



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
CURSO DE GEOGRAFIA BACHARELADO**

JARDEL ESTEVAM BARBOSA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS ÍNDICES DE NDVI, SAVI E EVI NA
ANÁLISE DA COBERTURA DE USO DO SOLO EM UM SETOR DO MUNICÍPIO
DE JEQUIÁ DA PRAIA, ALAGOAS**

**Maceió
2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
CURSO DE GEOGRAFIA BACHARELADO**

JARDEL ESTEVAM BARBOSA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS ÍNDICES DE NDVI, SAVI E EVI NA
ANÁLISE DA COBERTURA DE USO DO SOLO EM UM SETOR DO MUNICÍPIO
DE JEQUIÁ DA PRAIA, ALAGOAS**

Artigo apresentado ao Colegiado do Curso de Geografia Bacharelado do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção da nota final do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Orientador: Dr. Melchior Carlos do Nascimento

**Maceió
2023**

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS ÍNDICES DE NDVI, SAVI E EVI NA ANÁLISE DA COBERTURA DE USO DO SOLO EM UM SETOR DO MUNICÍPIO DE JEQUIÁ DA PRAIA, ALAGOAS¹

Discente: Jardel Estevam Barbosa dos Santos

E-mail: jardelestevam@gmail.com

Orientador: Melchior Carlos do Nascimento

E-mail: melchior.nascimento@igdema.ufal.br

Co-orientador: Kleython de Araújo Monteiro

E-mail: kleython.monteiro@igdema.ufal.br

RESUMO

A área de estudo experimental localizada no município de Jequiá da Praia é constituída por variados tipos de uso do solo, dentre os quais destacam-se as lavouras cana-de-açúcar e coco, além de alguns fragmentos de remanescentes florestais. O presente trabalho consistiu na análise do desempenho dos índices de vegetação (NDVI, SAVI e EVI) a fim de detectar os diferentes tipos de uso do solo. Foram usadas imagens do satélite Sentinel 2, adquiridas em 18 de maio e 24 de novembro de 2019, a fim de verificar as diferenças nos períodos úmido e seco. As imagens foram processadas e analisadas por meio do software SNAP e Qgis, com a geração de mapas por meio da álgebra de mapas e análise de estatística zonal. A partir dos resultados foi possível constatar as diferenças entre cada classe e quantificar a área ocupada por cada tipo de uso. Também verificou-se que o SAVI e EVI demonstraram ser mais sensíveis às variações aos diferentes tipos de usos.

Palavras-chave: Índices de vegetação; Sensoriamento Remoto; análise ambiental.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das imagens de satélites possibilitou a obtenção de informações espectrais sobre os diferentes alvos na superfície terrestre, potencializando ainda mais a capacidade de análise das unidades da paisagem. Dessa forma, o uso de imagens de satélite oportuniza uma visão sinóptica da superfície tendo em vista o realce dos objetos terrestres através do espectro eletromagnético, permitindo mensurar os impactos naturais e antrópicos em diferentes escalas (GAMEIRO *et al.*, 2016). Esses autores complementam ao afirmar que o uso das imagens orbitais permite a comparação temporal na análise da qualidade ambiental da vegetação ao longo da sua dinâmica.

¹ Artigo publicado na Revista GeoNordeste em 29/06/2022 com cópia no Anexo 1.

SANTOS, J. E. B.; MONTEIRO, K. A.; NASCIMENTO, M. C. Avaliação do desempenho dos índices de NDVI, SAVI e EVI na análise da cobertura de uso do solo em um setor do município de Jequiá da Praia, Alagoas. **Revista GeoNordeste**, São Cristóvão, Ano XXXIII, n. 1, junho de 2022. p. 208-226. ISSN: 2318-2695. DOI: <https://doi.org/10.33360/10.33360/RGN.2318-2695.2021.i3>

O Processamento Digital de Imagens (PDI) compõe-se em um conjunto de ferramentas e processos que ajudam no realce das informações das superfícies obtidas pelos sensores remotos, sendo utilizadas técnicas por meio de equações matemáticas com as bandas espectrais. Nesse sentido, os índices de vegetação se utilizam dessas operações matemáticas que envolvem faixas de reflectância específicas, para determinar a cobertura vegetal e a sua densidade (CRUZ, SOUZA e JESUS, 2011).

Moreira (2000) afirma que esses índices de vegetação são combinações de dados de diferentes bandas espectrais, comumente utilizados os comprimentos de onda correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo, obtendo-se um valor adimensional através de operações matemáticas. Nesse cenário, a avaliação da densidade da cobertura vegetal constitui-se num instrumento essencial para estudos da análise ambiental, gestão e planejamento de recursos naturais, compreendo os processos hidrológicos, entre outros temas (GAMEIRO *et al.*, 2016).

Já Jensen (2009) explica que os índices de vegetação são valores radiométricos adimensionais, que demonstram a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente absorvida. Rosa *et al.* (2013) afirmam que esses índices de vegetação também podem ser utilizados para estimar a quantidade de biomassa.

Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) explicam que a grande parte dos índices de vegetação são baseados nos comportamentos espectrais da região do vermelho e do infravermelho próximo, partindo do princípio que quanto maior for a densidade da cobertura vegetal, menor será a refletância no espectro do visível, tendo em vista a maior presença de pigmentos fotossintetizantes.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) tem sido o mais utilizado em trabalhos de análise da vegetação, segundo Jensen (2009) ele é baseado em razão entre a subtração das bandas espectrais do infravermelho próximo e vermelho, dividido pelo somatório de ambas as bandas. Esse índice é não linear e pode ser influenciado por efeitos ruidosos aditivos, tais como radiação dos efeitos atmosféricos. Alguns estudos demonstraram que o NDVI sofre com o modo de aquisição, seja pela geometria de aquisição (Sol-alvo-sensor), a estrutura do dossel da cobertura vegetal, efeitos atmosféricos e substratos (GOWARD *et al.*, 1991).

Devido a esses efeitos que ocorrem com o NDVI, buscou nesse trabalho outros índices a fim de avaliar seu desempenho. Outros índices de vegetação objetivam melhores resultados em relação ao NDVI, como o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (*Soil-Adjusted Vegetation Index*

– SAVI), que leva em consideração a influência das diferentes características do solo no cálculo dos índices de vegetação (HUETE *et al.*, 1997).

Outro índice que busca melhores resultados é o Índice de Vegetação Aprimorado (*Enhanced Vegetation Index* - EVI), que otimiza o sinal da vegetação, e melhora a sua detecção em regiões de maior densidade de biomassa (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012). Watzlawick, Kirchner e Sanquetta (2009) explicam que o EVI busca associar às estimativas o conteúdo de biomassa e carbono aos dados de radiância ou reflectância de imagens de satélite visando melhores estimativas nos valores de biomassa.

A avaliação dos índices de vegetação é importante por estes serem considerados indicadores passíveis de ser usados no monitoramento e manejo da terra (PINTO *et al.*, 2017). Nesse sentido, esse estudo propõe a hipótese de que estes índices espectrais podem fornecer informações sobre a quantidade e qualidade da cobertura vegetal, através de técnicas que envolvem baixo custo, usando dados orbitais disponíveis gratuitamente.

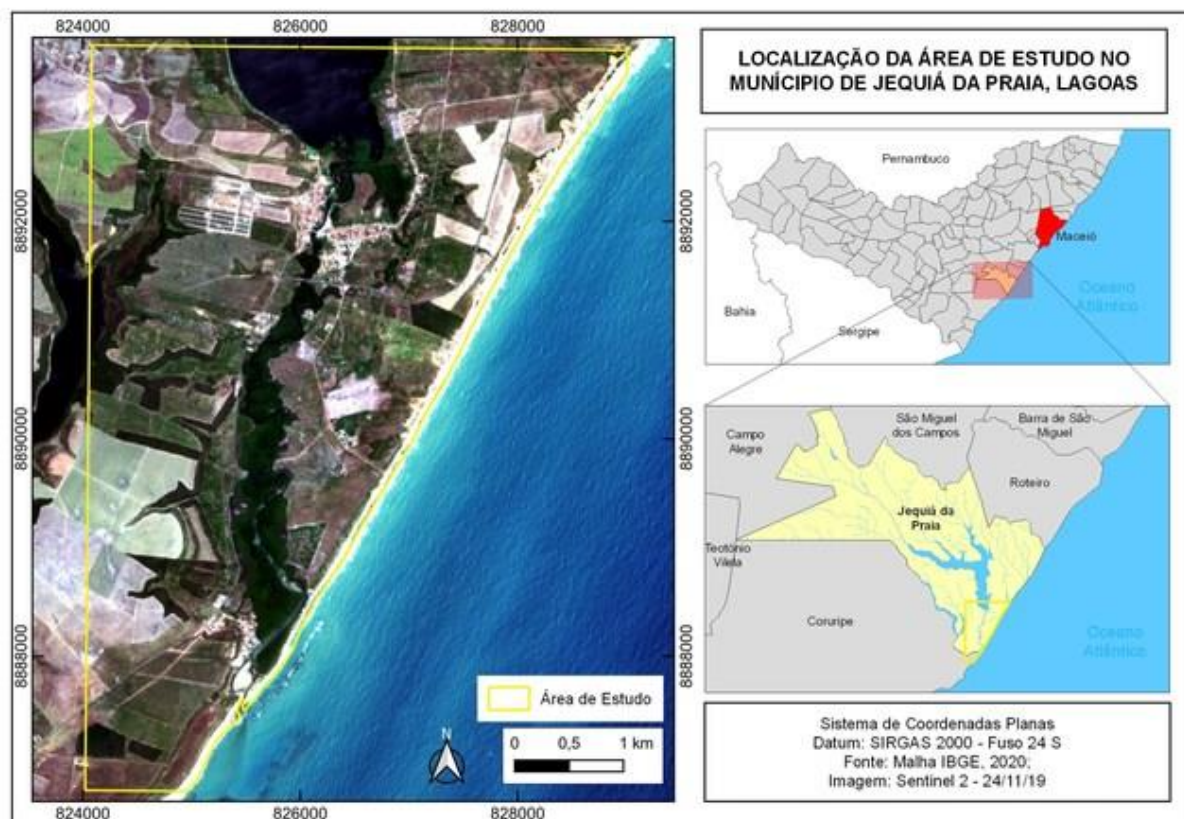
Desse modo, objetivou-se avaliar o desempenho de índices de NDVI, SAVI e EVI da cobertura vegetal diante dos diferentes uso dos solos do município de Jequiá da Praia, em uma área experimental de aproximadamente 20,74 km², a partir das imagens do Sentinel-2, adquiridas em 18 de maio e 24 de novembro de 2019, visto que a área apresenta intensa atividade agricultura por diferentes cultivos, dentre ele monoculturas de coco-da-baía e cana-de-açúcar, além de possuir uma área pertencente a única Reserva Extrativista do Estado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Localização da área

A área alvo do presente estudo situa-se no município de Jequiá da Praia, na região imediata de São Miguel dos Campos e região intermediária de Maceió. O sítio urbano de Jequiá da Praia encontra-se a 60 km da capital alagoana, a cidade Maceió, possui aproximadamente 20,74 km², está localizada entre as coordenadas geográficas: 9°59'44.163" e 10°3'27.083" de latitudes Sul e 35° 59' 57.405" e 36°2' 39.103" de longitudes Oeste (Figura 1).

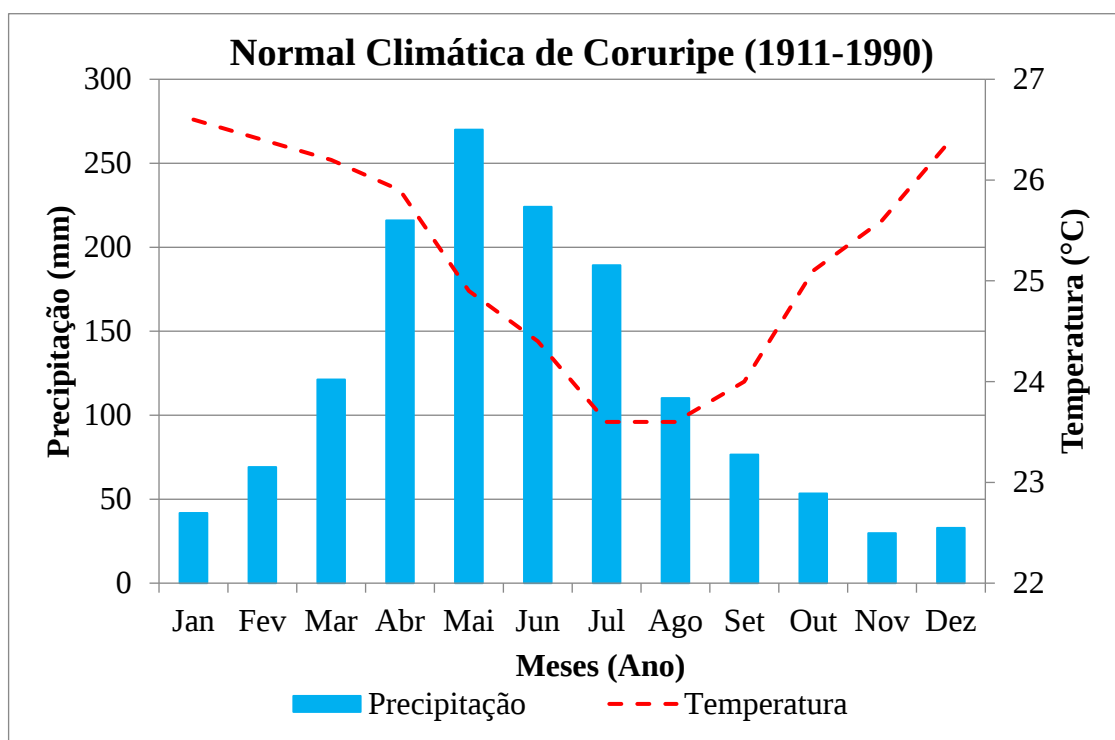
Figura 1. Localização da área de estudo.



Fonte: Autor, 2021.

O clima na área de estudo é do tipo As', conforme classificação de Köppen, caracterizado como tropical chuvoso com verão seco, tendo a estação chuvosa no outono/inverno, as precipitações variam de 1.500 a 1.600 mm anuais. A temperatura máxima chega 34° C e mínima de 23° C, com média em torno dos 25° C (BARROS *et al.*, 2012, SEPLAG, 2018). A fim de representar melhor a questão climática da região e escolher as imagens a serem usadas no trabalho, observou-se a normal climatológica de Coruripe, município vizinho da área de estudo (Figura 2).

Figura 2. Normal climatológica usada para selecionar as imagens.



Fonte: DCA/UFCG, 2021.

Os solos ocorrentes na área são Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo, Gleissolo Háplico, Nossolos Flúvico e Quartzarênico (EMBRAPA, 2012). ‘Tais solos são resposta direta do sistema climático e do relevo com declividades suaves a moderadas das dos tabuleiros costeiros e das áreas de planícies e várzeas encontradas na região. Geologicamente, a área apresenta duas unidades litológicas, a Formação Barreiras formadas por arenitos em matriz argilosa com intercalações de siltitos e argilas de cores avermelhadas e pelos sedimentos de praias e fluviais constituídos por depósitos fluviais de matriz arenosa, com variações de níveis de argilas (EMBRAPA, 2012).

Em relação à vegetação, a área está inserida na região de domínio da floresta subperenifólia, destacando-se a vegetação de pioneiras praias, as perenifólias de mangue e os campos higrófilos de várzeas do rio Jequiá, determinados pelas estações chuvosas com faixas de 60 a 90 dias biologicamente secos (OLIVEIRA, AMORIM e LEMOS, 2020).

Vale mencionar, que dentro da área alvo deste estudo encontra-se a Reserva Extrativista Marinha da Lagoa do Jequiá, criada por Decreto Federal de 27 de setembro de 2001. No entorno da RESEX são desenvolvidas atividades de pesca e agricultura de subsistência no entorno da lagoa e rio Jequiá. Além da crescente atividade relacionada ao turismo como as trilhas ecológicas e ao turismo de sol e mar (OLIVEIRA, AMORIM e LEMOS, 2020).

2.3. Procedimentos metodológicos

Para a realização deste trabalho foram utilizadas imagens do Sentinel 2, o qual possui 13 bandas (Tabela 1). Por caracterizar melhor a vegetação, foram utilizadas as bandas nas regiões espectrais do visível e infravermelho próximo, todas com resolução espacial de 10 metros. Foram escolhidas duas imagens do período úmido de 18 de maio de 2019 e do período seco de 24 de novembro de 2019, seguindo a quadra chuvosa e o período seco, conforme é possível observar na Figura 2.

As imagens foram adquiridas junto ao site GLOVIS pertencente ao Serviço Geológico dos Estados Unidos. Cabe salientar que as imagens apresentaram boa qualidade com pouca interferência de nuvens, as imagens vieram no nível 1C de processamento já realizado pela própria Agência Espacial Europeia (ESA), detentora dos direitos de produção e liberação das imagens. Porém foi preciso realizar a transformação da imagem 1C para o nível 2A através do *plugin* Sen2Cor 2.80 no software livre SNAP da própria ESA. Esse procedimento foi necessário para se obter a reflectância da superfície e corrigir possíveis interferências dos efeitos atmosféricos. Posteriormente, as imagens foram reprojetaadas para a projeção UTM, com Datum SIRGAS 2000 – fuso 24 S.

O processamento das imagens, a obtenção dos índices de vegetação, bem como o layout dos mapas foram realizados no software Qgis (versão 3.16.6).

Tabela 1. Características das bandas do Sentinel 2A

Resolução (m)	Nº da Banda	Nome da banda	Comprimento de onda (nm)
10	B02	Blue	490
	B03	Green	560
	B04	Red	665
	B08	NIR	842
20	B05	Red Edge 1	705
	B06	Red Edge 2	740
	B07	Red Edge 3	783
	B08A	Red Edge	865
	B11	SWIR 1	1610
	B12	SWIR 2	2190
60	B01	Aerosol	443
	B09	Water Vapor	940
	B10	Cirrus	1375

Fonte: Site da ESA (Acesso em 05/07/2021).

O NDVI é a razão entre a subtração das bandas no infravermelho próximo e do vermelho do visível e pela soma dessas mesmas bandas, como apresentado na Equação 1 (ROUSE *et al.* 1973). Este índice é sensível a quantidade e condição da vegetação, variando no intervalo de -1 a 1. Sobre áreas com cobertura de água ou nuvens, esta variação é menor do que 0.

$$NDVI = \frac{(IV - V)}{(IV + V)} \quad (\text{Equação. 1})$$

Onde: V é a banda do vermelho e IV é a banda do infravermelho próximo.

O SAVI é aplicado pela Equação 2, que leva em consideração os efeitos do solo exposto nas imagens analisadas, para ajuste do NDVI quando a superfície não está completamente coberta pela vegetação.

$$SAVI = \frac{(1 + L) * (IV - V)}{L + IV + V} \quad (\text{Equação. 2})$$

Onde: L = constante de fator de ajuste do índice SAVI, podendo assumir valores de 0,25 a 1, dependendo da cobertura do solo. V é a banda do vermelho e IV é a banda do infravermelho próximo.

Valor para L de 0,25 é indicado para vegetação densa e de 0,5 para vegetação com densidade intermediária e quando o valor de L for 1 é indicativo de vegetação com baixa densidade. Se o valor L for igual a 0, seus valores tornam-se igual aos valores do NDVI (HUETE, 1988). Nesse estudo, devido a dinâmica de uso solo apresentado no mapa de uso do solo, adotou-se o valor de L sendo igual a 0,5.

O EVI, utiliza informações na região espectral do infravermelho próximo, do vermelho e do azul para indicar o vigor vegetativo dos biomas. De acordo com Huete *et al.* (1997) ele permite uma melhor detecção das respostas espectrais da vegetação já que reduz a influência do substrato do dossel e dos agentes atmosféricos de acordo com a Equação 3.

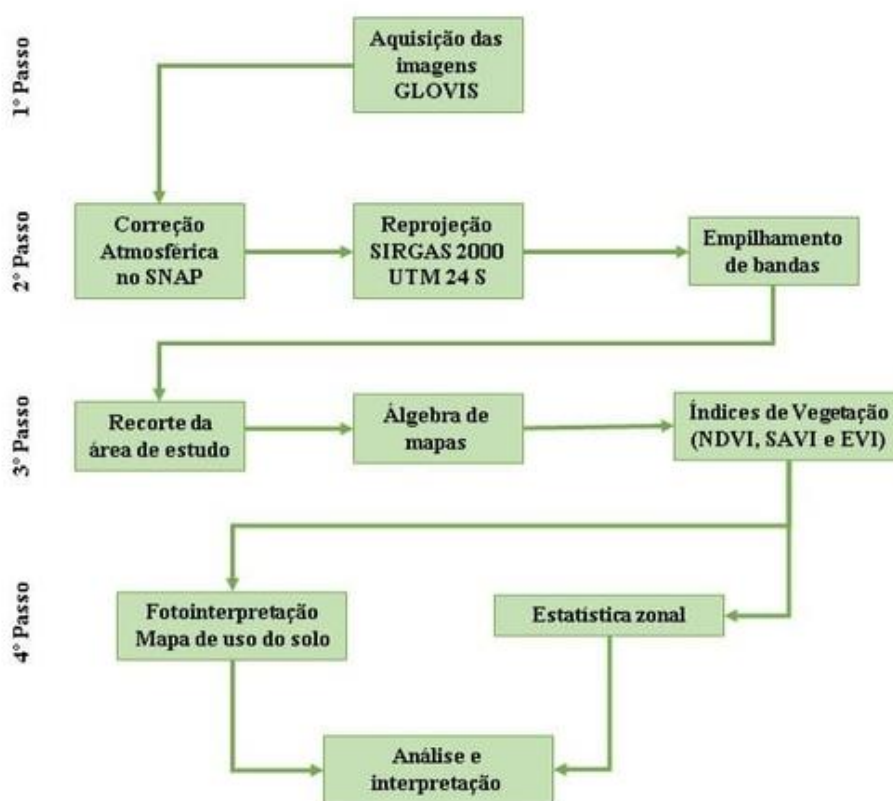
$$EVI = G \times \frac{IV - V}{IV + C_1 \times V - C_2 \times A + L} \quad (\text{Equação. 3})$$

Onde: V = banda do vermelho, IV = banda do infravermelho próximo, A = banda do azul. C_1 é coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho, na literatura se utiliza o valor 6; C_2 é coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a

banda do azul, sendo comumente utilizado o valor de 7,5; L é fator de correção para a interferência do solo, adotou-se o mesmo valor 0,5 utilizado no SAVI. G é o fator de ganho, geralmente adotando-se valor de 2,5.

Para fins de comparação do desempenho dos índices aplicados foi realizada a estatística zonal a partir da delimitação das áreas fotointerpretadas na produção do mapa de uso do solo através do algoritmo *zonal statistics* no Qgis 3.16.6. Todos os procedimentos gerados neste trabalho apresentados no fluxograma abaixo (Figura 3)

Figura 3. Fluxograma dos procedimentos executados nesse trabalho.



Fonte: Autor, 2021.

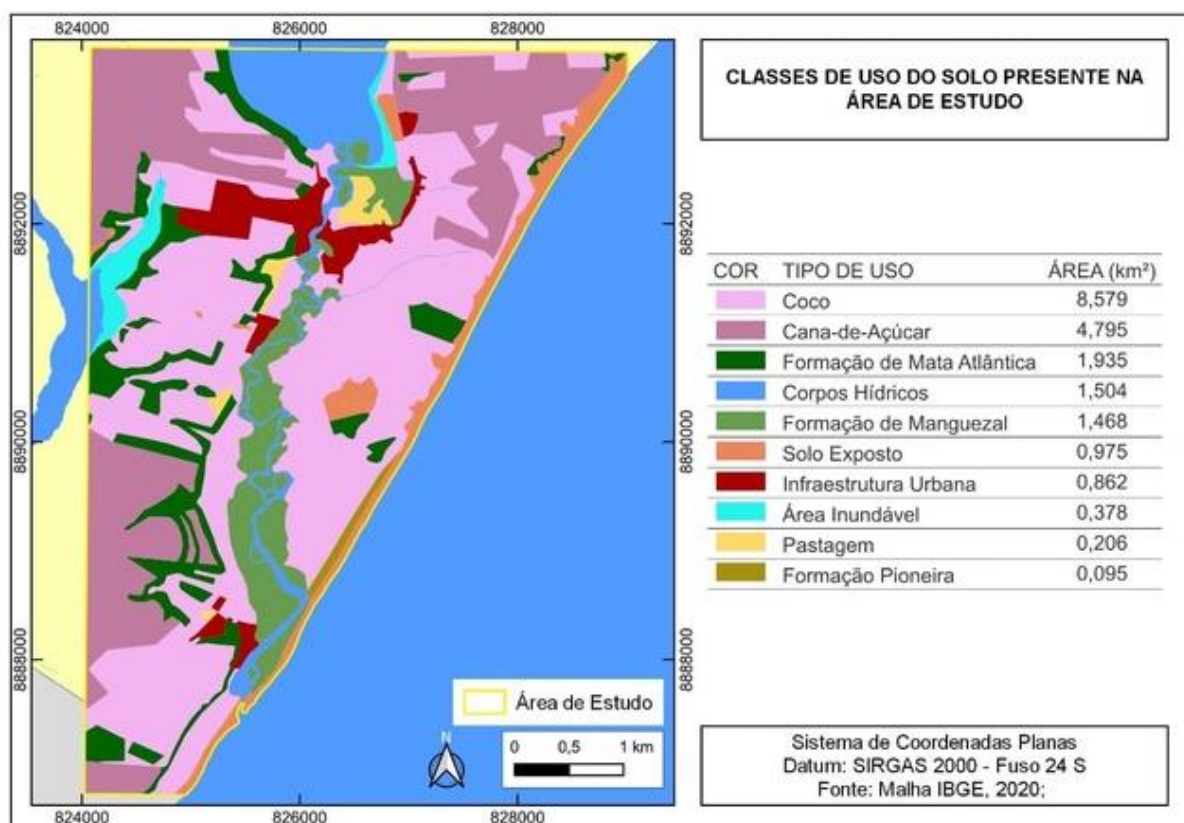
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente realizou-se o mapeamento de uso do solo e aplicado os índices de vegetação nas imagens multiespectrais obtidas nos períodos úmido e seco, no ano de 2019. A partir dos planos de informações resultantes, foi possível analisar as condições da vegetação sobre os diferentes usos presentes na área estudada. Além disso, extraiu-se os dados estatísticos para verificar o melhor desempenho entre os três índices aplicados. Todos os resultados são apresentados a seguir.

3.1 O uso do solo da área

A fim de visualizar os diferentes tipos de uso de solo encontrados na área de estudo e poder comparar o desempenho dos diferentes índices de vegetação, realizou-se o mapeamento de uso do solo e cobertura vegetal (Figura 4). Utilizando as imagens do período úmido e seco da região, bem como outras imagens auxiliares do Google Earth Pro com sua série temporal e também através do *plugin* Quick Map Services, foram identificadas 10 classes de uso do solo, sendo cinco delas pertencentes aos sistemas naturais (formação de manguezal, formação de mata atlântica, corpos hídricos, área inundável e formação pioneira); e as demais aos sistemas antrópicos (coco, cana-de-açúcar, solo exposto, infraestrutura urbana e pastagem).

Figura 4. Classes de uso do solo da área.



Fonte: Autor, 2021.

As classes mais representativas em termos de ocorrência na área corresponderam a monocultura do coco-da-baía (8.579 km²) e da cana-de-açúcar (4.795 km²). De acordo com a Pesquisa Municipal Agrícola (PAM) realizada em 2019 pelo IBGE (2021), referente as lavouras temporárias e permanentes, o coco-da-baía ocupava uma área 1.500 hectares no município de Jequiá da Praia, sendo responsável pela produção 6.707 toneladas (Figura 5A). Por sua vez, a cana-de-açúcar ocupava uma extensão de 8.500 hectares, produzindo cerca de 553.995 toneladas (Figura 5B).

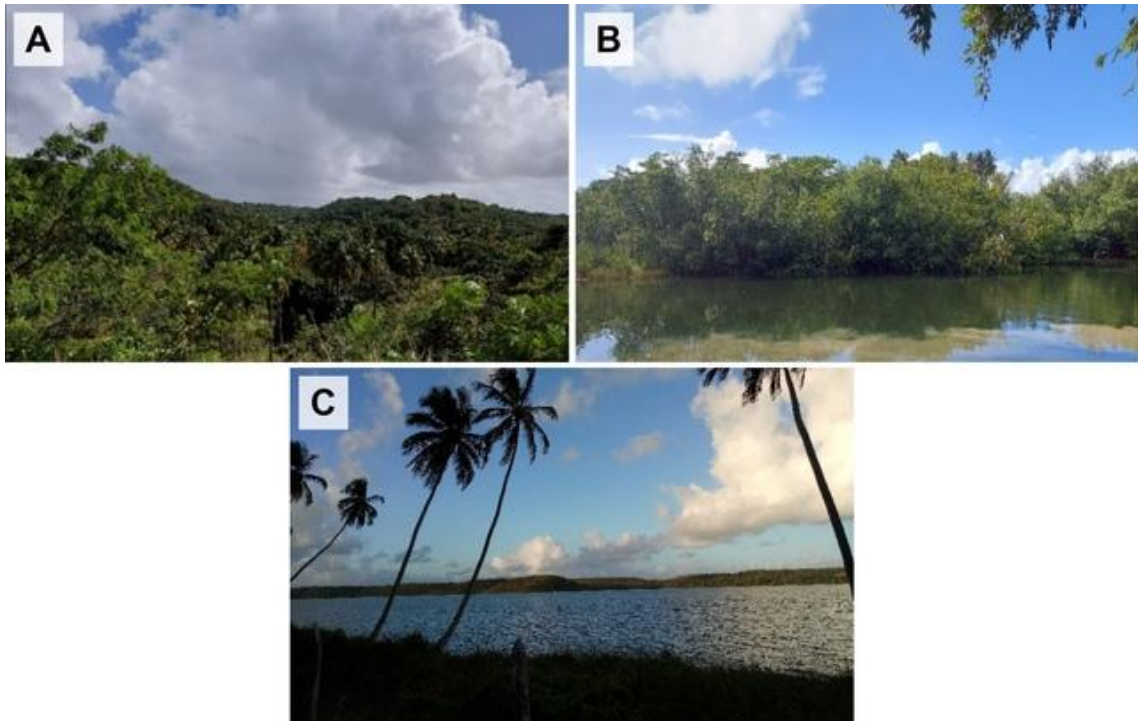
Figura 5. Cultivo de Cana-de-açúcar (A) e Coco-da-baía (B) na área de estudo.



Fonte: Autor, 2021.

Destaca-se as áreas de fragmentos da mata atlântica nativa (Figura 6A), a formação de manguezal (Figura 6B) (área contemplada pela RESEX) e pelos corpos hídricos representados pela lagoa (Figura 6C), rio Jequiá e uma pequena fração da lagoa da lavagem. As outras áreas de solo exposto, infraestrutura urbana, área inundável, pastagem e formação pioneira possuem menos de 1 km² cada.

Figura 6. Fragmentos de mata atlântica (A), formação de manguezal (B) e Lagoa Jequiá (C)



Fonte: Autor, 2021.

A seguir são apresentados os mapas referentes aos índices de NDVI, SAVI e EVI, bem como tabelas com as suas respectivas estatísticas tanto para o período úmido quanto

para o seco. Além disso, são apresentadas as estatísticas para cada tipo de uso do solo encontrado na área estudada.

3.2. NDVI

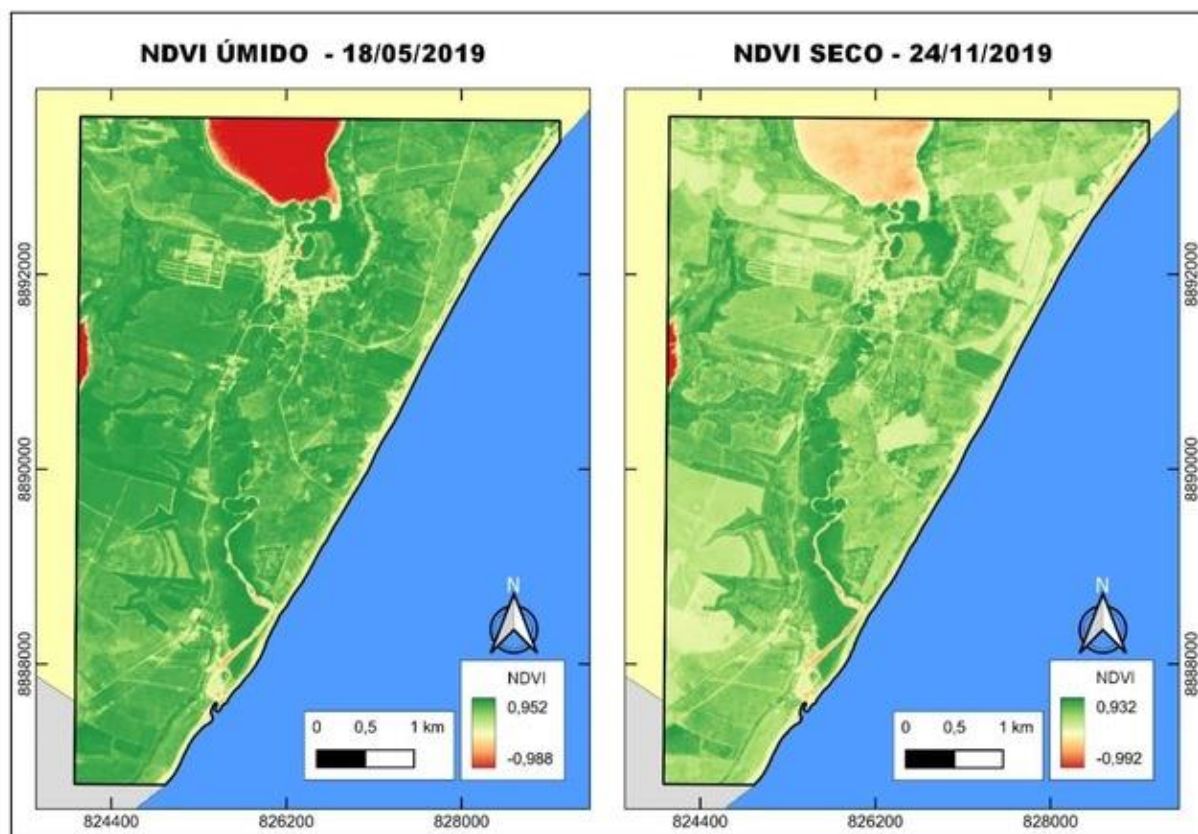
Na Figura 7 é possível observar os valores de NDVI calculados para a área de estudo. No período úmido (18/05/2018) foram verificados os valores mais altos (0,952) de NDVI, entretanto essa diferença não foi tão significativa quando comparada com o período seco (24/11/2019) como apresentado na Tabela 2. Tal fato pode estar associado a vegetação de manguezal, que ocorre frequentemente em ambiente de interface entre água e continente, portanto, reduzindo consideravelmente os possíveis efeitos de perda foliar associados aos períodos estiagem.

Analisando os valores médios da área total, é possível constatar que o período úmido possui valor 0,627 em relação ao 0,438 do período seco. Cabe destacar que a dispersão dos valores no primeiro chuvoso é quase o dobro do seco, apresentando desvio padrão de 0,401 em detrimento dos 0,278 (Tabela 2).

Também, foi possível diferenciar visualmente as áreas com vegetações densas e volumosas das áreas de vegetação escassa e solo exposto no período seco, tendo em vista os diferentes usos encontrados na área (Figura 4). Já no período úmido, a diferenciação entre as classes de uso do solo foi dificultada, podendo estar associado ao fato de que a maior parte dos solos na área de estudo possuem boa penetrabilidade e permanência de água, especialmente em ambientes com predominância de argissolos, latossolos e gleissolos.

Cabe destacar que as regiões de corpos d'água, principalmente na parte da lagoa Jequiá possuem uma diferença muito elevada entre os dois períodos. A causa disso pode estar associada à correção atmosférica. Dessa forma, cabe investigar posteriormente outros métodos de correções atmosféricas.

Figura 7. NDVI nos períodos úmido e seco no ano de 2019.



Fonte: Autor, 2021.

Tabela 2. Valores de NDVI para a área toda.

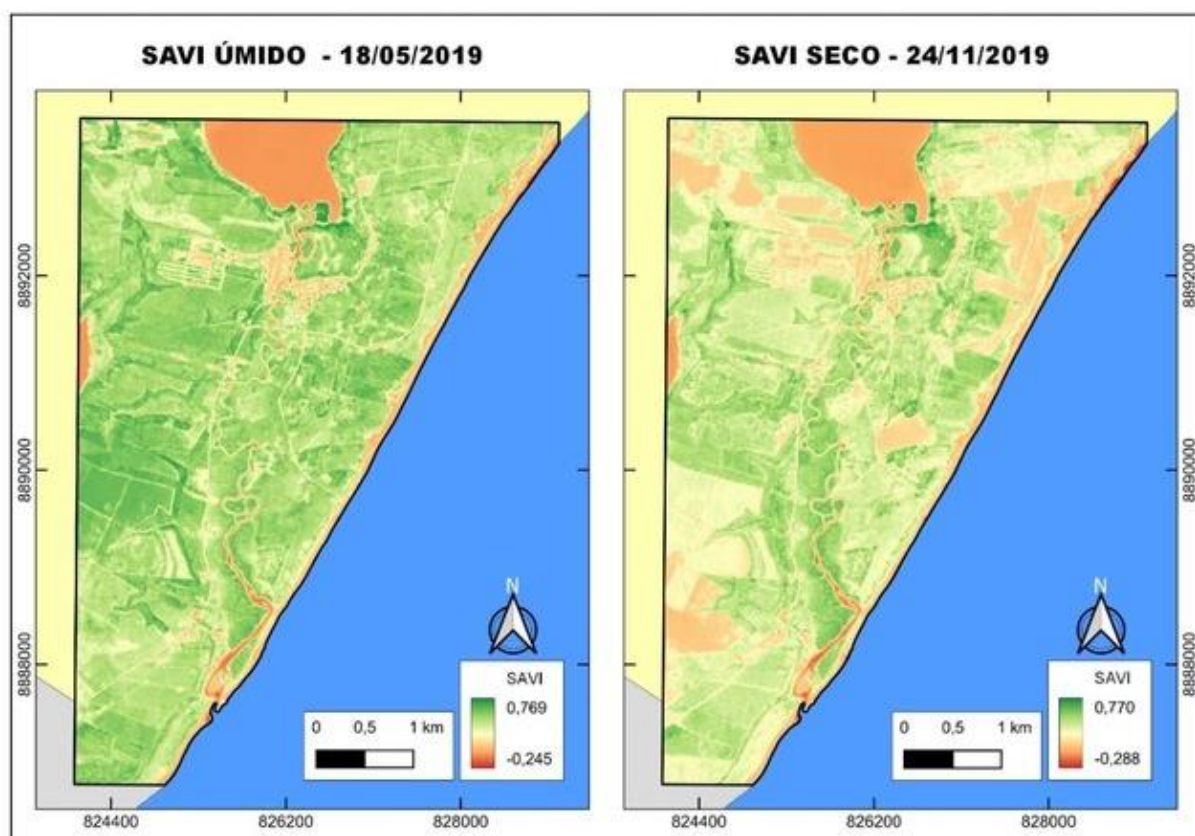
Valores	NDVI ÚMIDO - 18/05/2019	NDVI ÚMIDO - 24/11/2019
Mínimo	-0,988	-0,992
Máximo	0,952	0,932
Média	0,627	0,438
Desvio Padrão	0,401	0,278

Fonte: Autor, 2021.

3.3. SAVI

Observando a Figura 8 é possível constatar os resultados do SAVI, que quando comparado a Figura 7 apresenta diferença significativa. A aplicação deste índice juntamente com o fator $L = 0,5$ atenuou contraste no corpo hídrico da lagoa do Jequiá ressaltado anteriormente. Visualmente o SAVI conseguiu distinguir melhor as feições dos diferentes usos do solo. Nota-se que no período úmido é possível diferenciar os usos referentes ao plantio de coco-da-baía, da cana-de-açúcar e das áreas de fragmentos de mata atlântica. Já no período seco percebe-se que o fator L foi importante para diferenciar os diferentes níveis de solo exposto, inclusive em áreas notadamente com lavouras de cana-de-açúcar, algumas delas alvo da queima controlada, uma prática ainda adotada na região para facilitar colheita manual.

Figura 8. SAVI nos períodos úmido e seco no ano de 2019.



Fonte: Autor, 2021.

Além disso, observando a Tabela 3 nota-se que os valores máximos e mínimos são bem inferiores ao encontrado no NDVI, que chega próximo ao limite estabelecido no índice. A média e o desvio padrão foram bem aproximados quando comparado ao NDVI.

Tabela 3. Valores de SAVI para a área toda.

Valores	SAVI ÚMIDO - 18/05/2019	SAVI ÚMIDO - 24/11/2019
Mínimo	-0,245	-0,288
Máximo	0,769	0,770
Média	0,430	0,308
Desvio Padrão	0,170	0,161

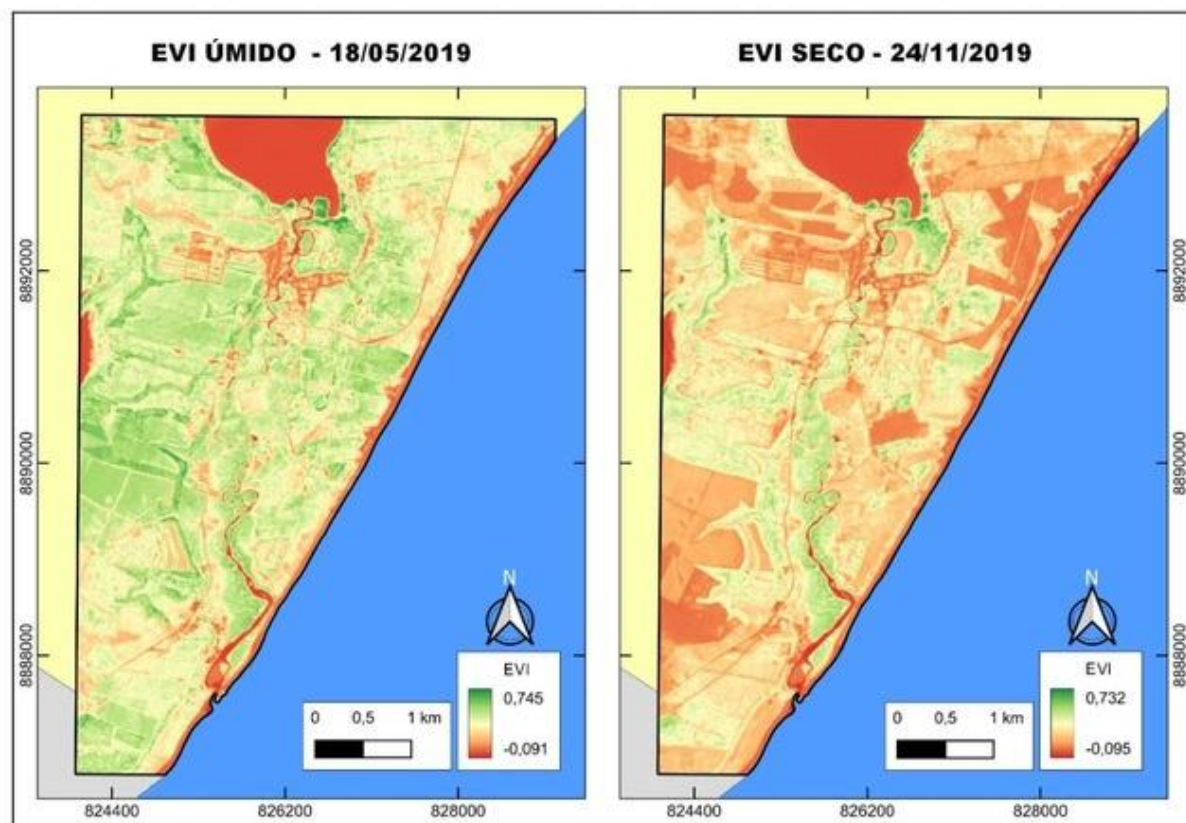
Fonte: Autor, 2021.

3.4 EVI

Por fim, o último índice é o índice de vegetação aprimorado – EVI (Figura 9). Este índice foi desenvolvido para reduzir as influências da atmosfera e do solo de fundo do dossel no monitoramento da vegetação (JUSTICE *et al.*, 1998). Observando a Figura 9, nota-se um aspecto bem diferente aos mapas de NDVI e SAVI, isso porque o EVI tem uma maior sensibilidade, uma vez está ligado diretamente a questão da umidade do solo, ao teor de água na vegetação e as boas condições apresentadas no maior vigor da vegetação, importante ainda

ressaltar que há a interferência da atmosfera, pois os materiais em suspensão alteram seus resultados dos índices (LAURENTINO *et al.*, 2011).

Figura 9. EVI nos períodos úmido e seco no ano de 2019



Fonte: Autor, 2021.

Visualmente, o EVI foi o que melhor diferenciou os usos do solo, notadamente as áreas com diferenças de vegetação no período úmido e as diferenças no solo exposto presente no cultivo de cana-de-açúcar no período seco. Em termos estatísticos, ele se aproximou do SAVI com valores médios e desvio padrão aproximados em ambos os períodos (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de SAVI para a área toda.

Valores	EVI ÚMIDO - 18/05/2019	EVI ÚMIDO - 24/11/2019
Mínimo	-0,091	-0,095
Máximo	0,745	0,732
Média	0,338	0,208
Desvio Padrão	0,155	0,133

Fonte: Autor, 2021.

3.5. Análise estatística entre os diferentes usos

Com fins de obter os dados estatísticos para cada uso do solo encontrado na área de estudo, foi utilizado à técnica de estatística zonal a partir da delimitação das diferentes

feições. As Tabelas 5, 6 e 7 apresentam alguns parâmetros estatísticos obtidos para o NDVI, SAVI e EVI respectivamente.

Tabela 5. Valores estatísticos de NDVI por uso do solo.

TIPOS DE USO	NDVI ÚMIDO - 18/05/2019			
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Coco	0,7506	-0,1187	0,9368	0,1228
Formação de Manguezal	0,8406	-0,3054	0,9485	0,1108
Formação Pioneira	0,5579	0,1296	0,8574	0,1222
Formação de Mata Atlântica	0,8450	0,1012	0,9516	0,1013
Área Inundável	0,8059	0,0557	0,9407	0,0958
Pastagem	0,7064	0,1280	0,9237	0,1434
Cana-de-Açúcar	0,6941	0,1127	0,9302	0,1193
Solo Exposto	0,2504	-0,5008	0,9055	0,2569
Infraestrutura Urbana	0,4249	-0,1160	0,9114	0,2232
Corpos Hídricos	-0,4819	-0,9876	0,9415	0,6543
TIPOS DE USO	NDVI SECO - 24/11/2019			
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Coco	0,5342	-0,0026	0,9172	0,1363
Formação de Manguezal	0,7761	-0,3887	0,9249	0,1335
Formação Pioneira	0,4700	0,0756	0,7507	0,1113
Formação de Mata Atlântica	0,6757	0,0394	0,9315	0,1277
Área Inundável	0,6829	0,0658	0,9188	0,1325
Pastagem	0,4632	0,0189	0,8877	0,1446
Cana-de-Açúcar	0,3087	0,0346	0,8203	0,1377
Solo Exposto	0,1109	-0,5178	0,8090	0,1612
Infraestrutura Urbana	0,2732	-0,1203	0,8283	0,1456
Corpos Hídricos	-0,1048	-0,9916	0,9043	0,3698

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 6. Valores estatísticos de SAVI por uso do solo.

TIPOS DE USO	SAVI ÚMIDO - 18/05/2019			
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Coco	0,4841	-0,0287	0,7595	0,0894
Formação de Manguezal	0,4959	-0,0400	0,7691	0,0989
Formação Pioneira	0,3632	0,1167	0,6059	0,0698
Formação de Mata Atlântica	0,5513	0,0755	0,7424	0,0819
Área Inundável	0,4632	0,0035	0,7675	0,1209
Pastagem	0,4615	0,0211	0,7478	0,1213

Cana-de-Açúcar	0,4605	0,0950	0,7460	0,0958
Solo Exposto	0,1813	-0,2450	0,6679	0,1674
Infraestrutura Urbana	0,2943	-0,0878	0,7056	0,1479
Corpos Hídricos	0,0314	-0,1497	0,7173	0,1277
TIPOS DE USO	SAVI SECO - 24/11/2019			
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Coco	0,3752	-0,0020	0,7700	0,0952
Formação de Manguezal	0,4811	-0,0941	0,7374	0,1045
Formação Pioneira	0,3334	0,0652	0,5678	0,0736
Formação de Mata Atlântica	0,4409	0,0379	0,7064	0,0806
Área Inundável	0,4254	0,0057	0,7582	0,1294
Pastagem	0,3283	0,0030	0,7228	0,1048
Cana-de-Açúcar	0,2228	0,0253	0,6197	0,0942
Solo Exposto	0,0930	-0,2884	0,5949	0,1124
Infraestrutura Urbana	0,2037	-0,0940	0,6372	0,0998
Corpos Hídricos	0,0223	-0,1989	0,6918	0,1339

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 7. Valores estatísticos de EVI por uso do solo.

TIPOS DE USO	EVI ÚMIDO - 18/05/2019			
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Coco	0,3835	-0,0182	0,7206	0,0989
Formação de Manguezal	0,4230	-0,0261	0,7397	0,1083
Formação Pioneira	0,2417	0,0515	0,5174	0,0701
Formação de Mata Atlântica	0,4724	0,0388	0,7015	0,0976
Área Inundável	0,3855	0,0025	0,7449	0,1228
Pastagem	0,3556	0,0152	0,6859	0,1267
Cana-de-Açúcar	0,3434	0,0462	0,6961	0,0977
Solo Exposto	0,1128	-0,0906	0,6011	0,1275
Infraestrutura Urbana	0,1922	-0,0274	0,6281	0,1268
Corpos Hídricos	0,0256	-0,0743	0,6700	0,1037
TIPOS DE USO	EVI SECO - 24/11/2019			
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Coco	0,2509	-0,0008	0,7317	0,0887
Formação de Manguezal	0,3907	-0,0498	0,6908	0,1086
Formação Pioneira	0,2073	0,0287	0,4443	0,0630
Formação de Mata Atlântica	0,3189	0,0164	0,6661	0,0867
Área Inundável	0,3271	0,0040	0,6945	0,1273
Pastagem	0,2087	0,0020	0,6428	0,0911
Cana-de-Açúcar	0,1257	0,0115	0,4873	0,0659

Solo Exposto	0,0479	-0,0955	0,4689	0,0633
Infraestrutura Urbana	0,1118	-0,0278	0,5332	0,0720
Corpos Hídricos	0,0200	-0,0886	0,6102	0,1018

Fonte: Autor, 2021.

Analisando-se os parâmetros estatísticos dos índices SAVI, NDVI e EVI observa-se algumas particularidades de cada índice a partir da sua formulação. Na Tabela 5 destaca-se os valores mínimos para a classe de corpos hídricos com valores próximos ao limite inferior do NDVI que é -1, com valores médio de -0,4819 e -0,1048 para os períodos úmido e seco respectivamente, com os maiores desvios padrão entre todas as classes. Já os valores máximos estão associados a áreas de vegetação densa como os fragmentos de mata atlântica e áreas de manguezal, além das áreas com boa disponibilidade hídrica nas áreas inundáveis.

Já o na Tabela 6, o fator L de correção do solo atua destacando essa classe de solos com os menores valores mínimos, seguidos dos corpos hídricos. Na Tabela 7, observa-se uma melhor distribuição nos valores máximos e mínimos, bem próximo aos valores da Tabela 6 com os dados referentes ao SAVI. Assim como os valores do NDVI, os valores máximos do SAVI e EVI estão presentes nas áreas com vegetação mais densas ou com boa disponibilidade hídrica.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos dados provenientes dos índices, foi possível verificar a diferença dos valores entre os períodos úmido e seco bem como sobre os diferentes tipos de uso encontrados na área experimental. Dessa forma comprovou a viabilidade da utilização de imagens de satélite sentinel-2 para mapear a cobertura vegetal proposta na hipótese aventada inicialmente.

Entretanto, por se tratar de área com intensa produtividade agrícola de culturas de cana-de-açúcar e coco-da-baía, os índices que melhor se demonstraram mais sensíveis as variações de tempo de plantio foram o SAVI e o EVI, tendo em vista que visualmente eles maximizaram os níveis de contraste nas imagens dos mapas.

Ainda assim, deixa clara a necessidade de pesquisas futuras que investiguem esses índices e outros com dados orbitais de melhores resoluções tanto espectral como espacial, que poderão fornecer resultados superiores aos obtidos por meio da análise feita somente nesses três índices de vegetação, a fim de se obter uma melhor diferenciação e classificação da cobertura vegetal.

5. REFERÊNCIAS

- BARROS, A. H. C. *et al.* **Climatologia do Estado de Alagoas**. Recife: Embrapa Solos, 2012. 32 p. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/950797/climatologia-do-estado-de-alagoas> >
- CRUZ, M. A. S.; SOUZA, A. M. B.; JESUS, J. S. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos Índices de Vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na bacia do rio Japarutuba-Mirim em Sergipe. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p. 1357-1364.
- EMBRAPA. **Zoneamento agroecológico do estado de Alagoas**: levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Alagoas. Recife: Embrapa Solos. 2012. 245 p.
- GAMEIRO, S. *et al.* Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Terræ**, v. 13, n. 1-2, p. 15-22, 2016. Disponível em: < <https://www.ige.unicamp.br/terrae/V13/PDFv13/TE067-2.pdf> >
- GOWARD, S. N. *et al.* Normalized difference vegetation index measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, n. 2-3, p. 257-277, fev.-mar. 1991. URL: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90017-Z](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90017-Z)
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988. URL: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- HUETE, A. R. *et al.* A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440-451, mar. 1997. URL: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2 ed. Tradução. EPIPHANIO, J. C. N São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009. 672 p.
- JUSTICE, C. O. *et al.* The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. **IEEE transactions on geoscience and remote sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1249, 1998.
- LAURENTINO, M. L. S. *et al.* Aplicação dos índices de NDVI e EVI como análise da variação fisionômica da vegetação no Brejo de Altitude de Serra Negra-Bezerros/PE-Brasil. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p. 3182-3189.
- MOREIRA, R. C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. 181 f. (Dissertação, Mestrado em Sensoriamento Remoto)
- OLIVEIRA, A. N. S.; AMORIM, C. M. F.; LEMOS, R. P. L. **Alagoas**: unidades de conservação. 2 ed. Maceió: Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas. 2020. 346 p.
- IBGE. **Pesquisa Municipal Agrícola de Jequiá da Praia em 2019 (IBGE)**. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas> >. Acesso em: 05 jul. 2021.
- PINTO, D. G. *et al.* Índices de vegetação NDVI, EVI e SAVI como indicadores espectrais do crescimento de pastagem natural no bioma Pampa. **Anais... XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Santos, SP, Brasil, 28 a 31 de maio de 2017, INPE p. 5241-5248. ISBN: 978-85-17-00088-1

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. São José dos Campos, SP, Oficina de Textos, 2ª edição, 2012. 176 p.

ROSA, P. A. *et al.* Dinâmica da floresta do Parque Estadual do Turvo com índices de vegetação. *Floresta e Ambiente*, v. 20, p. 487-499, 2013. URL: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.034>

ROUSE, J. W. *et al.* **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. NASA SP-351, p. 309-317, dez. 1973.

SEPLAG. **Perfil Municipal de Jequiá da Praia**. Maceió: Secretária de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio, 2018. 35 p.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com Araucária utilizando imagens do satélite Ikonos II. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 169-181, abr-jun. 2009.

ANEXO 1



AValiação de desempenho dos índices de NDVI, SAVI e EVI na análise da cobertura de uso do solo em um setor do município de Jequiá da Praia, Alagoas

PERFORMANCE EVALUATION OF NDVI, SAVI AND EVI INDEXES IN THE ANALYSIS OF LAND USE COVERAGE IN A SECTOR OF THE MUNICIPALITY OF JEQUIÁ DA PRAIA, ALAGOAS

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS ÍNDICES NDVI, SAVI Y EVI EN EL ANÁLISIS DE LA COBERTURA DEL USO DEL SUELO EN UN SECTOR DEL MUNICIPIO DE JEQUIÁ DA PRAIA, ALAGOAS

Jardel Estevam Barbosa dos Santos

Mestrando em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Alagoas (PPGG/UFAL)
E-mail: jardelestevam@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7823-3910>

Kleython de Araújo Monteiro

Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Alagoas (PPGG/UFAL)
E-mail: kleython.monteiro@igdema.ufal.br
<https://orcid.org/0000-0003-4829-3722>

Melchior Carlos do Nascimento

Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Alagoas (PPGG/UFAL)
E-mail: melchior.nascimento@igdema.ufal.br
<https://orcid.org/0000-0002-6547-1829>

RESUMO:

A área de estudo experimental, localizada no município de Jequiá da Praia, é constituída por variados tipos de uso do solo, dentre os quais destacam-se as lavouras cana-de-açúcar e coco, além de alguns fragmentos de remanescentes florestais. O presente trabalho consistiu na análise do desempenho dos índices de vegetação (NDVI, SAVI e EVI), a fim da detecção dos diferentes tipos de uso do solo. Foram usadas imagens do satélite Sentinel 2, adquiridas em 18 de maio e 24 de novembro de 2019, a fim de verificar as diferenças nos períodos úmido e seco. As imagens foram processadas e analisadas por meio do *software* SNAP e Qgis, com a geração de mapas por meio da álgebra de mapas e análise de estatística zonal. A partir dos resultados foi possível constatar as diferenças entre cada classe e quantificar a área ocupada por cada tipo de uso. Também se verificou que o SAVI e EVI demonstraram ser mais sensíveis as variações aos diferentes tipos de usos.

Palavras-chave: Índices de vegetação; Sensoriamento Remoto; Análise ambiental.

ABSTRACT:

The experimental study area, located in the municipality of Jequiá da Praia, consists of various types of land use, which stand out the sugarcane and coconut plantations, besides some fragments of forest remnants. The present work consisted in analyzing the performance of vegetation indices (NDVI, SAVI and EVI) in order to detect the different types of land use. Sentinel 2 satellite images, acquired on May 18 and November 24, 2019, were used in order to verify the differences in wet and dry periods. The images were processed and



analyzed using SNAP and Qgis software, with the generation of maps by map algebra and zonal statistics analysis. From the results it was possible to see the differences between each class and quantify the area occupied by each type of use. It was also verified that the SAVI and EVI proved to be more sensitive to variations in the different types of use.

Keywords: Vegetation Indices; Remote Sensing; Environmental analysis.

RESUMEN:

El área experimental de estudio, localizada en el municipio de Jequiá da Praia, está constituida por varios tipos de uso del suelo, donde se destacan las plantaciones de caña de azúcar y coco, además de algunos fragmentos de remanentes forestales. El presente trabajo consistió en analizar el desempeño de los índices de vegetación (NDVI, SAVI y EVI) para detectar los diferentes tipos de uso del suelo. Se utilizaron imágenes del satélite Sentinel 2, adquiridas el 18 de mayo y el 24 de noviembre de 2019, con el fin de verificar las diferencias en los períodos húmedos y secos. Las imágenes fueron procesadas y analizadas mediante los programas SNAP y Qgis, con la generación de mapas por álgebra de mapas y análisis estadístico zonal. A partir de los resultados fue posible ver las diferencias entre cada clase y cuantificar el área ocupada por cada tipo de uso. También se verificó que el SAVI y el EVI resultaron ser más sensibles a las variaciones de los diferentes tipos de uso.

Palabras clave: Índices de vegetación; Teledetección; Análisis medioambiental.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das imagens de satélites possibilitou a obtenção de informações espectrais sobre os diferentes alvos na superfície terrestre, potencializando ainda mais a capacidade de análise das unidades da paisagem. Dessa forma, o uso de imagens de satélite oportuniza uma visão sinóptica da superfície, tendo em vista o realce dos objetos terrestres através do espectro eletromagnético, permitindo mensurar os impactos naturais e antrópicos em diferentes escalas (GAMEIRO *et al.*, 2016). Esses autores complementam ao afirmar que o uso das imagens orbitais permite a comparação temporal na análise da qualidade ambiental da vegetação ao longo da sua dinâmica.

O Processamento Digital de Imagens (PDI) compõe-se em um conjunto de ferramentas e processos que ajudam no realce das informações das superfícies obtidas pelos sensores remotos, sendo utilizadas técnicas por meio de equações com as bandas espectrais. Nesse sentido, os índices de vegetação se utilizam dessas operações matemáticas que envolvem faixas de reflectância específicas, para determinar a cobertura vegetal e a sua densidade (CRUZ, SOUZA e JESUS, 2011).

Moreira (2000) afirma que esses índices de vegetação são combinações de dados de diferentes bandas espectrais, sendo utilizados com mais frequência os intervalos espectrais correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo, obtendo-se um valor adimensional através de operações matemáticas. Nesse cenário, a avaliação da densidade da cobertura vegetal constitui-se num instrumento essencial para estudos da análise ambiental, gestão e planejamento de recursos naturais, compreendo os processos hidrológicos, entre outros temas (GAMEIRO *et al.*, 2016).

Já Jensen (2009) explica que os índices de vegetação são valores radiométricos adimensionais, que demonstram a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, porcentagem de cobertura



verde, teor de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente absorvida. Rosa *et al.* (2013) afirmam que esses índices de vegetação também podem ser utilizados para estimar a quantidade de biomassa.

Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) explicam que a grande parte dos índices de vegetação são baseados nos comportamentos espectrais da região do vermelho e do infravermelho próximo, partindo do princípio de que quanto maior for a densidade da cobertura vegetal, menor será a refletância no espectro do visível, tendo em vista a maior presença de pigmentos fotossintetizantes.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) tem sido o índice mais utilizado em trabalhos de análise da vegetação. Segundo Jensen (2009), ele é baseado em razão entre a subtração das bandas espectrais do infravermelho próximo e vermelho, dividido pelo somatório de ambas as bandas. Esse índice é não linear e pode ser influenciado por efeitos ruidosos aditivos, tais como radiação dos efeitos atmosféricos. Alguns estudos demonstraram que o NDVI sofre com o modo de aquisição, seja pela geometria de aquisição (Sol-alvo-sensor), a estrutura do dossel da cobertura vegetal, efeitos atmosféricos e substratos (GOWARD *et al.*, 1991).

Devido aos efeitos ruidosos que podem surgir no NDVI, outros índices foram estabelecidos visando buscar melhores resultados. Um deles é Índice de Vegetação Aprimorado (*Enhanced Vegetation Index* - EVI), que otimiza o sinal da vegetação, e melhora a sua detecção em regiões de maior densidade de biomassa (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012). Watzlawick, Kirchner e Sanquetta (2009) explicam que o EVI busca associar às estimativas o conteúdo de biomassa e carbono aos dados de radiação ou reflectância de imagens de satélite, visando melhores estimativas nos valores de biomassa.

A avaliação dos índices de vegetação é importante por estes serem considerados indicadores passíveis de serem usados no monitoramento e manejo da terra (PINTO *et al.*, 2017). Nesse sentido, esse estudo propõe a hipótese de que estes índices espectrais podem fornecer informações sobre a quantidade e qualidade da cobertura vegetal, através de técnicas que envolvem baixo custo, usando dados orbitais disponíveis gratuitamente.

Assim sendo, o presente estudo teve como finalidade principal avaliar o desempenho de diferentes índices a fim de determinar a concentração de vegetação em uma área experimental no município de Jequiá da Praia, no estado de Alagoas.

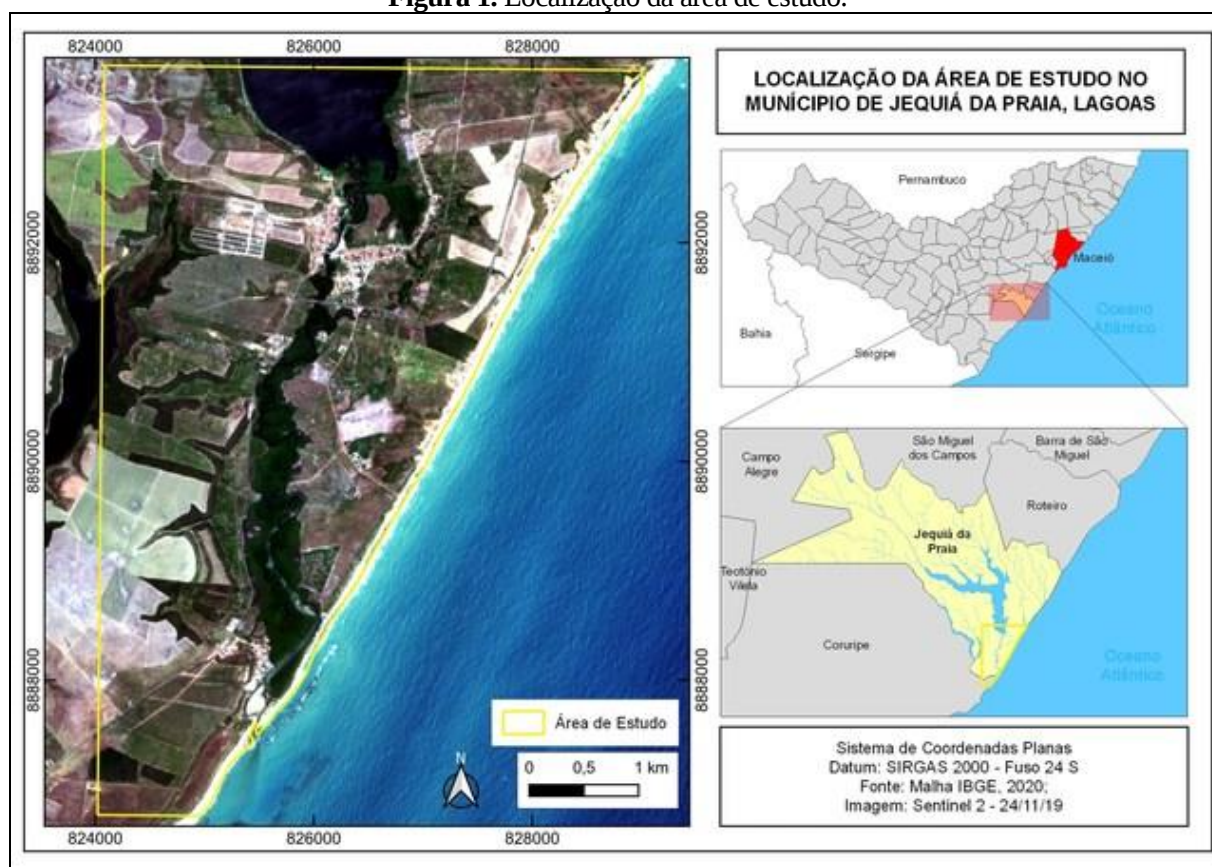


2. MATERIAIS E METÓDOS

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área do presente estudo está localizada no município de Jequiá da Praia, na Região Geográfica Imediata de São Miguel dos Campos e Região Geográfica Intermediária de Maceió, no estado de Alagoas, encontra-se distante a 60 km da capital alagoana. O recorte espacial selecionado pertence a única Reserva Extrativista de Alagoas, possui aproximadamente 20,74 km², situa-se entre as coordenadas geográficas: 9°59'44.163" e 10°3'27.083" de latitudes sul e 35° 59' 57.405" e 36°2' 39.103" de longitudes oeste (Figura 1).

Figura 1. Localização da área de estudo.

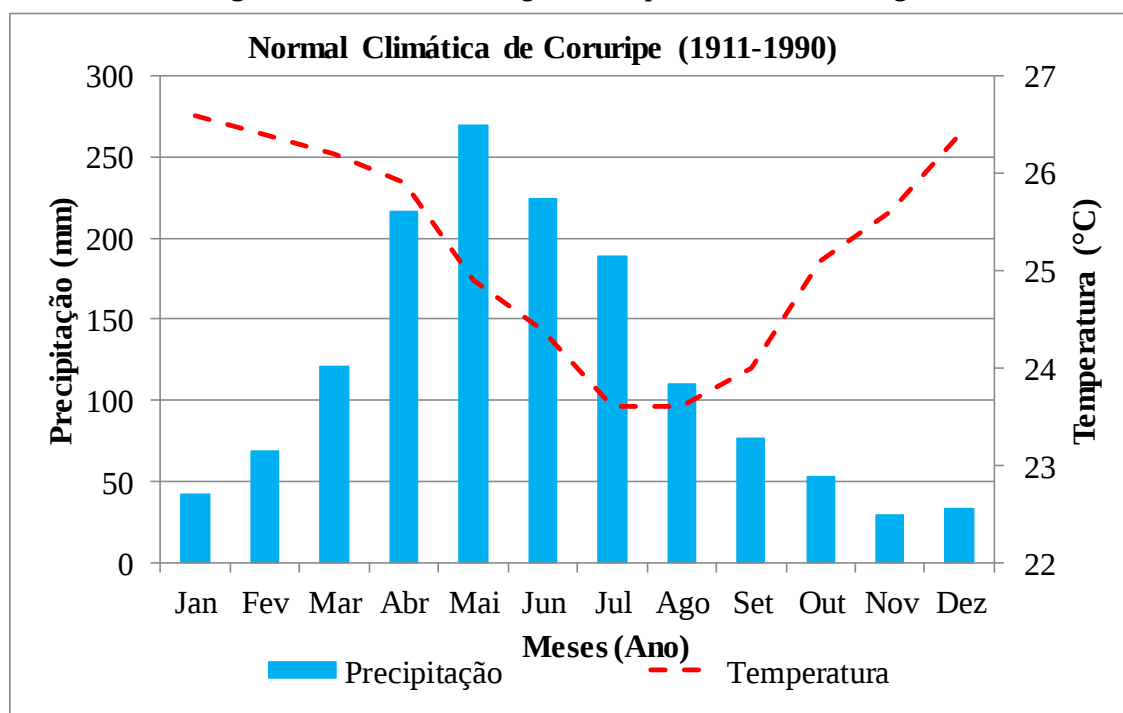


Fonte: Autor, 2021.

O clima na área de estudo é do tipo As', conforme classificação de Köppen, caracterizado como tropical chuvoso com verão seco, tendo a estação chuvosa no outono/inverno, com precipitações que variam entre 1.500 a 1.600 mm anuais. A temperatura máxima chega 34° C e mínima de 23° C, com média em torno dos 25° C (BARROS et al., 2012, SEPLAG, 2018). A fim de representar melhor a questão climática da região e escolher as imagens a serem usadas no trabalho, observou-se a normal climatológica de Coruripe, município vizinho da área de estudo (Figura 2).



Figura 2. Normal climatológica usada para selecionar as imagens



Fonte: DCA/UFCG, 2021.

Os solos ocorrentes na área são: Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo, Gleissolo Háptico, Nossolos Flúvico e Quartzarênico (EMBRAPA, 2012). Tais solos são resposta direta do sistema climático e do relevo com declividades suaves a moderadas dos tabuleiros costeiros e das áreas de planícies e várzeas encontradas na região. Geologicamente, a área apresenta duas unidades litológicas, a Formação Barreiras, formada por arenitos em matriz argilosa, com intercalações de siltitos e argilas de cores avermelhadas; e pelos sedimentos de praias e fluviais, constituídos por depósitos fluviais de matriz arenosa, com variações de níveis de argilas (EMBRAPA, 2012).

Em relação à vegetação, a área está inserida na região de domínio da floresta subperenifólia, destacando-se as formações pioneiras praias, as perenifólias de mangue e os campos higrófilos de várzeas do rio Jequiá, determinados pelas estações chuvosas com faixas de 60 a 90 dias biologicamente secos (OLIVEIRA, AMORIM e LEMOS, 2020).

Vale mencionar que dentro da área alvo deste estudo encontra-se a Reserva Extrativista Marinha da Lagoa do Jequiá, criada por Decreto Federal de 27 de setembro de 2001. No entorno da RESEX são desenvolvidas atividades de pesca e agricultura de subsistência na lagoa e rio Jequiá. Vale ressaltar a



crescente atividade relacionada ao turismo como as trilhas ecológicas e o segmento de sol e mar (OLIVEIRA, AMORIM e LEMOS, 2020).

2.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste trabalho foram utilizadas imagens do Sentinel 2, o qual possui 13 bandas (Tabela 1). Por caracterizar melhor a vegetação, foram utilizadas as bandas nas regiões espectrais do visível e infravermelho próximo, todas com resolução espacial de 10 metros. Foram escolhidas duas imagens do período úmido de 18 de maio de 2019 e do período seco de 24 de novembro de 2019, seguindo a quadra chuvosa e o período seco, conforme é possível observar na figura 2.

Tabela 1. Características das bandas do Sentinel 2A

Resolução (m)	Nº da Banda	Nome da banda	Comprimento de onda (nm)
10	B02	Blue	490
	B03	Green	560
	B04	Red	665
	B08	NIR	842
20	B05	Red Edge 1	705
	B06	Red Edge 2	740
	B07	Red Edge 3	783
	B08A	Red Edge	865
	B11	SWIR 1	1610
	B12	SWIR 2	2190
60	B01	Aerosol	443
	B09	Water Vapor	940
	B10	Cirrus	1375

Fonte: Site da ESA (Acesso em 05/07/2021).

As imagens foram adquiridas junto à web *site* GLOVIS, pertencente ao Serviço Geológico dos Estados Unidos. Cabe salientar que as imagens apresentaram boa qualidade, com pouca interferência de nuvens, e com nível 1C de processamento já realizado pela própria Agência Espacial Europeia (ESA), detentora dos direitos de produção e liberação das imagens. Porém, foi preciso realizar a transformação da imagem 1C para o nível 2ª, através do *plugin* Sen2Cor 2.80 no *software* livre SNAP da própria ESA. Esse procedimento foi necessário para se obter a reflectância da superfície e corrigir possíveis interferências dos efeitos atmosféricos. Posteriormente, as imagens foram reprojetaadas para a projeção UTM, com Datum SIRGAS 2000 – fuso 24 S.



O processamento das imagens, a obtenção dos índices de vegetação, bem como o layout dos mapas foram realizados no software Qgis (versão 3.16.6).

De posse das imagens do Sentinel-2 foram calculados os índices de vegetação utilizando o NDVI, SAVI e EVI, além do mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo da área.

O NDVI é a razão entre a subtração das bandas no infravermelho próximo e do vermelho do visível e pela soma dessas mesmas bandas, como apresentado na equação 1 (ROUSE *et al.*, 1973). Este índice é sensível à quantidade e condição da vegetação, variando no intervalo de -1 a 1. Sobre áreas com cobertura de água ou nuvens, esta variação é menor do que 0.

$$NDVI = \frac{(IV - V)}{(IV + V)} \quad (\text{Equação. 1})$$

Onde: V é a banda do vermelho e IV é a banda do infravermelho próximo.

O SAVI é aplicado pela equação 2, que leva em consideração os efeitos do solo exposto nas imagens analisadas, para ajuste do NDVI quando a superfície não está completamente coberta pela vegetação.

$$SAVI = \frac{(1 + L) * (IV - V)}{L + IV + V} \quad (\text{Equação. 2})$$

Onde: L = constante de fator de ajuste do índice SAVI, podendo assumir valores de 0,25 a 1, dependendo da cobertura do solo. V é a banda do vermelho e IV é a banda do infravermelho próximo.

Valor para L de 0,25 é indicado para vegetação densa e de 0,5 para vegetação com densidade intermediária e quando o valor de L for 1 é indicativo de vegetação com baixa densidade. Se o valor L for igual a 0, seus valores tornam-se igual aos valores do NDVI (HUETE, 1988). Nesse estudo, devido a dinâmica de uso solo apresentado no mapa de uso do solo, adotou-se o valor de L sendo igual a 0,5.

O EVI utiliza informações na região espectral do infravermelho próximo, do vermelho e do azul para indicar o vigor vegetativo dos biomas. De acordo com Huete *et al.* (1997), ele permite uma melhor detecção das respostas espectrais da vegetação já que reduz a influência do substrato do dossel e dos agentes atmosféricos de acordo com a equação 3.

$$EVI = G \times \frac{IV - V}{IV + C_1 \times V - C_2 \times A + L} \quad (\text{Equação. 3})$$

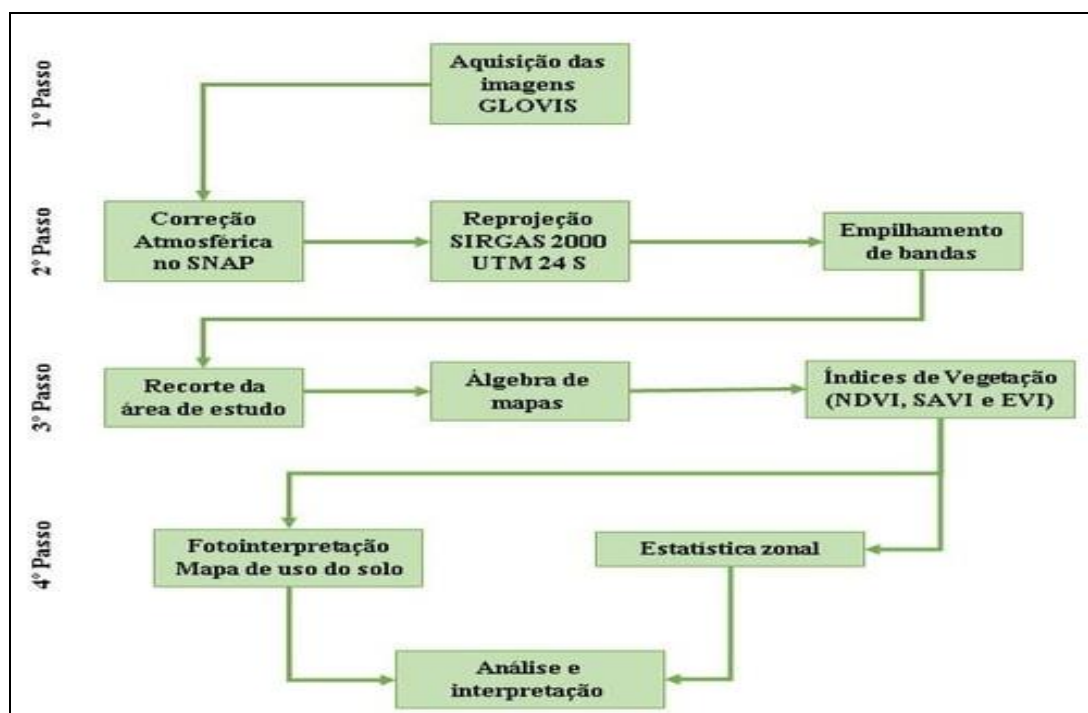
Onde: V = banda do vermelho, IV = banda do infravermelho próximo, A = banda do azul. C1 é coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho, na literatura se



utiliza o valor 6; C2 é coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do azul, sendo comumente utilizado o valor de 7,5; L é fator de correção para a interferência do solo, adotou-se o mesmo valor 0,5 utilizado no SAVI. G é o fator de ganho, geralmente adotando-se valor de 2,5.

Para fins de comparação do desempenho dos índices aplicados foi realizada a estatística zonal a partir da delimitação das áreas fotointerpretadas na produção do mapa de uso do solo através do algoritmo *zonal statistics* no Qgis 3.16.6. Todos os procedimentos gerados neste trabalho estão apresentados no fluxograma abaixo (Figura 3)

Figura 3. Fluxograma dos procedimentos executados nesse trabalho



Fonte: Autor, 2021.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

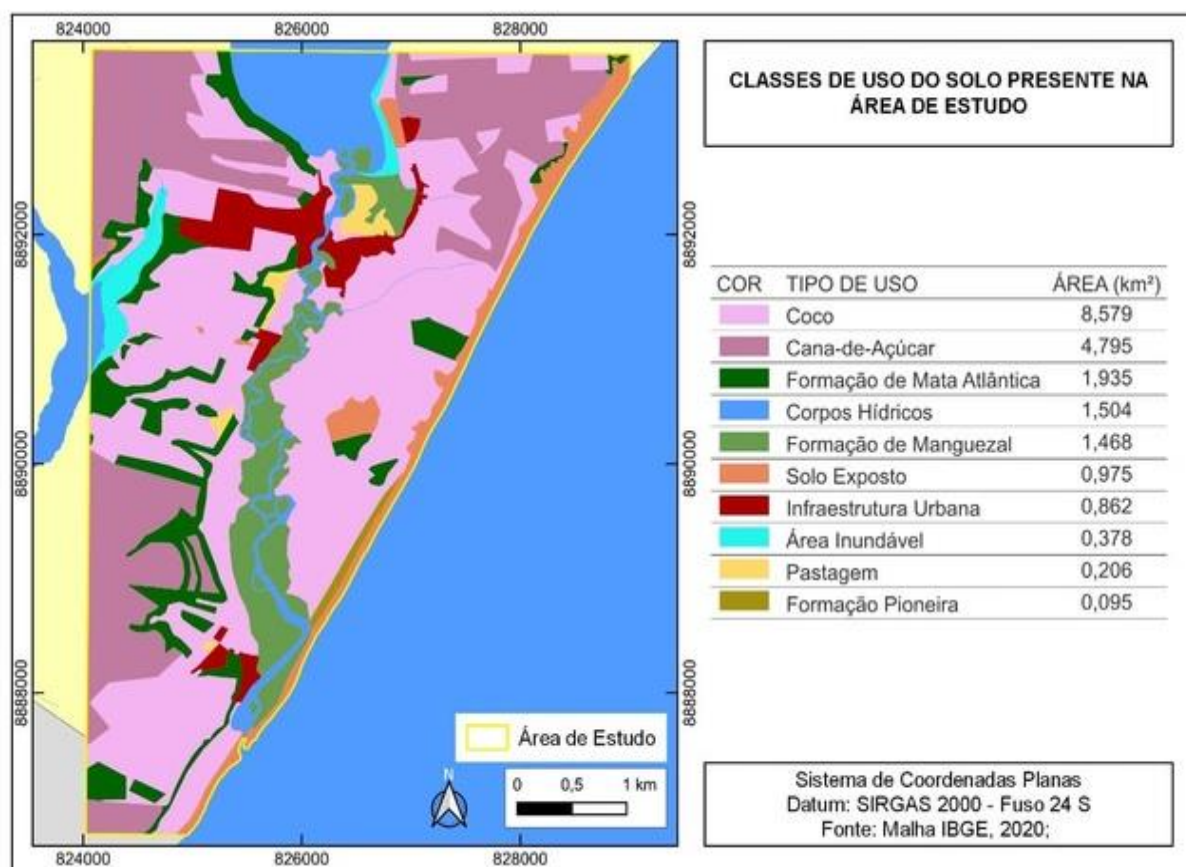
Inicialmente, realizou-se o mapeamento de uso do solo e se aplicou os índices de vegetação nas imagens multiespectrais obtidas nos períodos úmido e seco, no ano de 2019. A partir dos planos de informações resultantes, foi possível analisar as condições da vegetação sobre os diferentes usos presentes na área estudada. Além disso, extraiu-se os dados estatísticos para verificar o melhor desempenho entre os três índices aplicados.



3.1 O USO DO SOLO DA ÁREA

A fim de visualizar os diferentes tipos de uso de solo encontrados na área de estudo e comparar o desempenho dos diferentes índices de vegetação, realizou-se o mapeamento de uso do solo e da cobertura vegetal (Figura 4). Utilizando as imagens do período úmido e seco da região, bem como outras imagens auxiliares do Google Earth Pro, com sua série temporal e também através do *plugin* Quick Map Services, foram identificadas 10 classes de uso do solo, cinco delas pertencentes aos sistemas naturais (formação de manguezal, formação de mata atlântica, corpos hídricos, área inundável e formação pioneira), e as demais, aos sistemas antrópicos (coco, cana-de-açúcar, solo exposto, infraestrutura urbana e pastagem).

Figura 4. Classes de uso do solo da área.



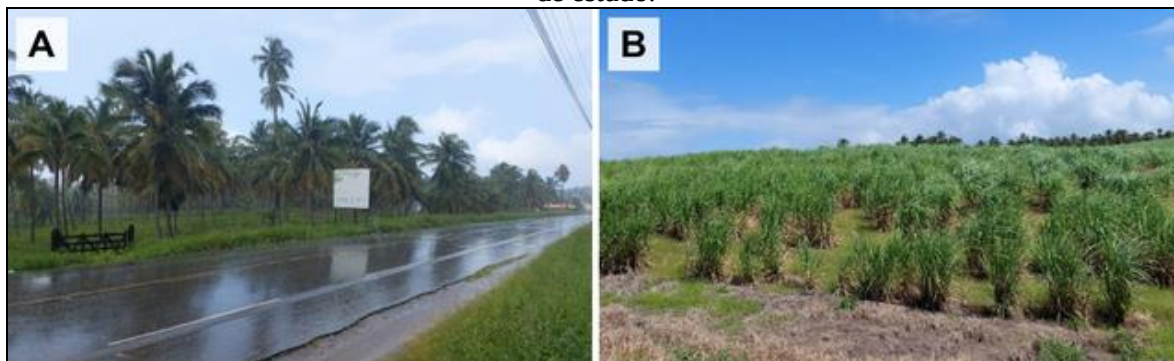
Fonte: Autor, 2021.

As classes mais representativas em termos de ocorrência na área corresponderam a monocultura do coco-da-baía (8.579 km²) e da cana-de-açúcar (4.795 km²). De acordo com a Pesquisa Municipal Agrícola (PAM), realizada em 2019, pelo IBGE (2021), referente as lavouras temporárias e permanentes, o coco-da-baía ocupava uma área 1.500 hectares no município de Jequiá da Praia, sendo



responsável pela produção 6.707 toneladas (Figura 5A). Por sua vez, a cana-de-açúcar ocupava uma extensão de 8.500 hectares, produzindo cerca de 553.995 toneladas (Figura 5B).

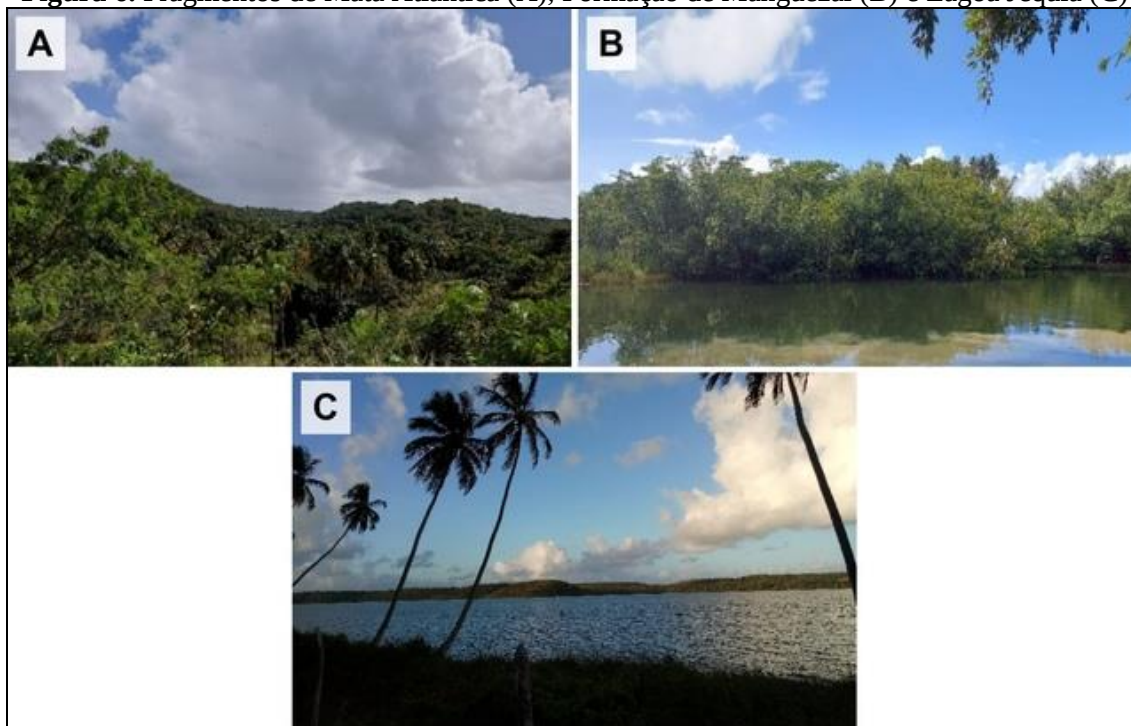
Figura 5. Cultivo de Cana-de-açúcar em setembro de 2021 (A) e Coco-da-baía em maio de 2021 (B) na área de estudo.



Fonte: Autor, 2021.

Destaca-se as áreas de fragmentos da mata atlântica nativa (Figura 6A), a formação de manguezal (Figura 6B) (área contemplada pela RESEX) e pelos corpos hídricos, representados pela lagoa (Figura 6C), rio Jequiá e uma pequena fração da lagoa da lavagem. As outras áreas de solo exposto, infraestrutura urbana, área inundável, pastagem e formação pioneira possuem menos de 1 km² cada.

Figura 6. Fragmentos de Mata Atlântica (A), Formação de Manguezal (B) e Lagoa Jequiá (C)



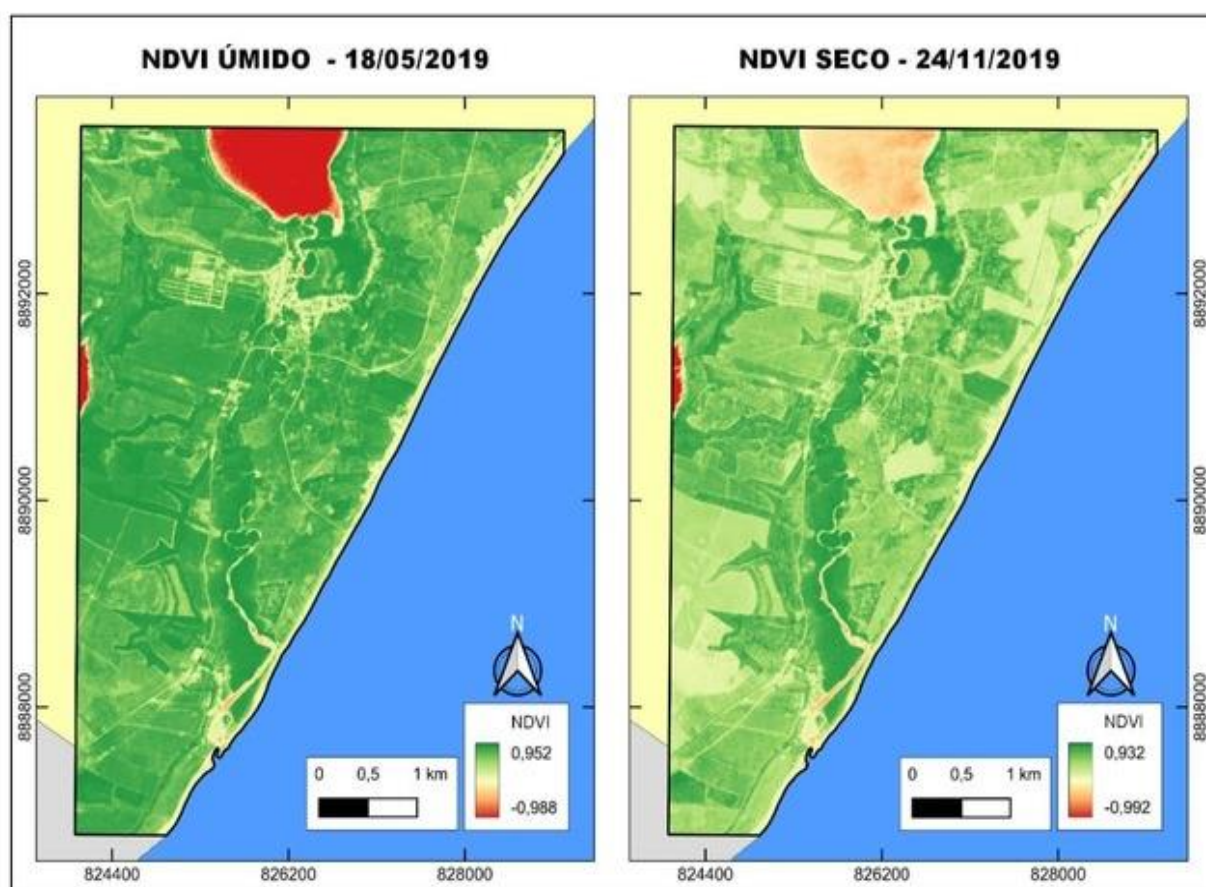
Fonte: Autor, 2021.



3.2. NDVI

Na figura 7 é possível observar os valores de NDVI calculados para a área de estudo. No período úmido (18/05/2019) foram verificados os valores mais altos (0,952), entretanto essa diferença não foi tão significativa quando comparada com o período seco (24/11/2019), como apresentado na tabela 2. Tal fato pode estar associado à vegetação de manguezal, que ocorre frequentemente em ambiente de interface entre água e continente, portanto, reduzindo consideravelmente os possíveis efeitos de perda foliar associados aos períodos de estiagem.

Figura 7. NDVI nos períodos úmido e seco no ano de 2019.



Fonte: Autor, 2021.

Analisando os valores médios da área total, é possível constatar que o período úmido possui valor 0,627 em relação ao 0,438 do período seco. Cabe destacar que a dispersão dos valores no período chuvoso é quase o dobro do seco, apresentando desvio padrão de 0,401 em detrimento dos 0,278 do NDVI úmido de novembro de 2019 (Tabela 2).

**Tabela 2.** Valores de NDVI para a área estudada.

Valores	NDVI ÚMIDO - 18/05/2019	NDVI ÚMIDO - 24/11/2019
Mínimo	-0,988	-0,992
Máximo	0,952	0,932
Média	0,627	0,438
Desvio Padrão	0,401	0,278

Fonte: Autor, 2021.

Também foi possível diferenciar visualmente as áreas com vegetações densas e volumosas das áreas de vegetação escassa e solo exposto no período seco, tendo em vista os diferentes usos encontrados na área. Já no período úmido, a diferenciação entre as classes de uso do solo foi dificultada, podendo estar associado ao fato de que a maior parte dos solos na área de estudo possuem boa penetrabilidade e permanência de água, especialmente em ambientes com predominância de argissolos, latossolos e gleissolos.

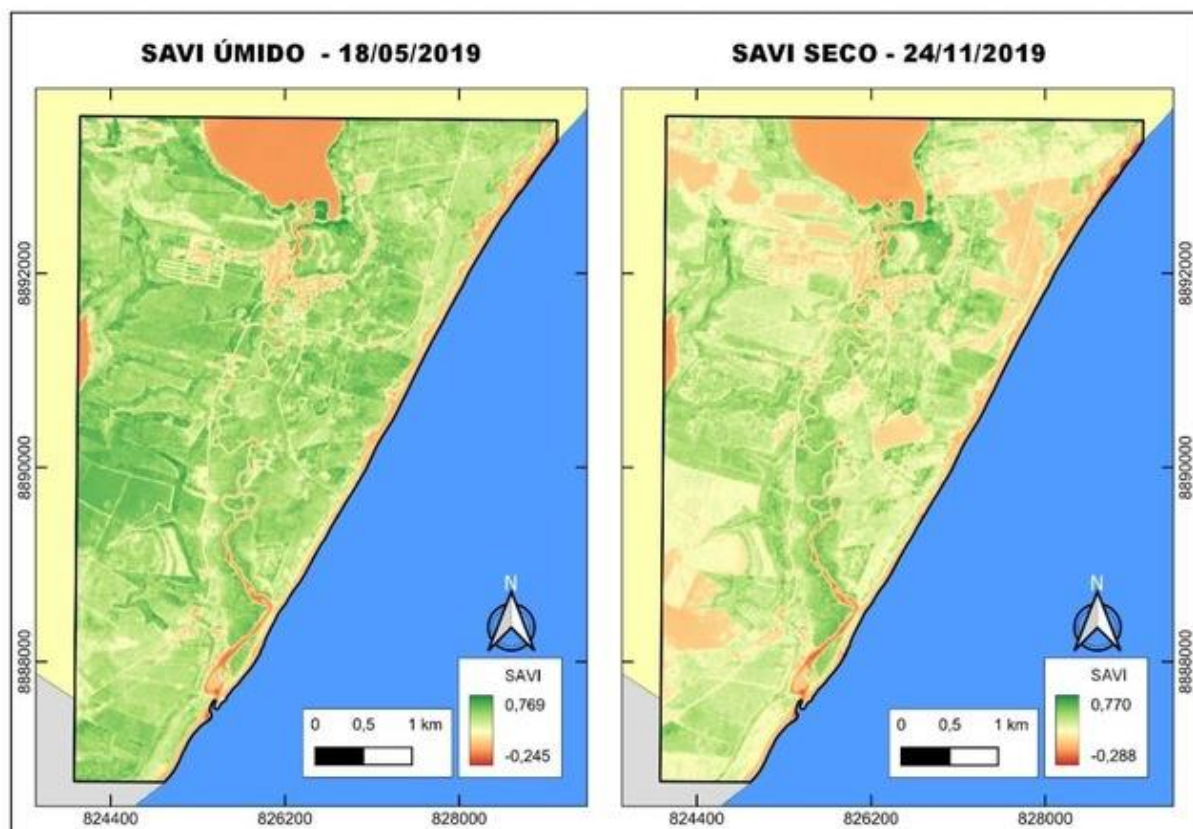
Cabe destacar que as regiões de corpos d'água, principalmente na parte da lagoa Jequiá, possuem uma diferença muito elevada entre os dois períodos. A causa disso pode estar associada à correção atmosférica. Dessa forma, cabe investigar posteriormente outros métodos de correções atmosféricas.

3.3. SAVI

Observando a figura 8 é possível constatar os resultados do SAVI, e quando comparado à figura 7 apresenta diferença significativa. A aplicação deste índice juntamente com o fator $L = 0,5$, atenuou o contraste no corpo hídrico da lagoa do Jequiá ressaltado anteriormente nos valores de NDVI do período úmido. Visualmente, o SAVI conseguiu distinguir melhor as feições dos diferentes usos do solo. Nota-se que no período úmido é possível diferenciar os usos referentes ao plantio de coco-da-baía, da cana-de-açúcar e das áreas de fragmentos de mata atlântica. Já no período seco percebe-se que o fator L foi importante para diferenciar os diferentes níveis de solo exposto, inclusive em áreas notadamente com lavouras de cana-de-açúcar, algumas delas alvo da queima controlada, uma prática ainda adotada na região para facilitar a colheita manual.



Figura 8. SAVI nos períodos úmido e seco no ano de 2019



Fonte: Autor, 2021.

Além disso, observando a Tabela 3, nota-se que os valores máximos e mínimos são bem inferiores aos encontrados no NDVI, que chegam próximo ao limite estabelecido no índice. A média e o desvio padrão foram bem aproximados quando comparado ao NDVI.

Tabela 3. Valores de SAVI para a área toda.

Valores	SAVI ÚMIDO - 18/05/2019	SAVI ÚMIDO - 24/11/2019
Mínimo	-0,245	-0,288
Máximo	0,769	0,770
Média	0,430	0,308
Desvio Padrão	0,170	0,161

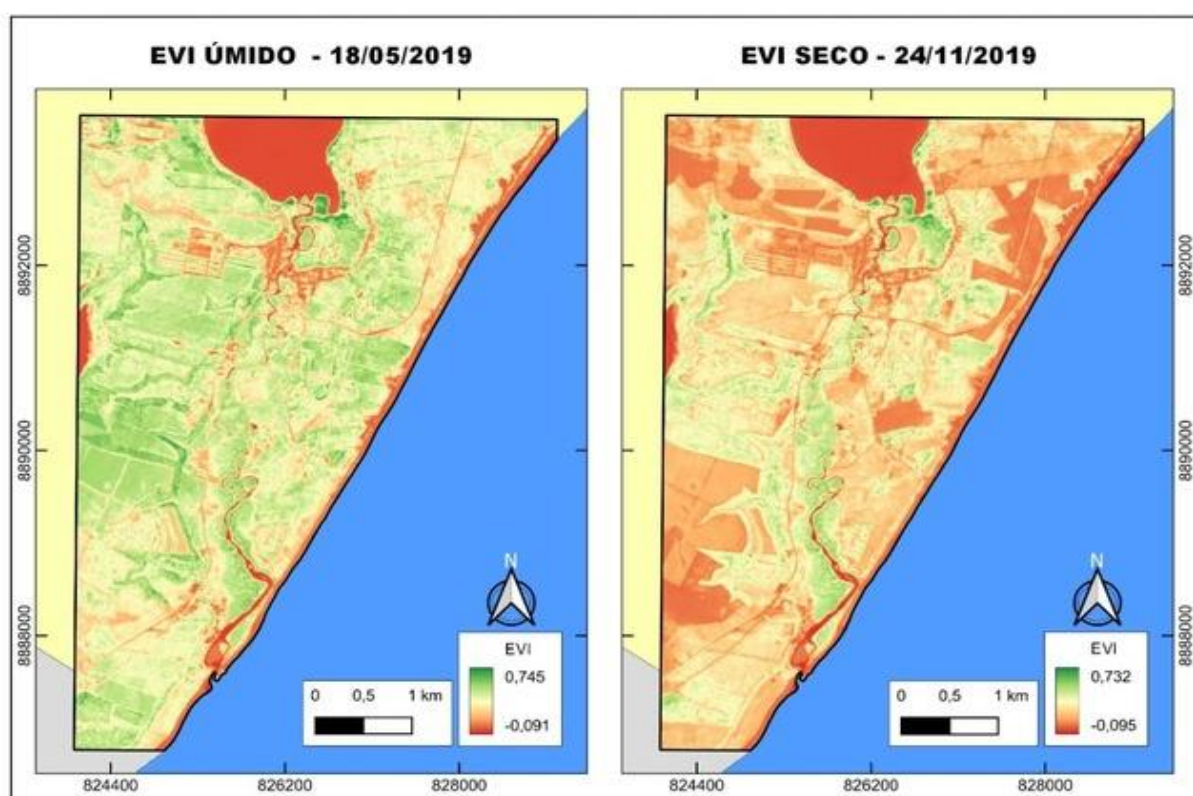
Fonte: Autor, 2021.



3.4 EVI

Por fim, o último índice é o índice de vegetação aprimorado – EVI (Figura 9). Este índice foi desenvolvido para reduzir as influências da atmosfera e do solo de fundo do dossel no monitoramento da vegetação (JUSTICE *et al.*, 1998). Observando a Figura 9, nota-se um aspecto bem diferente dos mapas de NDVI e SAVI, isso porque o EVI tem uma maior sensibilidade, uma vez que está ligado diretamente à questão da umidade do solo, ao teor de água na vegetação e às boas condições apresentadas no maior vigor da vegetação; importante ainda ressaltar que há a interferência da atmosfera, pois os materiais em suspensão alteram seus resultados dos índices (LAURENTINO *et al.*, 2011).

Figura 9. EVI nos períodos úmido e seco no ano de 2019



Fonte: Autor, 2021.

Visualmente, o EVI foi o que melhor diferenciou os usos do solo, notadamente as áreas com diferenças de vegetação no período úmido e as diferenças no solo exposto presentes no cultivo de cana-de-açúcar no período seco. Em termos estatísticos, ele se aproximou do SAVI com valores médios e desvio padrão aproximados em ambos os períodos (Tabela 4).



Tabela 4. Valores de SAVI para a área toda.

Valores	EVI ÚMIDO - 18/05/2019	EVI ÚMIDO - 24/11/2019
Mínimo	-0,091	-0,095
Máximo	0,745	0,732
Média	0,338	0,208
Desvio Padrão	0,155	0,133

Fonte: Autor, 2021.

3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA ENTRE OS DIFERENTES USOS

Com fins de obter os dados estatísticos para cada uso do solo encontrado na área de estudo, foi utilizado a técnica de estatística zonal a partir da delimitação das diferentes feições. As tabelas 5, 6 e 7 apresentam alguns parâmetros estatísticos obtidos para o NDVI, SAVI e EVI, respectivamente.

Tabela 5. Valores estatísticos de NDVI por uso do solo

TIPOS DE USO	NDVI ÚMIDO - 18/05/2019			
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Coco	0,7506	-0,1187	0,9368	0,1228
Formação de Manguezal	0,8406	-0,3054	0,9485	0,1108
Formação Pioneira	0,5579	0,1296	0,8574	0,1222
Formação de Mata Atlântica	0,8450	0,1012	0,9516	0,1013
Área Inundável	0,8059	0,0557	0,9407	0,0958
Pastagem	0,7064	0,1280	0,9237	0,1434
Cana-de-Açúcar	0,6941	0,1127	0,9302	0,1193
Solo Exposto	0,2504	-0,5008	0,9055	0,2569
Infraestrutura Urbana	0,4249	-0,1160	0,9114	0,2232
Corpos Hídricos	-0,4819	-0,9876	0,9415	0,6543
TIPOS DE USO	NDVI SECO - 24/11/2019			
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Coco	0,5342	-0,0026	0,9172	0,1363
Formação de Manguezal	0,7761	-0,3887	0,9249	0,1335
Formação Pioneira	0,4700	0,0756	0,7507	0,1113
Formação de Mata Atlântica	0,6757	0,0394	0,9315	0,1277
Área Inundável	0,6829	0,0658	0,9188	0,1325
Pastagem	0,4632	0,0189	0,8877	0,1446
Cana-de-Açúcar	0,3087	0,0346	0,8203	0,1377
Solo Exposto	0,1109	-0,5178	0,8090	0,1612
Infraestrutura Urbana	0,2732	-0,1203	0,8283	0,1456
Corpos Hídricos	-0,1048	-0,9916	0,9043	0,3698

Fonte: Autor, 2021.

**Tabela 6.** Valores estatísticos de SAVI por uso do solo

TIPOS DE USO	SAVI ÚMIDO - 18/05/2019			
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Coco	0,4841	-0,0287	0,7595	0,0894
Formação de Manguezal	0,4959	-0,0400	0,7691	0,0989
Formação Pioneira	0,3632	0,1167	0,6059	0,0698
Formação de Mata Atlântica	0,5513	0,0755	0,7424	0,0819
Área Inundável	0,4632	0,0035	0,7675	0,1209
Pastagem	0,4615	0,0211	0,7478	0,1213
Cana-de-Açúcar	0,4605	0,0950	0,7460	0,0958
Solo Exposto	0,1813	-0,2450	0,6679	0,1674
Infraestrutura Urbana	0,2943	-0,0878	0,7056	0,1479
Corpos Hídricos	0,0314	-0,1497	0,7173	0,1277
TIPOS DE USO	SAVI SECO - 24/11/2019			
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Coco	0,3752	-0,0020	0,7700	0,0952
Formação de Manguezal	0,4811	-0,0941	0,7374	0,1045
Formação Pioneira	0,3334	0,0652	0,5678	0,0736
Formação de Mata Atlântica	0,4409	0,0379	0,7064	0,0806
Área Inundável	0,4254	0,0057	0,7582	0,1294
Pastagem	0,3283	0,0030	0,7228	0,1048
Cana-de-Açúcar	0,2228	0,0253	0,6197	0,0942
Solo Exposto	0,0930	-0,2884	0,5949	0,1124
Infraestrutura Urbana	0,2037	-0,0940	0,6372	0,0998
Corpos Hídricos	0,0223	-0,1989	0,6918	0,1339

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 7. Valores estatísticos de EVI por uso do solo

TIPOS DE USO	EVI ÚMIDO - 18/05/2019			
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Coco	0,3835	-0,0182	0,7206	0,0989
Formação de Manguezal	0,4230	-0,0261	0,7397	0,1083
Formação Pioneira	0,2417	0,0515	0,5174	0,0701
Formação de Mata Atlântica	0,4724	0,0388	0,7015	0,0976
Área Inundável	0,3855	0,0025	0,7449	0,1228
Pastagem	0,3556	0,0152	0,6859	0,1267
Cana-de-Açúcar	0,3434	0,0462	0,6961	0,0977
Solo Exposto	0,1128	-0,0906	0,6011	0,1275
Infraestrutura Urbana	0,1922	-0,0274	0,6281	0,1268
Corpos Hídricos	0,0256	-0,0743	0,6700	0,1037



TIPOS DE USO	EVI SECO - 24/11/2019			
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Coco	0,2509	-0,0008	0,7317	0,0887
Formação de Manguezal	0,3907	-0,0498	0,6908	0,1086
Formação Pioneira	0,2073	0,0287	0,4443	0,0630
Formação de Mata Atlântica	0,3189	0,0164	0,6661	0,0867
Área Inundável	0,3271	0,0040	0,6945	0,1273
Pastagem	0,2087	0,0020	0,6428	0,0911
Cana-de-Açúcar	0,1257	0,0115	0,4873	0,0659
Solo Exposto	0,0479	-0,0955	0,4689	0,0633
Infraestrutura Urbana	0,1118	-0,0278	0,5332	0,0720
Corpos Hídricos	0,0200	-0,0886	0,6102	0,1018

Fonte: Autor, 2021.

Analisando-se os parâmetros estatísticos dos índices SAVI, NDVI e EVI observa-se algumas particularidades a partir da sua formulação. Na tabela 5 destacam-se os valores mínimos para a classe de corpos hídricos, com valores próximos ao limite inferior do NDVI que é -1, com valores médio de -0,4819 e -0,1048 para os períodos úmido e seco, respectivamente, com os maiores desvios padrão entre todas as classes. Já os valores máximos estão associados às áreas de vegetação densa como os fragmentos de mata atlântica e áreas de manguezal, além das áreas com boa disponibilidade hídrica nas áreas inundáveis.

Já na tabela 6, o fator L de correção do solo atua destacando essa classe de solos com os menores valores mínimos, seguidos dos corpos hídricos. Na tabela 7, observa-se uma melhor distribuição nos valores máximos e mínimos, bem próximo aos valores da tabela 6 com os dados referentes ao SAVI. Assim como os valores do NDVI, os valores máximos do SAVI e EVI estão presentes nas áreas com vegetação mais densas ou com boa disponibilidade hídrica.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos dados provenientes dos índices, foi possível verificar a diferença dos valores entre os períodos úmido e seco bem como sobre os diferentes tipos de uso encontrados na área experimental. Dessa forma se comprovou a viabilidade da utilização de imagens de satélite sentinel-2 para mapear a cobertura vegetal proposta na hipótese aventada inicialmente.

Entretanto, por se tratar de área com intensa produtividade agrícola de culturas de cana-de-açúcar e coco-da-baía, os índices que melhor se demonstraram sensíveis às variações de tempo de



plantio foram o SAVI e o EVI, tendo em vista que visualmente eles maximizaram os níveis de contraste nas imagens dos mapas.

Ainda assim, é clara a necessidade de pesquisas futuras que investiguem esses índices e outros com dados orbitais de melhores resoluções, tanto espectral como espacial, que poderão fornecer resultados superiores aos obtidos por meio da análise feita somente nesses três índices de vegetação, a fim de se obter uma melhor diferenciação e classificação da cobertura vegetal.

REFERÊNCIAS

BARROS, A. H. C. *et al.* **Climatologia do Estado de Alagoas**. Recife: Embrapa Solos, 2012. 32 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/950797/climatologia-do-estado-de-alagoas>>.

CRUZ, M. A. S.; SOUZA, A. M. B.; JESUS, J. S. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos Índices de Vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na bacia do rio Japaratuba-Mirim em Sergipe. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p. 1357-1364.

EMBRAPA. **Zoneamento agroecológico do estado de Alagoas**: levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Alagoas. Recife: Embrapa Solos. 2012.

GAMEIRO, S. *et al.* Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Terra**, v. 13, n. 1-2, p. 15-22, 2016. Disponível em: <<https://www.ige.unicamp.br/terrae/V13/PDFv13/TE067-2.pdf>>.

GOWARD, S. N. *et al.* Normalized difference vegetation index measurements from the advanced very high resolution radiometer. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, n. 2-3, p. 257-277, fev.-mar. 1991. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90017-Z](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90017-Z)>.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)>.

HUETE, A. R. *et al.* A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440-451, mar. 1997. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)>.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ª ed. Tradução. EPIPHANIO, J. C. N São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009. 672 p.

JUSTICE, C. O. *et al.* The Moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE transactions on geoscience and remote sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1249, 1998.

LAURENTINO, M. L. S. *et al.* Aplicação dos índices de NDVI e EVI como análise da variação fisionômica da vegetação no Brejo de Altitude de Serra Negra-Bezerros/PE-Brasil. **Anais... XV**



Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p. 3182-3189.

MOREIRA, R. C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. 181 f. (Dissertação, Mestrado em Sensoriamento Remoto)

OLIVEIRA, A. N. S.; AMORIM, C. M. F.; LEMOS, R. P. L. **Alagoas**: unidades de conservação. 2ª ed. Maceió: Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas. 2020. 346 p.

IBGE. **Pesquisa Municipal Agrícola de Jequiá da Praia em 2019 (IBGE)**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 05 jul. 2021.

PINTO, D. G. *et al.* Índices de vegetação NDVI, EVI e SAVI como indicadores espectrais do crescimento de pastagem natural no bioma Pampa. **Anais...** XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Santos, SP, Brasil, 28 a 31 de maio de 2017, INPE p. 5241-5248. ISBN: 978-85-17-00088-1.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. São José dos Campos, SP, Oficina de Textos, 2ª edição, 2012. 176 p.

ROSA, P. A. *et al.* Dinâmica da floresta do Parque Estadual do Turvo com índices de vegetação. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 487-499, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.034>>.

ROUSE, J. W. *et al.* **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. NASA SP-351, p. 309-317, dez. 1973.

SEPLAG. **Perfil Municipal de Jequiá da Praia**. Maceió: Secretária de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio, 2018. 35 p.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com Araucária utilizando imagens do satélite Ikonos II. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 169-181, abr-jun. 2009.