

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ADRIELLE ANDRADE

DINÂMICA ESPACIAL DO CENÁRIO FLORESTAL EM PAISAGENS
DO BIOMA CAATINGA NO MUNICÍPIO DE ARARIPINA-PE

RECIFE - PE

2022

ADRIELLE ANDRADE

**DINÂMICA ESPACIAL DO CENÁRIO FLORESTAL EM PAISAGENS
DO BIOMA CAATINGA NO MUNICÍPIO DE ARARIPINA-PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Florestal da Universidade
Federal Rural de Pernambuco, como parte das
exigências para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Florestal.

Orientador (a): Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva

Co-orientador (a): Ms. Lorena de Moura Melo

RECIFE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A554d Andrade, Adrielle
 Dinâmica Espacial do Cenário Florestal em Paisagens do Bioma Caatinga no Município de Araripina-PE / Adrielle
Andrade. - 2022.
 37 f. : il.
- Orientador: Emanuel Araujo Silva.
 Coorientador: Lorena de Moura Melo.
 Inclui referências e anexo(s).
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em
Engenharia Florestal, Recife, 2022.
1. Google Earth Engine. 2. Araripina. 3. Geoprocessamento. 4. Cobertura da terra. 5. NDVI. I. Silva, Emanuel
Araujo, orient. II. Melo, Lorena de Moura, coorient. III. Título

CDD 634.9

ADRIELLE ANDRADE

**DINÂMICA ESPACIAL DO CENÁRIO FLORESTAL EM PAISAGENS
DO BIOMA CAATINGA NO MUNICÍPIO DE ARARIPINA-PE**

Aprovado em 27 de maio de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Msc. Bruna Rafaella Ferreira da Silva
UFRPE

Prof. Dr. Everaldo Marques de Lima Neto
UFRPE

Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva
(Orientador - UFRPE)

Ms. Lorena de Moura Melo
(Co-Orientador - UFRPE)

RECIFE - PE

2022

DEDICATÓRIA

Dedico à minha mãe Fabiane e irmã Arianne pelo apoio, amor e incentivo. E a minha filha Lorena por ser minha maior motivação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser minha maior força.

Agradeço à toda minha família por serem sempre meu maior incentivo, por me transmitirem estabilidade emocional e por me dar tanto suporte para alcançar meus objetivos. Em especial agradeço à minha mãe Fabiane, irmã Arianne e avó Nice pois sem elas eu não conseguiria concluir este ciclo. E agradeço ao meu pai Genilson, por ser meu apoio emocional muitas vezes.

Agradeço com muito amor à minha filha Lorena Ferreira de Andrade pois mesmo sem saber é quem me promove tanto incentivo e alegria todos os dias da minha vida.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco por fornecer tanto suporte, oportunidade, capacitação profissional e vivência. Foi uma experiência incrível em todos os âmbitos que me acrescentou de forma inestimável.

Agradeço a todos os amigos que fiz dentro da universidade, a cada um que agregou na minha vida pessoal e acadêmica. Mas em especial, minha turma 2016.2 que será sempre inesquecível. E aos amigos que levarei para o resto da vida, Luana, Gabriella e Diogo.

Um agradecimento especial ao PET Engenharia Florestal e a Florar Consultoria Ambiental Jr. por me proporcionar experiências incríveis e enriquecedoras.

Agradeço a todos os professores da Universidade, mas em especial ao meu orientador Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva por sempre ser um grande incentivador, desde o começo do curso e pelas oportunidades de aprendizado que obtive. E ao meu tutor do PET, o Prof. Dr. Marcelo Nogueira por ser incrível em todas as nossas atividades conjuntas, ampliando nossa proatividade, e me fazendo evoluir constantemente.

Agradeço muito também à minha coorientadora Lorena de Moura Melo, por ser tão paciente e disponível a me auxiliar tantas vezes. Uma profissional e pessoa incrível que tive o prazer de conhecer.

RESUMO

A região semiárida do Brasil é chamada de Caatinga pois apresenta vegetação xerófila que é influenciada pelo clima e relevo da região. Situado nesta região semiárida está o município de Araripina, que possui grande concentração de empresas de produção de gesso, sendo um dos municípios que compõe a Chapada do Araripe onde é denotada a maior região do mundo de produção de gesso a partir da calcinação na gipsita. Neste local há grande exploração florestal incentivado pelo uso da madeira como matriz energética, que se não for manejado de forma correta pode acarretar em grandes problemas ambientais. A fim de compreender os grandes efeitos causados pela exploração existem estudos utilizando o sensoriamento remoto para mapear e classificar vastas regiões de forma mais rápida e eficiente. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do Google Earth Engine (GEE) como plataforma de utilização para classificar uso e cobertura da terra. Foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 8 por meio do sensor OLI para análise temporal dos índices de vegetação NDVI, na produção de mapas de uso do solo em função da vegetação para os anos de 2013 e 2020 determinadas por diferentes classes de solo, que foram: Agropecuária, Floresta, Solo exposto e Água. Com base nas análises feitas comparando as modificações entre os anos estudados, foi constatado aumento nas áreas destinadas à Agropecuária e de Floresta, e diminuição em locais de solo exposto e água. Os dados de confiabilidade coletados foram positivos, e isso mostra grande potencial da plataforma do GEE para análises temporais e identificação de áreas susceptíveis à desertificação trazendo maior possibilidade de intervenção para redução de danos.

Palavras chave: Google Earth Engine; Araripina; Geoprocessamento; Cobertura da terra; NDVI, Degradação.

ABSTRACT

The semiarid region of Brazil is called Caatinga because it has xerophytic vegetation that is influenced by the climate and relief of the region. Located in this semi-arid region is the township of Araripina, which has a large concentration of gypsum production companies, being one of the townships that composes the Chapada do Araripe, where the largest region in the world for plaster production from calcination in gypsum. In this place there is great forest exploitation encouraged by the use of wood as an energy matrix, which if not managed correctly “it could lead to a major environmental problems. In order to understand the large effects caused by exploration, there are studies using remote sensing to map and classify vast regions more quickly and efficiently. In this context, the present study aimed to evaluate the efficiency of Google Earth Engine (GEE) as a use platform to classify land use and land cover. Images from the LANDSAT 8 satellite were used through the OLI sensor for temporal analysis of the NDVI vegetation indices, in the production of maps of land use as a function of vegetation for the years 2013 and 2020 determined by different soil classes, which were: Agriculture, Forestry, Exposed Soil and Water. Based on the analyzes carried out by comparing the changes between the years studied, an increase was observed in the areas destined for Agriculture and Forestry, and a decrease in places with exposed soil and water. The reliability data collected were positive, and this shows the great potential of the GEE platform for temporal analysis and identification of areas susceptible to desertification, bringing greater possibility of intervention to reduce damage.

Keywords: Google Earth Engine; Araripina; Geoprocessing, Land cover; NDVI; Degratation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo.....	17
Figura 2 - Tela interativa do Google Earth Engine - GEE.....	19
Figura 3 - Área da região para o ano de 2013.....	22
Figura 4 - Área da região para o ano de 2020.....	22
Figura 5 - Imagens do NDVI extraídas do GEE.....	23
Figura 6 - Gráfico do GEE com quantitativo de área, por classe para o ano de 2013.....	25
Figura 7 - Gráfico do GEE com quantitativo de área, por classe para o ano de 2020.....	26
Figura 8 - Imagens do GEE com a classificação Random Forest.....	27
Figura 9 - Gráfico indicando diferenças analisadas ao longo dos anos de 2013 e 2020.....	28
Figura 10 - Acurácia Geral para 2013 e 2020.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das 7 primeiras bandas do sensor OLI do LANDSAT 8.....	18
Tabela 2 - Quantidade de amostras feitas na região para o ano de 2013 e 2020.....	21
Tabela 3 - Área em km ² ocupada por cada classe no município de Araripina nos anos de 2013 e 2020.....	25
Tabela 4 - Dados individuais de acurácia por classe e ano.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GEE - Google Earth Engine

API - Interface de Programação de Aplicações

USGS - United States Geological Survey (Serviço Geológico dos Estados Unidos)

NASA - National Aeronautics and Space Administration (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço)

APA - Área de Proteção Ambiental

OLI - Operational Land Imager

UC - Unidades de Conservação

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

IPA - Instituto Agrônomo de Pernambuco

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Geral	13
2.2. Objetivos específicos	13
REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Região semiárida do Brasil e suas características	14
3.2 Sensoriamento remoto	15
3.3 Google Earth Engine - GEE	15
MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1. Área de estudo	17
4.2. Obtenção dos dados	18
4.3. Índices de vegetação	20
4.3.1. NDVI	20
4.4 Classificação Supervisionada	21
RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1 Análise Visual	22
5.2 Índice de vegetação - NDVI	23
5.3 Classificação supervisionada	24
5.4 Dados de acurácia	29
CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

A Caatinga possui uma extensão territorial de cerca de 750.000 km² (ALVES et al., 2009) ocupando áreas pertencentes aos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte de Minas Gerais. A região Nordeste possui 54% de ocupação desse bioma, ocupando 11% do território nacional. Os solos pertencentes a esta tipologia são normalmente pouco desenvolvidos, mineralmente ricos, com muitas rochas, pouco espessos e com baixa capacidade de retenção de água.

A variação da cobertura florestal se determina pelo clima, relevo e geologia, que por haver grandes inter-relações têm resultados bastante variados. Dois gradientes de umidade determinam a heterogeneidade da flora e fisionomia, um no sentido Oeste-Leste que expressa aumento do efeito da continentalidade, e outro no sentido Norte-Sul, manifestando diminuição das precipitações. Variações topográficas também contribuem para que ocorram gradientes menores.

A economia da região encontra-se sustentada pela exploração dos recursos naturais, ocorrendo uma exploração sem uma atenção à conservação ou preservação (SAMPAIO, 2002). A exploração da Caatinga se estende desde o período colonial, e intervenções inadequadas sobre o meio intensificam os processos erosivos e comprometem os principais recursos naturais do planeta, principalmente o solo e a água superficial (RIBEIRO et al., 2009), o que causa a desertificação.

Os impactos ambientais que a degradação pode causar é grande e algumas vezes irreversível. A região semiárida do Nordeste do Brasil apresenta aceleração desses impactos. O desmatamento, as práticas agrícolas não adequadas, compactação do solo, infertilidade, salinização em algumas áreas e processos erosivos ocasionam a expansão da desertificação na região (BRASILEIRO, 2009).

Nesta região vêm sendo desenvolvidos estudos sobre vegetação e uso da terra, tendo em vista o objetivo de se obter informações a partir de imagens de satélite e outros produtos do sensoriamento remoto, pois estas ferramentas facilitam a interpretação e análise de dados disponíveis na superfície (CHAVES et al., 2013).

Conhecido como Polo Gesseiro do Araripe, o município de Araripina torna-se uma área de grande pressão sobre a vegetação nativa, pois a matriz energética é em sua maior parte, feita com lenha para calcinação da gipsita (ALBUQUERQUE, 2002).

A quantidade de madeira disponível na região da mata nativa da Caatinga não é suficiente para disponibilizar a matriz energética necessária à calcinação do gesso. Isso se dá também pelo baixo número de planos de manejo sustentável na região. Além disso, a rotatividade da Caatinga é superior a 10 anos e para se utilizar conscientemente seria necessário uso de grandes áreas manejadas, pois o incremento médio anual da Caatinga em locais bem produtivos fica em torno de 15 st/ano. (SILVA, 2013).

Conforme a microrregião de Araripina cresce, a ação antrópica torna-se mais invasiva, e assim exige estratégias e métodos que possam fiscalizar e conter a devastação florestal. Desta forma, quando foi constatado que os vegetais têm a capacidade de extrair radiação eletromagnética emitida pelo Sol, esta energia se tornou um parâmetro para que a vegetação fosse estudada a partir dos sensores eletromagnéticos (PONZONI, 2007).

Por isso, a detecção quantitativa e qualitativa da vegetação verde é uma das importantes contribuições trazidas pelo sensoriamento remoto para estudos sobre o meio ambiente (OLIVEIRA et al., 2009).

Para que se possa monitorar alterações naturais ou antrópicas nas superfícies terrestres, a utilização de índices de vegetação gerados por imagens de satélite constitui uma ferramenta de extrema importância e relevância (FEITOSA et al., 2004), estes índices demonstram o comportamento espectral da vegetação, o que possibilita diferenciar tipos de cobertura terrestre (MOREIRA, 2005).

Atualmente, o avanço da tecnologia, facilmente difundida e disponibilizada, vem proporcionando maior agilidade e precisão em pesquisas no mapeamento geográfico. O sensoriamento remoto torna-se um diferencial na obtenção de um banco de dados amplo, pois permite observação e análise de alvos a distância.

Tendo em vista o interesse na utilização de tecnologias disponíveis de baixo custo e alta precisão, o Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma desenvolvida pelo Google que disponibiliza uma coleção de imagens orbitais e conjunto de dados geoespaciais por todo o planeta, com a possibilidade de arquivamento em nuvem.

Desenvolvida com maior ênfase na área ambiental, permite o desenvolvimento de algoritmos iterativos de imagens orbitais georreferenciadas a escala global. Através de uma Interface de Programação de Aplicações (API), é composto por múltiplas funções acessíveis por linguagem de programação Javascript e Python, e possibilita a utilização para pesquisadores que não possuam o domínio dessa linguagem de programação. O GEE possui também uma coleção de *scripts* que são usados como exemplo para os que desejam desenvolver pesquisas (SANTANA, 2018).

Este estudo pretende demonstrar a relevância da utilização da plataforma *Google Earth Engine* no uso de mapeamento para obtenção de dados via satélite referentes ao uso e ocupação do solo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Obter dados do processo de classificação de uso e ocupação do solo, entre os anos de 2013 e 2020, do município de Araripina/PE, por meio da plataforma Google Earth Engine (GEE).

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar a utilização da inteligência artificial como método de avaliação do desmatamento da cobertura florestal no tempo;
- Possibilitar a observação da viabilidade do GEE para identificar perdas ou ganhos de floresta;
- Verificar a possibilidade de utilização da plataforma para mapear com assertividade mudanças na vegetação de áreas extensas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Região semiárida do Brasil e suas características

O termo Caatinga tem sua origem do tupi-guarani, CAA= mata e TINGA= branca, mata branca, caracterizando a paisagem no período de estiagem quando a maior parte da vegetação perde as folhas e fica com um aspecto seco e sem vida (ALVES, 2007).

A Caatinga é um misto de formações vegetais, contendo arbustos espinhosos e florestas sazonalmente secas que cobre a maior parte dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e a parte nordeste de Minas Gerais, no vale do Jequitinhonha. A Caatinga é limitada a leste e a oeste pelas florestas Atlântica e Amazônica, respectivamente, e ao sul pelo Cerrado (LEAL et al., 2005).

As formações xerófilas representam em sua maior parte este bioma, mas se diversificam por razões climáticas, edáficas, topográficas, e antrópicas. Podem também ocorrer ao lado destas vegetações as florestas dos relevos ou brejos de altitude e as florestas ripárias e os cerrados (ALVES et al., 2009).

Nos sertões, as formações lenhosas dispõem de grande importância na matriz energética industrial e familiar, e por serem caducifólias, adicionam ao solo grande matéria seca, contribuindo na ciclagem de nutrientes (MAIA et al., 2017).

A atividade pecuarista na região é grande e em cerca de 90% das propriedades existe criação de animais, a vegetação da Caatinga é a única ou principal fonte de alimento destes animais. (ARAÚJO, 2013).

Sendo assim, a utilização inadequada dos recursos naturais e a exploração animal e extrativismo insustentável podem agravar os problemas atualmente encontrados e futuramente levar ao desaparecimento de espécies, perda de biodiversidade e desertificação.

O bioma Caatinga apresenta grandes extensões de desertificação em decorrência das grandes alterações que vêm ocorrendo ao longo do tempo. A perda da cobertura vegetal por períodos prolongados aumenta processos erosivos, deteriorando propriedades físicas, químicas e econômicas do solo (CCD, 1995).

O cenário atual da degradação ambiental da mata nativa no município de Araripina se intensifica com a exploração da gipsita, isso aponta que a introdução de florestas plantadas de rápido crescimento é uma recomendação interessante. Tendo em vista a alta demanda de madeira para fins energéticos uma das culturas que merece destaque para este objetivo é a do *Eucalyptus*. É apontada como uma das mais promissoras, pois se adapta bem às condições de clima e solo da região. (SILVA, 2013) .

3.2 Sensoriamento remoto

Define-se como sensoriamento remoto a obtenção de imagens a distância sobre a superfície terrestre. Tais imagens podem ser adquiridas por sensores ou câmeras em aeronaves ou satélites. Isto gera um produto do sensoriamento remoto, atribuindo o nome de imagem ou fotografia aérea, conforme o caso (STEFFEN, 2016).

De forma científica, o Sensoriamento Remoto visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. Ou seja, o objeto é visualizado e registrado através do sensor por medições de radiação magnética, como por exemplo, a luz solar refletida na superfície de um objeto qualquer (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Juntamente com o avanço da tecnologia veio o avanço dos softwares de processamento de imagens e capacidade de armazenamento e velocidade dos computadores. Nas últimas décadas isso incentivou muito o desenvolvimento de novos métodos de interpretação digital de imagens de média e alta resolução espacial, principalmente em áreas extensas. Conhecer a distribuição dos tipos de cobertura florestal e variações de local para local hoje em dia é uma característica indispensável para que se haja um bom planejamento de uma política coerente, e também eficiente no desenvolvimento sustentável. Assim como para compreender e avaliar objetivamente outros locais, sejam eles naturais ou não (CREPANI, et al., 2002).

Mapear a cobertura vegetal e uso atual do solo em grandes áreas pode se tornar um grande desafio, mas com os avanços tecnológicos, isso tem sido realizado com dados de Sensoriamento Remoto.

3.3 Google Earth Engine - GEE

Com o avanço de novas tecnologias de informação, as plataformas de análise de dados de Sensoriamento Remoto avançam e trazem grandes perspectivas de aplicação prática.

Dentre estas novas perspectivas pode-se destacar o Google Earth Engine (GEE), pois é uma plataforma que armazena dados em nuvem para processar informações de dados da superfície terrestre em grande escala (CARVALHO et al., 2021). Combina um catálogo de vários petabytes de imagens de satélite e conjuntos de dados geoespaciais com recursos de análise para todo o planeta. Disponibiliza gratuitamente catálogo Landsat (USGS/NASA) e informações de outros satélites. O software detecta mudanças, mapeia áreas e quantifica as diferenças da superfície terrestre (GEE, 2022).

O GEE também disponibiliza um conjunto de classificadores de última geração para classificar dados baseados em pixels, que são utilizados para mapeamento de culturas (SHELESTOV et al., 2017).

Os dados em nuvem do GEE unificam um conjunto de informações espaciais com cobertura global, a capacidade de processamento e armazenamento elevados que correspondem ao ambiente de computação do Google, e também um ambiente de desenvolvimento integrado que suporta a implementação de algoritmos de análise e processamento de dados geoespaciais nas linguagens JavaScript e Python (GORELICK et al., 2017).

O catálogo de dados geoespaciais disponível no GEE é amplo, e é possível destacar produtos com cobertura global e/ou regional de vários sensores, como por exemplo, ASTER e MODIS, além da coleção de imagens de satélite LANDSAT e NOAA, encontra-se também produtos MeaSURES (registros recentes de imagens da superfície terrestre partem do princípio da junção de dados distintos com o objetivo de se formar uma série temporal única, consistente e coerente) (GANEM et al., 2017). Além de dados geoespaciais, também disponibiliza-se na plataforma algoritmos que são facilmente acessados via API (Application Programming Interface) (GUERRA et al., 2017).

A plataforma trás uma vantagem, que é permitir ao usuário fazer simples análises estatísticas como também fazer explorações mais complexas, como a geoestatística, isso tudo utilizando a nuvem do Google, facilitando a extração de informações das imagens (GORELICK et al., 2017). Além dos dados já disponíveis na infraestrutura Google, o usuário pode também enviar os seus próprios dados produzidos para agregar o banco de dados da nuvem (GANEM, 2017).

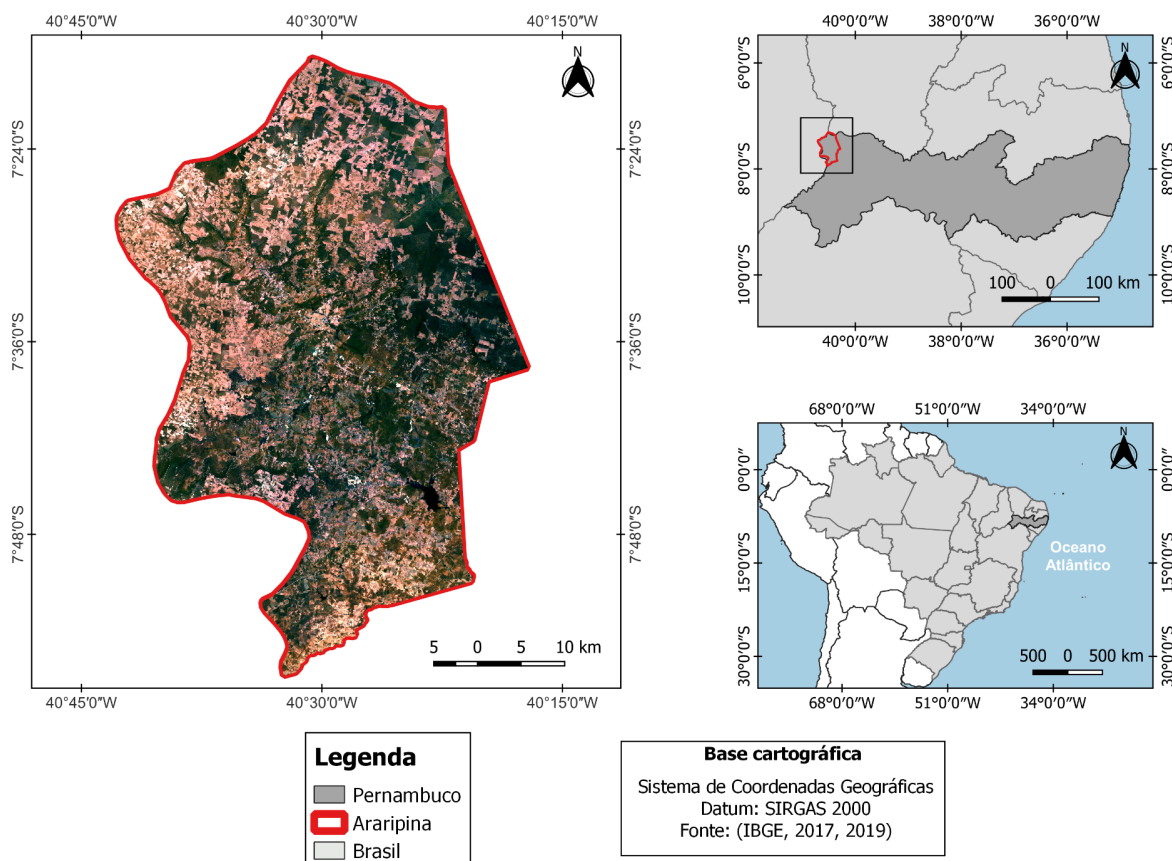
O GEE se conecta ao Google Drive, que além de ser gratuito, dispõe de um espaço para armazenamento de 15 GB, podendo ser expandido para o usuário a partir da contratação do serviço. Isto permite importar e exportar arquivos produzidos na plataforma do GEE. A vantagem de se trabalhar com um serviço em nuvem, é que não se faz necessário um espaço físico para armazenar os dados, sendo necessário apenas acessar a Internet para obtê-los. (BALBINOT et al., 2016).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A área de estudo fica localizada a noroeste do estado de Pernambuco, encontra-se na mesorregião do Sertão e microrregião de Araripina, a uma distância de 679 km da capital Recife e possui altitude de 622m. A cidade fica limitada ao norte com o estado do Ceará, a Leste com os municípios de Trindade e Ipubi, a oeste com o estado do Piauí e ao sul com a cidade de Ouricuri. Araripina está inserida em dois contextos geológicos: um vinculado às rochas cristalinas pré-cambrianas e outro sedimentar mesozóico.

Figura 1 - Localização da área de estudo



A geomorfologia da região exhibe aparências morfoesculturais, que tem origem pela influência de processos erosivos influenciados pela morfologia regional; portanto, o município se insere no contexto de duas unidades morfoesculturais: a Depressão Sertaneja ao sul, e a Chapada do Araripe ao norte, suportando quatro padrões de relevo: Planalto do Araripe Dissecado, Pediplano Sertanejo, Pediplano da Bacia do Araripe e Chapada do Araripe. No contexto hidrográfico, Araripina está inserida na bacia do rio Brígida, que abriga em sua área dois riachos principais: o riacho de São José e o riacho de São Pedro. No limite com o município de Ouricuri, ao sul, está o riacho de Jatobá, e mais acima o riacho de Pitombeira. De acordo com a Embrapa (2000), em Araripina são encontrados 7 tipos de solo: Neossolo litólico, Gleissolo, Latossolo, Neossolo regolítico, Argissolo vermelho, Argissolo amarelo e Planossolo.

Segundo dados disponibilizados pela prefeitura de Araripina (<https://www.araripina.pe.gov.br/historia/>) o clima é semiárido quente e se alterna pela altitude. Apresenta as seguintes temperaturas em grau centígrado: Média das máximas - 28; média das mínimas - 23; e média compensada - 24. A precipitação média anual é de 570,1 mm.

O município de Araripina fica inserido no semiárido de Pernambuco, é um dos 103 municípios que formam a Chapada do Araripe. Nesta região fica concentrada a maior reserva de gipsita em exploração no Brasil, tornando-se a maior área de produção da América Latina e a segunda maior do mundo em produção e abastecimento de gesso (DRUMOND, 2012).

Criada pelo Decreto nº 148 de 04 de agosto de 1997 a APA da Chapada do Araripe totaliza uma área aproximada de 1.063.000 ha e um perímetro de 2.658.555 m. O município de Araripina está inserido nesta totalidade, segundo dados do site Unidades de Conservação no Brasil (<https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/1194>) o município apresenta uma área total de Unidades de Conservação de 20.832,11 ha, o equivalente a 12,37% da área do município. Com isto, o município de Araripina torna-se o que mais possui área territorial ocupada por UC's de toda Chapada do Araripe.

4.2. Obtenção dos dados

O presente estudo teve como base a utilização de obtenção de imagens de média resolução provenientes do satélite LANDSAT 8 por meio do sensor OLI (*Operational Land Imager*). As imagens foram adquiridas gratuitamente através da plataforma *Google*

Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>) no catálogo de imagens do LANDSAT 8 para o município de Araripina-PE nos anos de 2013 e 2020. Durante o estudo foram utilizadas as 7 primeiras bandas espectrais do sensor OLI, descritas na tabela 1.

Tabela 1 - Descrição das 7 primeiras bandas do sensor OLI do LANDSAT 8

SENSOR	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial
OLI (Operational Land Imager)	(B1) VIOLETA	0.43 - 0.45 μm	30 m
	(B2) AZUL	0.45 - 0.51 μm	
	(B3) VERDE	0.53 - 0.59 μm	
	(B4) VERMELHO	0.64 - 0.67 μm	
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.85 - 0.88 μm	
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.57 - 1.65 μm	
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.11 - 2.29 μm	

A plataforma do Google Earth Engine dispõe de uma interface de programação onde são escritas todas as informações necessárias para que sejam gerados os resultados, e assim rodar o *script*. Ao longo deste *script* é possível adicionar variáveis, comentários e programar todo o desenvolvimento dos mapas a serem obtidos. Analisando a tela interativa do GEE (Figura 2), observa-se que no centro da plataforma é feita a programação, o chamado *script*; ao lado esquerdo é possível obter modelos, que são utilizados como guias para que se possa obter os resultados necessários para gerar as imagens; ao lado direito é acompanhado os resultados obtidos.

Figura 2 - Tela interativa do Google Earth Engine - GEE

The screenshot displays the Google Earth Engine (GEE) interface. The top left shows the 'Scripts' panel with a list of user scripts. The main editor shows a JavaScript script titled 'ARARIPINA_OK_2020' with the following code:

```

var table: Table users/adrielleMunAraripina/Araripina
var AGUA: MultiPolygon, 222 vertices
1 // Load Landsat 8 surface reflectance data
2 var l8sr = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
3 .filterBounds(table);
4
5 // Function to cloud mask from the Fmask band of Landsat 8 SR data.
6 function maskL8sr(image) {
7   // Bits 3 and 5 are cloud shadow and cloud, respectively.
8   var cloudShadowBitMask = ee.Number(2).pow(3).int();
9   var cloudsBitMask = ee.Number(2).pow(5).int();
10
11  // Get the pixel QA band.
12  var qa = image.select('pixel_qa');
13
14  // Both flags should be set to zero, indicating clear conditions.
15  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0)
16    .and(qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0));
17
18  // Return the masked image, scaled to [0, 1].
19

```

The right panel shows the 'Inspector' and 'Console' tabs. The Inspector displays 'Object (5 properties)' with a value of 350N. The Console shows a bar chart titled 'Area by class' with the following data:

Class	Area (m ²)
0	~100,000
1	~500,000
2	~1,200,000
3	~100,000

The bottom panel shows a map view of the Araripina region in Brazil, with a yellow and green shaded area representing the processed data. The map includes labels for various locations like 'Sítio Poco do Juazeiro', 'Sítio da Serra Grande', and 'Sítio Tanque'.

4.3. Índices de vegetação

O provedor de conjunto de dados para obtenção das imagens utilizadas para produzir os índices de vegetação são fornecidos pela USGS (*United States Geological Survey*). Os dados estão disponíveis em sua forma bruta, como reflectância de superfície, reflectância corrigida ao topo da atmosfera e fornecem informações desde 8 de março de 2013 até 3 de dezembro de 2020 (GEE, 2022), período de estudo.

Verifica-se que a quantidade de nuvens impede e dificulta a observação de imagens na superfície. Sendo assim, é possível através do Google Earth Engine produzir um mosaico com os valores médios dos melhores pixels obtidos em períodos determinados para que se possa obter imagens mais limpas dos alvos.

4.3.1. NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é calculado a partir de dados disponibilizados por bandas de satélites, ele dá uma aproximação sobre a vitalidade e densidade da vegetação em um pixel com base em diferentes intensidades de luz solar refletida no visível e o espectro do infravermelho próximo que são captados pelos sensores do satélite. Quando saudáveis, as plantas absorvem principalmente a luz do espectro vermelho e utilizam clorofila produzindo glicose a partir do dióxido de carbono e água pelo processo de fotossíntese. Suas paredes celulares refletem fortemente a luz do espectro infravermelho. Se houver mais luz refletida no infravermelho do que nos comprimentos de

onda do visível, provavelmente o pixel é vegetado com folhas saudáveis, pois a luz do espectro vermelho (visível) já foi absorvida pelas plantas (SCHMID, 2018).

O NDVI pode servir também como indicador da capacidade/atividade fotossintética. Este monitoramento pode ser utilizado para detectar alterações na cobertura e uso da terra, anomalias nas estações de crescimento e pode ser usado também para identificar áreas de seca e desertificação (SCHMID, 2018).

O NDVI proposto por ROUSE et al. (1973) é calculado pela seguinte relação:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (\text{equação 1})$$

onde,

NIR: Reflectância da vegetação na banda do infravermelho próximo;

R: Reflectância da vegetação na banda do vermelho.

O NDVI permite a caracterização de parâmetros biofísicos da vegetação, por exemplo, a fitomassa/densidade da vegetação, seu valor é normalizado para o intervalo de -1 a +1 (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007), entretanto, o valor zero refere-se aos pixels que não se identifica vegetação. Tais valores demonstram uma medida indireta da fitomassa, indicando valores de matéria e energia presentes na área amostrada (GAMARRA et al., 2016).

4.4 Classificação Supervisionada

Neste estudo foi utilizado o algoritmo de classificação Random Forest que utiliza amostras aleatórias de dados obtidos dentro da delimitação do município de Araripina para que sejam reconhecidas regiões similares de acordo com a base de dados alimentada no programa. Este tipo de classificação contabiliza dados coletados em cada classe e, em seguida, enumera quantitativamente todas elas (LOPES et al., 2017).

Para utilizar a classificação supervisionada foi definido inicialmente as assinaturas espectrais, que neste caso foram: Água, Agropecuária, Floresta e Solo exposto (Tabela 2). Posteriormente, o processamento digital da imagem é associado a cada pixel a assinatura espectral similar, desta forma, foram utilizadas geometrias formadas por polígonos e separadas por suas devidas classes, fazendo com que o programa diferencie estas características e possa apresentar dados quantitativos e visuais no mapa.

Tabela 2 - Quantidade de amostras feitas na região para o ano de 2013 e 2020

Variável	Cor	2013	2020
		Quantidade de amostras	
Água	Azul	16	16
Agropecuária	Amarelo	34	33
Floresta	Verde	38	36
Solo exposto	Vermelho	83	79

Por isso, a classificação supervisionada define os tipos de cobertura, efetua amostragem e cria assinaturas dos pixels considerados da mesma classe, para assim, aplicar o método de classificação de probabilidade máxima, ao final é realizada a filtragem e refinamento dos agrupamentos. Ao coletar amostras sobre as imagens do Landsat OLI, buscou-se coletar as amostras mais homogêneas, para representar o máximo possível as características de cada classe de uso e ocupação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

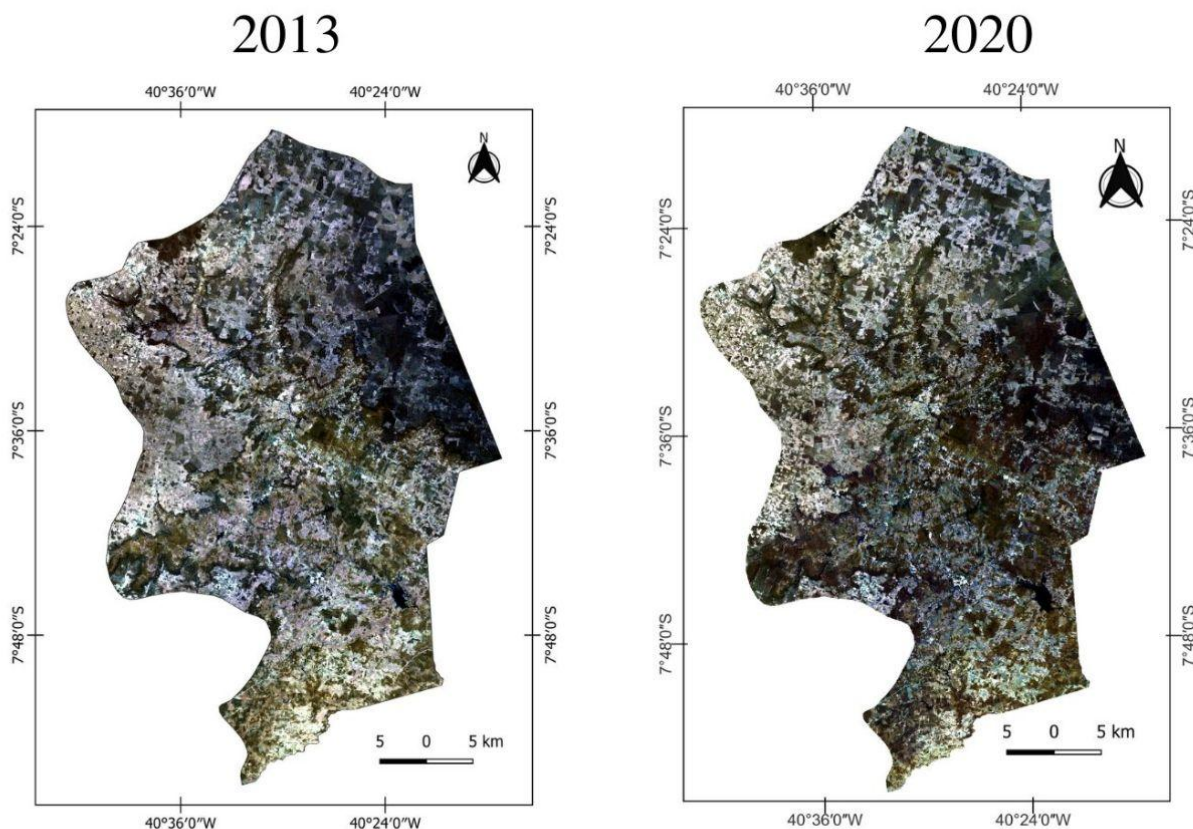
5.1 Análise Visual

Analisando visualmente a imagem de área real dos mapas para os dois anos estudados é possível destacar a diferença da quantidade de vegetação. O ano de 2020 apresenta maiores índices visuais de vegetação com uma coloração verde mais escura. A região leste do município, que compõem a Chapada do Araripe em ambos os anos, apresenta maior incidência visível de Floresta, mesmo que em intensidades diferentes.

Para poder entender o possível motivo desse aumento visual de áreas verdes foi coletado através de dados do IPA (Instituto Agrônomo de Pernambuco) que no ano de 2013 o índice pluviométrico anual para o município foi de 858,3mm enquanto que no ano de 2020 obteve-se 1.010,7mm, totalizando uma diferença de 152,4mm a mais para o ano de 2020. Provavelmente por este aumento de chuvas na região se obteve maior índice de áreas verdes encontradas para o ano de 2020 e menores índices para o ano de 2013.

Figura 3 - Área da região para o ano de 2013

Figura 4 - Área da região para o ano de 2020

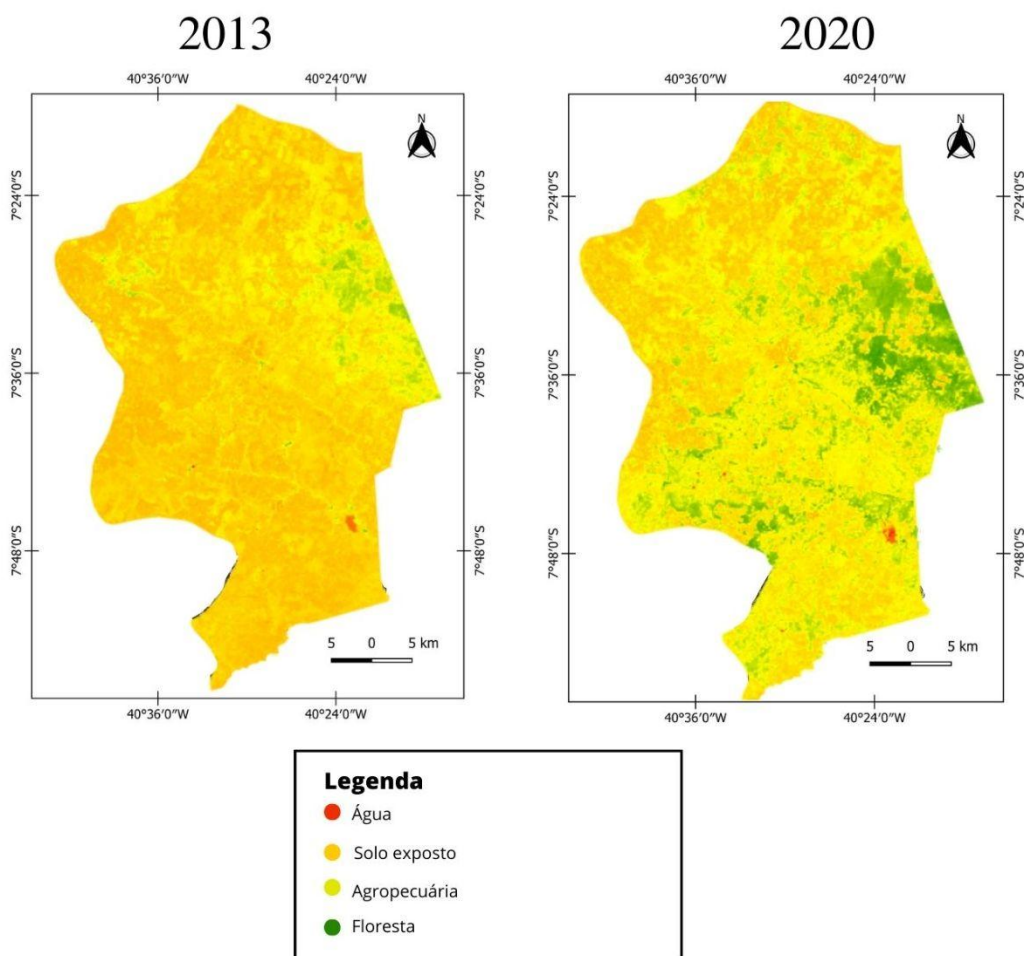


5.2 Índice de vegetação - NDVI

Com a aplicação do índice de vegetação NDVI, foi possível verificar a distribuição espacial e temporal da vegetação. O NDVI demonstra informações distintas para cada período identificando as mudanças temporais que ocorreram ao longo destes 7 anos na mesma área.

Para o ano de 2013, o NDVI apresenta coloração vermelha com um variação de -0,21 a -0,46, onde se caracterizam regiões que possuem Água; coloração laranja com valor de 0,16 a 0,28 identificando regiões com Solo exposto; a coloração amarela indica regiões de Agropecuária e se obtém um valor que varia de 0,34 a 0,48; e por fim, as áreas de coloração verde, indicando regiões de Floresta com valor que varia de 0,40 a 0,78 (Figura 5). Para o ano de 2020, o NDVI apresenta na coloração vermelha, caracterizando regiões com Água uma variação de -0,092 a -0,32; em regiões com Solo exposto, a coloração laranja apresenta variação de 0,18 a 0,27; já nas regiões de Agropecuária, de coloração amarela, variou de 0,42 a 0,49; e em regiões de Floresta, com tons de verde, o NDVI variou de 0,59 a 0,82 (Figura 5).

Figura 5 - Imagens do NDVI extraídas do GEE



Os dados do NDVI demonstram que quanto mais próximo de 1, mais saudável se encontra a vegetação, e os valores mais próximos do zero indicam vegetação mais escassa ou nenhuma vegetação, valores mais próximos do 1 irão indicar vegetação saudável e em maior quantidade. Os valores mais altos de NDVI foram obtidos para o ano de 2020, e é possível observar também maior quantidade de área com coloração verde para este mesmo ano.

5.3 Classificação supervisionada

Com os dados apresentados ao decorrer do *script* do GEE, foi identificado inicialmente (2013) uma área de 21.239km² de Água; 511.952km² de Agropecuária; 833.863km² de Floresta; e 518.466km² de Solo exposto (Tabela 3). No ano final de análise dos resultados (2020) obteve-se 14.239km² de Água; 838.092km² de Agropecuária; 920.866km² de Floresta; e 112.324km² de Solo exposto (Tabela 3).

As áreas onde se encontram vegetação (Agropecuária e Floresta) foram as que tiveram aumento, em comparação ao período estudado. Em comparação com o estudo feito

por COELHO et al. (2015), para o ano de 2020 houve um maior índice pluviométrico na região, a vegetação da Caatinga por ter característica tipicamente xerófila é adaptada à vida num ambiente seco, e ao receber um maior quantitativo de chuvas há brotação de folhas jovens, e desta forma as imagens obtidas revelam um ambiente com mais regiões vegetadas.

Tabela 3 - Área em km² ocupada por cada classe no município de Araripina nos anos de 2013 e 2020

CLASSE	2013	2020
	km ²	
Água	21.239	14.239
Agropecuária	511.952	838.092
Floresta	833.863	920.866
Solo exposto	518.466	112.324

A partir da disponibilização dos resultados pela plataforma, foi possível identificar que no ano de 2013 a classe predominante era de Floresta com 44,2% de ocupação no município, seguido por Solo exposto que tinha 27,5% de ocupação de área, depois Agropecuária com 27,2%, e por fim, Água que tinha 1,1% (Figura 6). Ao observar as informações do ano de 2020 a classe de Floresta ainda segue com maior quantidade de área ocupada, mas agora com 48,8%, Agropecuária continua em segundo lugar com 44,4% de ocupação, Solo exposto apresenta 6%, e por fim, Água com 0,8% (Figura 7).

Figura 6 - Gráfico do GEE com quantitativo de área, por classe para o ano de 2013

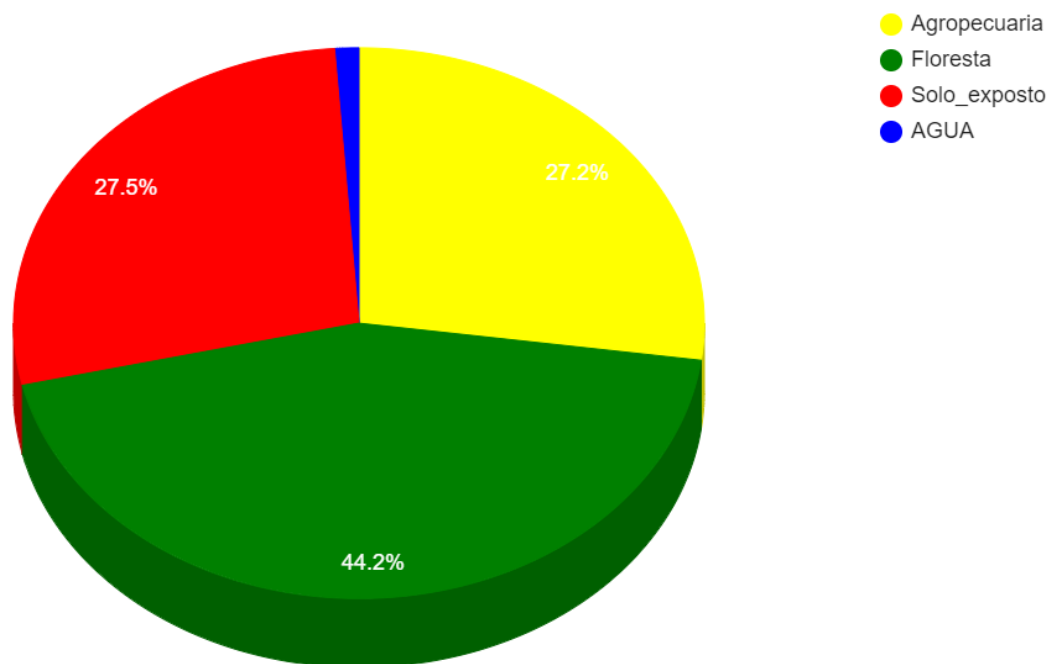
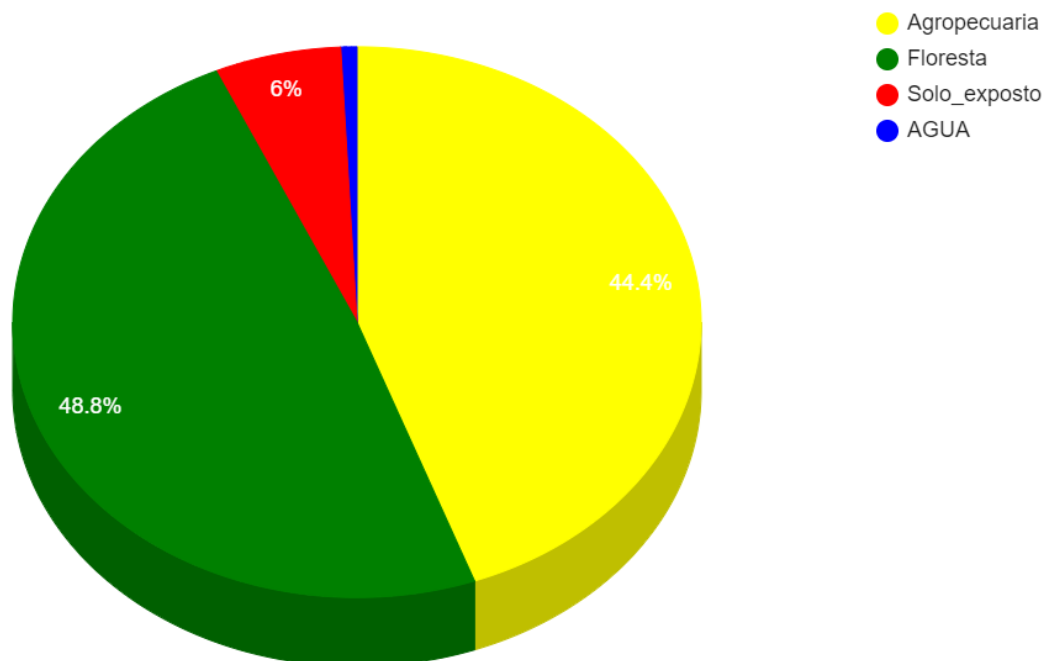
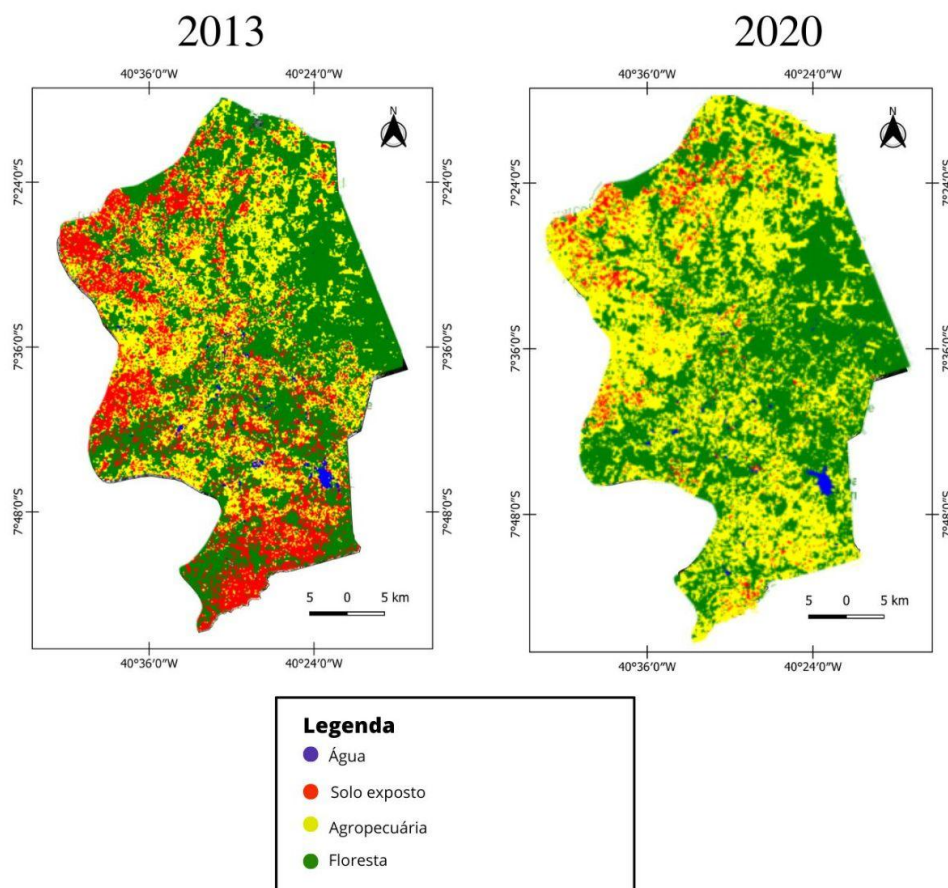


Figura 7 - Gráfico do GEE com quantitativo de área, por classe para o ano de 2020



A diferença dos resultados obtidos entre os anos estudados também ficou aparente durante a classificação Random Forest (Figura 8), onde é possível diferenciar as regiões em que houve maior ganho de áreas de Floresta e Agropecuária, e as regiões em que houve perda de área de Solo exposto e água.

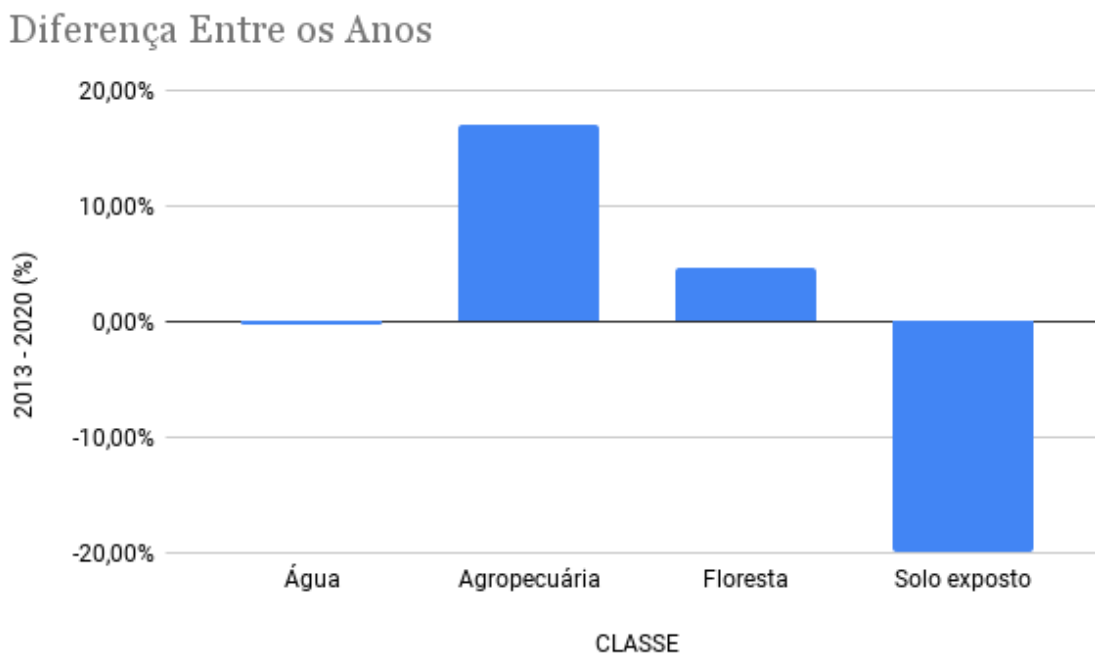
Figura 8 - Imagens do GEE com a classificação Random Forest



Durante a comparação dos resultados obtidos durante esses 7 anos nota-se que houve diferença expressiva no quantitativo de cada classe de classificação no município de Araripina, podendo verificar expressividade em ganho nas áreas de Agropecuária que aumentou mais de 17% da sua área inicial; houve também ganhos em áreas de Floresta, ocupando 4,6% de expansão; nas regiões identificadas como Solo exposto, houve diminuição das duas áreas em mais de 20%; e o quantitativo de água também sofreu perdas, cerca de 0,3% da sua área foi diminuída comparada aos dados iniciais do estudo (Figura 9).

PARAHYBA et al. (2011) descreve que as características edafoclimáticas da região estimulam maior incidência de pecuária ao longo do tempo, isso se destaca com mais força em populações rurais do Semiárido brasileiro. Por haver maior vulnerabilidade às limitações ambientais, as lavouras têm sido consideradas apenas como componente em segundo plano nos sistemas de produção. De acordo com o IBGE, a população no censo de 2010 era de 77.302 habitantes, enquanto que em 2021 aumentou para 85.301 habitantes. Considerando tal aumento na população do município, esse dado pode ter relação com a expansão de áreas de Agropecuária.

Figura 9 - Gráfico indicando diferenças analisadas ao longo dos anos de 2013 e 2020



De acordo com estudo feito por SÁ et al. (2008) o município de Araripina já possuía 51% de sua área antropizada. Em outro estudo, SÁ et al. (2010) identificou que houve uma substituição de forma espontânea da espécie algaroba (*Prosopis juliflora*) em Áreas de Preservação Permanente (APP) pertencentes aos riachos e corpos d'água, pois foi feita remoção da cobertura vegetal nativa. Esta observação pode ser um forte indicativo da diminuição de áreas pertencentes à classe de Água.

Tendo em vista que o ano de 2020 teve mais incidência de chuvas na região, e estando localizada numa zona semiárida, os dados amostrados apresentaram mais áreas verdes que foram destacadas tanto no mapa real da área, quanto no mapa que contém a imagem do NDVI. Para o ano de 2013 observou-se maior concentração de solo exposto na área sul e oeste do município, indicando que por causa da baixa concentração de chuvas que ocorreram durante o ano, a vegetação se manteve mais escassa e com menor concentração de folhas.

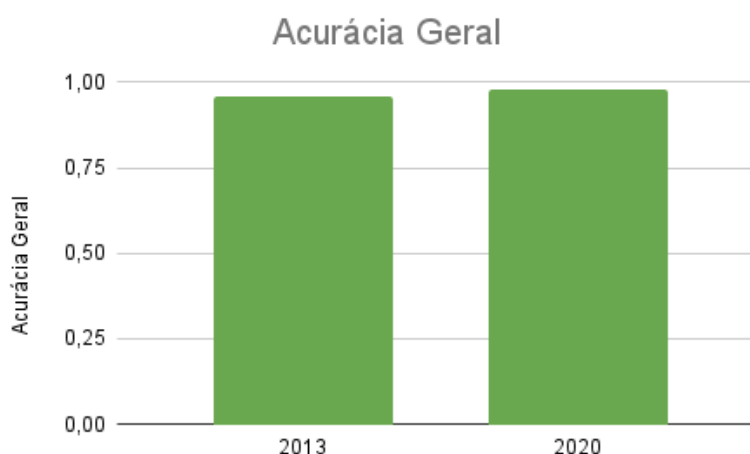
Isso mostra o quanto é desafiador identificar zonas de solo exposto sem que sejam confundidas com a vegetação da caatinga, que pode não apresentar folhagem em determinados períodos.

5.4 Dados de acurácia

De acordo com ANTUNES; LINGNAU (1997), a acurácia se relaciona com a proximidade de uma observação ou medida do seu valor real. Com os dados extraídos de imagens, a avaliação da acurácia se relaciona diretamente com a qualidade que o mapeamento teve. Todas as classes que compõem a imagem ou mapa temático devem estar relacionadas com um controle da sua qualidade, para que assim sejam validadas .

A acurácia geral obtida na classificação supervisionada para o ano de 2013 foi de 0,96 e para o ano de 2020 foi de 0,98 (Figura 10). Isso indica assertividade nos pontos de coleta de amostras obtidas no GEE para os dois anos analisados.

Figura 10 - Acurácia Geral para 2013 e 2020



A plataforma também pode disponibilizar resultados de acurácia individuais, do produtor e do consumidor (Tabela 4). A acurácia do produtor corresponde à frequência que as características reais da região são provavelmente mostradas da forma que foram classificadas no mapa. E a acurácia do consumidor demonstra a frequência de dados que serão encontrados realmente na área estudada, podendo ser chamada de medida de confiabilidade (SOLVED, 2016).

Tabela 4 - Dados individuais de acurácia por classe e ano

Classes	Acurácia do Produtor		Acurácia do Consumidor	
	2013	2020	2013	2020
Água	0,93	0,99	0,97	1
Agropecuária	0,97	0,99	0,95	0,96
Floresta	0,96	0,98	0,97	0,99
Solo exposto	0,95	0,96	0,95	0,99

A acurácia do produtor apresenta um bom índice da qualidade do mapeamento disponibilizando porcentagem da área mapeada que corresponde à realidade. E a acurácia do consumidor apresenta uma boa frequência de dados a serem encontrados no local real do estudo.

6. CONCLUSÃO

A plataforma do Google Earth Engine se mostra suficientemente capaz de disponibilizar bons resultados para uma classificação de uso e cobertura da terra, obtendo resultados satisfatórios e assertivos para o local real de avaliação. Se mostra uma ferramenta viável para identificação de zonas suscetíveis à desertificação, e tem capacidade de avaliar diferenças de vegetação ao longo do tempo.

As análises dos índices de vegetação foram importantes, pois puderam identificar diferenças entre as imagens coletadas nos anos estudados, além de diferenças na vegetação, por meio dos dados obtidos observou-se aumento das áreas de agropecuária e aumento também de áreas de floresta. Houve diminuição em áreas de Solo exposto e de Água. Localizado em zona rural, na maior parte do município existem áreas residenciais que possuem criação de animais e agricultura.

Os dados gráficos gerados pela Classificação Supervisionada mostraram-se eficientes na identificação de áreas florestais, pois conseguem destacar com maior coloração esverdeada justamente na região em que fica concentrado os plantios florestais e mata nativa na região da APA da Chapada do Araripe.

A inteligência artificial do GEE disponibiliza dados de avaliação confiáveis além de trazer maior facilidade por não ser necessário a utilização de hardwares robustos para obtenção de tais dados.

7. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. L. **Diagnóstico ambiental e questões estratégicas: uma análise considerando o Pólo Gesseiro do sertão do Araripe – Estado de Pernambuco.** 2002, 185f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

ALVES, J. J. A. Geocologia da caatinga no semi-árido do Nordeste brasileiro. **CLIMEP: Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v.2, n.1, p. 58-71, 2007. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/climatologia/article/view/266#:~:text=O%20dom%C3%ADnio%20geoecol%C3%B3gico%20das%20caatingas,engloba%20partes%20do%20territ%C3%B3rio%20brasileiro>. Acesso em: 25 mar 2022.

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. N. DEGRADAÇÃO DA CAATINGA: UMA INVESTIGAÇÃO ECOGEOGRÁFICA. **Revista Caatinga**, vol. 22, núm. 3, julio-septiembre, 2009, pp. 126-135. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, Brasil. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237117837020>. Acesso em : 15 dez. 2021.

ANTUNES, A. F. B.; LINGNAU, C. Uso de índices de acurácia para avaliação de mapas temáticos obtidos por meio de classificação digital. In: **III Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento. Curitiba, p. s/n.** 1997. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/51423968/acuraccy.pdf>. Acesso em 03 maio 2022.

FILHO, J. A. A. **Manejo pastoril sustentável da caatinga.** 1ª ed. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2013, Disponível em: <https://docero.com.br/doc/xnx58xv>. Acesso em: 23 fev 2022.

Área de Proteção Ambiental Chapada do Araripe. Unidades de Conservação no Brasil - <https://uc.socioambiental.org/>. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/1194>. Acesso em: 5 mar de 2022.

BALBINOT, B. L. et al. **Google Drive.** Tutorial: Programa de Educação Tutorial Sistemas de Informação. Santa Maria/RS: UFSM, 2016.

BRASILEIRO, R. S. Alternativas de desenvolvimento sustentável no semiárido nordestino: da degradação à conservação. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 5, n. 5, 2011. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/629>. Acesso em: 4 abr 2022.

COELHO, I. A. M.; DUARTE, S. M. A.; COELHO, O. A. M. Estudo da dinâmica da cobertura vegetal no município de Floresta/PE através de processamento digital de imagens | Study of the dynamics of vegetation cover in the city of Forest / PE through

digital image processing. **Revista Geama**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 187–204, 2016. Disponível em: <http://www.ead.codai.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/486>. Acesso em: 8 maio 2022.

CCD. Convenção das Nações Unidas de **Combate à Desertificação** Tradução: Delegação de Portugal. Lisboa (PT): Instituto de Promoção Ambiental, 1995. 55p.

CHAVES, I. B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V.; SILVA, B. B.; BRANDÃO, Z. N.; CHAVES, L. H. G. **ÍNDICES ESPECTRAIS, DIAGNÓSTICO DA VEGETAÇÃO E DA DEGRADAÇÃO DA CAATINGA DA BACIA DO RIO TAPEROÁ-PB**. Edição 1, pp.23-47. Editora: EDUFCG. 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/45520851.pdf>. Acesso em: 10 jan 2022.

CREPANI, E.; DUARTE, V.; SHIMABUKURO, Y. E., & FIDALGO, E. C. C. Sensoriamento remoto e geoprocessamento no mapeamento regional da cobertura e uso atual da terra. **GEOGRAFIA**, Rio Claro, Vol. 27(1): 119-135, abril 2002. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/1758>. Acesso em: 23 mar 2022.

DRUMOND, M.A. As florestas energéticas do Araripe podem preservar as caatingas. **Revista Opiniões**. Op-CP-26, p. 30. 2012. Disponível em: <https://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/14-florestas-energeticas-do-araripe-podem-preserva/>. Acesso em: 20 jan. 2022.

FEITOSA, J. R. P.; FILHO, J. F. C.; SILVA, B. B. Avaliação de índices de vegetação em área irrigada do sub-médio São Francisco, Petrolina-PE, a partir de imagens do satélite LANDSAT 5–TM. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 18, 2004, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 2004.

GAMARRA, R. M.; TEIXEIRA-GAMARRA, M. C.; CARRIJO, M. G. G.; PARANHOS FILHO, A. C. USO DO NDVI NA ANÁLISE DA ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO E EFETIVIDADE DA PROTEÇÃO DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NO CERRADO. **R. Ra'e Ga** – Curitiba, v. 37, p 307. - 332, Ago/2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/42454/29046>. Acesso em: 15 fev 2022.

GANEM, K. A. et al. Comparação entre dados com e sem correção atmosférica na classificação da cobertura da Terra de uma área da Caatinga utilizando o Google Earth Engine. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 69/6, p. 1053-1074, 2017.

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

GUERRA, J. B.; SCHULTZ, B.; SANCHES, I. Del'A. Mapeamento automático da expansão da agricultura anual no MATOPIBA entre 2002 e 2015 utilizando a plataforma Google Earth Engine. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2017, p. 6850-6857.

IPA. **Instituto Agrônomo de Pernambuco.** Sessão de Índices Pluviométricos. Disponível em: http://www.ipa.br/indice_pluv.php#calendario_indices. Acesso em: 05 maio 2022.

LEAL, I.R.; DA SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M.; LACHER JR, T.E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil, **MEGADIVERSIDADE**, v 1, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260591794_Mudando_o_curso_da_Conservacao_da_biodiversidade_na_Caatinga_do_Nordeste_do_Brasil. Acesso em 25 mar 2022.

LOPES, T. D.; GOEDEL, A.; PALACIOS, R. H. C.; GODOY, W. F. APLICAÇÃO DO ALGORITMO RANDOM FOREST COMO CLASSIFICADOR DE PADRÕES DE FALHAS EM ROLAMENTOS DE MOTORES DE INDUÇÃO. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente.** Porto Alegre - RS, 2017. Disponível em: https://www.ufrgs.br/sbai17/papers/paper_98.pdf. Acesso em: 5 mar 2022.

MAIA, J. M.; SOUSA, V. F. O.; LIRA, E.H.A.; LUCENA, M. A. Motivações socioeconômicas para a conservação e exploração sustentável do bioma Caatinga. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 41, p. 295-310, agosto 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/49254/33415>. Acesso em: 28 mar 2022.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília, Brasília**, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/332292728>. Acesso em: 22 mar 2022.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3. ed. Viçosa: UFV, 2005. 320p.

OLIVEIRA, W. M.; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V. Índices espectrais de vegetação de caatinga em um neossolo litólico do semiárido paraibano. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2103-2110. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.00.32/doc/2103-2110.pdf>. Acesso em: 22 mar 2022.

PARAHYBA, R. et al. Agricultura familiar na microrregião de Araripina/Pernambuco. In: **Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE).** In: XI Jornada de ensino, pesquisa e extensão-JEPEX 2011-UFRPE., 2011. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/917601/1/Agriculturafamiliar.pdf>.
Acesso em: 08 maio 2022.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. 1.ed. S. J. dos Campos: Parêntese. v.1, 2007. 135 p.

RIBEIRO, M. R.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GALINDO, I. C. L. Os solos e o processo de desertificação no semiárido brasileiro. In: **Tópicos em Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, p. 497, 2009. p. 413-459.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). In: **PROCEEDINGS OF THE THIRD ERTS SYMPOSIUM**, SP - 351 Goddard Space Flight Center, 1973, Washington: NASA, 1973, p. 309 – 317. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>. Acesso em: 15 fev 2022.

SÁ, I. I. S. et al. COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA NA REGIÃO ARARIPE PERNAMBUCANA (analysis of vegetable cover and land use in the Araripe Pernambuco). **Mercator**, Fortaleza, v. 9, n. 19, p. 143 a 163, 2010. ISSN 1984-2201. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/362>. Acesso em: 09 maio 2022.

SÁ, I. I. S. et al. Uso do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) para caracterização da cobertura vegetal da região do Araripe pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n. 1, p. 28-38, 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/download/232607/26625>. Acesso em 5 maio 2022.

SAMPAIO, E. V. S. B. 2002. Uso das plantas da caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; Giulietti, A. M.; Virgínio, J. & Gamarra-Rojas, C. F. L. **Vegetação e flora da caatinga. Associação Plantas do Nordeste – APNE**, Centro Nordestino de Informações sobre Plantas – CNIP, Recife. Pp. 49-90.

SANTANA, I.L. **ANÁLISE MULTITEMPORAL DA VEGETAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE HOTSPOTS NA CIDADE DO RECIFE UTILIZANDO A PLATAFORMA GOOGLE EARTH ENGINE**. Recife, 2018. nr p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal). Universidade Federal Rural de Pernambuco.

SCHMID, J.N. **Using Google Earth Engine for Landsat NDVI time series analysis to indicate the present status of forest stands**. Basel, Switzerland, 2018. nr p. 38. Bachelor Thesis. Faculty of Geoscience and Geography.

SHELESTOV, A.; LAVRENIUK, M.; KUSSUL, N. NOVIKOV, A.; SHAKUN, S. Exploring Google Earth Engine Platform for Big Data Processing: Classification of Multi-Temporal Satellite Imagery for Crop Mapping. **Frontiers in Earth Science**. Vol. 5, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/feart.2017.00017>. Acesso em: 03 abr 2022.

SILVA, J. A. A. da. POTENCIALIDADES DE FLORESTAS ENERGÉTICAS DE EUCALYPTUS NO PÓLO GESSEIRO DO ARARIPE-PERNAMBUCO. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, [S. l.], v. 5, p. 301–319, 2013. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/apca/article/view/175>. Acesso em: 02 de mar de 2022.

SOLVED. **Sensoriamento Remoto**. Avaliação e Métricas de Acurácia - Conteúdo Atualizado. Disponível em: <https://solved.eco.br/avaliacao-de-acuracia-ou-concordancia/>. Acesso em: 05 maio 2022.

STEFFEN, C. A. Introdução ao sensoriamento remoto. **Divisão de Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE**, São José dos Campos – SP. Disponível em: <http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>. Acesso em: 22 mar 2022.