

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA DE AGRIMENSURA

CELIA CAROLINE MARIA SILVA DE MELO

**O USO DO GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE
IMPACTOS DA OBRA DE DUPLICAÇÃO DA RODOVIA BR-101: Um estudo de caso
no Estado de Alagoas.**

Rio Largo – AL

2022

CELIA CAROLINE MARIA SILVA DE MELO

**O USO DO GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE
IMPACTOS DA OBRA DE DUPLICAÇÃO DA RODOVIA BR-101: Um estudo de caso
no Estado de Alagoas.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação de Engenharia de Agrimensura do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rafaela Faciola Coelho de Souza Ferreira.

Rio Largo – AL

2022

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias – CECA
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana

M528u Melo, Celia Caroline Maria Silva de.

O uso do geoprocessamento como ferramenta de avaliação de impactos da obra de duplicação da rodovia BR-101: um estudo de caso no Estado de Alagoas. / Celia Caroline Maria Silva de Melo. – 2022.

f.: il.

Orientadora: Rafaela Faciola Coelho de Souza Ferreira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura) – Curso de Engenharia de Agrimensura, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2022.

Inclui Bibliografia

Folha de Aprovação

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação de Engenharia de Agrimensura do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura.

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado em 03 de Maio de 2022.

Documento assinado digitalmente
 RAFAELA FACIOLA COELHO DE SOUZA FERREIRA
Data: 01/06/2022 22:06:51-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.^a Dr.^a Rafaela Faciola Coelho de Souza Ferreira
(Orientadora)

Documento assinado digitalmente
 MICHELLE ADELINO CERQUEIRA
Data: 01/06/2022 19:30:52-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.^a Ma. Michele Adelino Cerqueira
(Membro Avaliador Interno)

Documento assinado digitalmente
 FLAVIA MAZZER RODRIGUES DA SILVA
Data: 01/06/2022 18:52:32-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.^a Dr.^a Flavia Mazzer Rodrigues da Silva
(Membro Avaliador Externo)

Aos meus pais, familiares e amigos, que foram grandes incentivadores e que sempre acreditaram nos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre me guiar pelos melhores caminhos, a minha vó Dôra que é meu anjo da guarda e que em vida se dedicou e cuidou de mim de uma maneira sem igual, hoje no céu, sei que olha por mim e torce por cada vitória, tenho certeza que a conclusão dessa fase, hoje é para ela uma das maiores alegrias.

Aos meus pais Celio e Syrlene que são minha base, sempre lutando para que nada me faltasse, sou imensamente grata a vocês por tudo! A minha família, primos e tios que torceram por mim durante essa caminhada.

Aos meus amigos que através do curso tive a oportunidade de conhecer, Paulinho, Daniel, Vitor, Talvanes, Karol, Lek, Gabriel, Zé Diogo, Rayanne e Raul. Aos meus amigos de vida, Rubinho, Betinho, Anni, Ana Alice, Laís, Lucas, Brida e Barbara.

Aos professores do curso por cada ensinamento, especialmente à minha orientadora, professora Rafaela Faciola e também a professora Michelle Adelino que me auxiliou durante o projeto de pesquisa (PIBIC). A minha dupla de pesquisa Gabryel por toda dedicação e empenho.

Aos meus colegas de trabalho da SEDET (da Topografia e do Geo), Alysson e Bruna, os melhores chefes, que todos os estagiários tenham a oportunidade de ter chefes como eles, sempre abrindo portas e auxiliando no que era necessário, sou grata por toda bagagem que me ajudaram a construir.

As demais pessoas que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse aqui hoje, meu muito obrigada!

RESUMO

Uma das principais funções de uma rodovia é o escoamento de pessoas, bens e mercadorias, tornando-se assim uma forte aliada ao desenvolvimento econômico. Há algumas décadas, o Governo Federal trabalha para entregar a obra de duplicação da porção Nordeste da BR-101, o estado de Alagoas conta com aproximadamente 250 km dessa rodovia. Este estudo buscou analisar através das ferramentas de geoprocessamento, as transformações ocorridas na paisagem com a duplicação de um trecho da BR-101 no Estado de Alagoas, em relação à vegetação comparando diferentes escalas temporais. A metodologia da pesquisa teve como base a coleta, o tratamento e o processamento de imagens de satélites *LandSat* e *Sentinel*, referente aos anos de 1995, 2006, 2011, 2016 e 2020. O processamento das imagens foi realizado através do *software Qgis* de modo a permitir a obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a realização da Classificação Supervisionada, que gerou Mapas de Uso e Ocupação do Solo. Sobre os resultados alcançados, quanto ao NDVI, os valores obtidos foram divididos em classes pré-definidas e apresentaram comportamento bastante variável durante todos os anos, predominando na região estudada vegetações ralas, de médio porte e solo exposto, ocorreu também uma baixa incidência de corpos d'água, bem como de vegetação densa (nas áreas próximas à rodovia). A Classificação Supervisionada reforçou os resultados obtidos através do NDVI, onde nos anos analisados ocorreu o predomínio de vegetações ralas. As análises realizadas permitiram também, calcular a área ocupada após a duplicação, totalizando aproximadamente 3,08 km², além de possibilitar a identificação de áreas de mata nativa atingidas pela obra, sendo o principal município afetado Rio Largo. A conclusão das obras de implantação da segunda faixa de tráfego de veículos permitiu a realização de análises das modificações sofridas nas paisagens das regiões por onde passa a rodovia. Toda obra rodoviária de grande porte proporciona inúmeros benefícios à região onde encontra-se inserida, entretanto, geram também impactos negativos. Sendo assim, a pesquisa gerou mapas, tabelas e análises comparativas que podem subsidiar futuras tomadas de decisão dos órgãos governamentais para o desenvolvimento do Estado de Alagoas, bem como realizar o controle ambiental das vegetações atingidas direta e indiretamente.

Palavras chaves: Rodovia, geoprocessamento, modificações nas paisagens.

ABSTRACT

One of the main functions of a highway is the flow of people, goods and merchandise, thus becoming a strong ally for economic development. For some decades, the Federal Government has been working to deliver the duplication work of the Northeast portion of the BR-101, the state of Alagoas has approximately 250 km of this highway. This study sought to analyze, through geoprocessing tools, the transformations that occurred in the landscape with the duplication of a stretch of the BR-101 in the State of Alagoas, in relation to the vegetation, comparing different temporal scales. The research methodology was based on the collection, treatment and processing of images from LandSat and Sentinel satellites, referring to the years 1995, 2006, 2011, 2016 and 2020. The processing of the images was performed using the Qgis software in order to allow obtaining the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and performing the Supervised Classification, which generated Land Use and Occupancy Maps. Regarding the results achieved, regarding the NDVI, the values obtained were divided into pre-defined classes and presented a very variable behavior during all the years, predominating in the region studied thin, medium-sized vegetation and exposed soil, there was also a low incidence of bodies water, as well as dense vegetation (in areas close to the highway). The Supervised Classification reinforced the results obtained through the NDVI, where in the analyzed years there was a predominance of sparse vegetation. The analyzes carried out also made it possible to calculate the area occupied after duplication, totaling approximately 3.08 km², in addition to enabling the identification of areas of native forest affected by the work, being the main municipality affected Rio Largo. The conclusion of the works for the implementation of the second lane of vehicle traffic allowed the analysis of the changes suffered in the landscapes of the regions through which the highway passes. Every large road work provides numerous benefits to the region where it is located, however, they also generate negative impacts. Thus, the research generated maps, tables and comparative analyzes that can support future decision-making by government agencies for the development of the State of Alagoas, as well as carry out the environmental control of the vegetation directly and indirectly affected.

Keywords: Highway, geoprocessing, changes in landscapes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Mapa de Localização da área de estudo.....	25
Figura 02. NDVI dos anos 1995, 2006, 2011 e 2016.....	33
Figura 03. NDVI do ano 2020.....	35
Figura 04. Mapa de Uso e Ocupação do Solo para os anos 2011 e 2020.....	36
Figura 05. Florestas atingidas e área de Mata Remanescente.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Ano e critério de escolha do período de estudo.....	27
Tabela 02. Classificação do NDVI.....	32
Tabela 03. Área de Mata atingida pela obra da Rodovia em cada Município.....	39
Tabela 04. Área de Matas Remanescentes em cada Município.....	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01. Percentual de área ocupada no Mapa de Uso e Ocupação do Solo para o ano de 2011.....	37
Gráfico 02. Percentual de área ocupada no Mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2020.....	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. GERAIS.....	15
2.2. ESPECÍFICOS	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1. RODOVIAS	16
3.2. IMPACTOS CAUSADOS POR OBRAS RODOVIÁRIAS	17
3.3. MAPEAMENTO DE ÁREAS	18
3.3.1. MAPEAMENTO DE RODOVIAS.....	19
3.3.2. SENSORIAMENTO REMOTO	20
3.3.3. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI).....	21
3.3.3.1. CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS ATRAVÉS DO NDVI.....	22
3.3.4. CLASSIFICAÇÃO ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATÉLITE.....	23
4. ÁREA DE ESTUDO	25
5. METODOLOGIA.....	27
5.1. IMAGENS DE SATÉLITES E DADOS VETORIAIS	27
5.2. PRÉ-PROCESSAMENTO	28
5.3. PROCESAMENTO.....	29
5.3.1. CÁLCULO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)	30
5.3.2. CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA	30
5.3.3. CÁLCULO DE ÁREAS AFETADAS PELA OBRA DE DUPLICAÇÃO DO LOTE 03 DA BR-101	31
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
6.1. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) ...	32
6.2. CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA	35
6.3. CÁLCULO DE ÁREAS AFETADAS PELA OBRA DE DUPLICAÇÃO DO LOTE 03 DA RODOVIA BR-101.....	38
7. CONCLUSÕES.....	40
8. REFERÊNCIAS.....	42

1. INTRODUÇÃO

A construção de vias de ligação data da antiguidade, naquela época, as tribos construíam pontes e caminhos para acessarem florestas ou desertos, dessa maneira conseguiam se deslocar, transportar alimentos e realizar contato com outras regiões (SALOMÃO *et al.*, 2019).

Com o passar dos anos, o avanço da tecnologia e o crescimento populacional evidenciaram a necessidade de transportar um volume cada vez maior de cargas e pessoas de modo rápido e eficiente, o que, em vias terrestres, marca o advento das grandes obras rodoviárias de engenharia (SALOMÃO *et al.*, 2019).

As rodovias são estruturas complexas e podem ser classificadas em obras de engenharia ou em obras de arte. Uma obra rodoviária apresenta inúmeros benefícios para as localidades onde são executadas, bem como para regiões próximas, porém é necessário ressaltar que os impactos por elas causados começam no planejamento, e se estendem até as fases de conclusão e operação, podendo ser positivos ou negativos (BANDEIRA e FLORIANO, 2004).

A fase de planejamento de uma obra rodoviária envolve também o planejamento ambiental que abrange o controle e proteção do ambiente natural, além de atender os interesses sociais, econômicos e governamentais. Nessa fase são realizados estudos aprofundados sobre o local de implantação. Um dos meios utilizados para estudar a região de implantação são as ferramentas oferecidas pelas geotecnologias (BIANCHINI e OLIVEIRA, 2019).

A utilização das geotecnologias permite a realização de estudos tanto na fase preliminar, quanto nas fases de execução, conclusão e operação de grandes obras, uma vez que possibilita a identificação de locais que sofreram interferências antrópicas ao longo dos anos. Além da identificação dessas áreas, essa ferramenta possibilita também, o controle das ações antrópicas, visando preservar a biodiversidade e conservar áreas com potenciais ecológicos. Ou seja, de um modo geral, as geotecnologias têm contribuído para embasar ações governamentais que proporcionem o desenvolvimento socioeconômico na medida em que é assegurado o equilíbrio ambiental (BIANCHINI e OLIVEIRA, 2019).

A evolução dos meios técnico-científicos trouxeram ferramentas que proporcionaram aos gestores a utilização de mecanismos capazes de produzir soluções efetivas e específicas para os problemas encontrados (CHAVES, 2014).

Um Sistema de Informações Geográficas, por exemplo, é um sistema de coleta e tratamento de informações espaciais que através da espacialização evidencia padrões e tendências que não são facilmente visualizados em planilhas, gráficos e outros pacotes estatísticos. Além disso, é possível, através do *software*, produzir mapas e outros produtos que servirão de base para estudos das autoridades (FERREIRA, 2019).

Neste sentido, segundo Poursanidis e Chrysoulakis (2017), o sensoriamento remoto surge como uma excelente ferramenta no estudo e análise dos impactos causados ao meio ambiente, uma vez que o processo de observação e mensuração não dependem do contato direto com o objeto de estudo. Os satélites são capazes de produzir imagens em diferentes resoluções espaciais, temporais, espectrais e radiométricas. Portanto, a aquisição de dados de maneira fácil e rápida através dessa ferramenta é um instrumento legal e importante para avaliar os danos causados pela implantação de uma obra, e pode auxiliar na elaboração de diretrizes de ações para fases posteriores e futuras.

Diante do exposto, este trabalho analisou diferentes aspectos do meio físico em áreas que foram afetadas pela duplicação da rodovia federal BR-101 no Estado de Alagoas. A pesquisa utilizou diferentes imagens do local em idades temporais distintas, permitindo assim, analisar os aspectos do meio físico antes e após a conclusão da duplicação desta rodovia.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAIS

Identificar as transformações ocorridas na paisagem com a obra de duplicação da rodovia federal BR-101, em um trecho situado no Estado de Alagoas (Lote 03), através de análises espaço-temporais por meio de técnicas de geoprocessamento.

2.2. ESPECÍFICOS

- Identificar as interferências ocorridas na vegetação quanto à perda de áreas verdes e áreas de mata nativa atingidas pela obra;
- Gerar mapas anuais com: índices de vegetação, áreas atingidas, área ocupada pela rodovia, bem como mapas de uso e ocupação do solo;
- Realizar uma análise comparativa do meio físico entre os períodos antes, durante e após a implantação da rodovia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. RODOVIAS

O traçado de uma rodovia requer planejamento, para isso, é necessário que sejam estudados aspectos ambientais, fisiográficos, sociais, econômicos, políticos, e a dinâmica de funcionamento da região de implantação, para assegurar que os objetivos da implantação sejam alcançados de modo satisfatório (PENIDO, KUX, MATTOS, 1998).

Segundo Campos (1979) *apud* Penido, Kux, Mattos (1998), o planejamento rodoviário pode ser dividido em três fases, são elas: reconhecimento, exploração e locação. Uma das fases mais importantes é a chamada fase de reconhecimento, nela é definida a área a ser estudada, que deverá englobar o início e o fim da rodovia para que seja determinado o melhor traçado para ligar os dois locais, após essa definição. É elaborado um sistema cartográfico onde são indicados os traçados favoráveis e desfavoráveis para passagem da rodovia. A escolha final leva em consideração estudos ambientais, técnicos e econômicos, visando a funcionalidade, custo x benefício e a menor probabilidade de impactos ambientais graves.

Data da década de 30, a intensificação de investimentos em infraestrutura de transportes terrestres no Brasil com o objetivo de proporcionar o desenvolvimento econômico do país. Posteriormente, no governo de Juscelino Kubitschek, ocorreram mudanças políticas no ordenamento territorial, através do “Plano de Metas”, onde foram realizados investimentos estratégicos em obras nos setores de energia, transportes e comunicação, colocando em prática o processo de desenvolvimento brasileiro (PEREIRA e LESSA, 2011).

Visando interesses econômicos externos, o país passa a desenvolver uma “política rodoviarista”, através da realização de elevados investimentos em transporte, o que acabou por centralizar no transporte rodoviário o escoamento de pessoas e mercadorias (PEREIRA e LESSA, 2011).

Nas décadas de 60 e 70, os recursos foram investidos prioritariamente na expansão da infraestrutura rodoviária, enquanto que não foram realizados investimentos significativos na manutenção e recuperação do sistema rodoviário já existente, associado a isso o advento da crise econômica na década de 80, levou ao sucateamento do sistema de transporte brasileiro (PEREIRA e LESSA, 2011).

O processo de globalização trouxe consigo o aumento na diversidade de produtos ofertados no mercado, bem como no nível de exigência dos consumidores, isso, de certa forma, obrigou as empresas a buscarem soluções para atenderem as necessidades logísticas de forma ágil, eficiente e buscando um menor custo possível (FLEURY, 2012).

O Brasil é um país carente em infraestrutura, em contrapartida, apresenta economia baseada em uma matriz de transportes terrestres, na qual destaca-se o modal rodoviário. Neste sentido, a má qualidade dessas rodovias, acaba por dificultar a movimentação das mercadorias (FLEURY, 2012).

Dentre os problemas rodoviários existentes no Brasil, os principais problemas são na geometria das vias, na sinalização, na conservação do pavimento, na qualidade do asfalto, além das falhas construtivas, da falta de manutenção e do excesso de peso dos veículos que utilizam as vias (FLEURY, 2012).

3.2. IMPACTOS CAUSADOS POR OBRAS RODOVIÁRIAS

Os empreendimentos lineares quaisquer que sejam rodovias, ferrovias ou linhas de transmissão de energia, apesar de importantes e essenciais para infraestrutura, são também responsáveis por impactos sociais, ambientais e econômicos (LAUXEN, 2012).

Em se tratando do quesito ambiental brasileiro, o licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras e de obras que utilizassem recursos naturais teve início próximo a década de 80. A regulamentação das obras rodoviárias naquela época, não levava em consideração a perspectiva ecológica, ou seja, os possíveis impactos a serem causados não eram estudados e conseqüentemente, durante e após a implantação da obra, não eram evitados, nem tão pouco minimizados (LAUXEN, 2012).

Posteriormente, a construção de novas rodovias, bem como a ampliação das rodovias já existentes, passaram a se sujeitar ao licenciamento ambiental, onde devem ser identificados os possíveis impactos causados pela obra, a viabilidade e a previsão de medidas preventivas, compensatórias e mitigadoras (LAUXEN, 2012).

A análise de impactos permite uma melhoria de aplicação dos projetos, pois visa minimizar os impactos negativos e maximizar os positivos. Para obter essa otimização dos resultados, é

necessário uma análise completa que reflita a realidade entre as relações dos empreendimentos rodoviários com o meio no qual será implantado (SIMONETTI, 2010).

Atualmente, existem documentos utilizados para análise dos impactos ambientais, como o Estudo de Impactos Ambientais (EIA). Esse documento permite identificar e prever a magnitude dos impactos causados por um empreendimento. Quando o estudo é concluído, deve-se elaborar um relatório, nomeado de Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), o qual deve conter todas as informações necessárias. As diretrizes a serem utilizadas na realização desse estudo, bem como os itens necessários ao relatório, são determinadas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (SIMONETTI, 2010).

Destaca-se ainda, que o EIA/RIMA, no caso de obras rodoviárias, é objeto imprescindível, sempre que possuam duas ou mais faixas de rolamento (BANDEIRA & FLORIANO, 2004).

3.3. MAPEAMENTO DE ÁREAS

O conjunto de técnicas fornecido pelo Geoprocessamento quando associado à Cartografia, acaba por gerar ótimos produtos, mostrando com isso a forte relação de interdisciplinar entre eles. A Cartografia ocupa-se de apresentar um modelo de representação de dados que ocorrem no espaço geográfico, já o Geoprocessamento utiliza técnicas matemáticas e computacionais para realizar o tratamento dos processos que ocorrem no espaço geográfico (D'ALGE, 2001).

Uma das áreas de estudo da Cartografia é a Cartografia de Uso e Ocupação do Solo. Esse ramo apresenta-se como uma ferramenta muito importante principalmente para estudos ambientais e tomada de decisões, tanto sob o ponto de vista do ordenamento e desenvolvimento territorial, quanto para gestão de recursos naturais (MOTA, BENTO-GONÇALVES & VIEIRA, 2012).

A Cartografia de Uso e Ocupação do Solo apresenta dois conceitos básicos e fundamentais para seu entendimento, pois apesar de se complementarem, têm objetivos distintos. A “ocupação”, também chamada de *land cover*, consiste em uma categorização física, química ou biológica da superfície terrestre, enquanto que o “uso do solo” trata dos objetivos humanos associados a ocupação. Ou seja, o fim que o homem dará aquela área, ou melhor, a atividade humana exercida ali (MOTA, BENTO-GONÇALVES & VIEIRA, 2012).

É necessário destacar também, que os produtos Cartográficos gerados sejam constantemente atualizados para que seus fins sejam alcançados, pois a desatualização poderá acarretar em interpretações distorcidas da realidade da área em estudo.

3.3.1.MAPEAMENTO DE RODOVIAS

No Brasil, dentre os modais de transporte disponíveis, o mais utilizado é o rodoviário (BATISTÃO, TACHIBANA, & SILVA). Os dados geográficos referentes a esse modal sejam no quesito de localização, de monitoramento do número de acidentes, da qualidade da via, e do trânsito de veículos são importantes para gestão e tomada de decisões.

As rodovias são estruturas bastante complexas, que tem como objetivo principal viabilizar o fluxo de pessoas e mercadorias, sendo de fundamental importância para a civilização (BANDEIRA & FLORIANO, 2004). O avanço tecnológico proporcionou o surgimento de tecnologias que facilitaram o conhecimento do espaço geográfico, dentre elas podem ser citados os mapas digitais, através dos quais é possível visualizar o espaço como um todo, investigar fenômenos geográficos, monitorar e prevê problemas (DA ROCHA & DE OLIVEIRA, 2017).

Outra ferramenta bastante importante no conhecimento do espaço geográfico, voltada especialmente às questões de deslocamentos e planejamento de transporte, são os *Global Positioning Systems (GPSs)* (DA ROCHA & DE OLIVEIRA, 2017). Através dos aplicativos GPSs, dentro das suas limitações, o usuário consegue captar coordenadas, traçar rotas, verificar o fluxo de veículos na rota escolhida, bem como o tempo do percurso, evidenciando a importância do mapeamento de vias para o planejamento de transporte e para atender demandas de deslocamento dos usuários.

Que as obras rodoviárias são importantes para facilitar o deslocamento e atender as demandas da população de um modo geral, não há o que se discutir. Entretanto, esse tipo de obra acaba por gerar impactos principalmente sob o ponto de vista ambiental e por isso deve ser objeto de estudo para que esses impactos sejam minimizados ou evitados.

O mapeamento das rodovias serve, sob o ponto de vista ambiental, principalmente para que sejam verificadas as condições do local de implantação, se a região é viável, qual o melhor

traçado, qual tipo de cobertura vegetal existente, se será necessário a realização de supressão de vegetação, de cortes, aterros, desvio de cursos d'água e desapropriação.

3.3.2. SENSORIAMENTO REMOTO

O Sensoriamento Remoto trata-se de um conjunto de técnicas utilizadas com o objetivo de obter informações por meio de dispositivos que não estão em contato direto com o objeto a ser estudado, os chamados sensores remotos. Esses sensores apresentam uma capacidade de captar a energia oriunda do objeto, posteriormente convertê-la e apresentá-la ao usuário em formato que permita a realização de análises e extração de informações (QUARTAROLI *et al.*, 2014).

Segundo Granemann e Carneiro (2009), de acordo com a energia absorvida, refletida e transmitida por cada alvo, é possível analisar as transformações ocorridas no ambiente estudado através da utilização de imagens provenientes dos sensores remotos. Essas imagens permitem a análise de alguns fenômenos ambientais como o desmatamento, erosão, áreas de queimadas, entre muitos outros.

Data do final da década de 60 o início dos investimentos brasileiros em capacitação profissional e desenvolvimento de infraestrutura para aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto por meio da implantação do Projeto Sensoriamento Remoto no Instituto de Pesquisas Espaciais. Nos anos 70, as atividades direcionaram-se a utilização de imagens orbitais MSS obtidas dos satélites *LandSat* que naquela época, com o conhecimento disponível, restringia-se a identificação de feições específicas, para elaboração de variados mapas temáticos (NOVO e PONZONI, 2001).

Já na década de 80, com o avanço tecnológico, ocorreu o lançamento do Sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo dos satélites *LandSat* 4 e 5, por carregarem uma tecnologia superior ao seu antecessor, MSS, as imagens geradas pelo TM permitiam a realização de novo estudos, uma vez que era possível quantificar parâmetros biofísicos (NOVO e PONZONI, 2001).

Com o passar dos anos, começaram a surgir empresas empenhadas em aplicar técnicas de sensoriamento remoto para atender as demandas de mercado. O trabalho antes voltado a utilização de imagens orbitais ou fotografias áreas exclusivamente destinado ao mapeamento de determinadas feições, passa a incluir novos parâmetros geofísicos e biofísicos, exigindo

assim um maior conhecimento das técnicas e uma maior necessidade de aprimoramento dos sensores no quesito resolução. (NOVO e PONZONI, 2001).

Com isso, novos satélites são lançados carregando sensores com resoluções cada vez melhores, abrindo novos leques de possibilidade de estudo e técnicas, agora denominadas técnicas de geoprocessamento ou geotecnologias. (NOVO e PONZONI, 2001).

O termo “sensores remotos” é considerado amplo e abrange uma infinidade de sensores, entretanto quanto se trata do estudo de sensoriamento remoto propriamente dito, esse termo torna-se mais restrito, abrangendo apenas os equipamentos que detectam a radiação eletromagnética (QUARTAROLI *et al.*, 2014).

3.3.3. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

A vegetação de um modo geral encontra-se distribuída na maior parte dos continentes ao longo da Terra, sendo um dos mais importantes ecossistemas. É de fundamental importância a realização de estudos voltados para áreas com ocorrência de vegetação, pois através deles é possível realizar estimativas, quantificar, caracterizar e identificar parâmetros biofísicos da vegetação de uma região (TANAJURA, ANTUNES & UBERTI, 2005).

Os índices de vegetação obtidos a partir de imagens de satélites podem indicar a qualidade ambiental de uma região, eles foram criados objetivando analisar o comportamento espectral da vegetação em relação ao terreno, além de permitir o acompanhamento de áreas de preservação, do estado da flora e da verificação quanto à eficiência das técnicas empregadas (ZOGAIB & MUCIDA, 2020).

Ferrari, Da Silva & Abdon (2009) fala que o cálculo dos índices de vegetação fornece indicadores importantes no que diz respeito às vegetações analisadas, eles servem para identificar o crescimento delas, bem como detectar possíveis processos que venham a causar impactos ambientais, atualmente é uma ferramenta que a permite a obtenção de dados precisos e seguros e com um baixo custo operacional.

3.3.3.1. CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS ATRAVÉS DO NDVI

A utilização da espacialização de dados permite a integração entre as mais diversas áreas, promovendo assim um fenômeno de inter-relacionamento de informações de vários bancos de dados. As informações necessitam ser localizadas no espaço, para que assim sejam obtidos elementos que em conjunto retratem um cenário real, possibilitando uma melhor gestão dos problemas e a criação de ações Inter setoriais (GURGEL, 2003).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um índice de elevada abrangência, que pode ser utilizado nas mais diversas aplicações, como por exemplo, no mapeamento de áreas urbanas, no monitoramento de doenças, na agricultura, na verificação de impactos ambientais, entre outras áreas. Sobre a utilização voltada ao monitoramento das áreas urbanas, Alves *et al.* (2009) comentam que apesar de as áreas urbanas ocuparem uma pequena porção da superfície terrestre, o espaço ocupado por elas deve ser monitorado e estudado constantemente, visto que o comportamento dessas áreas influencia o meio ambiente e a dinâmica socioeconômica local, regional e em alguns casos mundial. Nesse caso, a utilização do NDVI visa a discriminação das áreas urbanizadas das classes de vegetação (ALVES *et al.*, 2009).

Gurgel (2003) utilizou o NDVI aplicado à área da saúde, a fim de verificar a relação existente entre o índice e a quantidade de casos da doença Malária no estado de Roraima. A autora concluiu que os períodos em que ocorrem aumento no número de casos de malária, coincidem com períodos de aumento nos valores de NDVI, da mesma forma que em períodos de queda do NDVI, ocorre também queda nos casos de malária. O trabalho mostrou-se uma ferramenta bastante eficiente, visto que conhecer as condições de saúde de uma população é muito importante, bem como os mapas possibilitam uma melhor visualização da distribuição espacial dos riscos à saúde.

Segundo Cocco (2016) a Agricultura de Precisão permite o manejo de forma racional da variabilidade espacial e temporal dos atributos químicos do solo, visando maximizar e tornar eficiente a utilização de áreas agrícolas. Nesse contexto, Cocco (2016) diz ainda, que o NDVI é considerado um bom medidor da atividade fisiológica das plantas, evidenciando as diferenças entre as vegetações, com isso torna-se uma ótima ferramenta para embasar tomada de decisões na Agricultura de Precisão.

Leal *et al.* (2019) trabalhou com a utilização do NDVI, para avaliar o comportamento da vegetação do Parque Nacional das Emas, antes e após a ocorrência de um incêndio. Após o processamento dos dados, com os valores de NDVI obtidos, foi possível analisar a cobertura vegetal em relação à perda biomassa, antes e após o incêndio. Além disso, foi possível identificar as áreas mais afetadas e aquelas que ficaram vulneráveis, gerando assim informações que poderão subsidiar futuramente ações preventivas e mitigadoras.

3.3.4 CLASSIFICAÇÃO ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATÉLITE

A classificação de imagens trata-se de um procedimento de interpretação, com o auxílio de *softwares* e computadores, a atividade consiste em atribuir ao pixel determinada característica, de acordo com sua cor, forma, textura, entre outros atributos (RODRIGUES *et al.*, 2014).

Nesse processo, são criados conjuntos de *pixels* com características espectrais comuns entre si, onde cada conjunto apresenta uma assinatura espectral que representa determinado tipo de alvo, como por exemplo, mata nativa, área urbana, uso da terra e vegetação (RODRIGUES *et al.*, 2014).

Segundo Fitz (2020), para realização da classificação, são necessários alguns cuidados, dentre eles a escolha cuidadosa das bandas a serem utilizadas no procedimento, para que após a combinação das mesmas, seja possível observar com clareza o que se deseja.

A classificação de uma imagem pode ser realizada de diversas formas e os métodos podem ser divididos em dois grandes grupos: supervisionado e não-supervisionado, podendo ainda, esses dois grandes grupos apresentarem mais subdivisões, dentre elas destaca-se a classificação supervisionada por Distância Mínima ou *Minimum Distance*.

Segundo Rosa (2015), a Distância Mínima é uma classificação supervisionada pixel a pixel. Nesse método, os valores digitais que apresentam certo grau de similaridade na imagem são agrupados em classes, de acordo com suas características.

O primeiro passo para aplicação desse método é a necessidade de que o usuário que irá analisar as imagens, tenha um prévio conhecimento dos alvos estudados, adquirindo dessa forma, espectros de referência para comparar com os espectros da imagem (ROSA, 2015).

Ainda segundo Rosa (2015), o cálculo se dá a partir de uma medida de Distância Euclidiana, onde são agrupadas as médias dos pixels das amostras coletadas, para medir a distância espectral do pixel que se quer classificar, sendo assim, quanto maior for a distância

entre a amostra e o pixel a ser classificado, maior será a probabilidade de que o pixel seja classificado junto a amostra.

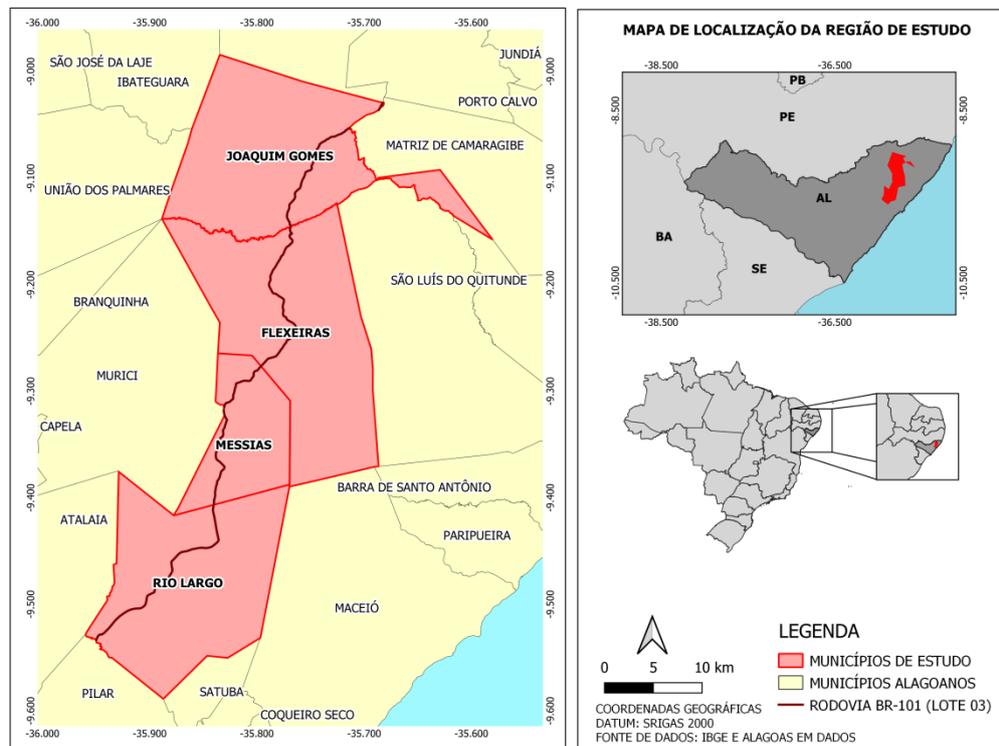
Através da classificação supervisionada, é possível realizar uma subdivisão da área estudada, além de ser possível quantificar cada componente e também realizar análises estatísticas, gerando assim, informações que poderão subsidiar estudos e decisões.

4. ÁREA DE ESTUDO

O Estado de Alagoas localiza-se na porção nordeste do Brasil, apresenta 27.830,65 km² de extensão territorial, representando aproximadamente 0,32% do território nacional. Limita-se com três estados, ao Norte com Pernambuco, ao Sul com Sergipe e a Oeste com a Bahia, além disso, limita-se também a Leste com o Oceano Atlântico (IBGE, 2020).

O estado possui 102 municípios, dentre eles Rio Largo, Messias, Flexeiras e Joaquim Gomes (Figura 01), que compõe o Lote 03 da obra de duplicação da Rodovia BR-101, o trecho em questão da rodovia apresenta 30km de extensão.

Figura 01. Mapa de Localização da área de estudo.



Fonte: Autora (2021).

A BR-101 é uma rodovia federal que cruza doze estados brasileiros, tem início na cidade de Touros do Rio Grande do Norte e término em São José do Norte, no Rio Grande do Sul.

A porção Nordeste da rodovia está pavimentada há mais de 30 anos e desempenha um importante papel não somente em relação ao transporte de cargas ou bens, mas também pode ser considerada peça fundamental para o desenvolvimento da agroindústria canieira, das indústrias, dos serviços e do turismo para região por ela beneficiada (BRASIL, 2022).

Há aproximadamente duas décadas, o Governo Federal trabalha para entregar a duplicação da BR-101 Nordeste em um eixo que integra 1.047 km, percorrendo desde a cidade de Natal no Rio Grande do Norte, à Feira de Santana na Bahia.

O Estado de Alagoas compõe essa duplicação com aproximadamente 250 km de obra ligando o Estado à Pernambuco e à Sergipe.

Quanto ao clima, Alagoas apresenta o clima Tropical Atlântico, as estações do ano são bem definidas, com o verão quente e o inverno chuvoso, de um modo geral, as temperaturas não sofrem muita oscilação, no litoral, variam entre 23°C e 28°C, já no sertão, entre 17°C e 33°C. Em relação aos municípios que compõe o Lote 03 da obra, apresentam os climas úmido e subúmido úmido (BARROS *et al.*, 2012).

No quesito vegetação, os municípios estudados encontram-se inseridos no bioma Mata Atlântica, esse bioma predomina nas áreas mais próximas ao litoral, trata-se de um dos mais importantes do planeta, visto que abrange uma enorme variedade de fauna e flora, porém ao mesmo tempo que é de extrema importância para o planeta, é um dos biomas mais degradados pela ação antrópica. (SANTOS, 2010)

Segundo dados da Secretaria do Planejamento, Gestão e Patrimônio do ano de 2014, Rio Largo, Messias, Flexeiras e Joaquim Gomes, apresentam como principal produto do primeiro setor, Agropecuária, a cana de açúcar. O cultivo desse produto primário é realizado principalmente em latifúndios, ocupando assim grandes faixas de terra ao longo dos municípios.

5. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido a partir de uma breve pesquisa sobre o histórico da obra, onde foram levantadas informações referentes à sua data de início, os períodos em que a obra ficou paralisada, bem como a data de sua conclusão, com o objetivo de definir a escala temporal a ser utilizada, ficando definido para estudo os anos de 1995, 2006, 2011, 2016 e 2020, conforme a Tabela 01.

Tabela 01. Ano e critério de escolha do período de estudo.

ANO	CRITÉRIO DE ESCOLHA EM RELAÇÃO AO ESTÁGIO DA OBRA
1995	Ano em que a obra ainda não havia iniciado.
2006	Ano em que a obra já se encontrava iniciada.
2011	Ano de paralisação da obra.
2016	Ano após paralisação da obra (retorno).
2020	Ano em que a obra já estava concluída.

Fonte: Autora.

Com a escala temporal definida, iniciou-se o processo de levantamento de dados vetoriais e *raster*, os dados vetoriais levantados foram referentes a hidrografia, vegetação, relevo, rodovias, unidades de conservação, uso do solo, clima e a malha municipal, nos sites do Instituto do Meio Ambiente de Alagoas (IMA/AL), do Alagoas em Dados e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

As etapas descritas a seguir dizem respeito à coleta das imagens de satélite e o processamento dessas imagens. Para isto, o estudo dividiu-se duas etapas, pré-processamento e processamento propriamente dito. O pré-processamento é um requisito necessário para realização das devidas correções nas imagens que asseguram que ao final do processamento as informações geradas sejam confiáveis e precisas, já o processamento propriamente dito, foi realizado para obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e da Classificação Supervisionada.

5.1. IMAGENS DE SATÉLITE E DADOS VETORIAIS

No que diz respeito as imagens, ou dados *raster*, foram utilizados o satélite *LandSat5*, no qual as imagens são geradas a partir do sensor TM, com resolução espacial de 30 metros e o

Sentinel, com resolução de 10 metros. As imagens do satélite *LandSat* foram adquiridas gratuitamente através do site do *United States Geological Survey (USGS)*, já as imagens do *Sentinel*, foram adquiridas, também de maneira gratuita, pelo *software Qgis* através do *plugin SCP (Semi – Automatic Classification Plugin)*.

Diante do alto índice de recobrimento de nuvens sobre a área de estudo, foi necessária a utilização imagens de dois satélites distintos e com resoluções espaciais e temporais diferentes, a fim de contemplar todo o período de estudo estabelecido, bem como para garantir melhores resultados pós-processamento.

Além disso, por ter lançamento recente, o satélite *Sentinel* não apresenta dados referentes aos anos de 1995, 2006 e 2011, sendo necessária a utilização das imagens do satélite *LandSat* para esses períodos, e do o *Sentinel* para compor os anos 2016 e 2020.

5.2. PRÉ-PROCESSAMENTO

Segundo Florenzano (2011), as imagens digitais, obtidas através do sensoriamento remoto, consistem em uma representação matricial de valores, esses valores, correspondem à intensidade de reflexão ou emissão de um alvo na superfície terrestre. Sendo assim, uma imagem é composta por um conjunto valores numéricos, chamados de células, ou *pixels*, que retratam uma intensidade de energia e um nível de cinza.

As imagens de sensores remotos são entregues ao usuário em seu formato bruto, de acordo com Florenzano (2011) para realizar um processamento eficiente, é necessária a utilização de *softwares* especializados, bem como o emprego de técnicas de processamento, visando minimizar erros de análise e interpretação, bem como a perda de informações.

Após a aquisição das imagens orbitais, foi realizado o pré-processamento através do *software Qgis* e do *plugin SCP (Semi – Automatic Classification Plugin)*, nessa etapa foi realizada a correção atmosférica das imagens, baseada no método *DOS (Dark Object Subtraction)*. Esse procedimento minimiza a influência dos componentes da atmosfera terrestre e é realizado de modo automático pelo programa, devendo o usuário inserir apenas algumas informações solicitadas pelo *plugin*.

Além disso, as imagens do satélite *LandSat5* disponíveis no site *United States Geological Survey (USGS)* são projetadas para o hemisfério Norte, sendo necessária a reprojeção para o

hemisfério Sul, onde localiza-se a área de estudo. Para realizar tal correção, foi utilizada a ferramenta “Reprojetar Coordenadas” do *software Qgis*.

5.3. PROCESSAMENTO

Com as imagens corrigidas e reprojetadas, iniciou-se o processamento propriamente dito. A área de estudo engloba quatro municípios alagoanos, para recobrir toda área de interesse foi necessário obter duas imagens (*rasters*) de cada ano, para assim criar um mosaico que a abrangesse de modo integral. Os mosaicos foram construídos através da ferramenta “Mesclar” no *software Qgis*.

Nessa etapa também foi realizado o empilhamento das bandas para elaboração da composição RGB. Esse procedimento foi realizado de modo automático pelo *plugin SCP*, sendo necessário inserir apenas as bandas utilizadas. Para isto, com o satélite *LandSat* foram utilizadas as bandas 7, 5 e 3 e com o *Sentinel* as bandas 4, 3 e 2.

Para diminuir o tempo de processamento, foram realizados recortes de modo a criar *shapefiles* e *rasters* contendo apenas a área a ser estudada. Os arquivos *shapefiles* foram criados utilizando-se a ferramenta “Recortar”. Além dessa, foi utilizada também a ferramenta de seleção de feições, associada ao comando “exportar apenas feições selecionadas”. Já os *rasters* foram recortados através da ferramenta “Recortar camada pela extensão da máscara”. Cabe ressaltar que o recorte dos *rasters* só foram realizados após o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, visando minimizar possíveis falhas nas extremidades das imagens.

A fim de identificar as transformações ocorridas na paisagem pela implantação da obra de duplicação da BR-101, foram utilizadas algumas técnicas de geoprocessamento em imagens de satélites que permitiram através de análises espaço-temporais localizar os principais pontos de interferência da obra.

Dentre as ferramentas utilizadas têm-se o cálculo o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada que permite o monitoramento da vegetação da área estudada, e também a classificação supervisionada que quando realizada, proporciona uma melhor visualização através da divisão por classes de cada elemento presente na imagem.

5.3.1. CÁLCULO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

Segundo Barbosa, Carvalho & Camacho (2017), o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um índice que permite identificar a presença de vegetação, bem como caracterizar sua distribuição espacial e evolução ao longo do tempo. O cálculo deste índice é realizado através da relação entre duas bandas espectrais, sendo uma a infravermelho próximo e outra a vermelha, como é apresentado na Equação 01. Logo, os resultados variam num intervalo de -1 até 1.

$$NDVI = \frac{NIR+RED}{NIR-RED} \quad \text{Eq. 01}$$

Onde:

NIR – Banda 4 (*LandSat5*) ou Banda 8 (*Sentinel*);

RED – Banda 3 (*LandSat5*) ou Banda 4 (*Sentinel*).

O cálculo do NDVI foi realizado no *software Qgis* através da *band calc* do *plugging SCP (Semi Automatic Classification Plugin)*, o procedimento gera como resultado uma imagem NDVI em tons de cinza, entretanto, objetivando uma melhor interpretação e visualização dos resultados obtidos, deve ser utilizada uma composição falsa cor, que nada mais é do que a atribuição de cores à imagem, de acordo com o que a classe representa, por exemplo, ao intervalo que representa um tipo de vegetação, será atribuída a cor verde, a representação de água, a cor azul.

5.3.2. CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Para realizar a classificação, foi utilizado o método supervisionado, onde são selecionadas pelo usuário amostras na imagem de padrões ou alvos, por meio da cor, textura e forma. Após a seleção das amostras foi realizado o treinamento de modo que cada pixel selecionado se enquadrasse dentro de uma classe pré-fixada adaptada de Santos *et al.*, (2021), nesse caso foram utilizadas cinco classes: água, solo exposto, vegetação rala, vegetação densa e nuvens. Após a classificação foi possível obter a área ocupada por cada classe (SANTOS *et al.*, 2021).

A classificação supervisionada foi realizada através do *software Qgis* e do *plugin SCP*. Finalizado o treinamento e executada a classificação, foi utilizado o algoritmo de

processamento *r.report* (ferramenta *Grass Gis*) para gerar o relatório da classificação com a área ocupada por cada classe treinada. Em seguida, com as informações disponíveis no relatório, foram realizados cálculos e elaborados gráficos com a representação da área ocupada por cada classe no *software Microsoft Excel*.

5.3.3. CÁLCULO DE ÁREAS AFETADAS PELA OBRA DE DUPLICAÇÃO DO LOTE 03 DA BR-101

Além do NDVI que permitiu analisar o comportamento e a distribuição espacial da vegetação, foram determinadas as áreas de ocupação pela obra de duplicação, bem como as áreas de mata nativa que foram atingidas pela segunda faixa da duplicação da rodovia.

Essas áreas foram determinadas por meio da análise das imagens associadas aos arquivos *shapefiles* disponíveis nos sites do IMA/AL e do IBGE.

Para obter os valores finais tanto de área nativa atingida, quanto da área de mata remanescente, bem como a área ocupada pela duplicação do Lote 03 da BR-101, foram realizados recortes e cálculos de área, através da ferramenta “calculadora de campo” no *software Qgis*.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

A classificação utilizada de Dos Santos (2016) para o NDVI, considera algumas classes, dentre elas: corpo d'água, solo exposto, vegetação rala, vegetação de médio porte e vegetação densa. A Tabela 02 apresenta os intervalos de variação desse índice, que podem apresentar-se com valor mínimo de -1 e máximo de 1.

Tabela 02. Classificação do NDVI.

CLASSE	DESCRIÇÃO	INTERVALO
I	Corpo d'água	-1,00 a 0,00
II	Solo exposto	0,00 a 0,224
III	Vegetação rala	0,224 a 0,366
IV	Vegetação de médio porte	0,366 a 0,610
V	Vegetação densa	0,610 a 1,00

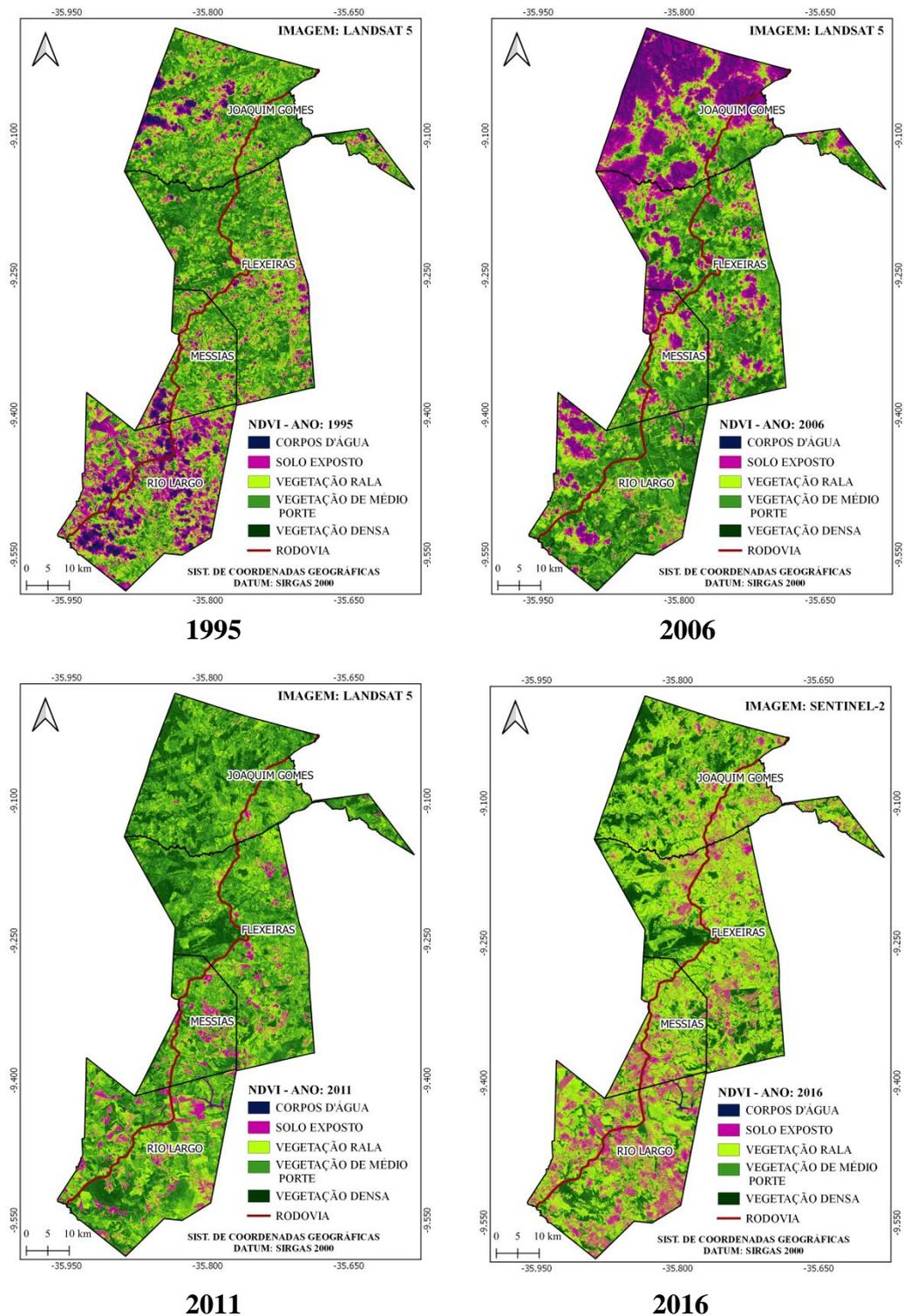
Fonte: Dos Santos (2016) adaptada.

Os valores negativos representam os corpos d'água que não são tão presentes no trajeto da BR, os demais valores se apresentam de maneira variável ao longo do trajeto.

A Figura 2 apresenta o mapa do NDVI para os anos de 1995, 2006, 2011 e 2016, desde quando a obra de duplicação da BR-101 ainda não havia sido iniciada neste trecho, até a sua conclusão.

Para o ano de 1995, observa-se que há a predominância de vegetação rala e de vegetação de médio porte. Na porção inferior da imagem, no município de Rio Largo, nota-se a forte presença da classe de solo exposto. Isso ocorre, pois nessa área existe a presença de muitas nuvens, o que levou o algoritmo a classificá-las de modo equivocado, como solo exposto.

Figura 02. NDVI dos anos 1995, 2006, 2011 e 2016.



Fonte: Autora (2021).

O ano de 2006 apresenta comportamento semelhante ao ano de 1995, porém, nas áreas mais próximas à obra da rodovia, a classe de vegetação rala está mais presente nesse ano, quando comparada ao ano de 1995. Já no ano de 2011, é possível observar ainda, a predominância de vegetação rala e de médio porte. Entretanto, em algumas localidades, a

vegetação rala começou a dar espaço para o solo exposto. Este fato pode ser explicado por dois motivos, sendo um deles a entressafra (plantio e colheita) nos latifúndios próximos à rodovia, e o outro dado pela ocupação com algumas construções residenciais e comerciais em lotes lindeiros. Pelas imagens, pode-se subentender que essas construções foram atraídas pelo andamento da implantação da duplicação da BR-101. Uma vez que, o período de 2011 a 2015 compreende a paralisação da obra.

O principal produto cultivado nos latifúndios que margeiam a BR-101, no trecho de estudo, é a cana de açúcar. É importante destacar que a indústria canavieira tem forte influência na economia Alagoana, dada sua relevante participação no PIB do estado (aproximadamente 45%) (SANTOS, 2011).

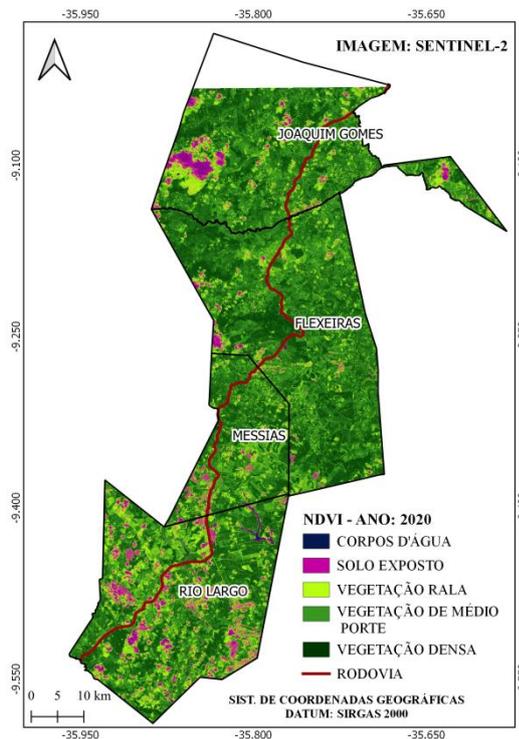
No estado de Alagoas, devido ao clima da região, o plantio da cana-planta ocorre no inverno, mais especificamente nos meses de junho, julho e agosto e se estende por 15 meses. Além desse período de plantio, existe também o plantio que ocorre nos meses de junho, julho, agosto e setembro, sendo destinado à produção de sementes, com duração de 12 meses (SANTOS, 2011).

A ressalva sobre a cana de açúcar cabe visto que, a forte alternância das classes de vegetação rala, de vegetação de médio porte e de solo exposto foi observada principalmente pelos períodos de entressafra. Com isso, apresentou uma influência muito maior nos dados do que os possíveis impactos causados pela obra.

Considerando a análise qualitativa realizada, no ano de 2016, fica evidenciado que o solo exposto apresentou um aumento significativo, principalmente nos municípios de Messias e Rio Largo. Pode-se atribuir esse aumento a vários motivos, não somente ao retorno da obra de duplicação da BR-101, mas também à implantação de conjuntos habitacionais na região, os quais proporcionaram uma expansão da área urbanizada.

No último ano analisado, 2020 (Figura 03), nota-se o predomínio da vegetação de médio porte, refletindo provável época de colheita nos latifúndios que margeiam a rodovia.

Figura 03. NDVI do ano 2020.



Fonte: Autora (2021).

A vegetação tem um comportamento bastante variável ao longo dos anos, principalmente no que diz respeito à vegetação rala e a de médio porte. Isso pode ser explicado, pois a região de estudo abrange um grande número de latifúndios destinados principalmente ao plantio da cana de açúcar. Outro fato que pode ser atribuído, é que na época da entressafra (plantio e c) revelaram-se diferentes predomínios de classes nas imagens de acordo com as datas analisadas, tais como: no plantio, há corriqueiramente o predomínio de vegetação rala, e na colheita o predomínio de vegetação de médio porte.

Vale destacar ainda, através da análise qualitativa, nota-se que ocorreu uma perda de volume da vegetação densa em algumas áreas próximas a implantação da duplicação da BR-101, podendo ser reflexo da obra. Assim como, verificou-se a expansão de áreas de agricultura e pastagem localizadas afastadas da duplicação da BR-101.

6.2. CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

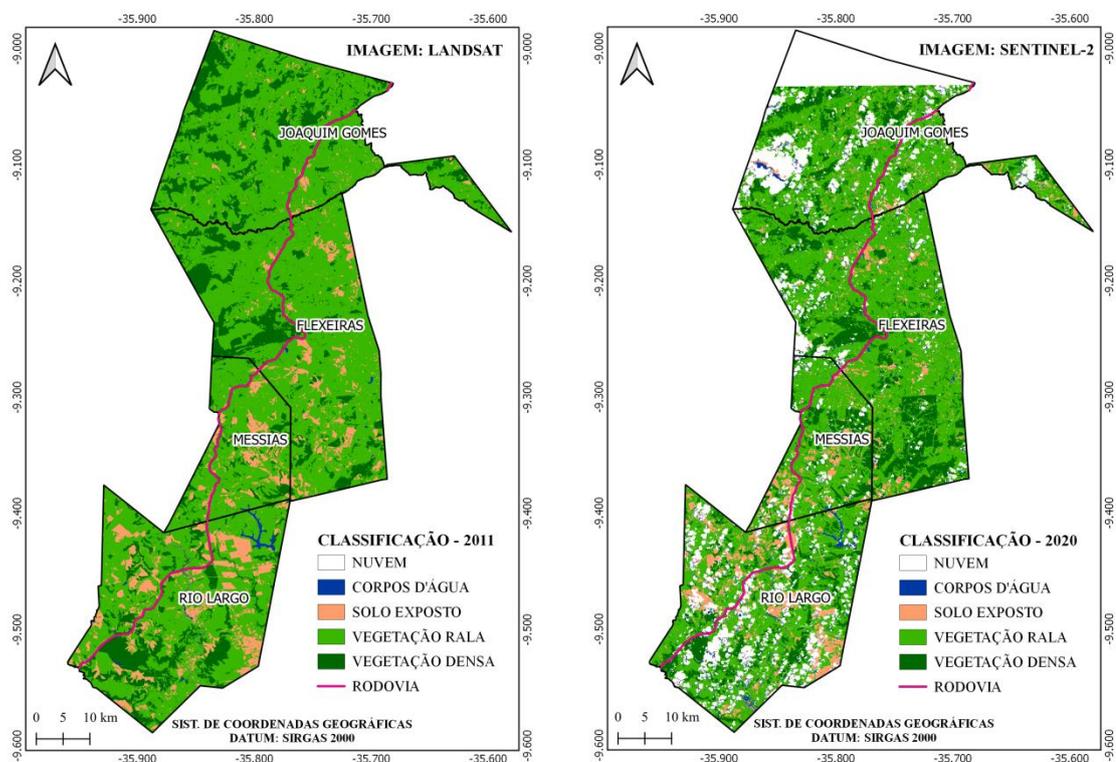
A classificação supervisionada foi realizada com o objetivo de verificar as modificações ambientais sofridas após a implantação da rodovia. Para isto, foram estabelecidas cinco classes:

nuvens, corpos d'água, solo exposto, vegetação rala e vegetação densa, seguindo a metodologia de Santos *et al.*, (2021), para analisar os possíveis impactos sofridos pela vegetação.

Sobre as classes definidas, cabe destacar alguns pontos: a classe “solo exposto” refere-se às áreas de solo descoberto, tanto por motivos naturais, quanto pela ação antrópica, e também a área urbana. A classe “vegetação rala” abrange as vegetações rasteiras (gramíneas), vegetação arbórea de baixo porte e as culturas em estágio inicial. Já a classe de “vegetação densa”, engloba as culturas em estágio mais avançado (próximas à época de colheita), e as áreas de mata densa, com vegetação arbórea de portes médio a alto.

Para realizar a classificação e elaborar o mapa de uso e ocupação (Figura 04), foram escolhidas duas imagens, a primeira do ano de 2011, do satélite *LandSat5*, que representou o período antes da conclusão da obra, e segunda imagem de 2020, do satélite *Sentinel-2*, que representou o período pós implantação da rodovia.

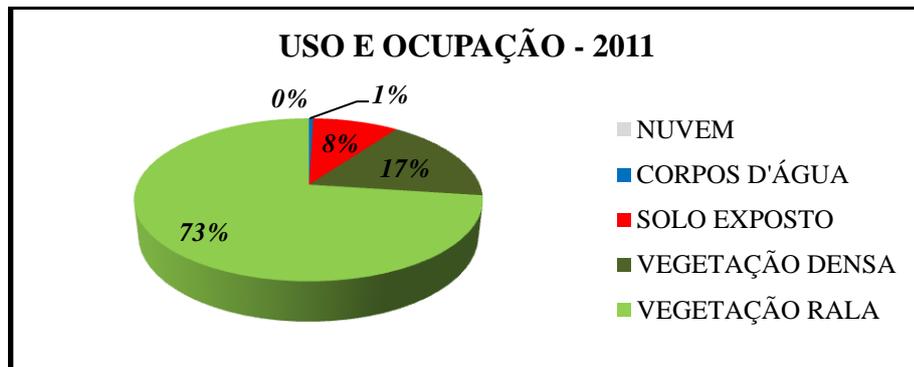
Figura 04. Mapa de Uso e Ocupação do Solo para os anos 2011 e 2020.



Fonte: Autora (2021).

Após elaborado os mapas e extraídas as estatísticas, foi possível observar que no ano de 2011, ocorreu o predomínio da classe de vegetação rala (Gráfico 01) correspondendo a cerca de 73% da área total analisada.

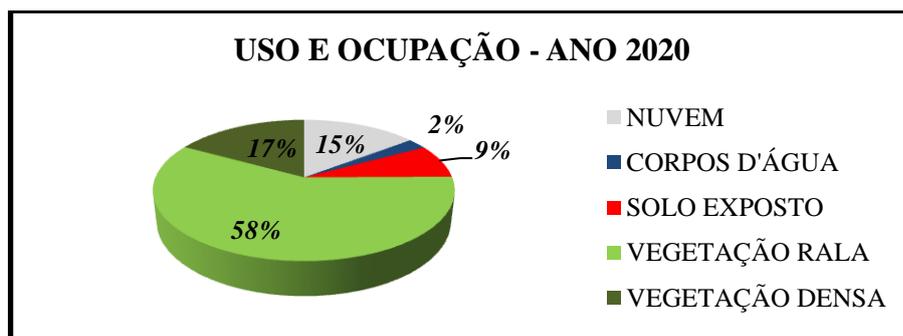
Gráfico 01 – Percentual de área ocupada no Mapa de Uso e Ocupação do Solo para o ano de 2011.



Fonte: Autora (2021).

No ano de 2020 (Gráfico 02), ainda ocorreu o predomínio da classe de vegetação rala, entretanto em um percentual menor, de aproximadamente 53%. Além disso, nota-se também um leve aumento na classe de solo exposto.

Gráfico 02. Percentual de área ocupada no Mapa de Uso e Ocupação do Solo para o ano de 2020.



Fonte: Autora (2021).

A redução de aproximadamente 20% na classe de vegetação rala quando comparado os anos de 2011 e 2020, pode ser justificada pela entressafra, como explicado anteriormente. Já o leve aumento na classe de solo exposto justifica-se pela expansão da área urbana.

A classe de corpos d'água assim como a de solo exposto, sofreram um aumento discreto. Isso ocorreu, pois, a baixa resolução espacial do satélite *LandSat5*, utilizado para o ano de

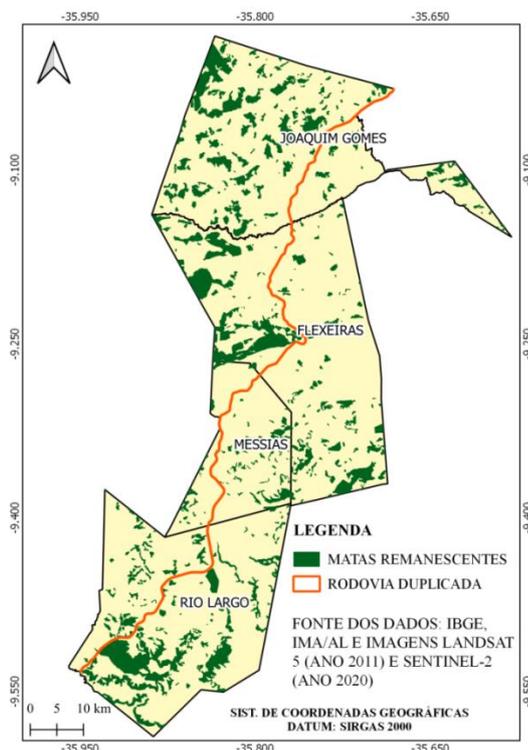
2011, não permite a identificação de pequenos cursos d'água. A classe de vegetação densa, nos anos analisados não sofreu variações significativas.

6.3. CÁLCULO DE ÁREAS AFETADAS PELA OBRA DE DUPLICAÇÃO DO LOTE 03 DA RODOVIA BR-101

No que diz respeito a área ocupada pela duplicação, verifica-se que o trecho em questão ocupa aproximada 3,08 km². Quanto às matas nativas atingidas, a região de estudo encontra-se inserida no bioma Mata Atlântica, sendo composta predominantemente pela vegetação de Floresta Ombrófila Aberta, e com uma pequena porção composta por Floresta Ombrófila Densa, por estar presente em maior parte do trajeto da BR-101, a Floresta Ombrófila Aberta foi a principal afetada.

A Figura 05 apresenta as matas remanescentes existentes após a implantação da BR-101, já as Tabelas 03 e 04, apresentam respectivamente a área de mata atingida pela obra de duplicação da rodovia e a área de mata remanescente por município.

Figura 05. Florestas atingidas e área de Mata Remanescente.



Fonte: Autora (2021).

Fica evidenciado com essas análises, que o município que mais sofreu impactos foi o de Rio Largo, com 0,06 km² de área afetada, conforme apresenta a Tabela 03. Quanto aos municípios de Flexeiras e Joaquim Gomes, esses apresentaram uma área afetada muito baixa, inferior à 0,001km², refletindo assim, a baixa interferência da obra na vegetação dessa região.

Tabela 03. Área de Mata atingida pela obra da Rodovia em cada Município.

Município	Área (Km²)
Rio Largo	0,06
Messias	0,001

Fonte: Autora (2021).

Em relação à quantidade de mata remanescente por município, Joaquim Gomes e Rio Largo são os que apresentam um maior número de mata remanescente, conforme mostra a Tabela 04.

Tabela 04. Área de Matas Remanescentes em cada Município.

Município	Área Remanescente (Km²)
Rio Largo	51,38
Messias	11,01
Flexeiras	49,05
Joaquim Gomes	51,82

Fonte: Autora (2021).

Destaca-se ainda, que através das análises qualitativas realizadas nas imagens geradas, foi possível observar que algumas regiões mais próximas à rodovia foram afetadas indiretamente pela obra, pois ao longo dos anos essas áreas sofreram uma redução gradual na densidade das matas.

7. CONCLUSÕES

O estudo buscou averiguar as modificações, bem como as interferências causadas pela obra da duplicação da BR-101, Lote 03, que engloba os municípios de Rio Largo, Messias, Flexeiras e Joaquim Gomes, ao longo dos anos de 1995, 2006, 2011, 2016 e 2020. Essas modificações foram estudadas visando identificar as características físicas após a implantação da rodovia, bem como os principais impactos causados em relação à vegetação da área estudada.

Quanto às imagens utilizadas, foi necessário a escolha de mais de um satélite, *LandSat* e *Sentinel*, isso explica-se, pois após o processamento, foi verificado que as imagens estavam apresentando um alto recobrimento de nuvens, as quais interferiram no cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), não sendo possível substituir as imagens dos anos de 1995 e 2006 e 2011, pois não existiam dados do satélite *Sentinel* para esses anos.

Sobre a vegetação, a região estudada encontra-se inserida no bioma Mata Atlântica, em que os índices NDVI obtidos ano a ano se comportaram de maneira bastante variável, sendo comum a todos os anos a baixa presença de corpos d'água e de vegetação de grande porte próximo às margens da rodovia. Outro ponto observado foi a alternância entre as classes de vegetação rala e de médio porte, o que pode ser explicado pelo reflexo dos períodos de entressafra visto que, a área de estudo trata-se de uma região onde há uma forte presença de latifúndios destinados a agricultura.

Como toda obra rodoviária de grande porte gera impactos, sejam eles positivos ou negativos, com a duplicação da BR-101 não seria diferente, através das análises realizadas com as imagens, foi calculada a área aproximada ocupada pela rodovia, totalizando 3,08 km². Sob o ponto de vista ambiental, nesse trecho a vegetação é classificada como floresta ombrófila aberta e floresta ombrófila densa, sendo a primeira a mais afetada por estar presente na maior parte do trajeto.

Por fim, finalizado o processo de análise das imagens, nota-se que nas áreas próximas à rodovia, ocorreu um gradual processo de perda de vegetação, predominando no último ano analisado áreas vegetação rala. Nota-se também que ocorreu uma perda de vegetação nativa com a redução na densidade da vegetação nas áreas de mata, sendo o município mais afetado o de Rio Largo.

Sobre a quantidade de matas remanescentes, os municípios que apresentam a maior quantidade de mata nativa são Joaquim Gomes e Rio Largo, enquanto que Messias apresenta a menor quantidade.

A pesquisa gerou mapas, índices e tabelas que podem subsidiar medidas de controle ambiental, principalmente no que diz respeito à preservação do bioma Mata Atlântica, uma vez que, ficou evidenciado que com o passar dos anos, durante a implantação da BR-101, ocorreu uma redução no vigor da vegetação nas regiões mais próximas à rodovia.

8. REFERÊNCIAS

ALAGOAS EM DADOS. Disponível em: <<https://dados.al.gov.br/catalogo/group/geociencias>>. Acesso em: 02 out. 2021.

ALVES, C. D. *et al.* **Object oriented image analysis of urban areas with LANDSAT images.** Bulletin of Geodetic Sciences, [S.l.], apr. 2009. ISSN 1982-2170. Available at: <<https://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/13904>>. Date accessed: 19 dez. 2021.

BANDEIRA, C. & FLORIANO, E. P.. **Avaliação de impacto ambiental de rodovias.** Caderno Didático nº 8, 1ª ed. Santa Rosa, 2004.

BARBOSA, A. H. da S., CARVALHO, R. G. de, & CAMACHO, R. G. V. (2017). **Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte.** *Revista Do Departamento De Geografia*, 33, 128-143. <https://doi.org/10.11606/rdg.v33i0.128171>. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/128171>>. Acesso em: 18 out. 2021.

BARROS, A. H. C. *et al.* **Climatologia do Estado de Alagoas - Dados eletrônicos.** Recife: Embrapa Solos, 2012. 32 p.; il. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892; 211).

BATISTÃO, M.C.; TACHIBANA, M.V. & SILVA, J.F.C. 2016. **Mapeamento de trechos rodoviários críticos.** *Revista Brasileira de Cartografia* (2016), N° 68/4, Edição Especial Geoinformação e Análise Espacial: 863-877, Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto ISSN: 1808-0936.

BIANCHINI, C. D.; OLIVEIRA, G. G. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas aptas para a implantação de unidades de conservação no Vale do Taquari, RS.** *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 71, n. 2, p. 513-541, 24 jun. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/noticias/2022/05/duplicacao-da-br-101-se-vai-desenvolver-turismo-na-divisa-do-sergipe-com-alagoas>. Acesso em: Out. 2021.

CHAVES, F. S. R.. **Utilização do geoprocessamento no mapeamento criminal na região metropolitana de João Pessoa – PB**. Monografia – Bacharelado em Geografia - Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/657>>. Acesso 14 out.2021.

COCCO, L. B. **Utilização de ferramentas de agricultura de precisão na definição de zonas de manejo**. 2016. 55f. Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria –RS. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/4832>>. Acesso: jan. 2022.

D’ALGE, J.C.L. **Cartografia para geoprocessamento**. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, p. 32, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap6-cartografia.pdf>>. Acesso: Jan. 2022.

DA ROCHA, A. B. & DE OLIVEIRA, M. M. N. **POTENCIALIDADE DO APLICATIVO C7 GPS DADOS E DO GNSS NOS ESTUDOS DE GEOTECNOLOGIAS E GEOGRFIA FÍSICA – relatos de experiências**. 2017. Disponível em: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal16/Nuevastecnologias/Sig/13.pdf>>. Acesso em: Jan. 2022.

DOS SANTOS, J. M. A. **DETECCÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO MUNICÍPIO DE MATA GRANDE – AL COM USO DE GEOTECNOLOGIAS**. Tese (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Maceió, 2016. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/1563>>. Acesso: Out. 2021.

FERRARI, D. L., DA SILVA, J. S., ABDON, M. M.. **Avaliação do uso de NDVI em imagens CBERS-2B/CCD na caracterização de pastagens degradadas no município de Camapuã, MS** . *In*: II Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.402-411.

FERREIRA, M. L.. **Sistema de informação geográfica (SIG) aplicado na agricultura de precisão**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 04, Vol. 03, pp. 15-23. Abril de 2019. ISSN: 2448-0959.

FITZ, P. R. **Classificação de imagens de satélite e índices espectrais de vegetação: uma análise comparativa**. Geosul, Florianópolis, v. 35, n. 76, p. 171-188, set./dez. 2020. Disponível em: <<http://doi.org/10.5007/2177-5230.2020v35n76p171>>. Acesso em: out. 2021.

FLEURY, P. F.. **Logística no Brasil: situação atual e transição para uma economia verde**. [Rio de Janeiro]: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, [2012?]. 43 p. (Coleção de estudos sobre diretrizes para uma economia verde no Brasil).

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**, 3ª edição ampliada e atualizada. 3ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128 p.

GURGEL, H. C. **A utilização das geotecnologias em estudos epidemiológicos: o exemplo da relação entre a malária e o NDVI em Roraima**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 09., 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 1303 - 1310. CD-ROM, On-line. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.14.31/doc/12_308.pdf>. Acesso em: jan. 2022.

GRANEMANN, D. C., CARNEIRO, G. L. - **Monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas com a utilização de imagens de Sensoriamento Remoto** - Revista de Engenharia e Tecnologia - V. 1, N° 1, Dez/2009. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2009_monitora_vegetacao_sr.pdf>. Acesso em: Out. 2021.

IBGE. Downloads. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloadsgeociencias.html>>. Acesso em: out. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al>. Acesso em: 09 de outubro de 2021.

IMA – Instituto do Meio Ambiente de Alagoas. Disponível em: <<https://www.ima.al.gov.br/servicos/downloads/download-de-dados-vetoriais/>>. Acesso em: 02 de outubro de 2021.

LANDSAT. United States Geological Survey - USGS. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: Out. 2021.

LAUXEN, M. S. A mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna: um guia de procedimentos para tomada de decisão. 2012. 146 f. Pós Graduação (Especialização em Diversidade e Conservação da Fauna) – Departamento de Zoologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LEAL, F. A. et al.. UTILIZAÇÃO DO NDVI NA ANÁLISE DA VEGETAÇÃO APÓS OCORRÊNCIA DE INCÊNDIO. *Nativa, [S. l.]*, v. 7, n. 2, p. 226-231, 2019. DOI: 10.31413/nativa.v7i2.6664. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/6664>. Acesso em: jan. 2022.

MAPAS DE CARACTERIZAÇÃO TERRITORIAL DE ALAGOAS. Disponível em: https://dados.al.gov.br/catalogo/pt_BR/dataset/mapas-de-caracterizacao-territorial.

MAPAS DE SETORES ECONÔMICOS POR REGIÕES DE PANEJAMENTO DE ALAGOAS. Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/5c33ad8e-52a9-4194-85fa-d3205f804f5a/resource/89b8f570-edf6-499e-816c-0f0972914575/download/seprdp.png.png>.

MOTA, A; BENTO-GONÇALVES, A & VIEIRA, A. (2012): Uso e ocupação do solo em Portugal – Aspectos metodológicos para atualização de cartografia temática. *Aurora: Geography Journal*, n.º 4, pp. 101-113 Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/37379>>. Acesso em: Out. 2021.

Novo, E. M. L. M.; Ponzoni, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. INPE. São José dos Campos, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR_DPI7.pdf>. Acesso em: Out. 2021.

PENIDO, L. R.; KUX, H. J. H.; MATTOS, J. T. **Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e GIS como subsídio ao planejamento rodoviário**. Estudo de caso: Trecho Oeste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. Anais. São Paulo: INPE, p. 661-674.

PEREIRA, L. A. G.; LESSA, S. N. **O PROCESSO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO NO BRASIL**. Caminhos de Geografia, [S. l.], v. 12, n. 40, 2011. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16414>. Acesso em: 10 fev. 2022.

POURSANIDIS, D & CHRYSOULAKIS, N. (2017). **Remote Sensing, Natural Hazards and the contribution of ESA Sentinels missions. Remote Sensing Applications: Society and Environment**. 6. 10.1016/j.rsase.2017.02.001.

QUARTAROLI, C. F., *et al.* **Sensoriamento Remoto**. In: n: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (Ed.). **Geotecnologias e Geoinformação**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 61-79. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/988056>>. Acesso: 08 out. 2021.

RODRIGUES, M. T. *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado no uso da terra para avaliação entre classificadores a partir do índice Kappa**. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, v. 23, n. 1, p. 60-70, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/140792>>. Acesso: out. 2021.

ROSA, E. N. **Classificação por Mínima Distância Euclidiana de séries temporais NDVI – MODIS para reconhecimento de padrões vegetacionais e de uso na mesorregião sul maranhense**. 2015. 38f. - Monografia - Departamento de Geografia da Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2015.

SALOMÃO, P. E. A. *et al.* **Impactos ambientais gerados pela construção e operação de rodovias.** *Research, Society and Development*, vol. 8, núm. 10, pp. 01-24, 2019. Universidade Federal de Itajubá.

SANTOS, L. A. C. *et al.* **Dinâmica de ocupação e passivos ambientais nos assentamentos rurais do município de Goiás-GO.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 1429-1442, jul. 2021. ISSN 1984-2295. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/246252>>. Acesso em: 15 out. 2021. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1429-1442>.

SANTOS, R. C. M. **Mata Atlântica: características, biodiversidade e a história de um dos biomas de maior prioridade para conservação e preservação de seus ecossistemas.** Monografia - Curso de Ciências Biológicas - Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix. Belo Horizonte – MG, 2010.

SANTOS, S. S dos. **O Cultivo da cana-de-açúcar no estado de Alagoas: uma análise comparativa dos efeitos da mecanização no estado de São Paulo.** Dissertação de Mestrado. Centro de Desenvolvimento Sustentável – Universidade de Brasília. Brasília – 2011.

SIMONETTI, H. **Estudo de Impactos Ambientais Gerados pelas Rodovias: sistematização do processo de elaboração de EIA/RIMA.** 2010. 55 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TANAJURA, E. L. X., ANTUNES, M. A. H. & UBERTI, M. S. (2005). **Avaliação de Índices de Vegetação Para a Discriminação de Alvos Agrícolas em Imagens de Satélites.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 301-307. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/marlene/downloads/Artigos/301.pdf>>. Acesso em: out. 2021.

ZOGAIB, L. & MUCIDA, D.. **Comparação de índices de vegetação entre imagens CBERS, Landsat e Rapideye para área do Cerrado Brasileiro.** 2020. *Revista Espinhaço*,

9(1), 43–51. Disponível em: <<https://doi.org/10.5281/zenodo.3937479>>. Acesso em: 05 out. 2021.