
Figura 16 – Aplicação da ‘álgebra de mapas’ .....	29
Figura 17 – Script representando a ‘álgebra de mapas’ a partir do ‘multiply’ .....	31
Figura 18 – Tabela de variável do mapa de alterações.....	31
Figura 19 – Script representando a variável de alterações – Parte 1.....	32
Figura 20 – Script representando a variável de alterações – Parte 2.....	32
Figura 21 – Script representando a a aplicação do Map.addLayer.....	32
Figura 22 – Imagem .TIFF das 2 classificações supervisionadas e a imagens .TIFF do mapa de alterações.....	33
Figura 23 – Aplicação das simbologias aplicas nas imagens .TIFF.....	34
Figura 24 – Mapa de classificação supervisionada de uso e cobertura da terra de 2016 .....	34
Figura 25 - Mapa de classificação supervisionada de uso e cobertura da terra de 2023 .....	35
Figura 26 – Mapa de alterações entre os anos de 2016 e 2023.....	36
Figura 27 – Tabela representando as áreas correspondentes às alterações ocorridas.....	36

Figura 28 – Gráfico representando as mudanças ocorridas ao longo dos anos em porcentagem

.....37

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>13</b>
2.1 SENSORIAMENTO REMOTO	13
2.2 ATIVIDADE MINERADORA NA REGIÃO DE RIO CLARO	14
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>15</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO	15
3.2 DETECÇÃO DE MUDANÇAS	16
3.3 GOOGLE EARTH ENGINE	17
3.4 AQUISIÇÃO DE IMAGENS E PRÉ-PROCESSAMENTO	18
3.4.1 Landsat 8	18
3.4.2 Platet	18
3.5 CRIAÇÃO DO SCRIPT	21
3.6 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS	24
3.7 COMPARAÇÃO PÓS - CLASSIFICAÇÃO	29
<b>4 RESULTADOS</b>	<b>32</b>
<b>5 ANÁLISE E DISCUSSÕES</b>	<b>37</b>
<b>6 CONCLUSÃO</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>40</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A região de Rio Claro se destaca por seu elevado potencial mineral de argila, a qual é explorada pelas indústrias de cerâmica de revestimento até os pequenos produtores de cerâmica vermelha. É uma região com alto índice de exploração uma vez que a grande disponibilidade de argila e material argiloso dos mantos intempéricos são provenientes da Formação Corumbataí, sendo explorado desde os níveis mais profundos de rocha, até a camada mais superficial (SCALCO, 2013; FERREIRA, 2013).

Tendo em vista a constante prática da atividade mineradora na região, vê-se a necessidade de compreender de que maneira se dá as transformações no uso e cobertura da terra a partir da visualização das principais mudanças ao longo do tempo. No caso da presente área de estudo, as transformações no uso e cobertura da terra associam-se ao processo produtivo através de efeitos extremos como alteração na dinâmica das camadas do solo, retirada de vegetação e alteração no regime de escoamento, o que expõe o solo a maiores vulnerabilidades no que tange os processos erosivos, resultando na perda de fertilidade e instabilidade (SCALCO, 2013; FERREIRA, 2013).

Segundo o estudo de Villalobos (1990), a atividade mineradora de argila e cerâmica vermelha na região de Rio Claro causou danos ambientais voltados para a fragmentação florestal visto que para o acesso aos locais de lavra pratica-se o desmatamento (SCALCO, 2013; FERREIRA, 2013). Diante da problemática causada pela dinâmica da mineração na região, torna-se importante verificar os impactos causados pela atividade mineradora e as mudanças ocorridas. A fim de realizar uma análise temporal da paisagem, o uso do sensoriamento remoto junto ao processamento de dados geográficos e de técnicas de programação se mostram essenciais uma vez que as maneiras automatizadas de análise proporcionam perspectivas inviáveis ao espectro visível e para o trabalho de campo. Também garante o estudo de grandes áreas em tempo real, isto é, possibilita o monitoramento e estudo a longo prazo de determinada área através do uso e sobreposição de imagens geradas por satélites em datas distintas (SCALCO, 2013; FERREIRA, 2013).

Contudo, cabe às comunidades tanto os responsáveis pelos empreendimentos quanto os moradores do entorno atentar-se à proteção dessas áreas de maneira ambientalmente sustentável, uma vez que dependem do ambiente no qual está submetido constantemente a explorações minerais e degradação socioambiental, consequentemente. Uma vez detectadas as transformações no uso e cobertura da terra, promoverá a produção de um estudo prévio que facilitará o processo de previsão de impactos futuros sobre o uso e cobertura da terra, e,

posteriormente, possibilitará intervenções visando à mitigação. (SCALCO, 2013; FERREIRA, 2013).

O tema abordado no projeto é a aplicação de métodos e técnicas de sensoriamento remoto, com ênfase em detecção de mudanças, na classificação de uso e cobertura da terra do distrito de Batovi - Rio Claro, presente no Estado de São Paulo, utilizando ferramentas da Google Earth Engine (GEE).

Considerando a localidade pertencente ao município de Rio Claro, o qual a autora realizou sua graduação, a temática da cerâmica e agricultura é bastante polêmica e influente na região, devido a um avanço desenfreado de exploração mineral e desmatamento para fins lucrativos. Sendo assim, serve de objeto para aplicações de técnica de sensoriamento remoto junto ao processamento de dados geográficos e de técnicas de programação que se mostram essenciais uma vez que as maneiras automatizadas de análise proporcionam perspectivas inviáveis ao espectro visível e para o trabalho de campo.. Além disso, vale evidenciar a facilidade e praticidade em trabalhar com as ferramentas da plataforma do Google Earth Engine (GEE), juntamente com com a metodologia de detecção de mudanças sendo muito comum em análises temporais de cobertura vegetal:

“A aplicação de técnicas de detecção de mudança (...) vem sendo usada ao longo dos anos. Trabalhos semelhantes ao projeto proposto foram apresentados e revisados em SINGH (2010), além do trabalho de análise da cobertura vegetal de Manaus de MATOS e DA SILVA (2005), apresentado ao Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)” (MARINA, p.15).

Tendo em vista o elevado impacto que a exploração mineral pode causar na terra, estudos como este são de extrema necessidade pois agrega às pesquisas e projetos ambientais, podendo ampliar a quantidade de meios para a aquisição de dados ambientais relevantes.

A hipótese levantada é de que é possível a aplicação técnicas de detecção de mudanças no mapeamento de cobertura e uso da terra no Distrito de Batovi, a fim de compreender as alterações ocorridas ao longo dos anos, utilizando ferramentas online e contribuindo com o uso e aplicação de geotecnologias para obtenção de resultados relevantes dentro de pesquisas ambientais.

O projeto visa realizar uma análise temporal da uso e cobertura da terra levantando as principais e mais nítidas mudanças ocorridas ao longo do tempo em decorrência da exploração mineral por meio da produção de mapas de classificação de uso e cobertura da terra da região

da cava de mineração de argila de Batovi-RC, a partir da aplicação de técnicas de programação subsidiadas pelo Google Earth Engine (GEE) em conjunto com o método de detecção de mudanças.

### 1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as classes que serão utilizadas na análise temporal;
- Aplicar a técnica escolhida de detecção de mudanças (classificação supervisionada e pós-classificação);
- Documentar o resultado, ressaltando os prós e contras do método.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A fim de apresentar uma melhor compreensão acerca dos conceitos e princípios utilizados no estudo, este capítulo tem como objetivo subsidiar um melhor entendimento dos processos utilizados.

### 2.1 SENSORIMENTO REMOTO

A fim de compreender o significado do sensoriamento remoto, assim como, suas aplicações, é necessário ter como base uma definição. A primeira definição do que é o sensoriamento, por Elachi em 1987, se dá na “aquisição de informação sobre um objeto sem que se entre em contato físico com ele”. Isto é, uma definição ainda rasa sobre a área, mas, que Elachi foi amadurecendo a ideia para “o que implica na obtenção de informação a partir da detecção e mensuração das mudanças que um determinado objeto impõe aos campos de força que o circundam, sejam estes campos eletromagnéticos, acústicos ou potenciais.

Posto isso, sabe-se que existem sensores com diversas finalidades, como por exemplo, os sensores de ondas acústicas e de ondas sísmicas. Entretanto, ao afunilar ainda mais a definição de sensoriamento remoto, conclui-se que medem alterações sofridas pelo campo eletromagnético, somente, adotando o conceito de Tecnologia Espacial: “a aquisição de informações sobre objetos a partir da detecção e mensuração de mudanças que estes impõem ao campo eletromagnético”. Este, portanto, sendo o termo correto, visto que é um campo que não necessita de um meio de propagação possibilitando colocar os sensores cada vez mais distantes dos objetos a serem medidos, evoluindo, inclusive, para os satélites.

Os satélites são de variados tipos e propósitos, mas para este estudo as principais técnicas se limitam a obtenção de informações sobre objetos da superfície terrestre, ou seja, os sistemas e sensores em questão serão voltados a aplicações para levantamento e monitoramento dos recursos terrestres, assim como estudos de mapeamento.

Sendo assim, a definição mais adequada de Sensoriamento Remoto para este trabalho foi baseada no livro “Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações”:

“A utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocando a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações” (NOVO, p. 4).

Tendo esclarecida uma definição completa para o sensoriamento remoto e entender o que é e para que serve, é válido compreender sua origem e o processo que levou até os dias atuais. Seu desenvolvimento inicial é cientificamente ligado à fotografia e à pesquisa espacial. Em 1839 surgiu a primeira fotografia, já em 1858 as fotografias eram geradas a partir de balões para o mapeamento topográfico. Em 1909 surgiram as primeiras fotografias aéreas, e as coloridas, a partir de 1930. O desenvolvimento da aviação também foi grande responsável pelo avanço no uso de fotografias aéreas. O primeiro esquadrão fotográfico foi criado em 1940, gerando o primeiro levantamento aerofotogramétrico no Brasil entre os anos de 1942 e 1943. Inclusive, com a questão das guerras e a necessidade de monitorar o território vizinho que foi fundamental o aperfeiçoamento tecnológico como, por exemplo, o estudo do infravermelho e suas aplicações.

## 2.2 ATIVIDADE MINERADORA NA REGIÃO DE RIO CLARO

A região de Rio Claro é marcada pela atividade mineradora, destacando-se por seu elevado potencial mineral de argila a qual é explorada pela indústria de cerâmica de revestimento até os pequenos produtores de cerâmica vermelha. É uma região com alto índice de exploração uma vez que a grande disponibilidade de argila e material argiloso dos mantos intempéricos são provenientes da Formação Corumbataí, sendo explorado desde os níveis mais profundos de rocha, até a camada mais superficial (SCALCO, 2013; FERREIRA, 2013).

Tendo em vista este contexto, as transformações no uso e cobertura da terra associam-se ao processo produtivo através de efeitos extremos como alteração na dinâmica das camadas do solo, retirada de vegetação e alteração no regime de escoamento, o que expõe o solo a maiores vulnerabilidades no que tange os processos erosivos, resultando na perda de fertilidade e instabilidade (SCALCO, 2013; FERREIRA, 2013). Segundo o estudo de Villalobos (1990), a atividade mineradora de argila e cerâmica vermelha na região de Rio Claro causou danos ambientais voltados para a fragmentação florestal visto que para o acesso aos locais de lavra pratica-se o desmatamento (SCALCO, 2013; FERREIRA, 2013).

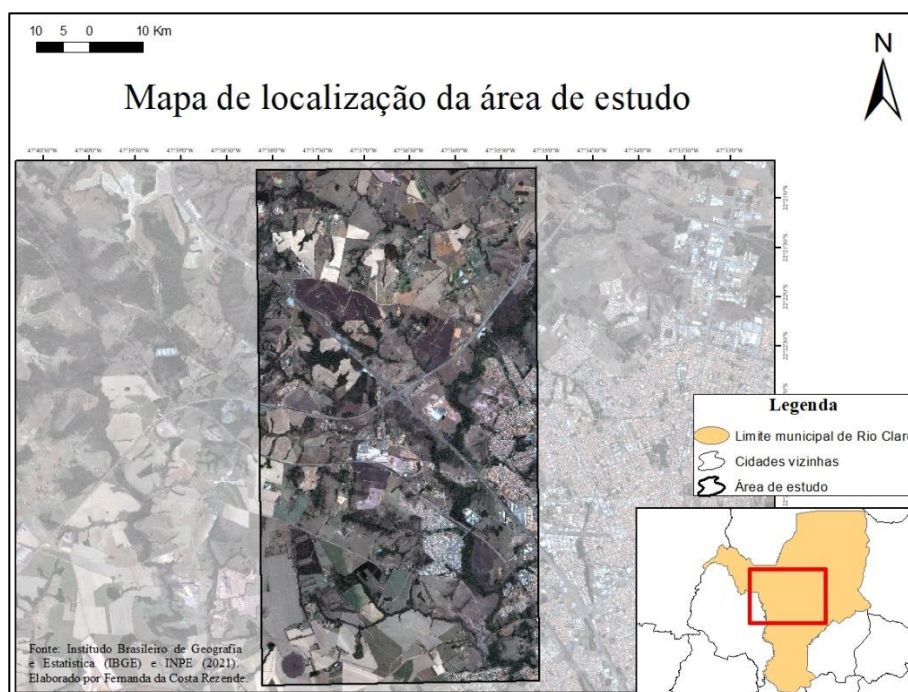
Contudo, cabe às comunidades tanto os responsáveis pelos empreendimentos quanto os moradores do entorno atentar-se à proteção dessas áreas de maneira ambientalmente sustentável, uma vez que dependem do ambiente no qual está submetido constantemente a explorações minerais e degradação socioambiental, conseqüentemente. Uma vez detectadas as transformações no uso e cobertura da terra, promoverá a produção de um estudo prévio que facilitará o processo de previsão de impactos futuros sobre o uso e cobertura da terra, e, posteriormente, possibilitará intervenções visando à mitigação. (SCALCO, 2013; FERREIRA, 2013)

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo deste projeto se encontra no Distrito de Batovi, localizado no município de Rio Claro no Interior do estado de São Paulo e possui cerca de 338 habitantes (IBGE, 2010). A área (Figura 1) abarca uma grande extensão, tendo como referência a cava mineração de argila de interesse e domínio do Grupo Cristofolletti.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Plataforma do INPE - Imagem do dia 06/06/2022 (CBERS 4A WPM e pan sharpening).

Para a realização da pesquisa foi aplicada a metodologia de detecção de mudanças baseada na técnica de classificação de imagem por meio de ferramentas de programação do Google Earth Engine (GEE), a fim de analisar a eficácia das geotecnologias e sua funcionalidade em relação a análise temporal da uso e cobertura da terra. A metodologia é o âmago da pesquisa em questão, isto é, a pesquisa teve como foco o caminho utilizado para chegar aos resultados propostos pelo objetivo.

### 3.2 DETECÇÃO DE MUDANÇAS

Com a finalidade de mapear o uso e cobertura da terra do município de Batovi, em Rio Claro -SP, foi utilizado o método de detecção de mudanças, o qual possibilitará a análise temporal da região por meio da comparação de classificações do uso e cobertura da terra entre os anos de 2016 e 2023. A técnica utilizada para este objetivo foi a de subtração de imagens/subtração de classificações de imagens.

Detecção de mudanças é o processo de identificação de mudanças entre cenas do mesmo local adquirida em momentos diferentes, isto é, objetiva-se em detectar o que está mudando e o que foi alterado em determinada paisagem ao longo do tempo. A metodologia tende a caracterizar essas mudanças no que tange onde ela ocorreu, que tipo de mudanças foram essas

e quais foram as causas dessas mudanças. Além disso, também é feita a quantificação dessas mudanças por meio da análise do mapa de alterações.

Existem várias técnicas para aplicar o método de “detecção de mudanças”, sendo assim, neste projeto foram utilizadas duas técnicas básicas: classificação das imagens e comparação pós - classificação.

A fim de aplicar o método descrito acima, é preciso ter uma base de dados multitemporal, isto é, uma coleção de imagens. Todo o processo foi realizado dentro da plataforma da Google Earth Engine (GEE) e a partir dela foram criados scripts contendo todas as informações necessárias para a produção final dos mapas e posterior análise dos resultados.

O processo de classificação das imagens é dividido em 2 etapas: aquisição das imagens, reconhecimento das classes e, conseqüentemente, coleta de amostras e rotulação dos pixels. Existem formas distintas para enumerar os pixels na literatura de sensoriamento remoto: o procedimento de classificação supervisionada e classificação não-supervisionada (MATHER, 2004). No caso deste trabalho, o procedimento será de classificação supervisionada, esta se baseia no pressuposto de que cada classe espectral pode ser descrita a partir de amostras fornecidas pelo analista. Se concretiza por meio da probabilidade de um dado pixel pertencer a uma determinada classe em função da sua localização nesse espaço formado pelas bandas espectrais utilizadas na classificação, como é o caso do RGB (NOVO, 2008).

O processo de comparação pós-classificação utilizará as imagens que foram classificadas pelo processo anterior (classificação supervisionada). Através destas imagens classificadas em diferentes datas, ao comparar uma com a outra, se produz o mapa de mudanças, isto é, o mapa de alterações que será apresentado nos ‘resultados’ desta pesquisa. É válido salientar que este processo, para que seja preciso e justo, depende muito da qualidade da classificação supervisionada feita anteriormente, portanto, quanto mais corretas estiverem as classificações, mais preciso está o mapa de alterações da região escolhida.

### 3.3 GOOGLE EARTH ENGINE

Tendo apresentado o método utilizado para o desenvolvimento do objetivo de pesquisa, as técnicas de detecção de mudanças foram aplicadas por meio do Google Earth Engine (GEE), integralmente.

O Google Earth Engine é uma plataforma de análise geoespacial baseada na nuvem, que permite aos usuários visualizar e analisar imagens de satélite do nosso planeta (Google), e foi o material utilizado para a realização deste estudo.

Dentro da plataforma do Google Earth Engine, o CODE EDITOR é utilizado para a criação dos scripts, e foi a partir dele que se desenvolveu toda a análise.

O Editor de Código do Earth Engine é um ambiente de desenvolvimento baseado na internet para o Earth Engine JavaScript API. As funcionalidades do Editor de Código foram concebidas para tornar fácil e rápido o desenvolvimento de processos geoespaciais complexos.

O Editor de Código permite que o usuário analise as imagens de satélite do Catálogo de Dados. Esta ferramenta poderosa pode ser usada para analisar, mapear, fazer gráficos e até mesmo renderizar vídeos do imenso catálogo de imagens de satélite.

### 3.4 AQUISIÇÃO DE IMAGENS E PRÉ-PROCESSAMENTO

#### 3.4.1 Landsat 8

A ideia inicial do projeto foi utilizar imagens de satélite da Coleção Landsat 8. A série LANDSAT teve início na década de 60, foi um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana. Essa missão denominou-se Earth Resources Technology Satellite (ERTS), e a partir de 1975 passou a se chamar Landsat. O Landsat 8 foi lançado em 2013, possui uma órbita circular, o horário de passagem é 1:40 PM, seu período de revisita é de 16 dias e possui uma resolução espacial de 30 metros.

Na tentativa de adquirir um bom resultado referente à análise através do Landsat 8, foram utilizadas 2 imagens com espaço temporal de 10 anos: referente ao ano de 2013 e 2023.

Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Ao realizar as classificações supervisionadas de uso e cobertura da terra a partir de imagens da coleção Landsat 8, não se obteve resultados positivos e nota-se a baixa qualidade da imagem para uma análise de uma área local, isto é, tendo em vista a baixa resolução espacial da imagem Landsat, o resultado não foi preciso o suficiente. O programa se confundiu bastante com as classes, o que acarretou muitos erros na classificação final das imagens. Feito isso, o melhor seria diminuir a resolução da imagem para ver se influenciava na margem de erro da classificação.

#### 3.4.2 Planet

Optou-se pela escolha de uma imagem Planet, visto que possui características que possibilitam uma análise mais precisa da área de estudo.

As imagens Planet foram a solução para uma classificação supervisionada com maior precisão. São imagens geradas pela constelação de satélites da PLANET e possuem uma resolução espacial de 3 a 5 metros, isto é, refere-se ao nível de detalhamento que podemos observar objetos na superfície terrestre. Por exemplo, uma imagem que possua a resolução espacial de 5 metros, cada pixel terá 5m x 5m, todos os objetos que tiverem dimensões menores que essa não será visível na imagem, teoricamente. Na figura 2, pode-se concluir a diferença da resolução espacial entre as duas imagens.

Figura 2 – Comparação entre pixels dos mosaicos da Landsat 8 e da PLANET no ano de 2023



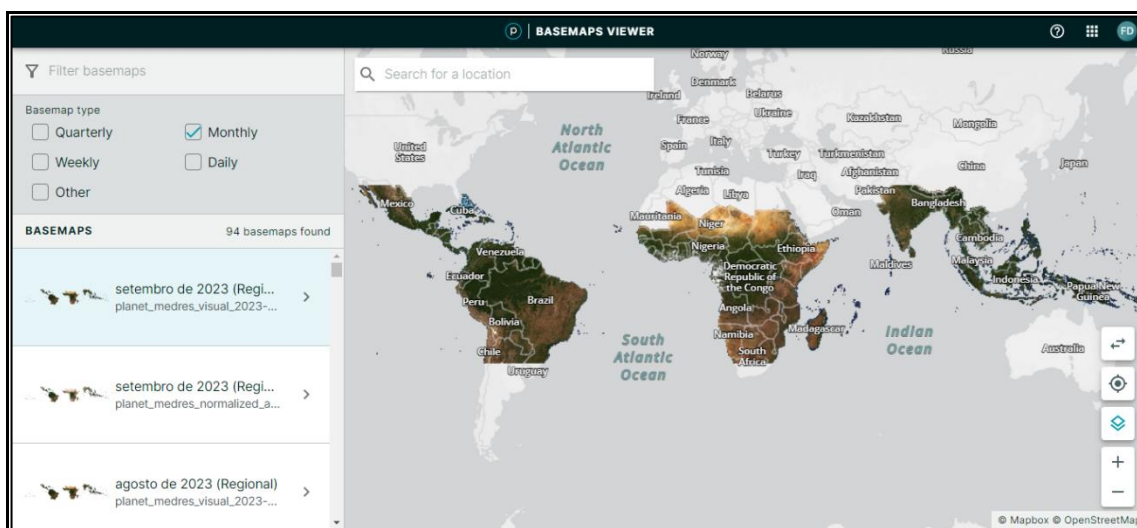
Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Com uma constelação formada de centenas de satélites Dove, a Planet é capaz de imagear qualquer local da Terra diariamente com horário de imageamento das 09 h 30 min às 09 h 30 AM, conforme o satélite da constelação e a órbita Nenhuma outra constelação de

satélites atualmente em operação tem a capacidade de monitoramento e cobertura do Planet. Disponível desde 2015, com vários lançamentos realizados igualmente em 2016, 2017, 2018 e 2019, seja na órbita da Estação Espacial Internacional (ISS) seja em órbita heliossíncrona (SSO). Como as imagens Planet estão disponíveis desde 2015, apenas, foi necessário diminuir o intervalo temporal da análise. Foram processadas duas imagens com intervalo de 7 anos, referentes ao ano de 2016 e 2023.

O Ministério do Clima e Meio Ambiente da Noruega liberou algumas imagens gratuitas de todas as regiões tropicais do mundo. O acesso é simples, primeiramente, fazer o cadastro no site da planet.com (<https://www.planet.com/nicfi/>) e, posteriormente, o login da conta gerada. Feito isso, o download das imagens é feito pela página de basemaps do site (Figura 3). Foi feito o download de 2 imagens: a imagem do ano de 2016 e a imagem do ano de 2023. Ambas referentes à estação do inverno, exatamente para facilitar a visualização e a para que a comparação seja justa. Assim como foi necessário diminuir o intervalo de tempo para a análise a fim de que fosse possível utilizar as imagens da Planet, uma nova área de estudo também foi delimitada com uma extensão maior de área.

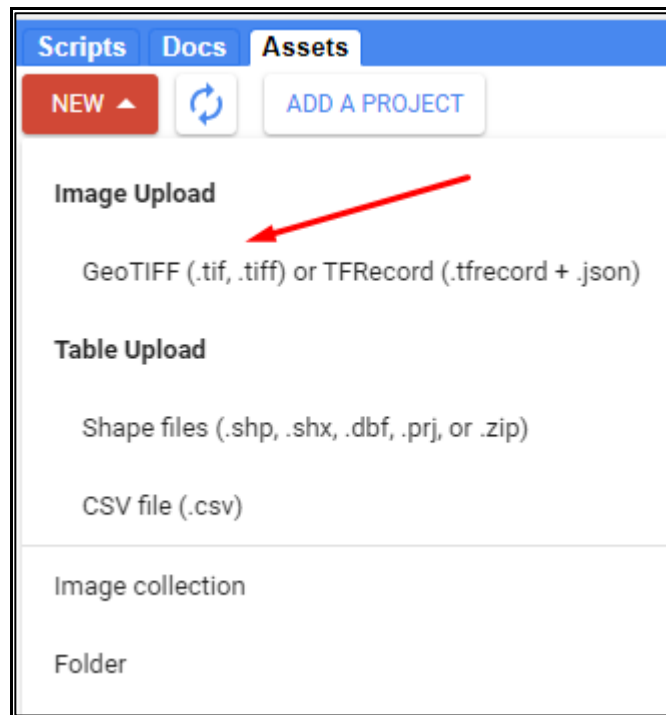
Figura 3 – Página de basemaps do site da PLANET



Fonte: Site da PLANET.

Com os arquivos RGB baixados, foram importados para um software de processamento de imagens, neste caso, foi utilizado o ArcMap, e foi realizada corretamente a composição de bandas das imagens TIFF com resolução espacial de 5 metros. Após esse procedimento, as imagens foram importadas para a plataforma do Google Earth Engine (GEE) pela aba “ASSETS”, como mostra a figura 4:

Figura 4 – Aba “ASSETS” para importação de arquivos na plataforma do GEE

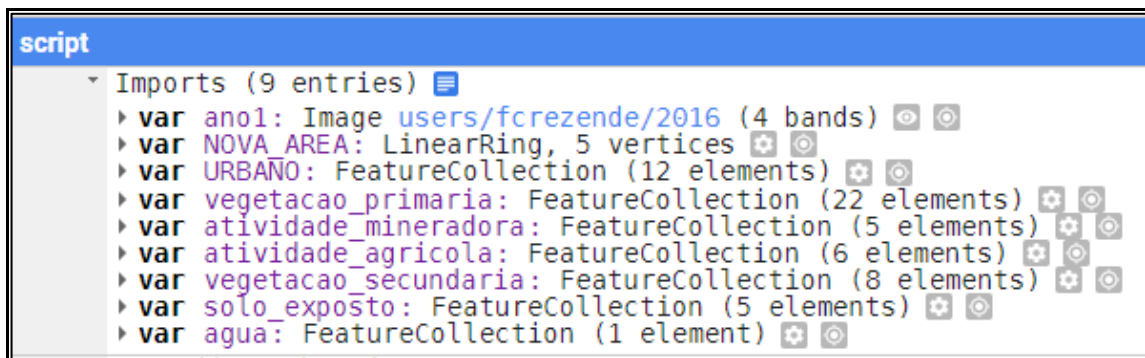


Fonte: Google Earth Engine (GEE).

### 3.5 CRIAÇÃO DO SCRIPT

Essas foram as variáveis criadas em todo o projeto para a criação do script da classificação de imagem supervisionada referente ao ano de 2016 (Figura 5) e 2023 (Figura 6):

Figura 5 – Script das variáveis geradas para a classificação supervisionada corresponde ao ano de 2016



Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Figura 6 - Script das variáveis geradas para a classificação supervisionada corresponde ao ano de 2023

```
script Get Link  
Imports (9 entries) ☰  
  ▶ var ano2: Image users/fcrezende/2023 (4 bands) 🔍 ⌂  
  ▶ var NOVA_AREA: LinearRing, 5 vertices ⚙️ 🔍  
  ▶ var URBANO: FeatureCollection (12 elements) ⚙️ 🔍  
  ▶ var vegetacao_primaria: FeatureCollection (22 elements) ⚙️ 🔍  
  ▶ var atividade_mineradora: FeatureCollection (5 elements) ⚙️ 🔍  
  ▶ var atividade_agricola: FeatureCollection (6 elements) ⚙️ 🔍  
  ▶ var vegetacao_secundaria: FeatureCollection (8 elements) ⚙️ 🔍  
  ▶ var solo_exposto: FeatureCollection (5 elements) ⚙️ 🔍  
  ▶ var agua: FeatureCollection (1 element) ⚙️ 🔍
```

Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Inicialmente, as imagens Planet foram importadas para o Google Earth Engine (GEE) junto à área de estudo (Figura 7). Posteriormente, foi realizada a definição das 7 classes da análise, visto que o nível de detalhe sobre a imagem aumentou (urbano, vegetação primária, atividade mineradora, atividade agrícola, vegetação secundária, solo exposto e água), assim como, o processo de coleta das amostras, sendo o script representado na figura 8 e o resultado da coleta de amostras na figura 9 e figura 10.

Figura 7 – Área de estudo representada na imagem de 2016 e 2023



Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Figura 8 – Script do processo de coleta das amostras

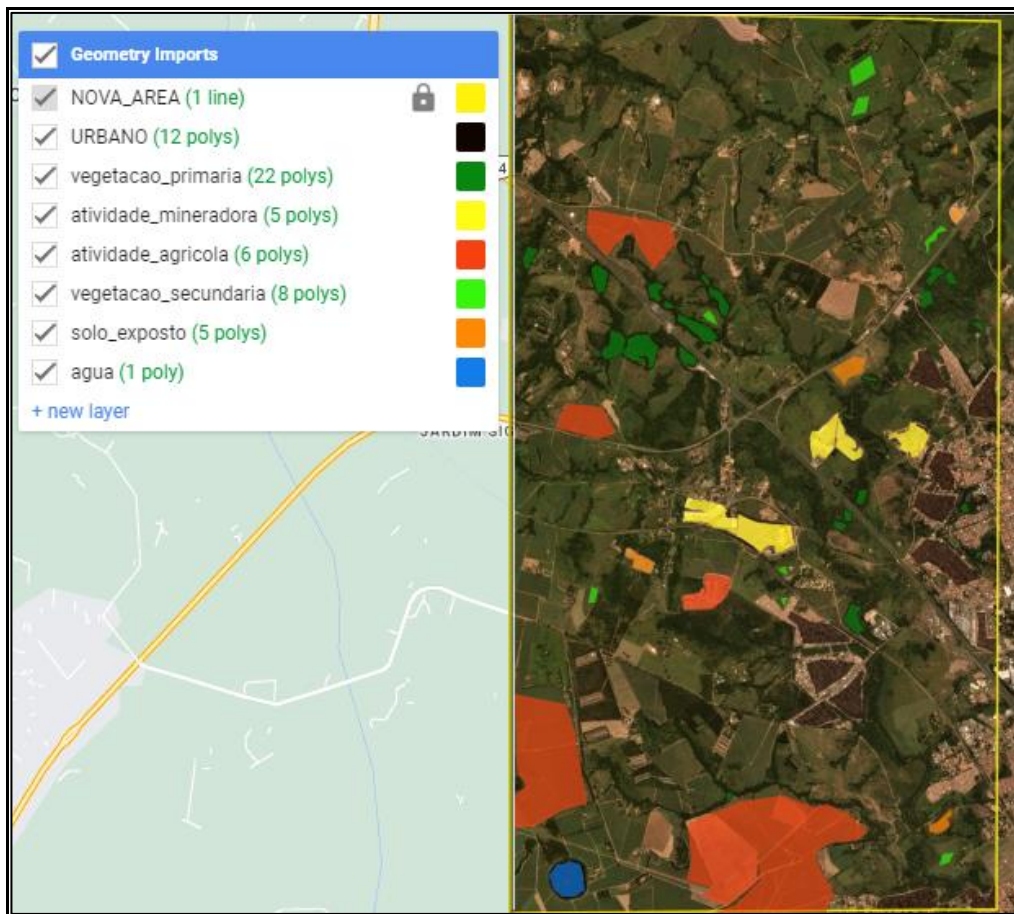
```

7 Map.addLayer(ee.Image('users/fcrezende/2023'), {}, 'Mosaico Planet 2023');
8 var amostra = URBANO.merge(vegetacao_primaria).merge(atividade_mineradora).merge(atividade_agricola).merge(vegetacao_secundaria)
9               .merge(solo_exposto).merge(agua);
10 Map.addLayer(amostra, {}, 'amostras', false);
11
12 var treinamento= ano1.sampleRegions({
13   collection: amostra,
14   properties: ['classe'],
15   scale: 5
16 });

```

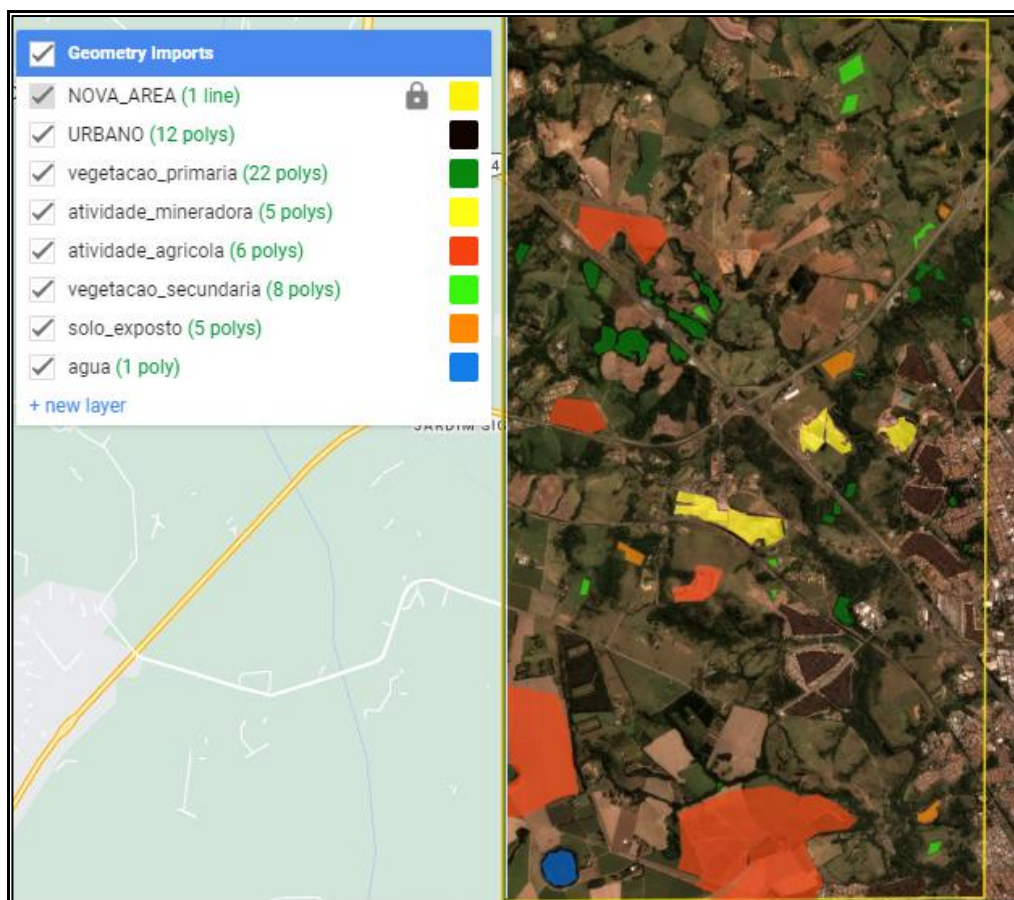
Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Figura 9 - Resultado da coleta de amostras da imagem de 2016



Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Figura 10 - Resultado da coleta de amostras da imagem de 2023



Fonte: Google Earth Engine (GEE).

### 3.6 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS

A classificação de imagens subdivide-se em classificação supervisionada e classificação não-supervisionada. É o conjunto de algoritmos responsáveis por categorizar computacionalmente um alvo, isto é, o pixel. O operador da máquina informa amostras que vão ensinar ao classificador o padrão daquela classe. A classificação supervisionada, utilizada neste estudo, se baseia no pressuposto de que cada classe espectral pode ser descrita a partir de amostras fornecidas pelo analista. Se concretiza por meio da probabilidade de um dado pixel pertencer a uma determinada classe em função da sua localização nesse espaço formado pelas bandas espectrais utilizadas na classificação, como é o caso do RGB (NOVO, 2008).

Criou-se uma variável para a classificação. Depois foram inseridas as cores referentes a cada uma das classes - Black, Formação Florestal, Mineração, Agricultura, Spring Green, Chocolate e Rio, Lago e Oceano (Figura 11):

Figura 11 – Script de inserção de cores referentes às respectivas classes


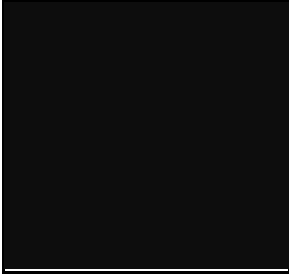


```




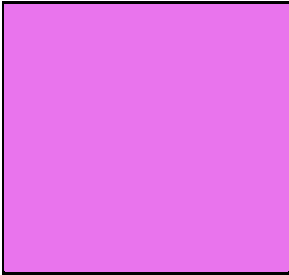

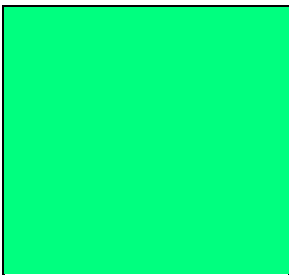


18 var classificacao=ee.Classifier.smileCart().train({
19   features:treinamento,
20   classProperty:'classe',
21 });
22
23 var classificacao=ano1.classify(classificacao);
24 Map.addLayer(classificacao,{min:0,max:6,palette:['#0d0d0d','1f8d49','#9c0027', '#E974ED', '#83f787', '#b56804','#2532e4']}, 'classificacao');
25
26 var class4GAP = classificacao
  
```

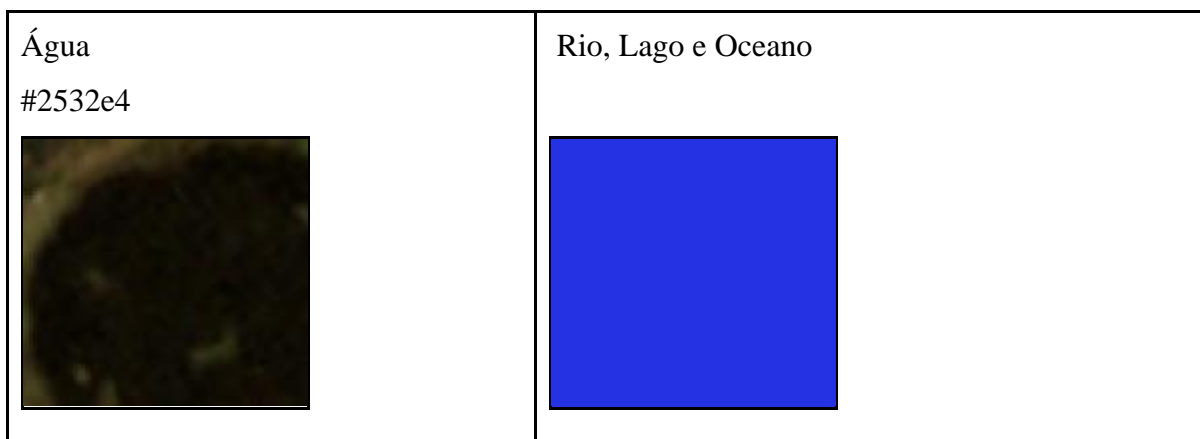
Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Para a classificação da imagem, como já exposto no exemplo do script acima, foram utilizadas como referência o código de legenda da coleção 8 do Map biomas (<chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/Legenda-Colecao-8-LEGEND-CODE.pdf>) e a tabela de cores hexadecimal (<https://celke.com.br/artigo/tabela-de-cores-html-nome-hexadecimal-rgb>). Segue abaixo os códigos das cores e as suas respectivas classes (Figura 12):

Figura 12 – Tabela dos códigos das cores cores utilizadas e suas respectivas classes

CLASSES E CÓDIGOS	FONTE DOS CÓDIGOS
Urbano #0d0d0d 	Black (cor hexadecimal) 
Vegetação primária #1f8d49 	Formação Florestal (MAP BIOMAS) 

<p>Atividade            mineradora #9c0027</p> 	<p>Mineração (MAP BIOMAS)</p> 
<p>Atividade            agrícola #E974ED</p> 	<p>Agricultura (MAP BIOMAS)</p> 
<p>Vegetação secundária #00FF7F</p> 	<p>SpringGreen (cor hexadecimal)</p> 
<p>Solo                    exposto #CD853F</p> 	<p>Chocolate (cor hexadecimal)</p> 



Fonte: Coleção 8 do Map biomas e tabela de cores hexadecimal.

Após isso, foi feita a aplicação de estatística para aperfeiçoamento da classificação, isto é, o pixel adere a cor da ‘moda’ e faz uma limpeza na imagem, evitando os ruídos ‘salt and pepper’, como mostra a Figura 13, foi aplicado o ‘filtro espacial’. A Figura 14 mostra a comparação do antes e depois do ‘filtro espacial’.

Figura 13 – Script representando a aplicação do ‘filtro espacial’

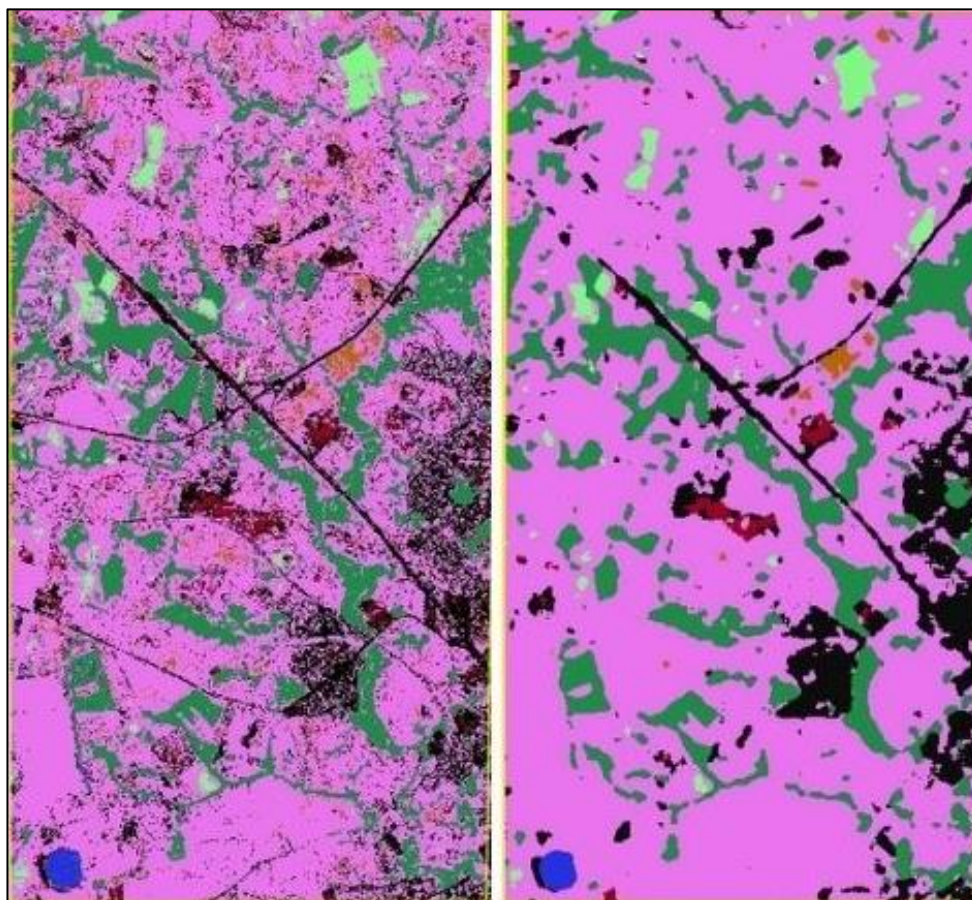
```

28 var min_connect_pixel = 15
29 var moda = class4GAP.focal_mode(2, 'square', 'pixels')
30 moda = moda.mask(class4GAP.connectedPixelCount(15, true).reproject('epsg:4326', null, 5).lte(min_connect_pixel))
31 var class_out = class4GAP.blend(modas)
32 Map.addLayer(class_out, {min:0,max:6,palette:['#8d8d8d','#1f8d49','#9c8027','#E974ED','#80FF7F','#CD853F','#2532e4'],'Filtro espacial'})

```

Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Figura 14 – Comparação da classificação sem o “filtro espacial” e com o ‘filtro espacial’



Fonte: Google Earth Engine (GEE).

E por fim, foi feita a exportação da classificação da imagem em TIFF para o Google drive, como exposto na figura 15:

Figura 15 – Script representando a exportação da classificação da imagem TIFF

```
36 Export.image.toAsset({  
37   image:class_out,  
38   scale:5,  
39   maxPixels: 1e13,  
40   region: NOVA_AREA  
41 });  
42
```

Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Ao fazer a classificação supervisionada das classes contidas, novamente, o resultado foi bem mais preciso. A partir da exportação das duas classificações, ainda que haja erros (pequenas confusões), o resultado se mostrou bem mais eficaz para aplicarmos o método de

detecção de mudanças e fazermos a subtração das 2 imagens. O resultado das classificações juntamente com o mapa de alterações serão apresentados no capítulo de “RESULTADOS” do trabalho.

### 3.7 COMPARAÇÃO PÓS-CLASSIFICAÇÃO

A fim de detectar as mudanças ocorridas no intervalo de tempo estudado, foi necessário realizar a comparação pós-classificação das 2 imagens classificadas. Inicialmente, para a criação do script foram importadas para a plataforma do Google Earth Engine (GEE) as classificações do ano 1 e do ano 2. Feito isso, foi aplicada a ‘álgebra de mapas’ (Figura 16) que é um termo utilizado na literatura de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para denotar o conjunto de operadores que manipulam campos geográficos (imagens, mapas temáticos e modelos numéricos de terreno) - a partir do “multiply” como na figura 17, desta forma:

Figura 16 – Aplicação da ‘álgebra de mapas’

<b>CLASSE EM 2016</b>	<b>CLASSE EM 2023</b>	<b>= VALOR DO PÍXEL</b>
Urbano (0)	Urbano (0)	= 0
Urbano (0)	vegetacao_primaria (1)	= 1
Urbano (0)	atividade_mineradora (2)	= 2
Urbano (0)	atividade_agricola(3)	= 3
Urbano (0)	vegetacao_secundaria (4)	= 4
Urbano (0)	solo_exposto (5)	= 5
Urbano (0)	água (6)	= 6
Esses valores indicam perda de área urbana		
vegetacao_primaria (1)	vegetacao_primaria (1)	= 101
vegetacao_primaria (1)	Urbano (0)	= 100
vegetacao_primaria (1)	atividade_mineradora (2)	= 102
vegetacao_primaria (1)	atividade_agricola(3)	= 103
vegetacao_primaria (1)	vegetacao_secundaria (4)	= 104
vegetacao_primaria (1)	solo_exposto (5)	= 105
vegetacao_primaria (1)	agua (6)	= 106
Esses valores indicam perda de vegetação primária		
atividade_mineradora (2)	atividade_mineradora (2)	= 202
atividade_mineradora (2)	Urbano (0)	= 200

atividade_mineradora (2)	vegetacao_primaria (1)	= 201	
atividade_mineradora (2)	atividade_agricola(3)	= 203	
atividade_mineradora (2)	vegetacao_secundaria (4)	= 204	
atividade_mineradora (2)	solo_exposto (5)	= 205	
atividade_mineradora (2)	agua (6)	= 206	
		Esses valores indicam perda de atividade mineradora	

atividade_agricola(3)	atividade_agricola(3)	= 303	
atividade_agricola(3)	Urbano (0)	= 300	
atividade_agricola(3)	vegetacao_primaria (1)	= 301	
atividade_agricola(3)	atividade_mineradora (2)	= 302	
atividade_agricola(3)	vegetacao_secundaria (4)	= 304	
atividade_agricola(3)	solo_exposto (5)	= 305	
atividade_agricola(3)	agua (6)	= 306	
		Esses valores indicam perda de atividade agrícola	
vegetacao_secundaria (4)	vegetacao_secundaria (4)	= 404	
vegetacao_secundaria (4)	Urbano (0)	=	400
vegetacao_secundaria (4)	vegetacao_primaria (1)	=	401
vegetacao_secundaria (4)	atividade_mineradora (2)	= 402	
vegetacao_secundaria (4)	atividade_agricola(3)	= 403	
vegetacao_secundaria (4)	solo_exposto (5)	= 405	
vegetacao_secundaria (4)	agua (6)	= 406	
		Esses valores indicam perda de vegetação secundária	
solo_exposto (5)	solo_exposto (5)	= 505	
solo_exposto (5)	Urbano (0)	= 500	
solo_exposto (5)	vegetacao_primaria (1)	= 501	
solo_exposto (5)	atividade_mineradora (2)	= 502	
solo_exposto (5)	atividade_agricola(3)	= 503	
solo_exposto (5)	vegetacao_secundaria (4)	= 504	
solo_exposto (5)	agua (6)	= 506	
		Esses valores indicam perda de solo exposto	

agua (6)	agua (6)	= 606
agua (6)	Urbano (0)	= 600
agua (6)	vegetacao_primaria (1)	= 601
agua (6)	atividade_mineradora	= 602
agua (6)	(2)	= 603
agua (6)	atividade_agricola(3)	= 604
agua (6)	vegetacao_secundaria (4)	= 605
	solo_exposto (5)	Esses valores indicam perda de área de água

Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Figura 17 – Script representando a ‘álgebra de mapas’ a partir do ‘multiply’

```

SCRIPT *
Imports (1 entry)
var NOVA_AREA: Table users/fcrezende/NOVA_AREA
1
2 var ano1 = ee.Image('users/fcrezende/classificacao2016_arrumada')
3 Map.addLayer(ano1, {min:0,max:6, palette:['#0d0d0d','#1f8d49','#9c0027', '#E974ED', '#83f787', '#b56804','#2532e4']}, 'classificacao');
4
5 var ano2 = ee.Image('users/fcrezende/classificacao2023_arrumada')
6 Map.addLayer(ano2, {min:0,max:6, palette:['#0d0d0d','#1f8d49','#9c0027', '#E974ED', '#83f787', '#b56804','#2532e4']}, 'classificacao');
7
8
9 var alteracoes = ano1.multiply(100).add(ano2)

```

Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Depois foi criada a variável de ‘alterações’, seguindo o seguinte critério da figura 18 e representado pelo script na figura 19 e figura 20:

Figura 18 – Tabela de variável do mapa de alterações

1 = estável
2 = tudo o que virou urbano
3 = toda a vegetação que regenerou
4 = tudo o que virou atividade mineradora
5 = tudo o que virou agrícola
6 = toda a vegetação que regenerou
7 = tudo o que virou solo exposto

```
8 = tudo o que virou água
```

Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Figura 19 – Script representando a variável de alterações – Parte 1

```
70
71 var alteracoes2 = alteracoes.remap([0,101,202,303,404,505,606, 100,200,300,400,500,600, 1,201,301,401,501,601, 2,102,302,402,502,602,
72 [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 4, 4, 4, 4, 4, 4,
73
```

Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Continuação da linha 71 e 72:

Figura 20 – Script representando a variável de alterações – Parte 2

```
3,203,103,403,503,603, 4,204,304,104,504,604, 5,205,305,405,105,605, 6,206,306,406,506,105],
5, 5, 5, 5, 5, 5, 6, 6, 6, 6, 6, 6, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 8, 8, 8, 8, 8, 8])
```

Fonte: Google Earth Engine (GEE).

E por fim, foi aplicado o código do `Map.addLayer` para a visualização do resultado final da subtração (Figura 21), isto é, o mapa de alterações detectando as mudanças ao longo deste intervalo temporal:

Figura 21 – Script representando a aplicação do `Map.addLayer`

```
73
74
75 Map.addLayer(alteracoes2,{min:1,max:8, palette:['#c6c6c6','#000000','#09ff14','#ff0000','#ff00bf','#09ff14'],'Mapa de alterações');
76
77
78
```

Fonte: Google Earth Engine (GEE).

#### 4. RESULTADOS

Nesta etapa da pesquisa serão apresentados os resultados finais e toda a análise temporal realizada com o auxílio de ferramentas de programação oferecidas pelo Google Earth Engine (GEE). Foram gerados três mapas finais para apresentação do resultado: “Mapa de Classificação Supervisionada de 2016”, “Mapa de Classificação Supervisionada de 2023” e “Mapa de Alterações entre os anos de 2016 e 2023”.

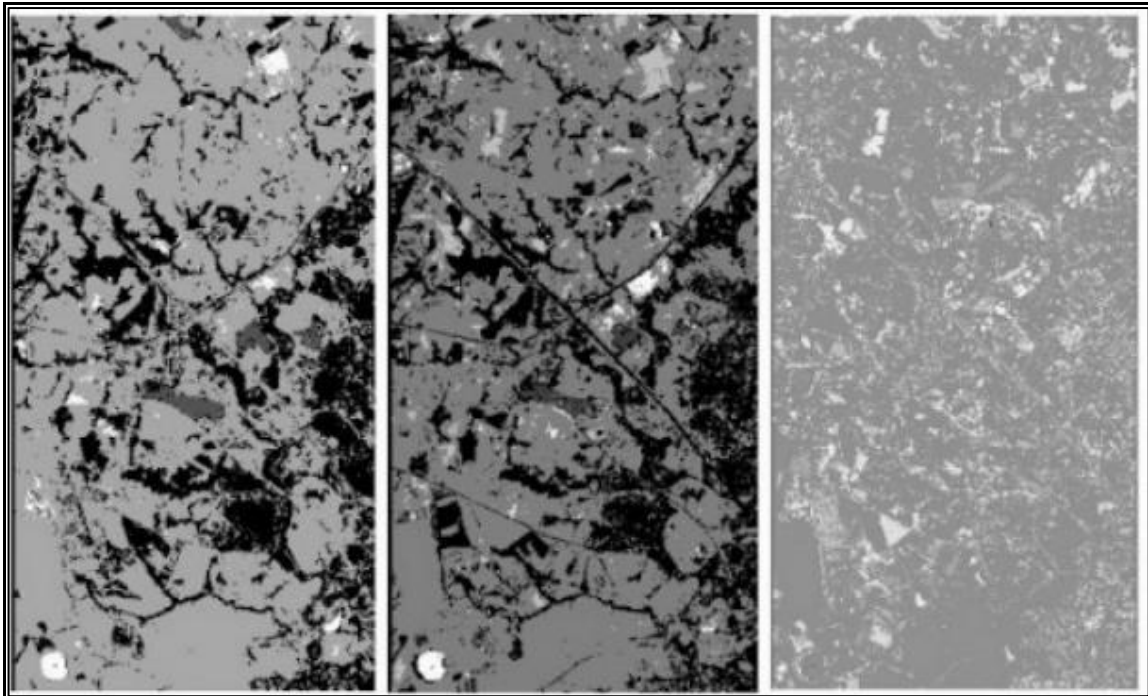
No mapa de alterações, as classes de “Vegetação primária” e “Vegetação secundária” foram postas numa mesma classe para uma melhor visualização das mudanças ao longo dos

anos. Isto é, “vegetação que regenerou I” é referente a vegetação primária, assim como, “vegetação que regenerou II” se refere à vegetação secundária.

Tendo em vista a metodologia utilizada, a de detecção de mudanças, foi feita a comparação entre as classificações a fim de detectar as alterações ocorridas ao longo dos anos em análise.

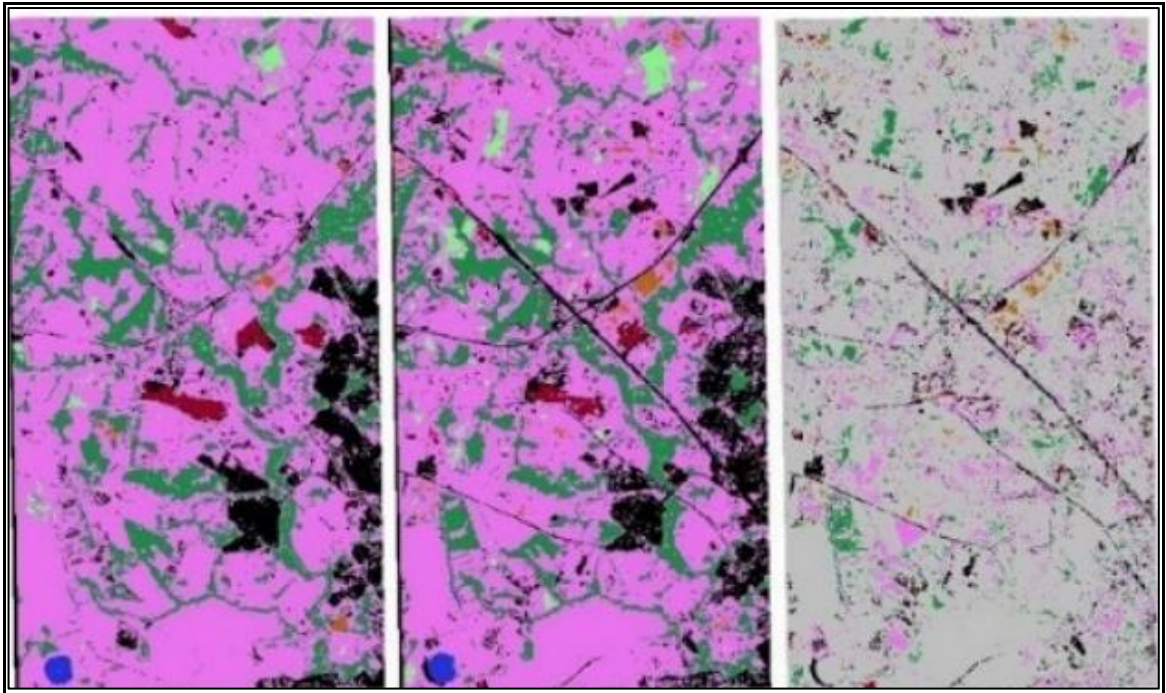
Foram exportadas do Google Earth Engine (GEE) as imagens .TIFF das 2 classificações supervisionadas e a imagens .TIFF do mapa de alterações e importadas para o software Arcgis (Figura 22). Feito isso, foram alteradas as simbologias para as cores correspondentes de cada classe (Figura 23) e gerados layouts para cada resultado (FIGURAS 24, 25 e 26).

Figura 22 – Imagem .TIFF das 2 classificações supervisionadas e a imagens .TIFF do mapa de alterações



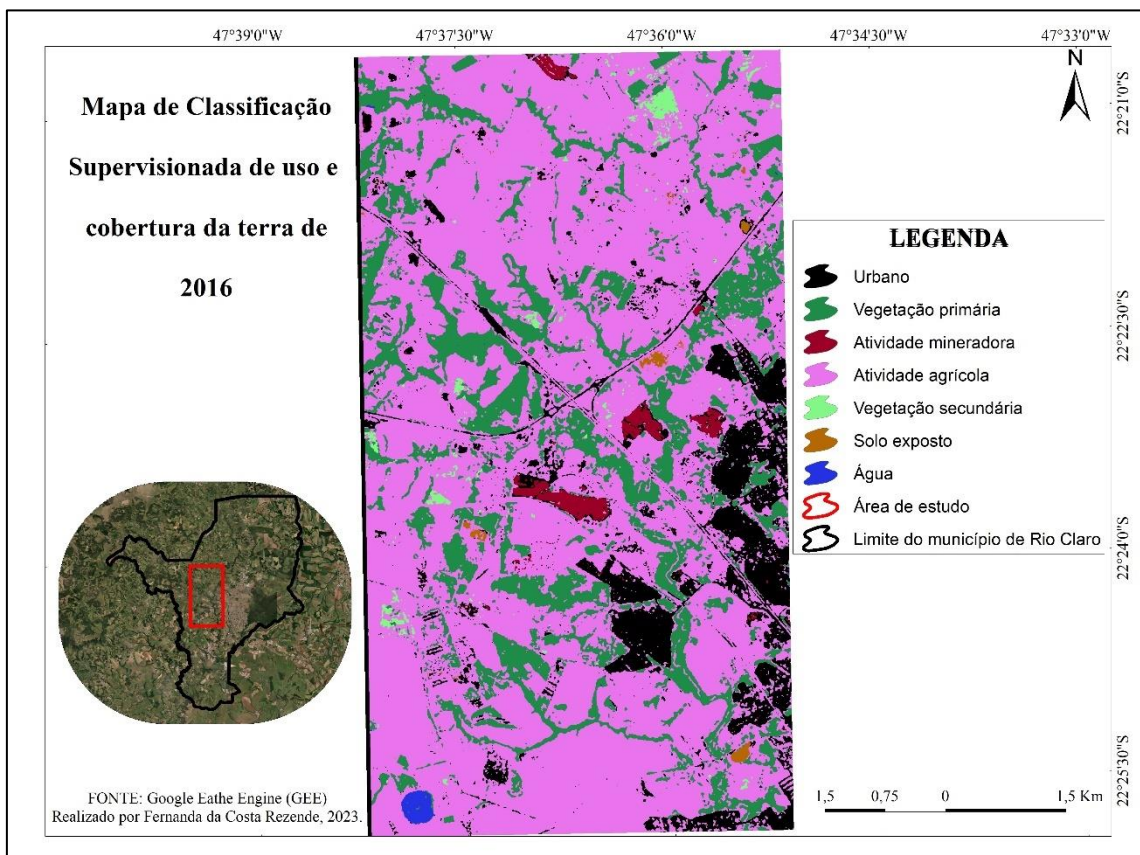
Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Figura 23 – Aplicação das simbologias aplicas nas imagens .TIFF



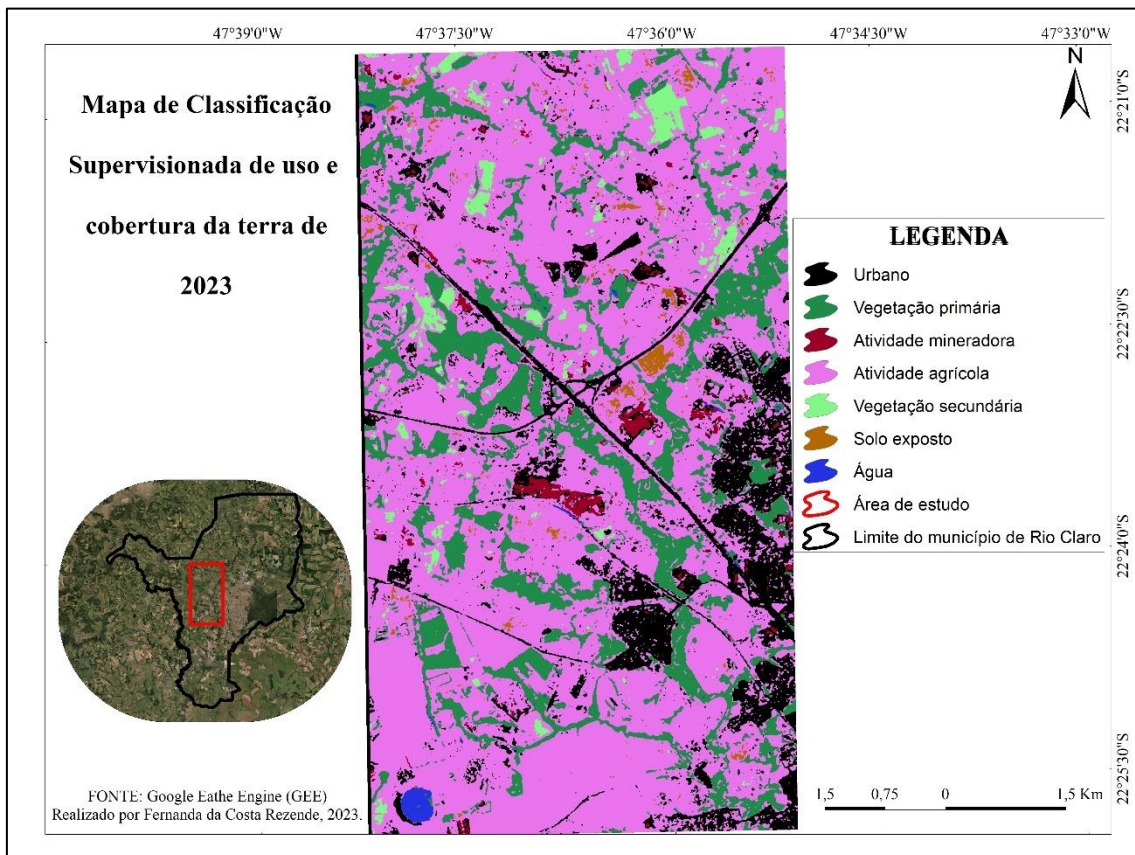
Fonte: Google Earth Engine (GEE).

Figura 24 – Mapa de classificação supervisionada de uso e cobertura da terra de 2016



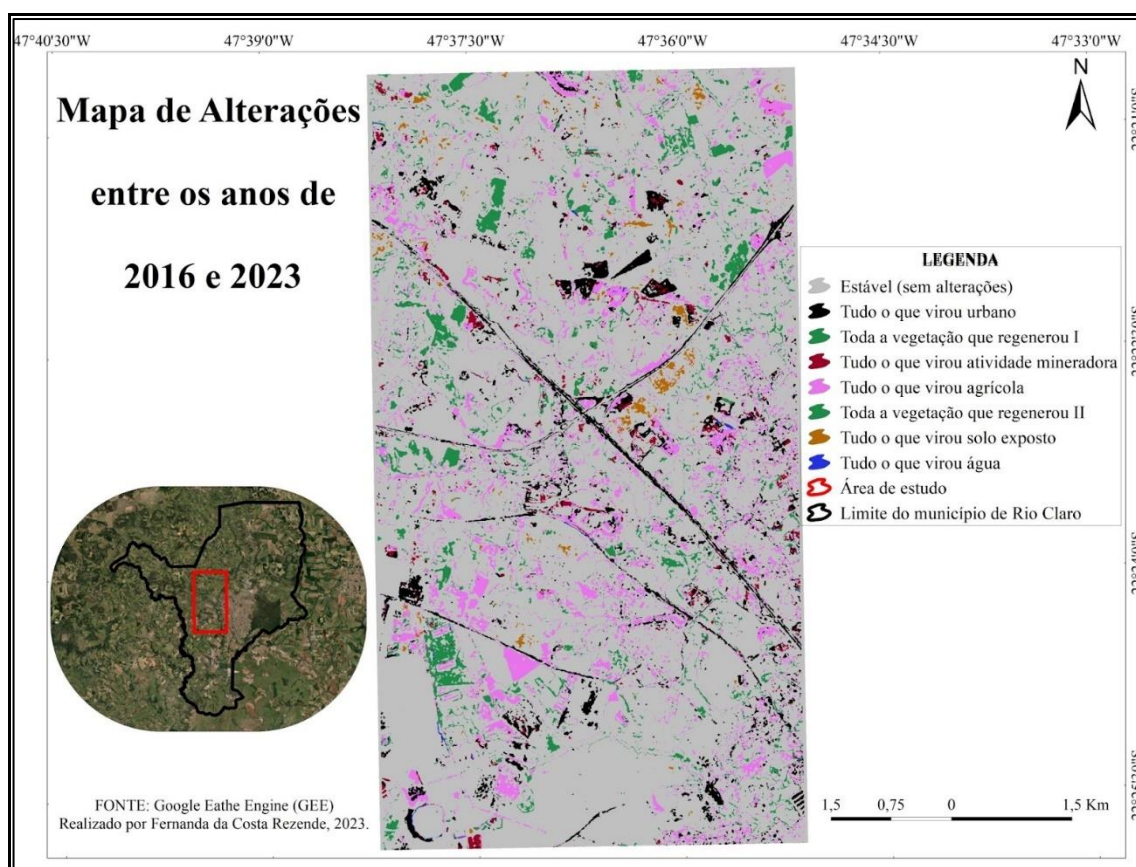
Fonte: Autoria própria.

Figura 25 - Mapa de classificação supervisionada de uso e cobertura da terra de 2023



Fonte: Autoria própria.

Figura 26 – Mapa de alterações entre os anos de 2016 e 2023



Fonte: Autoria própria.

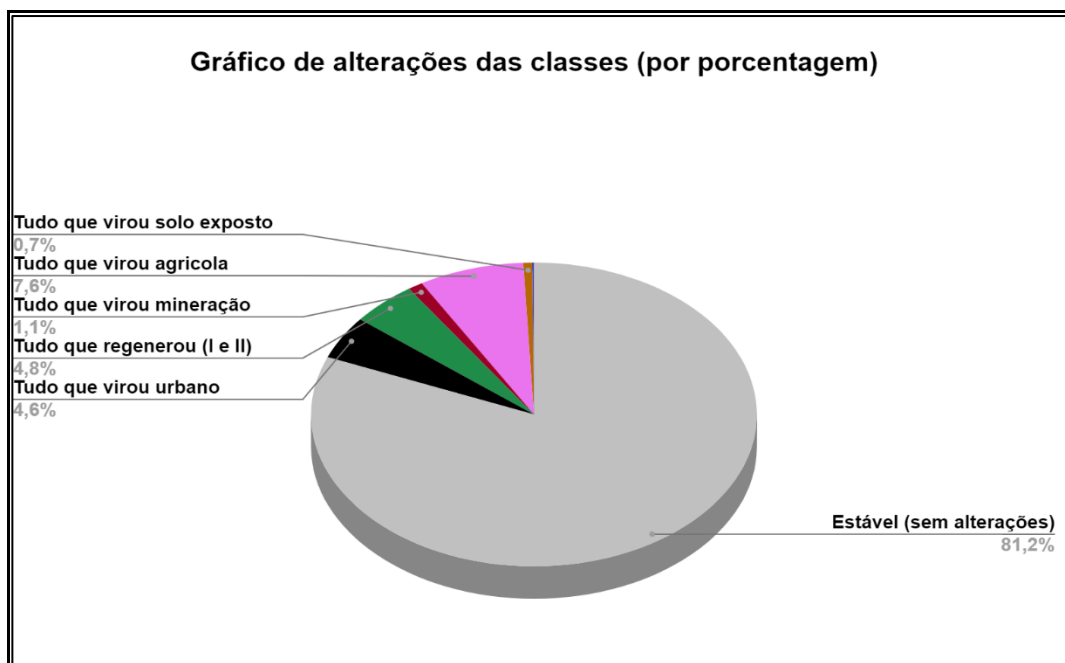
A partir dos dados do mapa de alterações, foi gerado uma tabela (Figura 27) com as áreas correspondentes às alterações ocorridas, e um gráfico (Figura 28) representando as mudanças ocorridas ao longo dos anos em porcentagem:

Figura 27 – Tabela representando as áreas correspondentes às alterações ocorridas

<b>Classes</b>	<b>Área de alteração em hectare (ha)</b>
Estável (sem alterações)	4.189,07
Tudo que virou urbano	237,313671
Toda a vegetação que se regenerou	245,479596
Tudo que virou atividade mineração	55,662077
Tudo que virou atividade agrícola	393,698707
Tudo que virou solo exposto	34,068197
Tudo que virou água	5,661876

Fonte: Excel

Figura 28 – Gráfico representando as mudanças ocorridas ao longo dos anos em porcentagem



Fonte: Excel.

## 5. ANÁLISE E DISCUSSÕES

Tendo em vista o objeto de análise em questão, foi realizada a análise temporal da área de estudo escolhida entre os anos de 2016 e 2023. Posto isso, como resultado gerou-se mapas de classificações de uso e cobertura da terra, e posteriormente, um mapa de alterações apresentando as mudanças ocorridas neste espaço de tempo, como exposto anteriormente. Neste item, será discutido o resultado, assim como, a funcionalidade do método escolhido para tal análise, analisando as técnicas utilizadas e atribuindo os prós e contras do estudo.

Um ponto de extrema relevância a ser ressaltado, foi a primeira tentativa de classificação a partir de imagens da Coleção Landsat 8. As imagens tinham 30 metros de resolução espacial, o que desvalorizou o resultado da classificação, tornado-a imprecisa e com uma elevada porcentagem de erros. Posto isso, foi necessária a troca para imagens Planet, com resolução espacial de 5 metros, sendo feita a análise e discussão a partir destes novos resultados obtidos com melhor qualidade e precisão de análise. Ademais, é importante enfatizar que foram utilizadas as mesmas amostras das 7 classes existentes para as duas classificações (2016 e 2023) a partir das imagens Planet.

A classificação supervisionada de uso e cobertura da terra da área escolhida no ano de 2016 houve algumas confusões ao longo da classificação, entretanto, nada que tenha atrapalhado a análise temporal de maneira significativa. Pequenos erros e confusões entre

classes não existir, contanto que não altere a ideia geral da análise, não é um fato prejudicial. O objetivo maior é atingir a menor quantidade de erros e confusões entre classes possível.

A atividade agrícola foi confundida com 3 classes: a de vegetação secundária, a de atividade mineradora e a de área urbana, exatamente, nesta ordem de frequência. Isto é, a área agrícola foi confundida mais com a vegetação secundária, do que com a atividade agrícola e a área urbana, mas, estas também contribuíram com a confusão. Este fato, muitas vezes se explica por haver diferentes tipos de visualizações de uma mesma classe que podem acabar se confundindo com o padrão de outras classes..

Uma outra observação foi a de que as estradas da região, automaticamente, foram identificadas como pertencentes à classe ‘urbano’. A classe mais apurada e com menos confusões, ou quase nenhuma confusão, foi a de ‘vegetação primária’.

A classificação supervisionada de uso e cobertura da terra da área escolhida no ano de 2023 também foi marcada por pequenos erros e confusões, sendo mais significativos do que a do ano de 2016. A atividade agrícola foi confundida com a classe de ‘urbano’ e a de ‘atividade agrícola’ nessa ordem de frequência. A vegetação secundária foi confundida com a classe de ‘solo exposto’ e ‘atividade mineradora’, nessa ordem de frequência. A atividade mineradora no mosaico original da imagem PLANET foi confundida com a classe de ‘atividade agrícola’. E o solo exposto foi confundido com as classes de ‘urbano’ e ‘atividade mineradora’.

A classe de ‘urbano’ e ‘atividade mineradora’ se confundem bastante tendo em vista a estrutura e a cor dos telhados das casas que são feitos de argila (cerâmica), enquanto que a atividade mineradora também é de exploração de argila (cerâmica). Pode-se incluir a classe de ‘solo exposto’ nesta mesma linha de pensamento uma vez que as cores se assemelham muito. As estradas também foram interpretadas como sendo da classe ‘urbano’, tendo um significativo aumento desde 2016.

Foi feito o processo de subtração das imagens .TIFF classificadas, e posteriormente, gerou-se um mapa de alterações, este sendo o principal resultado de todo o estudo, no qual apresentam as mudanças detectadas ao longo dos anos analisados, isto é, a resposta ao objetivo da pesquisa em questão.

A maior parte da área de estudo não sofreu alterações (como exposto na figura 26), entretanto, a classe que mais aumentou significativamente foi a de ‘atividade agrícola’. A agricultura na região cresceu bastante, tendo em vista o intervalo temporal..

A hipótese para a análise era a de que a vegetação tivesse tido uma grande queda, um elevado desmatamento, considerando o fato do contexto de exploração mineral na área e

também a tendência ao crescimento de atividades agrícolas. Entretanto, constatou-se que algumas áreas, inclusive, foram regeneradas. O que é um bom sinal.

A classe ‘urbano’ também aumentou significativamente. A classe de ‘atividade mineradora’ aumentou parcialmente. Entretanto, nada se compara ao crescimento da ‘atividade agrícola’. O aumento desta classe é prejudicial uma vez que contribui para o desmatamento, erosão do solo (causada pela irrigação) e diminuição da biodiversidade local. Não houve um aumento significativo da atividade mineradora, como o esperado, ademais, ainda que mínimo, os impactos ambientais da mineração são prejudiciais no que tange o aumento da turbidez e variação da qualidade da água, por exemplo, contaminação do solo, poluição do ar, dentre outros que afetam não só o meio ambiente como também o meio social.

Como propõe a metodologia de detecção de mudanças, foi possível realizar a comparação do uso e cobertura da terra entre os anos de 2016 e 2023. A utilização de ferramentas do Google Earth Engine se mostraram bastante eficientes, e mesmo sendo uma análise local, é válido ressaltar que as técnicas de programação utilizadas possibilitam análises de área em escala muito maiores. O objetivo principal da pesquisa se deu na aplicação da metodologia em um ambiente voltado para um serviço a partir de técnicas de programação, evidenciando a possibilidade de se adquirir, processar, interpretar e compartilhar dados geográficos dentro de uma mesma plataforma, sendo este um importante diferencial em relação aos softwares de SIG.

A plataforma do Google Earth Engine, além de ser gratuita e possuir um grande conjunto de dados espaciais armazenados em nuvem, por ter como suporte a linguagem Python e Java Script (utilizada neste estudo), automatiza e processa os dados de forma muito rápida por trabalhar em linhas de comando em que muitas vezes as funções são as mesmas. A única desvantagem que é válida ressaltar, é o fato de ser uma plataforma que demanda linguagem de programação, o que pode em alguns momentos ser um grande desafio para o analista que não tem um conhecimento consolidado sobre a temática. Posto isso, conclui-se que a plataforma escolhida para a análise possui muito mais vantagens do que desvantagens.

Os resultados se mostraram satisfatórios tendo em vista a elevada taxa de atividade agrícola nos últimos anos. Todavia, era esperado que houvesse um significativo aumento da atividade mineradora na região, visto que a escolha da delimitação do espaço para a análise se deu considerando a cava de exploração de argila de Batovi, localizada no centro da área de estudo. Entretanto, a mudança detectada foi de um aumento de 1,1% em um intervalo de 7 anos da atividade mineradora, correspondendo a 55,66 hectares. E as alterações para atividades

agrícolas foram bem mais expressivas com um aumento de 7,6% , correspondendo a 393,69 hectares.

Aa alterações para a classe de urbano e de vegetação regenerada ainda se mostram mais acentuadas que as de atividade mineradora, com um aumento de 4,6% (237,31 ha) e 4,8% (245,47 ha), respectivamente. Enquanto as classes de solo exposto e água tiveram alterações insignificantes para a análise. Em resumo, a área de estudo sofreu poucas alterações ao longo dos anos, o que pode ser considerado um bom resultado em relação aos aspectos ambientais, ainda que a atividade agrícola tenha tido um elevado aumento desde então.

## **6. CONCLUSÃO**

Tendo em vista o objetivo da pesquisa de compreender de que maneira se deu as transformações no uso e cobertura da terra a partir da visualização das principais mudanças ao longo do tempo, foi aplicada a metodologia de detecção de mudanças e os resultados obtidos expõem a baixa taxa de atividade mineradora entre os anos de 2016 e 2023. Foram constatadas outros tipos de mudanças no uso da terra, como por exemplo, a expansão da atividade agrícola na região, como já exposto anteriormente. O aumento desta classe é prejudicial uma vez que contribui para o desmatamento, erosão do solo (causada pela irrigação) e diminuição da biodiversidade local. Entretanto, ainda que com elevados índices de expansão agrícola, a área de estudo, em sua maioria, não sofreu quaisquer alterações.

Importante salientar a eficácia da metodologia utilizada, visto que em pouco tempo de processamento de dados e em poucos ‘cliques’ foi possível realizar uma análise temporal com tantos detalhes e informações de elevada precisão a respeito da área de interesse. Este tipo de análise pode facilitar excessivamente variados tipos de projetos ambientais, principalmente, voltados para o licenciamento ambiental e seus processos. Uma vez detectadas as transformações no uso e cobertura da terra, promoverá a produção de um estudo prévio que facilitará o processo de previsão de impactos futuros sobre o uso e cobertura da terra, e, posteriormente, possibilitará intervenções visando à mitigação. Podendo concluir que houve eficácia do método e das geotecnologias utilizadas no que tange a identificação das diferenças na paisagem ao longo do tempo.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BARBOSA, C.C.F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**, Ministério da Ciência e Tecnologia. São José dos Campos - INPE, 1997.

Acesso em: <http://mtc.m12.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/banon/1998/05.07.15.37/doc/publicacao.pdf>

EMBRAPA: Satélites de monitoramento. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>> Acesso em: 10/10/2023.

ENGESAT: Soluções em imagens de satélite e geoprocessamento. Disponível em: <<https://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/planetscope/>> Acesso em : 10/10/2023.

FERREIRA, Marina Albernaz. **Aplicação de técnicas de detecção de mudanças no mapeamento do bioma cerrado no Alto Paranaíba**. 2023. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações) – Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2023.

FILHO, B.S.S. Análise de paisagem: Fragmentação e Mudanças, **Departamento de Cartografia, Centro de Sensoriamento Remoto - Instituto de Geociências - UFMG**, 1998.

HUANG, C. TOWNSHEND, J. R. G.; XIWU, Z. HANSEN, M.; DEFRIES, R.; SOHLBERG, R. **Detecting land cover changes based on their trajectories in the spectral space**. In: Geosciences and Remote Sensing Symposium. Proceedings, IGARSS, IEEE International, vol. 5, p. 1984-1986, 2000.

**Introdução ao Google Earth Engine**, UFPel 2020. Apostila. Prof. Felipe de Lucia Lobo. Acesso em: <https://wp.ufpel.edu.br/geotechidrica/files/2021/05/ApostilaGEE2020.pdf>

JENSEN J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

JÚNIOR, O.A.C. SILVA, N.C. Detecção de Mudança Espectral uma nova metodologia para análise de séries temporais. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5635-5641.

NOVO, E.M.L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. 3º Edição. EDITORA BLUCHER, 2008.

SCALCO, J.P.; FERREIRA, G.C. Impactos ambientais da mineração de argila para cerâmica vermelha na sub-bacia do Ribeirão Jacutinga - Rio Claro e Corumbataí. São Paulo, **UNESP, Geociências**, v. 32, n. 4, p. 760-769, 2013.

VILLALOBOS, J. U. G., 1990. **As Olarias do Município de Rio Claro SP: Uma alternativa de sobrevivência de pequenos proprietários rurais**. (Dissertação de Mestrado). Rio Claro (SP), 1990, Universidade Estadual Paulista, 1990.