



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO BIOMA CAATINGA**

Yves Pablo Costa Rêgo

Relatório de Iniciação Científica do  
programa PIBIC, orientada pela  
Ma. Kátia Alves Arraes.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/>](http://urlib.net/)

INPE  
São José dos Campos  
2024

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)  
Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
CEP 12.227-010  
São José dos Campos - SP - Brasil  
Tel.:(012) 3208-6923/7348  
E-mail: pubtc@inpe.br

**CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):**

**Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

**Membros:**

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)  
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)  
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)  
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon  
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO BIOMA CAATINGA

Yves Pablo Costa Rêgo

Relatório de Iniciação Científica do  
programa PIBIC, orientada pela  
Ma. Kátia Alves Arraes.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/>](http://urlib.net/)

INPE  
São José dos Campos  
2024

## RESUMO

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro e contém alta biodiversidade, contando, inclusive, com endemismo de espécies. No entanto, devido às atividades humanas e a fatores naturais, esse bioma corre risco de degradação, ameaçando sua fauna e flora. Nessa perspectiva, o sensoriamento remoto é fundamental para acompanhar a dinâmica do uso e ocupação do solo nessa região, de modo a compreender e monitorar as alterações ocorridas. Assim, o presente projeto almejou utilizar os fundamentos do sensoriamento remoto para realizar a classificação do uso e ocupação do solo na Caatinga, utilizando a plataforma de processamento de dados em nuvem Google Earth Engine e as imagens do satélite Sentinel-2. No processo, também foram investigados algoritmos de mascaramento de nuvens e sombras para obter imagens adequadas para a classificação. A classificação foi feita com o aprendizado de máquina Random Forest, do tipo supervisionada e baseada em pixel, e foi validada por meio de uma matriz de confusão, de um coeficiente Kappa e de análises visuais. Ademais, os resultados, que tiveram alta acurácia, foram divulgados por meio de um aplicativo no Google Earth Engine, contendo os mapas dos municípios classificados. Assim, a partir do mapeamento LULC, é possível observar e analisar a dinâmica da Caatinga, o que, então, pode auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas e processos que visem o desenvolvimento sustentável do bioma.

Palavras-chave: Classificação LULC. Sentinel-2. Google Earth Engine. Random Forest. Mapeamento da Caatinga.

## GEOTECHNOLOGIES APPLIED TO THE ANALYSIS OF LAND USE AND LAND COVER DYNAMICS IN THE CAATINGA BIOME ABSTRACT

The Caatinga is an exclusively Brazilian biome that boasts high biodiversity, including endemic species. However, due to human activities and natural factors, this biome is at risk of degradation, threatening its fauna and flora. In this context, remote sensing is essential to monitor the dynamics of land use and land cover in this region, in order to understand and keep track of its changes. Thus, the present project aimed to use the principles of remote sensing to classify land use and land cover in the Caatinga, utilizing the Google Earth Engine cloud-based data processing platform and Sentinel-2 satellite imagery. In the process, cloud and shadow masking algorithms were also investigated to obtain suitable images for classification. The supervised and pixel-based classification was performed using the Random Forest machine learning algorithm, and was validated through a confusion matrix, a Kappa coefficient, and visual analyses. Furthermore, the results were disseminated through an application on Google Earth Engine, featuring maps of the classified municipalities. Consequently, from the LULC mapping, it is possible to observe and analyze

the dynamics of the Caatinga, which can then support the development of public policies and processes aimed at the sustainable development of the biome.

Keywords: LULC Classification. Sentinel-2. Google Earth Engine. Random Forest. Land Use Land Cover Mapping in Caatinga.

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Mapa da Caatinga . . . . .	3
2.2 Histograma da metodologia do projeto. . . . .	4
2.3 Comparação entre cenas de Riachuelo . . . . .	6
2.4 Região de destaque em Riachuelo . . . . .	7
2.5 Comparativo entre cenas na região de destaque . . . . .	8
2.6 Índices espectrais e seus usos no projeto . . . . .	9
2.7 Composições de falsa cor . . . . .	9
2.8 Classes temáticas definidas no projeto . . . . .	11
2.9 Pontos de treinamento em Apodi - RN . . . . .	12
2.10 Pontos de validação em Apodi - RN . . . . .	13
2.11 Exemplo de validação quantitativa . . . . .	14
2.12 Aplicativo Resultados com os mapas classificados dos municípios do Rio Grande do Norte . . . . .	15

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LULC	–	Land Use, Land Cover (Uso e Ocupação do Solo)
GEE	–	Google Earth Engine
RF	–	Random Forest
NDVI	–	Normalized Difference Vegetation Index
SAVI	–	Soil-Adjusted Vegetation Index
BSI	–	Bare Soil Index
ESA	–	European Space Agency

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>2 DESENVOLVIMENTO</b> . . . . .	<b>2</b>
2.1 Área de estudo . . . . .	3
2.2 Metodologia . . . . .	4
2.3 Dados de sensoriamento remoto . . . . .	4
2.4 Algoritmos de mascaramento de sombra e nuvem . . . . .	5
2.5 Índices espectrais . . . . .	8
2.6 Composições de falsa cor e seus usos no projeto . . . . .	9
2.7 Classificação das imagens . . . . .	10
2.8 Validação e análise de acurácia . . . . .	12
2.9 Resultados . . . . .	14
<b>3 CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>15</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> . . . . .	<b>16</b>

### 1 INTRODUÇÃO

A Caatinga é um dos biomas mais importantes do território brasileiro. Ela contém ampla biodiversidade, como espécies endêmicas e vegetação xerófila - vegetação adaptada ao período de seca (ou estiagem), mais frequente entre os meses de junho e dezembro. O desenvolvimento humano em regiões abrangidas pelo bioma, no entanto, vem afetando como ele se dispõe. A Caatinga já teve mais de 50% de sua área alterada ou comprometida devido a práticas humanas como a pecuária extensiva (DRUMOND et al., 2016), urgindo ações que visem o desenvolvimento sustentável do bioma.

Considerando a importância ambiental da Caatinga e os processos pelos quais ela passa, há, primeiro, a necessidade de acompanhar como as mudanças terrestres ocorrem ao longo do tempo no bioma, de modo a permitir análises que proponham e

resultem na aplicação de práticas de conservação ambientais. Ademais, o próprio processo de acompanhamento permite revelar os comportamentos da Caatinga ao longo do tempo, sejam eles naturais ou relacionados às ações humanas.

Uma das formas de se qualificar e, possivelmente, quantificar a própria superfície terrestre é através da classificação LULC, que busca categorizar áreas determinadas em diferentes classes temáticas. A distinção explícita dos objetos e formas presentes no planeta permite realizar análises rápidas da disposição desses, facilitando monitoramentos futuros e o mapeamento de áreas presentes.

Nesse sentido, uma das técnicas mais conhecidas para obter os dados de uso e cobertura do solo é a do sensoriamento remoto, através de imagens de satélite, mitigando a necessidade de presença física. Nesse quesito, existem múltiplas missões com o objetivo de observar o planeta, como Landsat, CBERS, Sentinel-2. O Sentinel-2, em especial, consiste em uma missão multi-espectral e de resolução de 10m, com ciclos curtos ao redor da Terra (ESA, 2016).

Nessa perspectiva, uma das maiores dificuldades para o sensoriamento remoto é a presença de oclusões visuais, como nuvens e sombras. Esses artefatos dificultam ou impedem a visualização da superfície terrestre, tornando mais árduo o processo de observação do planeta e, por vezes, sendo detrimental a processos sensíveis a dados, a exemplo da classificação LULC, ao causar confusão visual ou impossibilitar a obtenção de dados realistas. Uma das formas de tentar contornar a presença desses obstáculos é a nível de software, tentando mascarar as nuvens e sombras por meio de algoritmos.

Assim, o presente trabalho se propôs a realizar a classificação LULC supervisionada e baseada em pixel de municípios da Caatinga, utilizando a plataforma de processamento de dados em nuvem Google Earth Engine, imagens do Sentinel-2 e o aprendizado de máquina Random Forest. No processo, foram investigados e utilizados algoritmos de mascaramento de sombra e nuvem em municípios que apresentaram muitas nuvens ou sombras, de modo a removê-las. Os resultados foram divulgados através de um aplicativo no Google Earth Engine, no qual estão os mapas classificados. Com isso, a partir do mapeamento LULC, pode-se, então, contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas e práticas que favoreçam o manejo ambiental adequado, de maneira a melhor preservar a biodiversidade da Caatinga.

## 2 DESENVOLVIMENTO

O projeto visou realizar a classificação LULC de áreas elencadas da Caatinga, nas classes temáticas: área urbana, solo exposto, uso agrícola e/ou pastagem, corpo d'água, vegetação aberta e vegetação densa. A principal ferramenta utilizada para tanto foi o Google Earth Engine, plataforma de processamento de dados em nuvem, onde foram obtidas as imagens do Sentinel-2 para classificação posterior pelo Random Forest. Como geotecnologias adjacentes, também foram utilizados os recursos das ferramentas Google Earth e Google Timelapse para auxiliar em análises visuais.

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo do projeto foi a Caatinga; no ano decorrido, especificamente, ela foi centrada em municípios do Rio Grande do Norte que estão inseridos no bioma. A Figura 2.1 apresenta a extensão do bioma, destacando o Rio Grande do Norte.

Figura 2.1 - Mapa da Caatinga

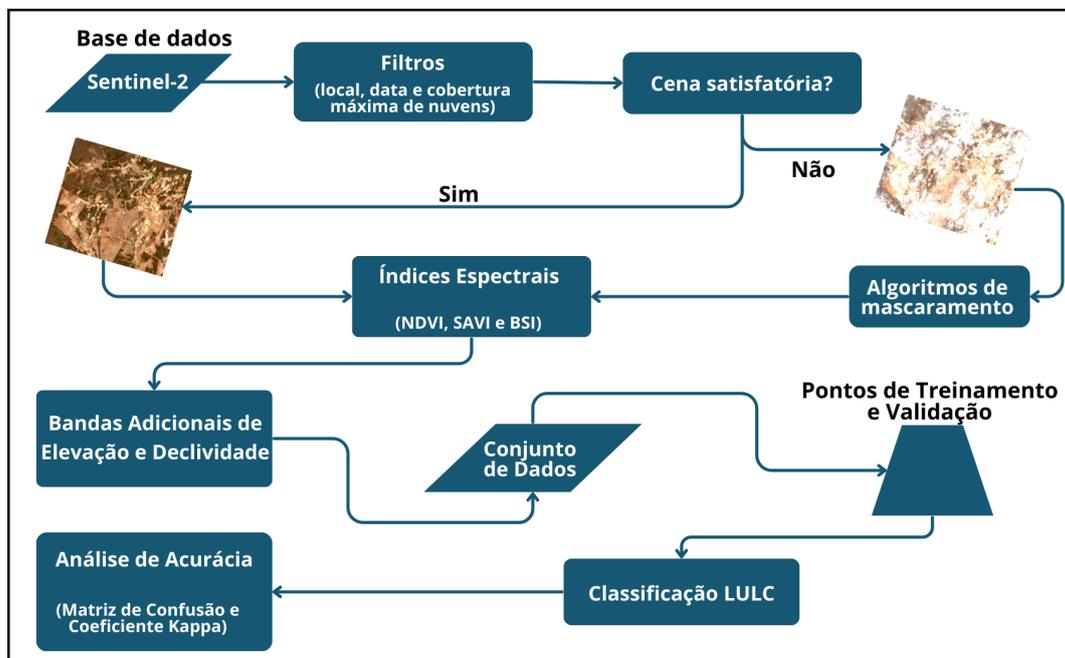


Fonte: Modifica (2020); alterada pelo autor.

## 2.2 Metodologia

O projeto foi realizado de forma iterativa, com processos definidos para cada região a ser classificada. A classificação foi realizada a nível de município. Os processos sequenciais foram: definição do município a ser mapeado; estudo de suas características; filtragem inicial no Google Earth Engine por local, data e cobertura máxima de nuvens; obtenção de imagens satisfatórias, ou seja, sem sombras e nuvens; adição de bandas e índices espectrais adicionais; inserção dos pontos de treinamento e validação para o Random Forest, e classificação e análise da acurácia. Esse fluxo, após a etapa de definição do município, pode ser observado na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Histograma da metodologia do projeto.



Etapas referentes aos processos após a escolha do município.

Fonte: Autoria própria.

## 2.3 Dados de sensoriamento remoto

Foram obtidas imagens do satélite Sentinel-2 para o projeto devido a sua disponibilidade no GEE e a sua resolução de 10m, que fornece dados com precisão. O período definido para obtenção das imagens foi o ano de 2021 e durante a estiagem

da Caatinga, entre os meses de Julho e Outubro.

Para a realização posterior da classificação, foi definida a necessidade de que as imagens selecionadas não possuíssem sombras ou nuvens, uma vez que esses obstáculos dificultam o mapeamento da cobertura da Terra.

Dessa forma, após a obtenção inicial das imagens, foram aplicados filtros de cobertura máxima de nuvens; então, dentre as cenas resultantes, foi selecionada uma imagem satisfatória. Essa foi uma das técnicas utilizadas para a obtenção de uma imagem satisfatória; outra técnica envolve obter uma média das imagens do período, caso não se encontre uma única cena limpa o suficiente.

Normalmente, essas duas técnicas foram suficientes para obter uma cena satisfatória para classificação; no entanto, nos municípios mais recentes do projeto, essas técnicas não produziram imagens desejáveis. Com isso, foi necessário buscar, estudar e aplicar algoritmos de mascaramento de nuvens e sombras.

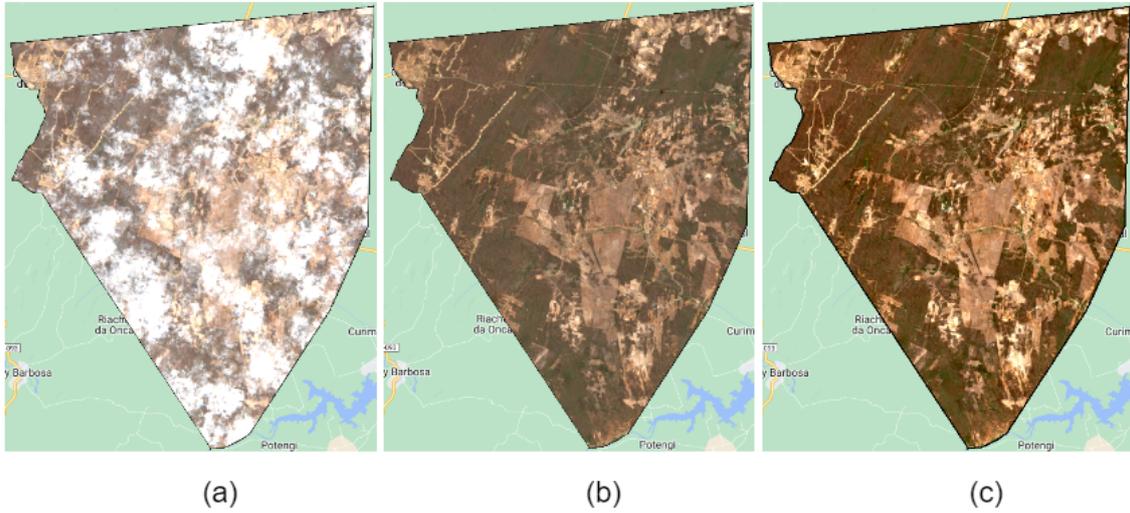
## 2.4 Algoritmos de mascaramento de sombra e nuvem

Foram utilizados algoritmos de mascaramento de sombra e nuvem para obter imagens satisfatórias que não foram encontradas por meio de técnicas anteriores. Inicialmente, utilizou-se uma máscara *bitwise* para a banda QA60 do Sentinel-2, que contém informações sobre a presença ou não de nuvens na imagem. No entanto, para municípios mais recentes, esse algoritmo não foi suficiente.

Com isso, estudos foram realizados no projeto com os algoritmos S2Cloudless e Cloud Score+. A solução Cloud Score+ demonstrou potencial, apresentando resultados eficazes de forma ágil, com parâmetros facilmente configuráveis e eliminando as sombras e nuvens do modo desejado. A partir dela, conseguiu-se obter imagens satisfatórias de municípios que mostraram dificuldade para tal, permitindo a classificação LULC.

Um exemplo de município com nuvens e sombras cuja classificação foi permitida pelo Cloud Score+ é Riachuelo. A Figura 2.3 exhibe, respectivamente: (a) o município sem filtros de cobertura máxima de nuvens; (b) com filtros de cobertura máxima de nuvens; e (c) com o algoritmo Cloud Score+.

Figura 2.3 - Comparação entre cenas de Riachuelo

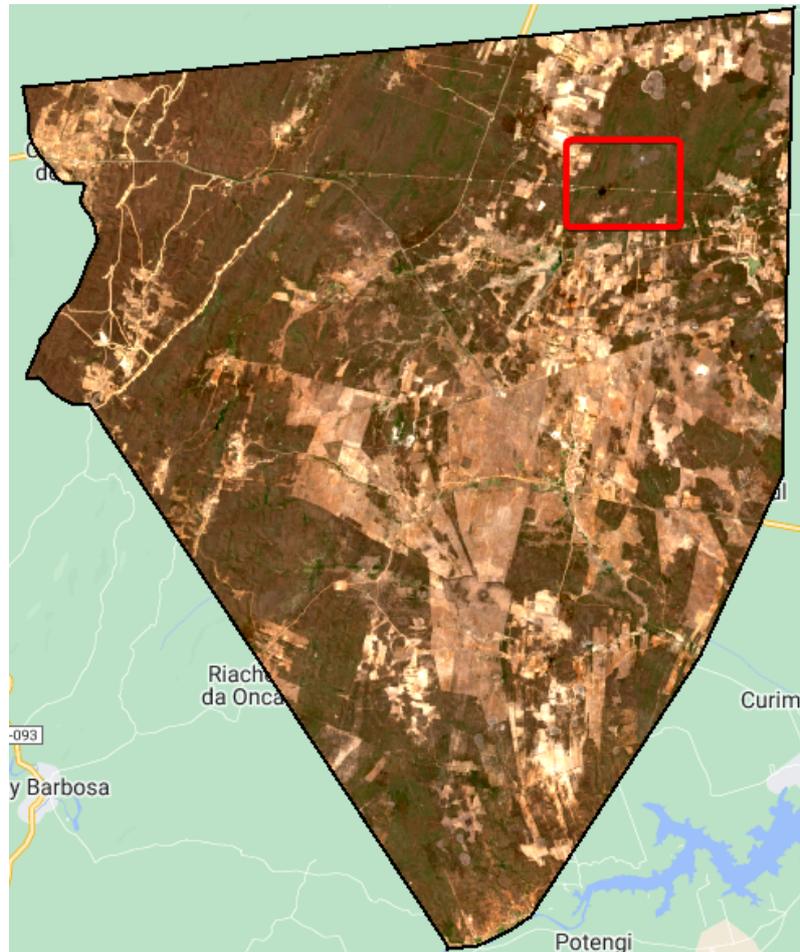


(a) Cena original de Riachuelo, sem filtros; (b) Riachuelo com filtros de cobertura de nuvens; (c) Riachuelo com algoritmo Cloud Score+.

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que os filtros na cena (b) da Figura 2.3 removeram a maior parte das nuvens, mas, após inspeções visuais, algumas regiões permanecem insatisfatórias. Uma dessas regiões é destacada abaixo na Figura 2.4.

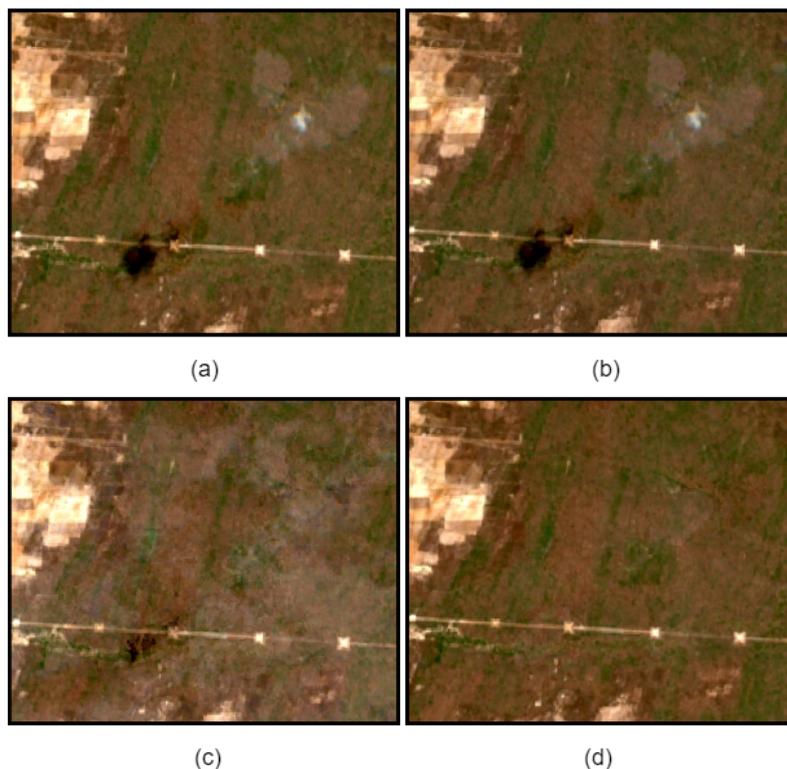
Figura 2.4 - Região de destaque em Riachuelo



Fonte: Autoria própria

Na região acima, algumas nuvens permaneceram, assim como uma sombra. Abaixo, na Figura 2.5, é possível visualizar melhor a sombra e as nuvens, e como o algoritmo Cloud Score+ corretamente remove ambas as obstruções em comparação a outros algoritmos.

Figura 2.5 - Comparativo entre cenas na região de destaque



(a) Cena de Riachuelo com filtros de cobertura máxima de nuvens; (b) Cena com algoritmo QA60 Bitmask; (c) Cena com S2Cloudless; (d) Cena com Cloud Score+. A cena (d) remove corretamente as obstruções visuais.

Fonte: Autoria própria.

Esse exemplo foi utilizado para mostrar como a solução Cloud Score+ contribuiu para avançar o projeto. Nesse tocante, continuam sendo realizados estudos para determinar a extensão da eficácia desse algoritmo e se ele é aplicável para qualquer município que apresente problemas com nuvens e sombras.

## 2.5 Índices espectrais

Os índices espectrais são um meio de realçar e destacar diferentes aspectos da imagem analisada. No projeto, eles foram utilizados para destacar certas classes temáticas e como variáveis de entrada para a classificação. Os índices espectrais calculados foram NDVI, SAVI e BSI; suas fórmulas e aplicações são vistas na Figura 2.6.

Figura 2.6 - Índices espectrais e seus usos no projeto

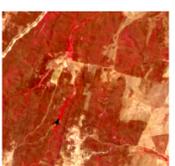
Índice espectral	Fórmula	Aplicação
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$	Realça a vegetação; auxilia na distinção dos tipos de vegetação.
Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + 0.5)} * (1 + 0.5)$	Minimiza o efeito do solo no índice NDVI.
Bare Soil Index (BSI)	$\frac{(RED + SWIR 1) - (NIR + BLUE)}{(RED + SWIR 1) + (NIR + BLUE)}$	Destaca áreas de solo exposto.

Fonte: autoria própria.

## 2.6 Composições de falsa cor e seus usos no projeto

De modo semelhante aos índices espectrais, as composições de falsa cor tiveram como propósito realçar e destacar algumas classes temáticas, de modo a auxiliar no processo de classificação. Para o projeto, foram utilizadas as composições CIR e NTS. As bandas para tal e as aplicações das composições são apresentadas na Figura 2.7.

Figura 2.7 - Composições de falsa cor

Composição de falsa cor	Imagem Sentinel-2	Imagem com composição	Bandas	Uso
NTS			B11 (SWIR 1), B8 (NIR), B4 (Red)	Ressalta corpos d'água, vegetação densa e áreas de uso agrícola e pastagem.
CIR			B8 (NIR), B4 (Red), B3 (Green)	Destaca corpos d'água e vegetação.

Fonte: autoria própria.

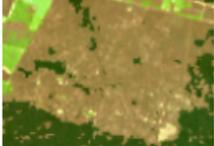
## 2.7 Classificação das imagens

A classificação das imagens se deu com o aprendizado de máquina Random Forest, na modalidade supervisionada baseada em pixel. O Random Forest fora previamente definido no projeto por sua eficiência e rapidez no mapeamento LULC, e continuou apresentando resultados satisfatórios. O número de árvore de decisões do RF foi fixado em 50, quantia também previamente decidida e tida como suficiente para obter resultados com alta fidelidade e conservando o desempenho do processamento.

Para realizar a classificação, os dados considerados foram as bandas do Sentinel-2: B2 (azul), B3 (verde), B4 (vermelho), B8 (NIR; perto do infravermelho) e B11 (SWIR 1; infravermelho de ondas curtas), além dos índices espectrais NDVI, SAVI e BSI; e, por fim, bandas de elevação, de declividade e das coordenadas "X" e "Y", extraídas do conjunto de dados ALOS DSM.

O treinamento do RF foi feito a partir de polígonos no GEE que foram chamados de pontos de treinamento, inseridos manualmente. Para auxiliar no processo de inserção dos polígonos, foram utilizados os índices espectrais e as composições de falsa cor, de modo a realçar as classes temáticas e garantir uma maior fidelidade da classificação. As classes temáticas e como elas foram vistas para o propósito do projeto podem ser vistas na Figura 2.8.

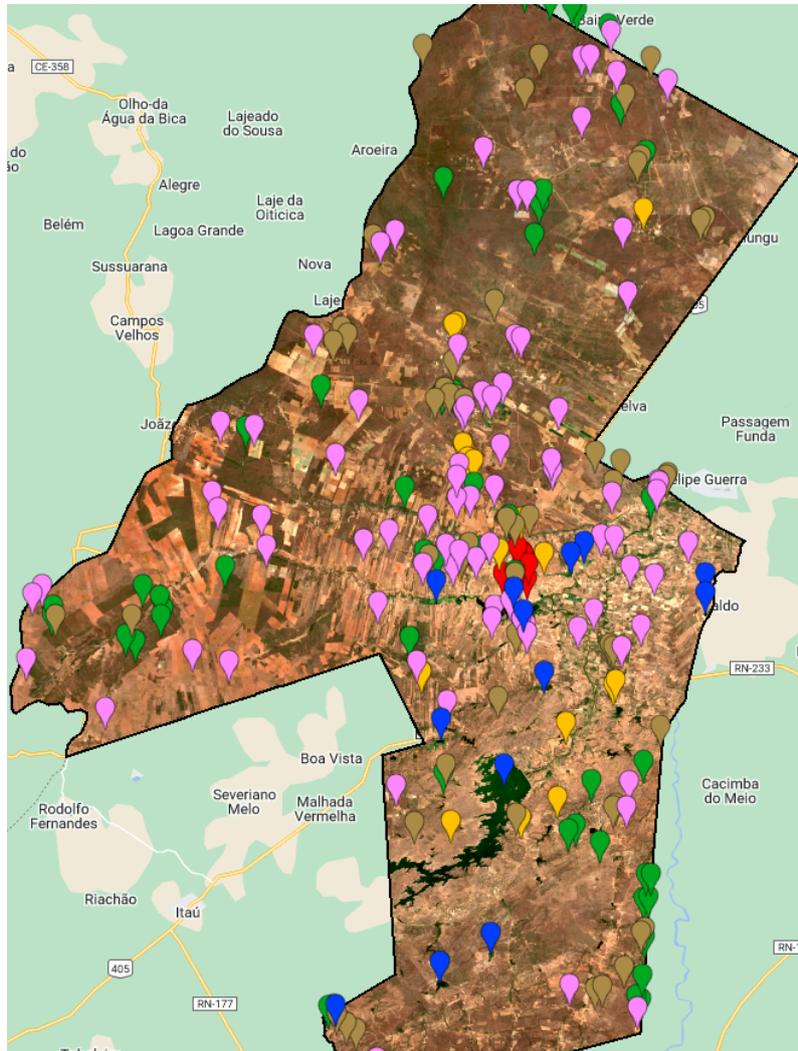
Figura 2.8 - Classes temáticas definidas no projeto

Classe Temática	Imagem Sentinel-2	Classificação	Descrição
Área urbana			Área central com aglomeração de edificações. Área urbanizada principal do município.
Solo exposto			Áreas de solo descoberto que não se caracterizam como de uso agrícola. Afloramento rochoso, assentamentos, e cursos d'água temporários.
Vegetação densa			Vegetação densa, que apresenta árvores e/ou arbustos com alta densidade nas copas, impedindo a visualização do solo.
Vegetação aberta			Vegetação aberta, que apresenta árvores e/ou arbustos espaçados, sendo possível visualizar o solo e/ou vegetação do estrato herbáceo.
Uso agrícola e pastagem			Áreas com características de uso agrícola, como plantações de cultivos permanentes e/ou temporários, áreas de pastagens e outras atividades correlatas.
Corpo d'água			Espelhos d'água como lagoas, rios e açudes.

Fonte: Autoria própria.

Um exemplo com pontos de treinamento inseridos em Apodi - RN pode ser visto na Figura 2.9.

Figura 2.9 - Pontos de treinamento em Apodi - RN



Fonte: Autoria própria.

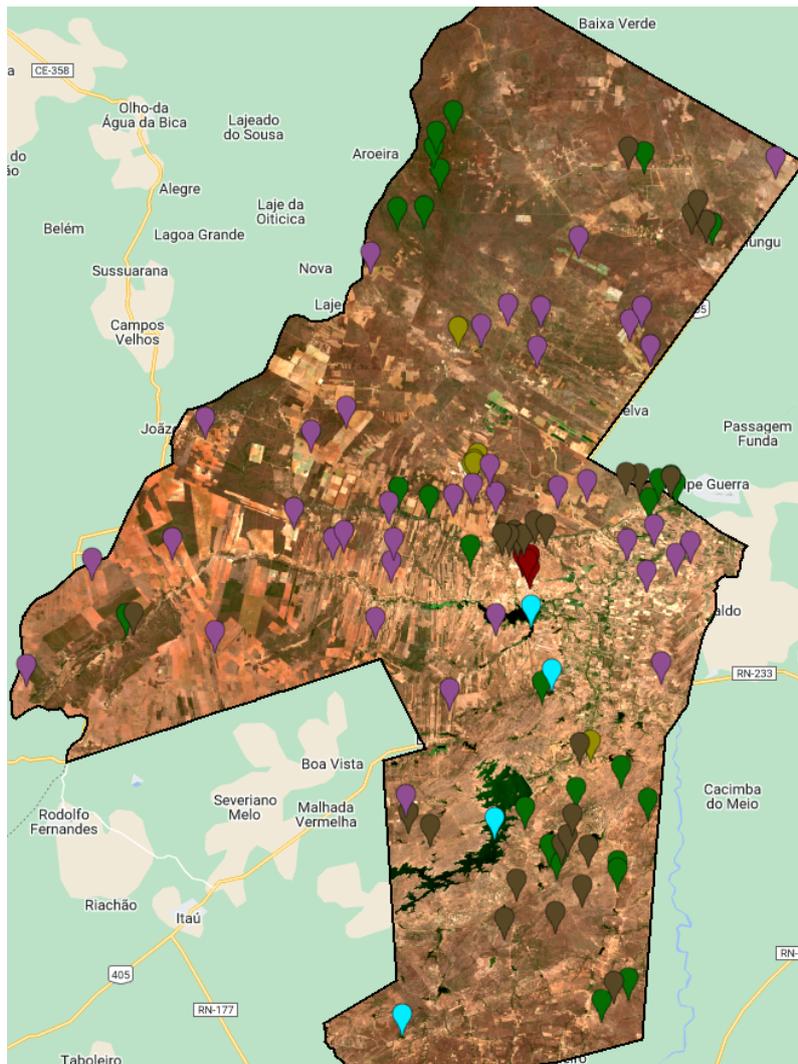
## 2.8 Validação e análise de acurácia

A validação da classificação se deu em duas etapas, uma qualitativa e outra quantitativa. A etapa qualitativa foi feita através de análises visuais, a partir do conhecimento do intérprete, avaliando se a classificação feita pelo Random Forest condizia com a realidade da imagem de satélite. Nessa etapa, os índices e composições de falsa cor possuíram utilidade expressiva.

A etapa quantitativa foi feita com a inserção de pontos de validação nas cenas,

em uma proporção aproximada de 70% pontos de treinamento para 30% pontos de validação. Um exemplo de cena com pontos de validação inseridos em Apodi - RN pode ser visto na Figura 2.10.

Figura 2.10 - Pontos de validação em Apodi - RN



Fonte: Autoria própria.

Ademais, a partir desses pontos de validação, foram gerados uma matriz de confusão e um coeficiente Kappa, que serviram para avaliar a acurácia total da classificação, como apresentado na Figura 2.11.

Figura 2.11 - Exemplo de validação quantitativa

```
Matriz de erro:  
▼ List (6 elements)  
  ▶ 0: [4,0,0,0,0,0]  
  ▶ 1: [0,6,0,0,0,0]  
  ▶ 2: [0,0,26,0,1,0]  
  ▶ 3: [0,0,1,27,0,0]  
  ▶ 4: [0,0,0,0,38,0]  
  ▶ 5: [0,0,0,0,0,4]  
  
Acurácia da classificação:  
0.9813084112149533  
  
Coeficiente Kappa:  
0.9745661991918232
```

Validação quantitativa com matriz de confusão e coeficiente Kappa, gerando acurácias para a classificação.

Fonte: Autoria própria.

De acordo com as observações do processo de validação, os pontos de treinamento foram ajustados iterativamente, até que se obtivesse um resultado de classificação satisfatória.

## 2.9 Resultados

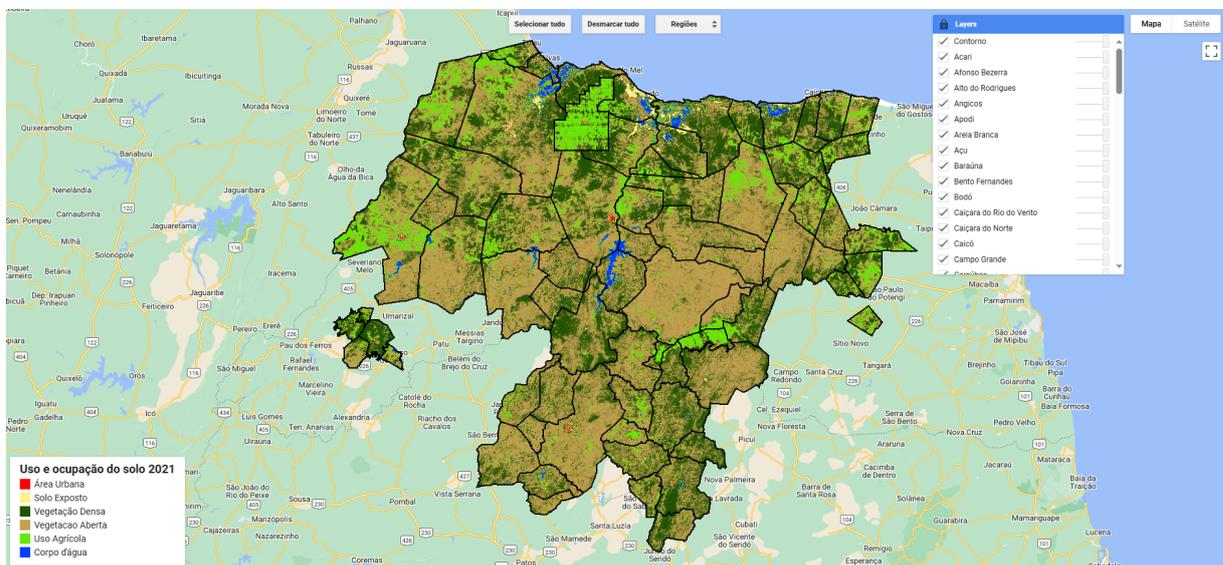
Os mapas classificados dos municípios apresentaram alta acurácia de acordo com os parâmetros de validação definidos, tanto qualitativos quanto quantitativos. Os mapas também apresentam conformidade entre si, ou seja, as fronteiras de cada município corretamente se interligam quanto à classificação, havendo, por exemplo, continuidade de vegetação quando aplicável.

Atualmente, da parte do autor, foram classificados 21 municípios: Afonso Bezerra, Angicos, Apodi, Caicó, Caiçara do Norte, Caiçara do Rio do Vento, Fernando Pedroza, Florânia, Galinhos, Ipueira, Jardim de Angicos, Jardim de Piranhas, Lajes, Pedra Grande, Pedra Preta, Serra Negra do Norte, São Bento do Norte, São Fernando, São José do Seridó, Timbaúba dos Batistas, Pedro Avelino.

Ademais, os mapas classificados dos municípios foram inseridos em um aplicativo do

GEE denominado "Resultados". Nessa parte, foram feitas otimizações no código pelo autor, que resultaram tanto no carregamento mais rápido do aplicativo quanto em uma facilidade maior para inserir novos municípios, diminuindo as etapas internas necessárias para tal, agilizando, assim, o processo como um todo. A Figura 2.12 exibe o aplicativo Resultados com os mapas de todos os municípios classificados até o momento.

Figura 2.12 - Aplicativo Resultados com os mapas classificados dos municípios do Rio Grande do Norte



Fonte: Autoria própria.

Por fim, durante o projeto, foram investigados algoritmos de mascaramento de nuvem e sombra para que se pudesse dar continuidade nas classificações de determinados municípios que não apresentaram imagens satisfatórias. Até o presente momento, o algoritmo Cloud Score+, encontrado pelo autor, foi suficiente e satisfatório para esse propósito, o que contribuiu significativamente para o avanço do projeto. A descoberta e utilização desse algoritmo, no entanto, também propicia outras pesquisas, dada à sua funcionalidade universal de remoção de obstruções visuais.

### 3 CONCLUSÃO

O sensoriamento remoto é uma técnica indispensável para monitorar as mudanças ocorridas na superfície terrestre. Para o bioma da Caatinga, que se encontra afetado pela atividade humana, esse acompanhamento é fundamental. Dessa maneira, a classificação LULC se põe como uma forma de melhor visualizar e quantificar as alterações ocorridas no bioma e observadas pelo sensoriamento remoto, permitindo análises mais ágeis.

Nesse contexto, a confiabilidade dos mapas produzidos a partir da classificação é essencial; por isso, é importante garantir a eficiência do modo como a classificação é realizada, e validar adequadamente os resultados obtidos. Com a utilização do aprendizado de máquina Random Forest e dos métodos de validação qualitativo e quantitativo, os mapas classificados no projeto apresentaram alta acurácia, apresentando a confiabilidade desejada.

Outro aspecto relacionado à produção de mapas de classificação precisos é a qualidade das imagens de satélite. Sombras ou nuvens em imagens afetam negativamente os resultados da classificação e, portanto, são indesejáveis nas imagens finais. Com isso, a partir de estudos para encontrar algoritmos de mascaramento de nuvem, foram utilizados efetivamente no projeto os algoritmos de máscara da banda QA60 e, mais recentemente, a solução de qualidade Cloud Score+, encontrada pelo autor. Essas soluções, especialmente a última, permitiram melhor assegurar a qualidade das classificações obtidas.

Por fim, uma parte substancial dos processos de classificação já está definida. Isso significa que é possível aproveitar a maior parte das soluções desenvolvidas para classificar outras áreas de desejo em diferentes períodos, criando perspectivas para outros trabalhos com o que já foi desenvolvido.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DRUMOND, M. et al. **Caracterização e uso das espécies da Caatinga: subsídio para programas de restauração florestal nas Unidades de Conservação da Caatinga (UCCAS)**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016. 1

ESA. **Sentinel-2: Colour vision for Copernicus**. 2016. <[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-2](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2)>. Acesso em: 08 de agosto 2024. 2